



# **Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana**

Greining á viðskiptahugmynd í samstarfi við  
geoSilica Iceland ehf.: Heilsudrykkur úr affallsvatni

Hluti I

Andri Stefánsson



**Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði-  
og tölvunarfræðideild  
Háskóli Íslands  
2014**



# **Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana**

Greining á viðskiptahugmynd í samstarfi við  
geoSilica Iceland ehf.: Heilsudrykkur úr affallsvatni

Hluti I

Andri Stefánsson

30 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Magister Scientiarum* gráðu í fjármálaverkfræði

Leiðbeinendur  
Ragnheiður I. Þórarinsdóttir  
Rúnar Unnpórsson

Prófdómari / Fulltrúi deildar  
Eggert Þ. Þórarinsson

Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, júní 2014

Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana. Greining á viðskiptahugmynd í samstarfi við geoSilica Iceland ehf.: Heilsudrykkur úr affallsvatni. Hluti I

Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana  
30 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í fjármálaverkfræði

Höfundarréttur © 2014 Andri Stefánsson  
Öll réttindi áskilin

Iðnaðarverkfræði, vélaverkfræði-, og tölvunarfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
VRII, Hjarðarhaga 2-6  
107 Reykjavík

Sími: 525 4600

Skráningarupplýsingar:

Andri Stefánsson, 2014, *Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana. Greining á viðskiptahugmynd í samstarfi við geoSilica Iceland ehf.: Heilsudrykkur úr affallsvatni. Hluti I*, meistararitgerð, Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarfræðideild, Háskóli Íslands, 94 bls.

Prentun: Svansprent ehf.  
Reykjavík, júní 2014

# Útdráttur

Umfjöllunarefni þessarar ritgerðar er verðmætasköpun úr affalli og útblæstri íslenskra jarðvarmavirkjana. Í stað þess að líta á affallsvatn og útblástur sem mengun og kostnað má nýta það til ýmissar framleiðslu eða ræktunar. Bætt nýting jarðhitaauðlindarinnar stuðlar jafnframt að aukinni samkeppnishæfni og sjálfbærni hennar auk þess að skapa verðmæti og störf.

Í ritgerðinni er heildarumfang losunar á affallsvatni (skiljuvatni, þéttivatni og kælivatni) og útblæstri óþéttanlegra lofttegunda skoðað eftir virkjunum, en frá þeim sex jarðvarmavirkjunum sem starfræktar voru á árinu 2011 losuðust alls 206 milljón tonn af affallsvatni og 212 þúsund tonn af útblæstri. Einnig er gerð grein fyrir þekktum og minna þekktum aðferðum við nýtingu affallsvatns og útblásturs auk þess sem aðstæður til nýtingar affallstraumanna eru skoðaðar. Sveitarfélög hafa síðustu ár tekið frá lóðir í nágrenni jarðvarmavirkjana fyrir orkutengdan iðnað, þ.m.t. iðnað sem nýtir affallsvatn og útblástur virkjana. Alls hafa sveitarfélög tekið frá yfir 1.000 ha fyrir orkutengdan iðnað til viðbótar við iðnaðarsvæði sem sérstaklega eru skilgreind sem orkuvinnslusvæði í aðalskipulögum.

Í lok ritgerðarinnar er viðskiptaáætlun sem unnin var fyrir sprotafyrirtækið geoSilica Iceland ehf. Þar er sýnt fram á raunhæfi þess að framleiða kísilríkan heilsudrykk úr skiljuvatni Hellisheiðarvirkjunar á arðbæran hátt.

**Lykilorð:** Jarðhiti, jarðvarmavirkjun, affallsvatn, útblástur, sjálfbærni, fjölnýting, iðnaður, verðmætasköpun, arðbærni, viðskiptaáætlun, kísill, heilsudrykkur.

## Abstract

The topic of this thesis is value creation from wastewater and exhaust from Icelandic geothermal power plants. Wastewater and exhaust can be utilized in various production or cultivation instead of being disposed at high cost. The utilization results in more effective use of the geothermal resources and thereby increased competitiveness and sustainability of the resource in addition to creating value and jobs.

This thesis outlines the scope of wastewater (separator water, condensate and cooling water) and exhaust, of non-condensable gases, overall discharge. In 2011, 206 million tons of wastewater and 212 thousand tons of exhaust were discharged by the six operating power plants. It also outlines known and lesser known utilization processes of wastewater and exhaust, and reviews conditions for utilization. In recent years municipalities have organized and allocated land for geothermal energy-related industries in the vicinity of geothermal power plants. In total municipalities have allocated over 1.000 ha of land for that purpose.

At the end of this thesis production of a silica rich mineral drink from Hellisheiði power plant's separation water is demonstrated viable in a business plan. The business plan was made for and in cooperation with the start-up company geoSilica Iceland ehf.

**Keywords:** Geothermal, geothermal power plant, wastewater, exhaust, sustainability, multi-use, industry, value creation, profitability, business plan, silica, silica mineral drink.

# Efnisyfirlit

Myndir .....	viii
Tölur .....	x
Þakir .....	xiii
<b>1 Inngangur .....</b>	<b>1</b>
1.1 Markmið .....	3
1.2 Uppsetning ritgerðar .....	4
<b>2 Jarðhiti á Íslandi .....</b>	<b>5</b>
2.1 Hvað er jarðhiti? .....	5
2.2 Jarðhitasvæði .....	5
2.2.1 Uppruni .....	5
2.2.2 Flokkun svæða .....	6
2.2.3 Háhitasvæði .....	6
2.2.4 Lághitasvæði .....	7
2.3 Nýting jarðhita .....	8
2.3.1 Húsnotkun (húshitun) .....	11
2.3.2 Varmadætur .....	11
2.3.3 Sundlaugar .....	12
2.3.4 Snjóbræðsla .....	12
2.3.5 Ylrækt (gróðurhús) .....	13
2.3.6 Fiskeldi .....	16
2.3.7 Þörungarækt .....	18
2.3.8 Iðnaður .....	18
2.3.9 Raforkuvinnsla .....	19
2.3.10 Efnavinnsla .....	20
2.4 Sjálfbær nýting auðlindar .....	21
2.4.1 Sjálfbær þróun .....	21
2.4.2 Stærð auðlindar .....	22
2.4.3 Rammaáætlun .....	24
2.5 Jarðhitanotkun á heimsvísu .....	25
2.5.1 Jarðhitanotkun .....	26
2.5.2 Jarðhitanotkun eftir flokkum .....	27
2.6 Samantekt .....	29
<b>3 Raforkuvinnsla úr jarðhita .....</b>	<b>31</b>
3.1 Raforkuvinnsla .....	31
3.2 Útfelling kísils .....	32
3.3 Heitavatsframleiðsla .....	32
3.4 Affallsvatn .....	32
3.4.1 Skiljuvatn .....	33
3.4.2 Þéttivatn .....	33

3.4.3	Kælivatn.....	33
3.5	Förgun affallsvatns.....	33
3.5.1	Yfirborðslosun .....	34
3.5.2	Niðurdæling .....	34
3.6	Jarðhitagas.....	34
3.7	Losun jarðhitagass.....	34
3.7.1	Útblástur .....	34
3.7.2	Nýting .....	35
3.7.3	Niðurdæling .....	35
3.8	Samantekt.....	35
<b>4</b>	<b>Jarðvarmavirkjanir á Íslandi.....</b>	<b>37</b>
4.1	Bjarnarflagsstöð .....	37
4.1.1	Vinnsla og framleiðsla.....	37
4.1.2	Ráðstöfun affallsvatns .....	38
4.1.3	Efnasamsetning og hitastig affallsvatns .....	39
4.1.4	Umfang gaslosunar .....	39
4.1.5	Skipulagsmál og iðnaður .....	39
4.2	Kröfluvirkjun .....	41
4.2.1	Vinnsla og framleiðsla.....	41
4.2.2	Ráðstöfun affallsvatns .....	41
4.2.3	Efnasamsetning og hitastig affallsvatns .....	42
4.2.4	Umfang gaslosunar .....	43
4.2.5	Skipulagsmál og iðnaður .....	43
4.3	Svartsengi.....	45
4.3.1	Vinnsla og framleiðsla.....	45
4.3.2	Ráðstöfun affallsvatns .....	45
4.3.3	Efnasamsetning og hitastig affallsvatns .....	46
4.3.4	Umfang gaslosunar .....	47
4.3.5	Skipulagsmál og iðnaður .....	47
4.4	Reykjanesvirkjun .....	49
4.4.1	Vinnsla og framleiðsla.....	49
4.4.2	Ráðstöfun affallsvatns .....	49
4.4.3	Efnasamsetning og hitastig affallsvatns .....	50
4.4.4	Umfang gaslosunar .....	50
4.4.5	Skipulagsmál og iðnaður .....	51
4.5	Nesjavallavirkjun .....	52
4.5.1	Vinnsla og framleiðsla.....	52
4.5.2	Ráðstöfun affallsvatns .....	53
4.5.3	Efnasamsetning og hitastig affallsvatns .....	54
4.5.4	Umfang gaslosunar .....	54
4.5.5	Skipulagsmál og iðnaður .....	55
4.6	Hellisheiðarvirkjun.....	56
4.6.1	Vinnsla og framleiðsla.....	56
4.6.2	Ráðstöfun affallsvatns .....	56
4.6.3	Efnasamsetning og hitastig .....	57
4.6.4	Umfang gaslosunar .....	58
4.6.5	Skipulagsmál og iðnaður .....	58
4.7	Húsavíkurvirkjun .....	60



4.7.1	Vinnsla og framleiðsla .....	60
4.7.2	Ráðstöfun affallsvatns.....	60
4.7.3	Efnasamsetning og hitastig affallsvatns.....	61
4.7.4	Umfang gaslosunar .....	61
4.7.5	Skipulagsmál og iðnaður.....	61
4.8	Samantekt .....	62
4.8.1	Vinnsla og framleiðsla .....	62
4.8.2	Affallsvatn.....	63
4.8.3	Gaslosun.....	65
4.8.4	Skipulagsmál og iðnaður.....	66
<b>5</b>	<b>Niðurstöður og umræða .....</b>	<b>69</b>
5.1	Affallsvatn .....	69
5.1.1	Skiljuvatn .....	70
5.1.2	Þéttivatn .....	71
5.1.3	Kælivatn.....	71
5.2	Útblástur .....	71
5.3	Iðnaður.....	73
5.4	Takmarkanir og tillögur.....	74
<b>6</b>	<b>Greining á viðskiptahugmynd: geoSilica Iceland ehf. – Heilsudrykkur úr affallsvatni .....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Ályktun .....</b>	<b>77</b>
	<b>Heimildir .....</b>	<b>79</b>
	<b>Viðauki I – Efnagreining vatns og gufu.....</b>	<b>91</b>
	<b>Viðauki II – Efnagreining affallsvatns .....</b>	<b>92</b>
	<b>Viðauki III – Umhverfismörk málma í yfirborðsvatni .....</b>	<b>93</b>
	<b>Viðauki IV – Gasútblastur á orkuvinnslueiningu .....</b>	<b>94</b>

# Myndir

Mynd 1: Þróun frumorkunotkunar á Íslandi eftir orkugjöfum á árunum 1940-2011 (OS, 2013).....	1
Mynd 2: Flekarek Norður- Ameríkuflekans og Evrasíuflekans í sundur (Þjóðgarðurinn á Þingvöllum, e.d.).....	6
Mynd 3: Háhita- og lághitasvæði á Íslandi. Sjá má að háhitasvæðin eru öll á virka gosbeltinu þar sem berggrunnurinn er yngstur. Jarðskorpan fer svo kólnandi eftir því sem lengra er komið frá gosbeltinu en þar er bergið jafnframt eldra (Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson, 2009).....	7
Mynd 4: Línurit Baldurs Línalds (e. Lindal diagram) frá 1973 sýnir til hvers konar nota heitt vatn eða gufa hentar við mismunandi hitastig, allt frá raforkuvinnslu við hæstu hitastigin til fiskeldis við lægstu hitastigin.....	8
Mynd 5: Jarðhitanotkun á Íslandi eftir notkunarflokkum árið 2011 (OS, 2013).....	9
Mynd 6: Orkuflæði jarðhita árið 2008. Frumorku jarðhita má sjá til vinstri á mynd og notorku jarðhita til hægri. Þá nam frumorkunotkun (frumorkuvinnsla að frárdreginni niðurdælingu) 144,2 PJ, notorka 39,1 PJ og ónýttur varmi og töp (frumorka að frárdreginni notorku) 105,0 PJ. Frumorkuvinnsla jarðvarmavirkjana nam 121,1 PJ og þar af voru 14,5 PJ umbreytt í raforku og 11,9 PJ fóru til hitaveitna, en 6,6 PJ var niðurdælt aftur niður í jarðhitakerfin. Viðmiðunarástand er við 15°C og 1 bar <sub>a</sub> (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).....	10
Mynd 7: Þróun heildarflatarmáls gróðurhúsa árin 1925-2008 (Orkuspárnefnd, 2010).....	13
Mynd 8: Skipting flatarmáls gróðurhúsa eftir framleiðslu (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).....	14
Mynd 9: Slátrun framleiðslu í íslensku fiskeldi á árunum 1985-2012 (LF, e.d.;Valdimar I. Gunnarsson, 2004).....	17
Mynd 10: Bundin varmaorka og varmastreymi í gegnum Ísland. Á myndinni er búið að samsetja á myndrænan hátt mat Guðmundar Pálmasonar o.fl. (1985) og Gunnars Böðvarssonar (1982). Inn í kassanum er mat Guðmundar Pálmasonar o.fl. á stærð auðlindarinnar. Utan við kassann má sjá skiptingu árlegs varmastreymis upp undir Ísland skv. mati Gunnars Böðvarssonar (Jónas Ketilsson o.fl. 2009). Til að auðvelda samanburð er $1 \text{ GW}_{\text{th}} = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ GJ} = 31,536 \text{ PJ}$ .....	23
Mynd 11: Uppsett afl jarðvarmavirkjana á heimsvísu árið 2010 (Bertani, 2010).....	27

Mynd 12: Dæmi um framleiðsluferli eimsvalastöðvar með opinn eimsvala (Mburu, 2009).....	31
Mynd 13: Línurit sem sýnir leysni kísils í vatni. Útfelling (e. scaling) verður þegar styrkur kísils í vatni er fyrir ofan ferilinn sem sýnir styrk ókristallaðs kísils (e. amorphous silica) (Sverrir Þórhallsson, 2011).....	32
Mynd 14: Bjarnarflag, Reykjahlíð og nágrenni. Á myndinni má sjá orkuvinnslusvæðin 319-I og 327-I auk iðnaðarsvæðisins 369-I. Einnig má sjá Bjarnarflagslón norðan við Þjóðveg 1, Jarðböðin við Mývatn og náttúruperluna Hverarönd (Teiknistofa Arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013b).....	40
Mynd 15: Ásýnd orkuvinnslu- og iðnaðarsvæða eftir byggingu fyrirhugaðrar Bjarnarflagsvirkjunar (Breytt mynd úr Landsvirkjun o.fl., 2011). .....	41
Mynd 16: Skilgreint orkuvinnslusvæði við Kröflu, alls 1.513 ha. Svæðið nýtist þó ekki nema að hluta því að afmörkuð svæði innan þess njóta hverfisverndar á grunni náttúrufars og austasti hluti svæðisins nýtur vatnsverndar, en grunnvatn fyrir virkjunina er sótt þar í lindir við Sandabotna. Þá eru Víti og Leirhnjúkur vinsælir áfangastaðir ferðamanna (Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013b).....	44
Mynd 17: Skilgreind iðnaðarsvæði í Grindavík. Svæði i1 er orkuvinnslusvæðið í Svartsengi og hýsir svæðið nú þegar orkutengdan iðnað og starfsemi. Á svæði i6 er fiskeldisstöð. Svæði i4 og i5 eru ónýtt í dag en gætu hæglega hýst orkutengdan iðnað í framtíðinni. Svæði i9 er ónýtt í dag en gæti hýst iðnað tengdum Reykjanesvirkjun (Breytt mynd úr Vinnustofan Þverá, 2011). .....	48
Mynd 18: Orkuvinnslusvæðið á Reykjanesi. Eins og sjá má nær svæðið yfir til Grindavíkurbæjar (Loftmyndir, e.d.). .....	52
Mynd 19: Orkuvinnslusvæði Nesjavallavirkjunar. Nálæg svæði eru hugsuð útivist og frístundabyggð (Grímsnes- og Grafningshreppur, 2009). .....	55
Mynd 20: Deiliskipulagsuppráttur fyrir iðnaðarsvæðið á Hellisheiði. Svæðið er 112 ha að stærð. Inn á myndina er búið að teikna upp fyrirhugað gróðurhús GeoGreenhouse (Teiknistofan Storð, 2012). .....	59
Mynd 21: Iðnaðarsvæðið Hrísmói (I5), smáhýsasvæðið (F1) og Kaldbakstjarnir. Húsavík er norður af myndinni (Ráðgjafarfyrtækið Alta, 2010). .....	62

# Töflur

Tafla 1: Framboð á grænmeti án kartafla á íslenskum markaði, mælt í kg á íbúa. Sjá má að framboð af grænmeti á hvern íbúa hefur aukist talsvert síðan árið 1991. Aukninguna má fyrst og fremst skýra með auknu framboði af erlendu grænmeti og hefur því hlutdeild innlendrar framleiðslu dregist saman á tímabilinu (BÍ, 2010).....	15
Tafla 2: Framleiðni gróðurhúsa (kg/m <sup>2</sup> ) jókst mikið með tilkomu raflýsingar og aukinni þekkingu á beitingu hennar (Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2010).....	15
Tafla 3: Jarðvarmavirkjanir á Íslandi, helstu upplýsingar.....	20
Tafla 4: Mat á rafafli háhitasvæða til 50 ára. Samanburður á mati Guðmundar Pálmasonar o.fl. (1985) og mati Jónasar Ketilssonar o.fl. (2009) (Jónas Ketilsson o.fl., 2009).....	24
Tafla 5: Flokkun virkjunarkosta í jarðvarma skv. samþykktri þingsályktunartillögu 13/141 frá árinu 2013. ....	25
Tafla 6: 10 fremstu jarðhitapjódur í heimi árið 2010, m.t.t. beinnar notkunar, raforkuvinnslu og heildar jarðhitanotkunar. ....	26
Tafla 7: Jarðhitanotkun eftir flokkum á heimsvísu borin saman við Ísland fyrir árið 2010. ....	27
Tafla 8: Helstu upplýsingar um Bjarnarflagsstöð (Landsvirkjun, 2011). ....	37
Tafla 9: Förgun affallsvatns frá Bjarnarflagsstöð árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).....	38
Tafla 10: Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Bjarnarflagi árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).....	39
Tafla 11: Helstu upplýsingar um Kröfluvirkjun (Landsvirkjun, 2011).....	41
Tafla 12: Förgun affallsvatns frá Kröfluvirkjun árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).....	42
Tafla 13: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Kröfluvirkjun árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).....	43
Tafla 14: Helstu upplýsingar um Orkuverið í Svartsengi (Albert Albertsson o.fl., 2010).....	45
Tafla 15: Förgun affallsvatns frá Svartsengi árið 2011 (HS Orka, 2012, óbirt gögn). ....	46

Tafla 16: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Svartsengi árið 2011 (Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012b).....	47
Tafla 17: Helstu upplýsingar um Reykjanesvirkjun (Albert Albertsson o.fl., 2010). .....	49
Tafla 18: Förgun affallsvatns frá Reykjanesvirkjun árið 2011 (HS Orka, 2012, óbirt gögn).....	49
Tafla 19: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Reykjanesvirkjun árið 2011 (Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012a). .....	51
Tafla 20: Helstu upplýsingar um Nesjavallavirkjun (OR, 2006).....	52
Tafla 21: Förgun affallsvatns frá Nesjavallavirkjun árið 2011 (Gögn úr Einar Gunnlaugsson, 2012b; OR, 2012, óbirt gögn).....	53
Tafla 22: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Nesjavallavirkjun árið 2011 (Einar Gunnlaugsson, 2012b). .....	55
Tafla 23: Helstu upplýsingar um Hellisheiðarvirkjun (Einar Gunnlaugsson, 2012c). .....	56
Tafla 24: Förgun affallsvatns frá Hellisheiðarvirkjun árið 2011 (Einar Gunnlaugsson, 2012a). .....	57
Tafla 25: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Hellisheiði árið 2011 (Einar Gunnlaugsson, 2012a). .....	58
Tafla 26: Helstu upplýsingar um Húsavíkurvirkjun (Þórhallur Bjarnason, 2002 og Guðrún E. Jónsdóttir, 2011).....	60
Tafla 27: Vinnsla og framleiðsla íslenskra jarðvarmavirkjana árið 2011. ....	63
Tafla 28: Heildarráðstöfun skiljuvatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011. ....	64
Tafla 29: Heildarráðstöfun þéttivatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011. ....	64
Tafla 30: Heildarráðstöfun kælivatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011. ....	65
Tafla 31: Heildarlosun íslenskra jarðvarmavirkjana á óþéttanlegum lofttegundum árið 2011. ....	66
Tafla 32: Iðnaðar- og orkuvinnslusvæði við jarðvarmavirkjanir. ....	67
Tafla 33: Yfirlit yfir fjölþætta nýtingu við virkjuð orkuvinnslusvæði landsins. ....	68
Tafla 34: Heildarráðstöfun affallsvatns (skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn) frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011. ....	70
Tafla 35: Heildarráðstöfun útblásturs íslenskra jarðvarmavirkjana árið 2011. ....	72



## **Þakkir**

Ég vil koma á framfæri sérstökum þökkum til Orkurannsóknarsjóðs Landsvirkjunar fyrir fjárstuðning, leiðbeinendum mínum Ragnheiði I. Þórarinsdóttur og Rúnari Unnþórssyni fyrir góð ráð og þolinmæði og geoSilica Iceland ehf. fyrir gott samstarf. Einnig vil ég þakka viðmælendum og öðrum sem hjálpuðu til við gagna- og upplýsingaöflun.



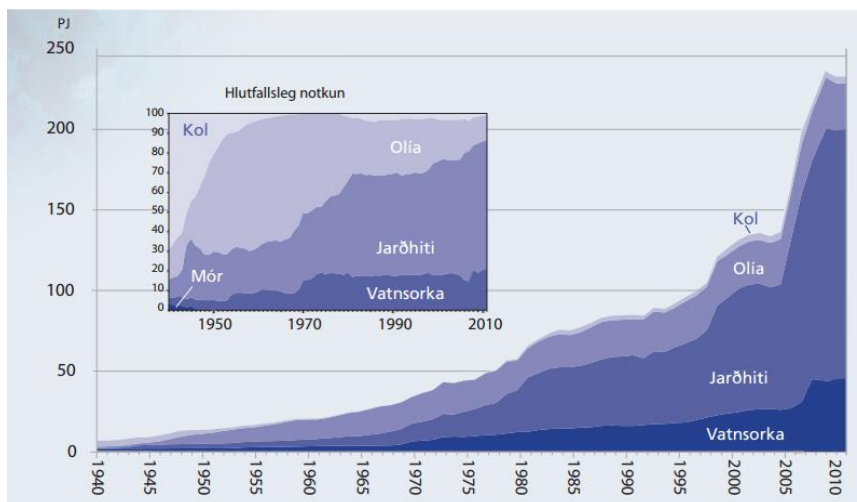


# 1 Inngangur

Jarðhiti er mikilvægasta orkulind okkar Íslendinga og einhver mesta auðlind þjóðarinnar. Framan af var nýting jarðhita staðbundin og takmörkuð en með bættri tækni og aukinni þekkingu á auðlindinni hefur umfang og fjölbreytni notkunar aukist (Guðmundur Pálmason, 2005).

Aukin jarðhitanotkun hér á landi hefur haft í för með sér bætt lífskjör. Árlega sparast milli 50-80 milljarðar króna við það eitt að nota jarðhita í stað innfluttrar olíu til kyndingar híbýla og þá er ótalinn allur annar efnahagslegur ávinningur vegna annarra nota s.s. raforkuvinnslu, fiskeldis, ylræktar og iðnaðar (Ingimar G. Haraldsson, Þóra H. Þórisdóttir og Jónas Ketilsson, 2010). Ódýr orka er einmitt frumforsenda þess að hér sé hægt að stunda ýmsan atvinnurekstur á arðbæran hátt. Jarðefnaeldsneytin olía, kol og jarðgas eru langalgengustu orkugjafar heims en með notkun jarðhita í stað þeirra má draga margfalt úr losun gróðurhúsalofttegundarinnar koldíoxíðs (Bloomfield, Moore og Neilson, 2003). Notkun jarðhita í stað jarðefnaeldsneytis er því ein af ástæðum lítillar loftmengunar í þéttbýli hér á landi (Ingvar B. Friðleifsson, 2001). Þá hafa sundstaðir og heitar lindir löngum verið notaðar til heilsubóta og skemmtunar. Því er óhætt að segja að nýting jarðhita hafi haft hér jákvæð áhrif á samfélag, umhverfi og efnahag.

Frumorkunotkun á Íslandi á hvern íbúa er með því allra mesta sem þekkt í heiminum og koma 66% orkunnar frá jarðhita og 19% frá vatnsorku. Þetta þýðir að innlendir orkugjafar fullnægja 85% af frumorkuþörf landsins en innflutt jarðefnaeldsneyti 15%. Jarðefnaeldsneyti nota Íslendingar aðallega til samganga og fiskveiða. Á mynd 1 má sjá þróun frumorkunotkunar á Íslandi frá árinu 1940. Helsta ástæða mikillar orkunotkunar hér á landi er gríðarleg raforkunotkun stóriðju, en stóriðja notar 80% af allri framleiddri raforku (Orkustofnun [OS], 2013). Árið 2011 nam heildar raforkuvinnsla 17.210 GWst sem þýðir að raforkunotkun á hvern íbúa er langtum meiri hér á landi en annars staðar í heiminum eða 53,9 MWst. Til samanburðar er raforkunotkun á hvern íbúa í Bandaríkjunum 13,3 MWst og 6,3 MWst í Danmörku (OS, 2012).



Mynd 1: Þróun frumorkunotkunar á Íslandi eftir orkugjöfum á árunum 1940-2011 (OS, 2013).

Fyrsta jarðvarmavirkjunin á Íslandi var reist árið 1969 þegar 3 MW<sub>e</sub> notaður hverfill, úr enskri sykurverksmiðju, var settur upp í Bjarnarflagi í Mývatnssveit (Guðmundur Pálmason, 2005). Í dag er Bjarnarflagsstöð enn í rekstri og jarðvarmavirkjanirnar alls orðnar sjö. Samanlagt uppsett rafafli þeirra er 663 MW<sub>e</sub> (OS, 2013) sem gerir Ísland að einni mestu raforkuvinnsluþjóð úr jarðhita á heimsvísu (Bertani, 2010).

Á Íslandi er 99,99% allrar raforku unnin úr endurnýjanlegum orkugjöfum á fremur hagkvæman hátt. Rúmlega 27% eru unnin úr jarðhita á meðan tæplega 73% eru unnin úr vatnsorku (OS, 2013). Til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og auka samkeppnishæfni vistvænni orkugjafa hafa víða erlendis verið settir á kolefnisskattar eða kvóti á losun koldíoxíðs (Ingimar G. Haraldsson o.fl., 2010). Þetta hefur gert það að verkum að Ísland er samkeppnishæfur valkostur fyrir alþjóðlegan orkufrekan iðnað.

Þrátt fyrir að raforkuvinnsla úr jarðhita sé umhverfisvænni en raforkuvinnsla úr jarðefnaeldsneyti eru jarðvarmavirkjanir ekki lausar við mengun. Frá þeim kemur gríðarlegt magn af affallsvatni sem er heitt og inniheldur uppleyst efni. Affallsvatnið getur því bæði mengað grunnvatn og haft skaðleg áhrif á dýr og gróður. Loftmengun frá virkjununum er einnig umtalsverð en þær losa lofttegundirnar koldíoxíð og brennisteinsvetni í talsverðum mæli. Áður fyrr var orkufyrirtækjum hér á landi nánast engin skilyrði sett varðandi förgun affallsstrauma frá virkjunum en með aukinni umhverfisvitund hafa skilyrðin verið hert, sérstaklega síðustu ár. Til að mynda hafa orkufyrirtækin frest til 1. júlí 2014 til að bregðast við nýrri reglugerð (nr. 514/2010) um hámarksstyrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti. Orkuveita Reykjavíkur hefur þó fengið undanþágu til tveggja ára frá kröfum í reglugerðinni (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2014). Ljóst má vera að hertar kröfur munu hafa í för með sér aukinn kostnað við núverandi raforkuvinnslu úr jarðhita og hækka stofnkostnað nýrra fyrirhugaðra jarðvarmavirkjana. Á endanum mun þetta líklega skila sér í hærra raforkuverði til notenda eða að aðrir orkugjafar, s.s. vatnsorka eða vindorka verða frekar fyrir valinu við raforkuvinnslu.

Við raforkuvinnslu úr jarðhita nýtist aðeins brot af frumorkunni sem tekin er úr jörðu við vinnsluna. Íslenskar jarðvarmavirkjanir nýta aðeins um 10-15% af frumorkunni við raforkuvinnslu en fræðileg hámarksnýtni fyrir raforkuvinnslu á háhitasvæði er á bilinu 30-40% (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Fyrst og fremst eru það kísilútfellingar sem verða þegar jarðhitavökvinn kólnar sem takmarka nýtnina og gera það að verkum að farga þarf jarðhitavatni sem inniheldur enn mikla varmaorku eða eiga það á hættu að útfellingar stífla pípur með tilheyrandi vinnslustoppi og kostnaði. Með varmaskiptum má framleiða heitt vatn til hitaveitu samhliða raforkuvinnslu og auka þar með frumorkunýtni virkjana en bein nýting jarðhita hefur mun betri nýtni en raforkuvinnsla (Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson, 2003, 2005). Þar sem takmörkuð þörf hefur verið fyrir aukið heitt vatn í nágrenni við nýjustu virkjanirnar á Hellsheiði og Reykjanesi er nýtni þeirra ekki eins góð og kostur er.

Slæm frumorkunýtni virkjana og sú staðreynd að auðlindin endurnýjar sig hægt hefur gert það að verkum að kallað hefur verið eftir bættri og sjálfbærri nýtingu hennar. Fjölmargar skýrslur hafa verið gefnar út um mögulega notkun auðlindarinnar m.a. af Orkustofnun (1987, 1989) og Rannsóknarráði ríkisins (1974, 1992). Einnig skrifaði Sveinbjörn Björnsson, fyrrverandi háskólarektor, eftirtektarverða grein í Morgunblaðið í desember 1969 þar sem hann bendir á möguleika til nýtingar jarðhita og nefnir þar m.a. fiskeldi, gróðurhús, frostþurrkun og þörungaráættun. Öll þessi dæmi eiga enn við í dag og er auðséð

að bætt nýting auðlindarinnar hefur óumdeilda kosti hvort sem horft er til umhverfis-, sjálfbærni- eða efnahagslegra sjónarmiða. Mikilvægt er því að finna ónýttu affallsvatni og útblæstri virkjana, sem hingað til hefur að mestu verið litið á sem mengun, farveg til verðmætasköpunar og þar með auka fjölbreytni og hagkvæmni notkunar auðlindarinnar. Slík nýting ætti einnig að stuðla að lægra raforkuverði.

Iðnaður tengdur orkuframleiðslu hefur sprottið upp í nágrenni við jarðvarmavirkjanirnar í Svartsengi, Reykjanesi og Bjarnarflagi. Umfangsmestur er iðnaður tengdur Orkuverinu í Svartsengi en þar er nú kjarni fyrirtækja sem nýtir orku, heitt og kalt vatn og annað sem kemur frá virkjuninni. Meðal fyrirtækja þar er Bláa Lónið sem er margverðlaunað og heimsþekkt fyrirtæki með öflugra heilsutengda ferðaþjónustu. Baðlónið sjálf, sem er einn vinsælasti ferðamannastaður landsins, er myndað úr affallsvatni virkjunarinnar. Bláa Lónið ræktar einnig þörungum sem notaðir eru í húðvörur ásamt kísli og öðrum steinefnum úr baðvatninu. Úr útblæstri virkjunarinnar vinnur Carbon Recycling International metanól til íblöndunar bensíns en útblásturinn nýtist einnig við þörungaráæktun Bláa Lónsins. ORF líftækni notar hefðbundnari vörur virkjunarinnar, en líftæknifyrirtækið notar raforku og varma frá virkjuninni til ræktunar á erfðabreyttu byggi.

Það sem er að gerast í Svartsengi og víðar er mjög athyglisvert. Vert er að taka saman á einn stað hvað er í gangi við jarðvarmavirkjanir landsins og meta hvaða tækifæri eru þar vannýtt. Til að mynda hljóta að liggja tækifæri í þeim milljónum tonna af heitu affallsvatni sem virkjanirnar losa ár hvert. Hingað til hefur ekki verið sérstök þörf á að nýta varmann úr affallsvatninu þar sem víðast er gnótt framboð af ódýru heitu vatni af miklum gæðum. Hins vegar eru í affallsvatninu verðmæt efni eins og kísill sem nota má t.d. til iðnaðar eða í dýrari afurðir eins og heilsu- eða snyrtivörur. Sprotafyrirtækið geoSilica Iceland ehf. býr yfir sérstakri þekkingu og tækni til að hreinsa óæskileg efni úr affallsvatni og stefnir á framleiðslu heilsutengdra afurða úr affallsvatni jarðvarmavirkjana.

## 1.1 Markmið

Markmið ritgerðarinnar er að taka saman á einn stað upplýsingar um affallsvatn og útblástur jarðvarmavirkjana á Íslandi. Gerð er grein fyrir umfangi og ráðstöfun affallsvatns eftir tegundum (skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn) auk efnasamsetningar og hitastigs. Þá er fjallað um umfang gaslosunar og iðnað sem hefur sprottið upp í tengslum við virkjanir, auk þess að gera orkuvinnslusvæðum virkjana og nærliggjandi iðnaðarsvæðum skil. Slík svæði gætu í frekari mæli hýst klasa af iðnifyrirtækjum sem kaupa raforku og varma frá virkjunum til framleiðslu, og gætu jafnvel nýtt affallsvatn eða útblástur virkjana eða affall hvert frá öðru t.d. í matvælaíðnaði, ylrækt, fiskeldi, líftækni, efnaiðnaði, pappírsvinnslu o.fl. Fyrirtækin gætu deilt kostnaði við sameiginlegar þarfir eins og raforkuvirki og varmakerfi. Ætla má að starfsemi slíkra fyrirtækja geti stuðlað að bættri nýtingu jarðhitaauðlindarinnar og þar með haft í för með sér bæði efnahagslegan og umhverfislegan ávinning auk þess að auka samkeppnishæfni jarðhitans sem orkugjafa.

Til þess að ná markmiði ritgerðarinnar verður leitað svara við eftirfarandi spurningum:

1. *Hversu mikið affallsvatn (skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn) kemur frá íslenskum jarðvarmavirkjunum? Hver er nýting þess?*
2. *Hversu mikill útblástur óþéttanlegra lofttegunda kemur frá íslenskum jarðvarmavirkjunum? Hvernig ráðstafast lofttegundirnar?*

### 3. Eru tækifæri fyrir nýjan orkutengdan iðnað við jarðvarmavirkjanir?

Eftir að þessum spurningum hefur verið svarað er tekið fyrir eitt sértilfelli um mögulega nýtingu á affallsvatni í samvinnu við sprotafyrirtækið geoSilica Iceland ehf., sem hyggur á framleiðslu heilsudrykks úr affallsvatni Hellisheiðarvirkjunar. Gerð var viðskiptaáætlun fyrir framleiðsluna þar sem m.a. var lagt mat á arðbærni.

## 1.2 Uppsetning ritgerðar

Ritgerðin skiptist í sjö kafla. Fyrsti kafli er þessi inngangur.

Annar kafli er samantekt á stöðu jarðhita á Íslandi. Fjallað er um uppruna, sjálfbærni, stærð og staðsetningu jarðhitaauðlindarinnar. Þá er farið er yfir nýtingu jarðhita hér á landi, bæði beina notkun og óbeina notkun eins og t.d. raforku- og efnavinnslu. Loks er nýting jarðhita hér á landi borin saman við nýtingu annarra jarðhitapjóða.

Þriðji kafli er stutt útskýring á því hvernig jarðvarmavirkjanir vinna raforku úr jarðhita með það að markmiði að almennir lesendur skilji hvers vegna óæskilegar *aukaafurðir* eins og affallsvatn og jarðhitagas myndast við framleiðsluna. Farið er yfir hvernig affallsvatni er fargað eftir nýtingu og hvernig er staðið að losun jarðhitagass.

Fjórði kafli er samantekt á starfsemi íslenskra jarðvarmavirkjana. Þar er gerð er grein fyrir vinnslu og framleiðslu, affallsvatni og útblæstri, orkutengdum iðnaði og skipulagi orkuvinnslusvæða og nærsvæða hvernir virkjunar fyrir sig. Í lok kaflans er svo samantekt þar sem helstu upplýsingar og tölur fyrir virkjanirnar eru dregnar saman bæði til að auðvelda samanburð á milli virkjana og til að sjá heildarumfang affallsvatns, útblásturs og nýtanlegs iðnaðarsvæðis í nágrenni jarðvarmavirkjana hér á landi. Slíkar upplýsingar hafa ekki áður verið teknar saman á einn stað auk þess sem að svo nákvæmar upplýsingar um umfang og ráðstöfun affallsvatns frá jarðvarmavirkjunum hafa ekki áður verið aðgengilegar. Upplýsingarnar eru að stærstum hluta fengnar úr skýrslum orkufyrirtækjanna, OS, ÍSOR og fræðimanna en upplýsingar um skipulagsmál koma úr aðal- og deiliskipulögum sveitarfélaga. Í þeim tilfellum þar sem skjalfestar heimildir skorti var leitað til sérfróðra aðila í samtölum eða með tölvupósti.

Í fimmta kafla eru niðurstöður og umræður. Þar er rannsóknarspurningum svarað og takmörkunum ritgerðarinnar gerð skil. Lagt er mat á núverandi nýtingu affallsvatns og útblásturs virkjana, hvað er gert vel og hvað má gera betur. Loks eru lagðar fram tillögur að þáttum sem rannsaka þarf betur.

Sjötti kafli er sértilfelli um nýtingu á affallsvatni frá Hellisheiðarvirkjun. Arðbærni þess að vinna kísilríkan heilsudrykk úr affallsvatni virkjunarinnar er metin í viðskiptaáætlun í samvinnu við sprotafyrirtækið geoSilica Iceland ehf. Í viðskiptaáætluninni er meðal annars gerð grein fyrir fyrirtækinu, vörunni og viðskiptamódelinu. Einnig eru sölumál, markaðsmál og samkeppni skoðuð auk þess sem settar eru fram áætlanir fyrir framkvæmdir, sölu og kostnað. Sjötti kaflinn er birtur í sér riti, hluta II. Til að vernda einkaleyfishæfa hugmynd og viðkvæmar upplýsingar verður hluti II lokaður.

Í sjöunda kafla eru dregnar fram helstu ályktanir af niðurstöðum þessarar ritgerðar.

## 2 Jarðhiti á Íslandi

Í þessum kafla er samantekt á stöðu jarðhita á Íslandi sem er einhver mesta og mikilvægasta auðlind þjóðarinnar. Gerð er grein fyrir uppruna, eðli, sjálfbærni, stærð og staðsetningu jarðhitaauðlindarinnar. Auk þess sem farið er yfir umfang og fjölbreytileika jarðhitanotkunar hér á landi og hún borin saman við notkun annarra jarðhitaþjóða.

### 2.1 Hvað er jarðhiti?

„Jarðhiti er eftir bókstaflegri merkingu orðsins sá hiti í jörðinni sem er umfram þann hita sem ríkir við yfirborð jarðar“ (Guðmundur Pálmason, 2005, bls. 15).

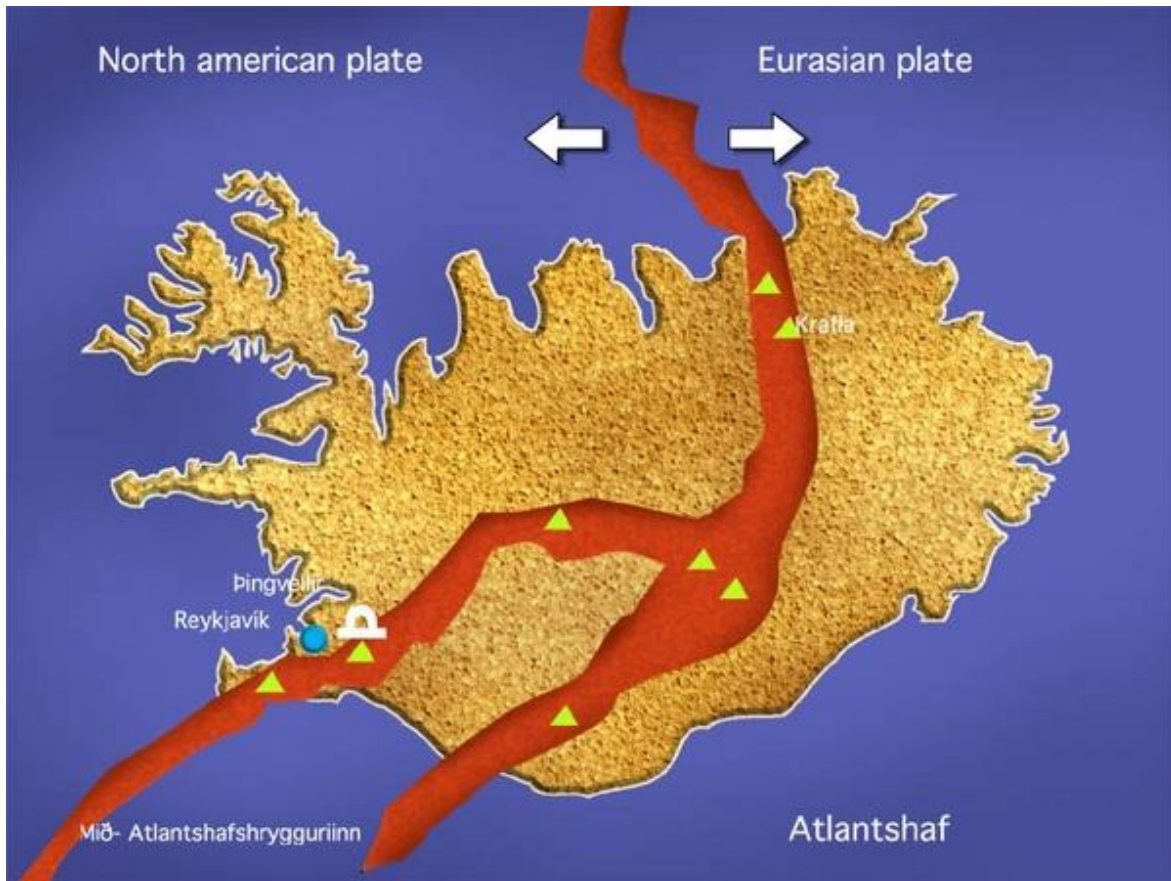
Heitar lindir og eldgos komu mönnum snemma í skilning um að hita sé að finna í jörðinni og að hann fari vaxandi eftir því sem dýpra er farið undir yfirborðið. Aukin nýting jarðhita í seinni tíð hefur orðið til þess að merking orðsins hefur þrengst. Í dag er það fyrst og fremst notað um það fyrirbæri er heitt vatn og gufa kemur upp úr jörðu á jarðhitasvæðum (Guðmundur Pálmason, 2005).

### 2.2 Jarðhitasvæði

#### 2.2.1 Uppruni

Hiti í jörðinni er til kominn vegna hægfara kólnunar jarðar og niðurbrots geislavirkra samsætra aðallega úrans, þóríums og kalíums. Við niðurbrot þessara geislavirku efna verður til varmaorka. Varmi sem myndast í iðrum jarðar streymir til yfirborðsins með varmaleiðni eða flyst með kviku upp í efri jarðlög þar sem kvikan kólnar og storknar (Lowrie, 2007). Ef grunnvatn nær að síga djúpt niður í jörðu og komast þar með í snertingu við heitt berg eða kvikuinnskot léttist vatnið og leitar aftur upp á yfirborðið. Slík hringrás grunnvatns leiðir til myndunar jarðhitakerfa (Guðmundur Pálmason, 2005).

Ísland er jarðfræðilega ungt land sem liggur á flekaskilum á milli Norður-Ameríkuflekans og Evrasíuflekans, svokölluðum Mið-Atlantshafshrygg, en landið myndaðist við rek flekanna í sundur (sjá mynd 2). Hreyfing flekanna veldur eldvirkni og jarðhræringum sem skapa kjöraðstæður fyrir kvikuinnskot á leið upp í gegnum jarðskorpuna með tilheyrandi eldvirknihita. Þá gera tíðir jarðskjálftar jarðskorpuna sprungna og leka. Hér á landi eru því frábærar aðstæður til jarðhitanýtingar. Yfirborðsvatn sígur auðveldlega djúpt niður í jörðu í gegnum sprungið og lekt bergið þar sem það hitnar og súrnar. Heitt og súrt vatnið leysir upp efni úr berginu sem það kemst í snertingu við og inniheldur því talsvert af uppleystum efnnum en styrkur efnanna fer eftir hitastigi og gerð þeirra berglaga sem vatnið leikur um. Þessi uppleystu efni geta valdið útfellingum, þegar nálgast tekur yfirborðið, sem þetta yfirborðsjarðlög og mynda jarðhitageyma. Vatn sem ekki nær upp á yfirborðið og festist í jarðhitageymum má oft sækja með borunum, en vatn sem ekki festist í jarðhitageymum kemur upp um sprungur eða hverir á yfirborðinu (Guðmundur Pálmason, 2005).



Mynd 2: Flekarek Norður- Ameríkuflekans og Evrasíuflekans í sundur (Þjóðgarðurinn á Þingvöllum, e.d.).

### 2.2.2 Flokkun svæða

Jarðhitasvæðum er gjarnan skipt í tvo meginflokka eftir hitastigi, háhita- og lághitasvæði. Áður voru svæði aðallega flokkuð eftir útliti og yfirborðseinkenum sem ráðast fyrst og fremst af hitastigi svæðanna og efnainnihaldi vökvans í jarðhitageyminum undir svæðinu (Guðmundur Pálmason, 2005). Yfirborðseinkenni háhitasvæða eru helst mikil ummyndun bergs auk gufu- og leirhveru á meðan laugar, hverir og lítil sem engin ummyndun bergs einkennir lághitasvæði (Guðbjartur Kristófersson, 2003). Gunnar Böðvarsson (1961) skipti jarðhitasvæðum á Íslandi í flokka með nýrri skilgreiningu. Svæði með jarðhita undir 150°C flokkaði hann sem lághitasvæði og þau með jarðhita yfir 200°C sem háhitasvæði. Ingvar B. Friðleifsson (1979) þrengdi skilgreiningu Gunnars og sagði að hiti í borholum á háhitasvæðum ofan 1000 m dýpis væri yfir 200°C en undir 150°C á sama dýpi á lághitasvæðum. Frekari boranir hafa leitt í ljós að til eru svæði sem samkvæmt skilgreiningu Ingvars eru hvorki háhitasvæði né lághitasvæði. Þessi svæði eru með hitastig ofan 1000 m dýpis yfir 150°C en undir 200°C og hafa verið kölluð sjóðandi lághitasvæði. Reykjaból í Hrunamannahreppi er dæmi um slíkt svæði (Stefán Arnórsson, 2011).

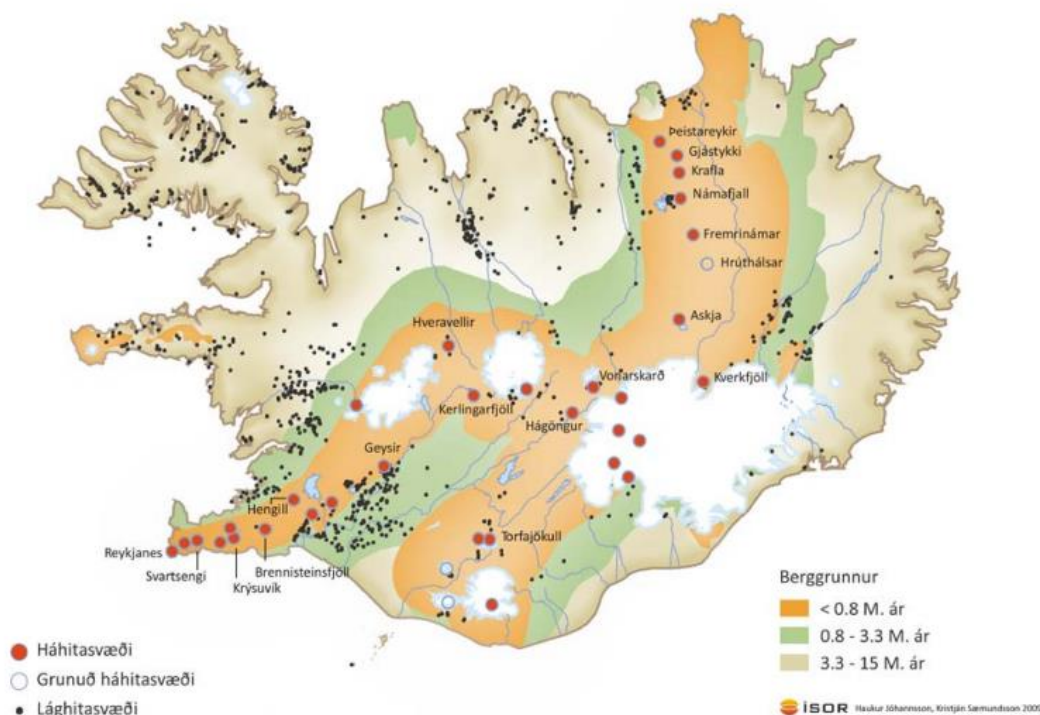
### 2.2.3 Háhitasvæði

Háhitasvæði á Íslandi eru á virka gosbeltinu en þar má víða finna hraunkviku á frekar litlu dýpi og jarðskorpan þar því heit. Jarðskorpan fer síðan kólnandi eftir því sem fjær dregur beltinu auk þess sem jarðlögin verða eldri og þéttari (sjá mynd 3). Erfitt er að segja

nákvæmlega til um fjölda háhitasvæða á Íslandi því mörk milli svæða geta verið óljós og því vandi að greina hvort tiltekið svæði sé í raun eitt stórt háhitasvæði eða tvö eða fleiri smærri svæði. Háhitasvæðin eru því á bilinu 25-40 á landi eftir því hvernig þau eru skilgreind og sum þeirra óaðgengileg undir jökli. Einnig finnast háhitasvæði undir sjó á Atlantshafshryggnum suður og norður af landinu (Íslenskar orkurannsóknir [ÍSOR], e.d.-a)

Háhitasvæði breytast með tímanum og er það örlög allra eldstöðvakerfa á Íslandi og þar með háhitakerfa að reka út úr gosbeltinu og kólna og verða að lághitasvæðum. Útkulnuð háhitasvæði má finna í gömlum berggrunni á Vestur-, Norður-, og Austurlandi (ÍSOR, e.d.-a).

Magn uppleystra efna í háhitavatni er umtalsvert meira en í grunnvatni eða vatni frá lághitasvæðum. Uppleystu efnin auka líkur á útfellingum og uppsöfnun óæskilegra efna í lagnakerfum (Stefán Arnórsson, 1974) og því er vatni frá háhitasvæðum almennt ekki veitt beint inn á hitaveitukerfi til beinnar notkunar heldur er það nýtt til upphitunar ferskvatns í varmaskiptum.



Mynd 3: Háhita- og lághitasvæði á Íslandi. Sjá má að háhitasvæðin eru öll á virka gosbeltinu þar sem berggrunnurinn er yngstur. Jarðskorpan fer svo kólnandi eftir því sem lengra er komið frá gosbeltinu en þar er bergið jafnframt eldra (Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson, 2009).

### 2.2.4 Lághitasvæði

Lághitasvæði eru fyrir utan gosbeltið þar sem jarðskorpan hefur rekið til hliðar og kólnað, þar er bergið eldra og þéttara. Dæmi frá Öxarfirði og Reykjanesi sanna þó að lághitasvæði geta verið innan gosbeltisins (ÍSOR, e.d.-b). Lághitasvæðin eru mjög misjöfn að stærð, þau eru talin vera um 250 talsins og finnast um allt land (Guðmundur Pálmason, 2005). Á mynd 3 má sjá að flest lághitasvæðin eru staðsett vestan eystra gosbeltisins og færri svæði

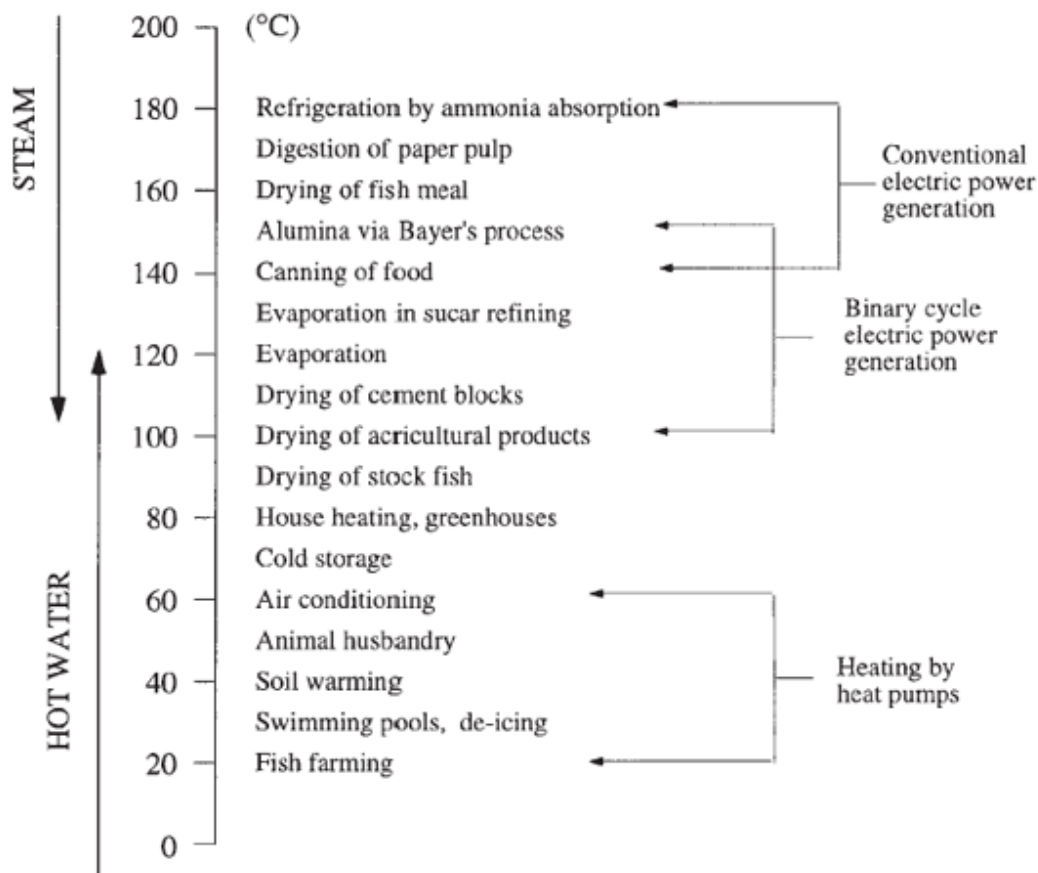
eru á Austur- og Suðausturlandi þrátt fyrir að bergið þar sé ekki eldra en til að mynda á Vestfjörðum. Vandamál þessara svæða er því ekki fólgið í kaldri jarðskorpu heldur frekar í skorti á vatni til þess að flytja varmann til yfirborðsins og svæðin því frekar þurr en köld (Guðmundur Pálmason, 2005).

Heitt vatn af lághitasvæðum hefur minni varmaorku en heitt vatn af háhitasvæðum. Hins vegar inniheldur lághitavatn mun minna af uppleystum efnum og hentar því betur til beinnar notkunar.

## 2.3 Nýting jarðhita

Jarðhita má nýta á fjölbreyttan hátt á meðan orka er enn í vatninu. Efnaverkfræðingurinn Baldur Línadal var brautryðjandi í athugunum á nýtingu jarðhita og setti fram frægt línurit yfir kröfur sem notkunarferlar gera til hitastigs á vatni og gufu í frægri grein sem hann skrifaði í rit á vegum Menningarmálastofnunar Sameinuðu þjóðanna (e. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO) árið 1973 (sjá mynd 4). Síðan þá hefur línuritið verið aukið og endurbætt en samt sem áður er það áfram kennt við upphafsmann sinn (Guðmundur Pálmason, 2005).

The Línadal Diagram

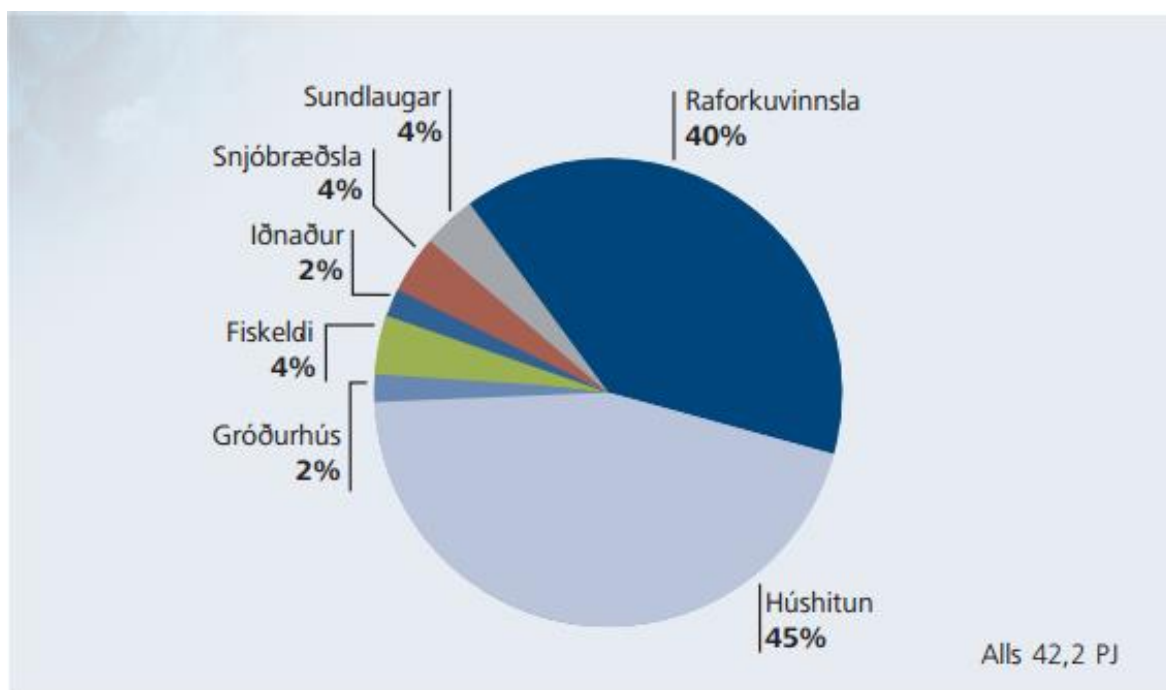


Mynd 4: Línurit Baldurs Línadals (e. Lindal diagram) frá 1973 sýnir til hvers konar nota heitt vatn eða gufa hentar við mismunandi hitastig, allt frá raforkuvinnslu við hæstu hitastigin til fiskeldis við lægstu hitastigin.



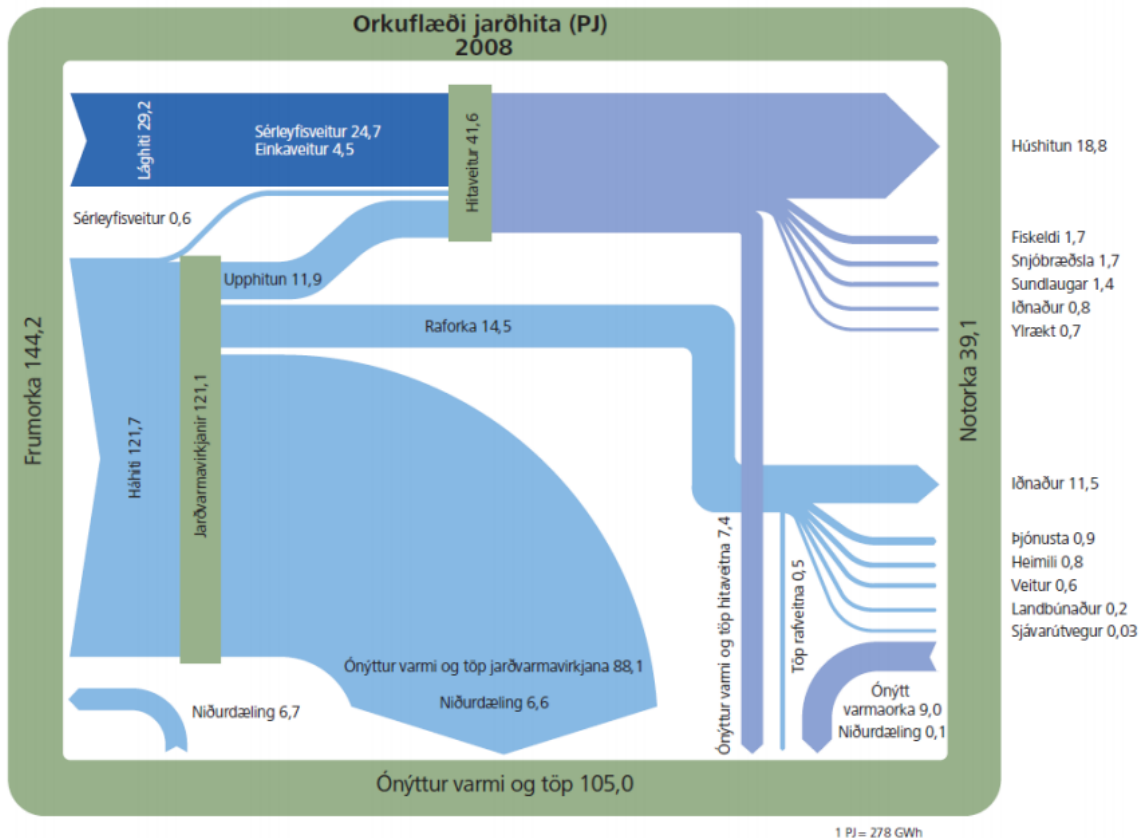
Notkun á jarðhita er almennt skipt í tvo flokka, beina og óbeina notkun. Orkustofnun flokkar beina notkun jarðhita í sex flokka: húshitun (húshitun), sundlaugar, snjóbræðsla, ylraekt (gróðurhús), fiskeldi og iðnað. Raforkuvinnsla flokkar Orkustofnun til óbeinnar notkunar því orkan er notuð á öðru formi.

Árið 2011 nam bein jarðhitanotkun 25,30 PJ ( $PJ = 10^{15} J$ ) og skiptist þannig að 18,80 PJ fóru í húshitun 1,75 PJ í fiskeldi, 1,70 PJ í snjóbræðslu, 1,55 PJ í sundlaugar, 0,80 PJ í iðnað og 0,70 PJ í ylraekt. Þá var jarðhitanotkun til raforkuvinnslu 16,92 PJ og hefur aukist gríðarlega síðastliðinn áratug, en jarðhitanotkun til raforkuvinnslu var aðeins 5,97 PJ árið 2005. Heildar jarðhitanotkun árið 2011 var 42,2 PJ (OS, 2013, e.d.-a). Á mynd 5 má sjá skiptingu jarðhitanotkunar á Íslandi árið 2011 eftir notkunarflokkum.



Mynd 5: Jarðhitanotkun á Íslandi eftir notkunarflokkum árið 2011 (OS, 2013).

Frumorka er sú orka sem berst með vatni eða gufu upp á yfirborðið en segir ekkert til um hvernig gengur að nýta orkuna. Notorka eða nýtt orka er sá hluti frumorku sem verður eftir hjá neytendum (Guðmundur Pálmason, 2005). Jarðhitanotkunin sem tilgreind er hér á undan er í raun notorka sem búið er að flokka eftir því hvernig nýtingu var háttað. Árið 2011 nam frumorkunotkun jarðhita 156,1 PJ og jarðhitanotkun 42,2 PJ sem þýðir að nýtni frumorkunnar var aðeins 27% (OS, 2013, e.d.-a). Jarðvarmavirkjanir nýta frumorkuna sérstaklega illa en íslenskar jarðvarmavirkjanir ná aðeins að nýta um 10-15% af frumorkunni til raforkuvinnslu og því nota virkjanir hér á landi árlega yfir 120 PJ af heildar frumorku frá jarðhita. Fræðileg hámarksnýtni háhitavatns til raforkuvinnslu liggur á bilinu 30-40%. Blandaðar virkjanir sem framleiða hitaveituvatn samhliða raforkuvinnslunni ná þó betri nýtni, en frumorkunýtni til hitaveitu er yfir 80%. Mynd 6 sýnir orkuflæði jarðhita árið 2008. Þar má sjá að 41,6 PJ var veitt til hitaveitna og þar af voru 7,4 PJ ónýttur varmi eða töp hitaveitna, því var notorkan 34,2 PJ sem gerir 82% nýtni (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).



Mynd 6: Orkuflæði jarðhita árið 2008. Frumorku jarðhita má sjá til vinstri á mynd og notorku jarðhita til hægri. Þá nam frumorkunotkun (frumorkuvinnsla að frádræginni niðurdælingu) 144,2 PJ, notorka 39,1 PJ og ónýttur varmi og töp (frumorka að frádræginni notorku) 105,0 PJ. Frumorkuvinnsla jarðvarmavirkjana nam 121,1 PJ og þar af voru 14,5 PJ umbreytt í raforku og 11,9 PJ fóru til hitaveitna, en 6,6 PJ var niðurdælt aftur niður í jarðhitakerfin. Viðmiðunarástand er við 15°C og 1 bar<sub>a</sub> (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu er metin jafngild raforkunni sem verður til við vinnsluna og skilar sér áfram til notanda í því orkuformi. Talsvert flóknara er að meta jarðhitanotkun til beinnar notkunar óháð notkunarflokki. Mjög mismunandi getur verið innan sama flokks við hvaða hitastig vatn (eða gufa) er tekin inn í kerfi og við hvaða hitastig því er skilað í formi bakrásarvatns (affallsvatns). Í skýrslu Ingimars G. Haraldssonar og Jónasar Ketilssonar (2010b) *Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna nota til ársins 2009* sem gefin var út af Orkustofnun má sjá hvaða aðferðum Orkustofnun beitir við mat á jarðhitanotkun í hverjum notkunarflokki en mismunandi forsendur liggja að baki mati hvers flokks.

Þegar talað er um fjölnýtingu jarðhita er átt við að stefnt sé að því að raða saman mismunandi notkunarviðum í takt við línurit Baldurs með það að markmiði að nýta sem mest af orkunni í vatninu. M.ö.o. að ná að nýta frumorku niður í umhverfishita. Dæmi um fjölnýtingu er t.d. þegar raforkuvinnsla og hitaveita fara saman eins og í Svartsengi, á Nesjavöllum og Hellisheiði. Annað hefðbundið dæmi um fjölnýtingu er þegar hitaveituvatn er nýtt til húshitunar og bakrásarvatnið frá húsinu til snjóbræðslu. Orkustofnun miðar við að hægt sé að nýta frumorku niður í 15°C en slíkt viðmiðið var sett til að auðvelda samanburð á milli landa (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010a).

Jarðhita má nýta bæði beint og óbeint á fjölbreyttari hátt en talað er um hér að ofan. Hér á eftir er jarðhitanotkun á Íslandi gerð nánari skil eftir notkunarflokkum. Bæði er hefðbundnum notkunarflokkum Orkustofnunar gerð frekari skil auk þess sem minna þekktum notkunar sviðum eru gerð skil.

### 2.3.1 Húsnotkun (húshitun)

Jarðhitanotkun til húshitunar og annarra húsnota mynda flokkinn húsnotkun. Önnur húsnot eru t.d. matseld, böð og þvottar. Flokkurinn tekur jafnt til íbúðarhúsnaðis sem annarra tegunda húsnaðis (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

Það var Stefán B. Jónsson bóndi í Mosfellssveit sem hóf árið 1908 fyrstur manna hér á landi að hita íbúðarhús sitt með hveravatni. Það var svo 1930 að farið var að veita heitu vatni úr Laugardalnum til upphitunar hífýla og markaði það upphaf Hitaveitu Reykjavíkur (Guðmundur Pálmason, 2005).

Í dag eru um 90% heimila á Íslandi hituð með jarðhita (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Árið 2011 nam orkunotkun jarðhita til húsnota 18,8 PJ sem er jafngild húsnotkun árið 2008 (OS, 2013; OS, e.d.-a), en þá nam orkunotkun húshitunar 15,5 PJ en annarra húsnotkunar 3,3 PJ (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

Húsnotkun hefur ekki aukist mikið síðustu áratugi miðað við höfðatölu sem bendir til þess að markaðurinn sé mettaður. Fjölmennar byggðir í færi við jarðhita hafa þegar hitaveitu og framlag nýrra veitna á *köldum* svæðum er hlutfallslega lítið. Því má gera ráð fyrir að aukning í húsnotkun fylgi mannfjöldapróun að mestu leyti, þó aðrir þættir, s.s. byggðapróun, verðlagning hitaveituvatns, einangrun húsa og takmörk húshitunar geti líka haft þar áhrif (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

### 2.3.2 Varmadælur

Varmadælur sem nýta jarðhita má nota til húshitunar, en varmadælur sem nota jarðhita sækja varma í vatn eða berg. Einnig eru til varmadælur sem sækja varma í lofthita en þær eru ekki til umfjöllunar hér. Allar varmadælur (líka loft/vatn og loft/loft varmadælur) virka á svipaðan hátt og kæliskápur, þ.e. þær flytja varma frá einum stað til annars eftir þörfum, og má því nýta bæði til upphitunar og kælingar. Líkt og kæliskápur þarf varmadæla þjöppu, eimsvala, mótstöðuloka, eimara, vinnslumiðil (sem sýður við lágt hitastig), rör og raforku til að knýja kerfið. Þegar kalt er í veðri sækir varmadæla varma í uppsprettu í jarðvegi sem er heitari en lofthiti og skilar inn á ofnakerfi eða loftræstikerfi viðkomandi húss á herra hitastigi en uppsprettan gefur. Þegar heitt er í veðri má snúa ferlinu við sé viðkomandi dæla hönnuð fyrir slíkt. Hagkvæmni kerfisins ræðst svo af hlutfalli þeirrar orku sem má ná úr dælunni og orkunnar sem þarf til að knýja það (Ragnar K. Ásmundsson, 2005).

Varmadælur eru ekki háðar jarðhitasvæðum og því má setja upp slíkan búnað nánast hvar sem er. Þá má ná fram allt að 50-80% sparnaði í raforkunotkun með því að notast við varmadælur í stað rafhitunar (Ragnar K. Ásmundsson, 2005). Varmadælur hafa ekki náð vinsældum hér á landi en þær njóta mikilla vinsælda víða erlendis (Lund, Freeston og Boyd, 2010). Norðurorka hefur þó rekið varmadælur sem nota jarðhita sem hluta af hitaveitukerfi Akureyrarbæjar síðan á 9. áratug síðustu aldar. Í dag eru tvær 1,9 MW<sub>th</sub>

dælur í rekstri en umfang þeirra í hitaveitukerfi fyrirtækisins er mjög lítið (Árni Ragnarsson, 2010). Jarðhitanotkun varmadæla árið 2011 var því mjög takmörkuð.

Litlar vinsældir varmadæla hér á landi hefur mátt skýra með lágum upphitunarkostnaði og háum stofnkostnaði varmadæla. Flestir hafa aðgang að ódýru heitu vatni og á *köldum* svæðum þar sem ekki er aðgangur að jarðvarma og notast þarf við dýrari kosti eins og raf- eða olíuhitun hefur ríkið jafnað upphitunarkostnað með niðurgreiðslum, skv. lögum nr. 78/2002 um niðurgreiðslu húshitunarkostnaðar.

Til að breyta þessu og auka hagkvæmni hefur frá 2009 verið hægt að sækja um eingreiðslustyrk til Orkustofnunar, sem getur numið allt að átta ára áætluðum niðurgreiðslum á raforku eða olíu, til aðgerða sem leiða til bættrar orkunýtingar við húshitun skv. breytingum á fyrrgreindum lögum nr. 78/2002. Með þessu móti getur ríkið tekið þátt í stofnkostnaði framkvæmda sem draga úr raf- og olíuhitun og lækkað þar með niðurgreiðslukostnað ríkisins til lengri tíma. Uppsetning varmadæla eða bætt einangrun húsa á *köldum* svæðum eru dæmi um slíkar framkvæmdir.

### 2.3.3 Sundlaugar

Frá fyrstu tíð hafa Íslendingar nýtt jarðhita til baða og þvotta. Ýmist var notast við tilbúnar laugar frá náttúrunnar hendi eða þær hlaðnar úr steini eins og Snorralaug í Reykholti. Snorralaug er líklega þekktust slíkra lauga og er nothæf enn í dag. Þessar fyrstu laugar voru ekki eins sundlaugar nútímans heldur voru þær líkari heitum pottum. Fyrstu eiginlegu sundlaugarnar voru hlaðnar úr torfi eða steini og voru m.a. notaðar við sundkennslu sjómanna á nítjándu öld. Árið 1908 var fyrsta steipta sundlaugin byggð í Laugardal í Reykjavík og ekki leið á löngu þar til sundkennsla varð almenn og í kjölfarið fjölgaði sundlaugum hratt (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 2001).

Samkvæmt gagnagrunni Orkustofnunar voru árið 2009 starfræktir 163 sundstaðir um allt land með um 200 sundlaugum og fjölmörgum heitum pottum. Flestir þessara sundstaða eru aðgengilegir almenningi (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Því er vart til það byggða ból hér á landi sem ekki skartar sundlaug enda eru sundstaðir fyrir löngu orðnir mikilvægur þáttur í menningu landsins. Félagslegt gildi sundstaða er mikið og þeir því miklu meira en bara baðstaðir og heilsulindir.

Flestir sundstaðir eru staðsettir þar sem jarðhiti er auðfenginn. 90% af öllu vatni í sundlaugum og pottum hér á landi er hitað með jarðhitavatni, en annað sundlaugarvatn er hitað með raforku eða olíu (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Áætluð orkunotkun sundstaða í formi jarðhita árið 2011 var 1,55 PJ (OS, 2013, e.d.-a).

Nýjar sundlaugar hafa ekki verið á dagskrá sveitarfélaga síðustu ár, þar til Reykjavíkurborg (2013) sendi frá sér skýrslu starfshóps um framtíðarsýn sundlaugarmála borgarinnar. Í skýrslunni er m.a. talað fyrir þörf á nýjum laugum í Fossvogi, Vatnsmýri og Grafarholti eða Úlfarárdal. Einnig er talað um mikilvægi þess að markaðssetja laugar til erlendra ferðamanna.

### 2.3.4 Snjóbræðsla

Notkun snjóbræðslukerfa hefur færst í vöxt undanfarin áratug. Snjóbræðslukerfi eru gjarnan sett í götur, bílastæði og gangstíga við húsnæði og mannvirki. Kerfin nýta að

stærstum hluta bakrásarvatn frá húsum enda yfirleitt talsverður varmi eftir í vatninu þegar búið er að nota það til húsnótkunar. Algengt er að bakrásarvatn sé um 35°C og notkun á því stórbætir því nýtingu á heitu vatni (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

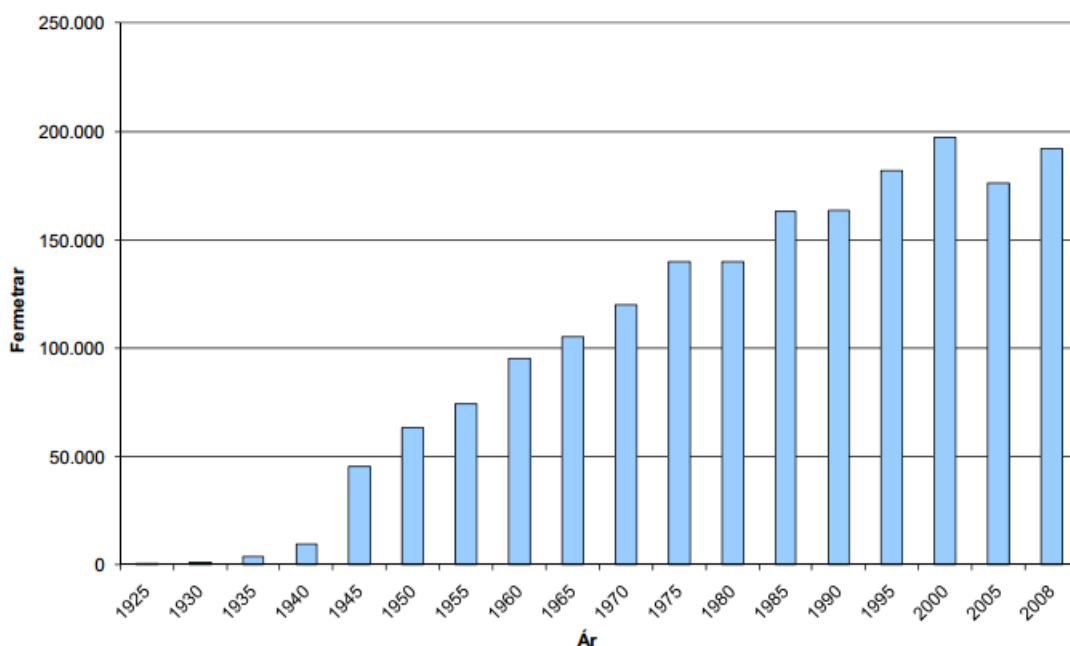
Síðasta áratug hafa tugir gervigrasfótboltavalla verið teknir í notkun víða um land auk þess sem Knattspyrnusamband Íslands ásamt samstarfsaðilum stóðu fyrir landlægu átaki í byggingu sparkvalla. Sparkvellir eru litlir afgirtir og upplýstir gervigrasfótboltavellir sem standa nú við grunnskóla eða íþróttahús í öllum helstu byggðarkjörnum landsins. Í dag eru vellirnir alls 111 og flestir eru þeir upphitaðir með snjóbræðslukerfi og eru þar af leiðandi hluti af varmanotkun sveitarfélaga í snjóbræðslu (Knattspyrnusamband Íslands, 2013).

Flugvellir, orkuver og opinberir aðilar eru ábyrgir fyrir langstærstum hluta snjóbræðslukerfa hér á landi, en heildar orkunotkun snjóbræðslukerfa var talin nema 1,69 PJ árið 2010 og tæplega 64% af orkunni voru fengin úr bakrásarvatni (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

Gera má ráð fyrir að snjóbræðslukerfum verði áfram komið upp við nýbyggingar en snjóbræðsla minnkar vinnu við snjómokstur, dregur úr slyshættu, eykur verðgildi eigna og stuðlar að bættri nýtingu orku.

### 2.3.5 Ylrækt (gróðurhús)

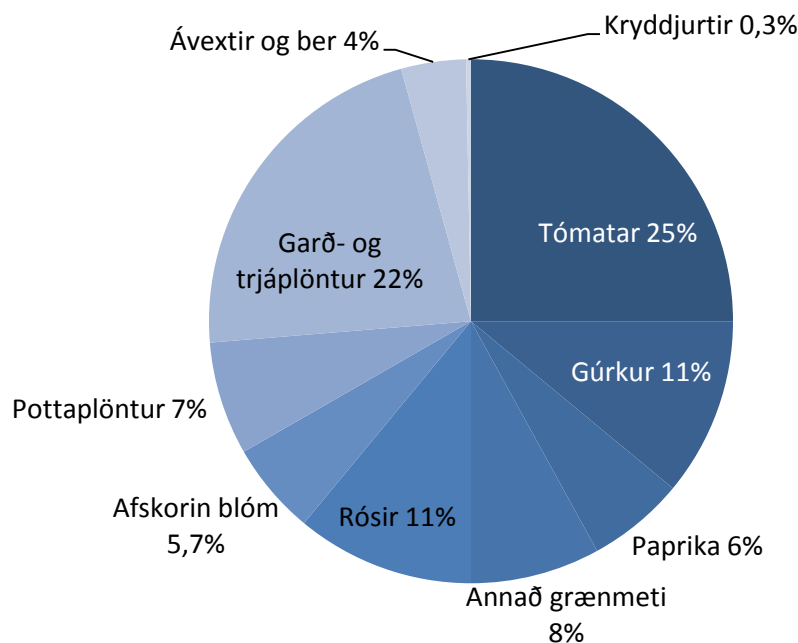
Á 19. öld fóru Íslendingar að nota jarðhita til að hita upp jarðveg og hraða þannig sprettu á kartöflum og grænmeti. Fyrstu gróðurhúsin komu árið 1924 og ári síðar var farið að hita þau með jarðhita (Sveinn Þórðarson, 1998). Eftir nokkuð jafnan vöxt gróðurhúsa um margra áratuga skeið urðu töluverðar breytingar í greininni um aldamótin. Tilkoma raflýsingar gerði það að verkum að hægt var að bæta upp árstíðabundinn skort á sólarljósi og hefja heilsársæktun, að auki gerði lýsingin það að verkum að plöntur uxu þéttar. Aukin framleiðni dró því úr þörf fyrir ný gróðurhús og úrelt hús hafa ekki verið endurnýjuð (Orkuspárnefnd, 2010). Á mynd 7 má sjá þróun heildarflatarmáls gróðurhúsa hér á landi.



Mynd 7: Þróun heildarflatarmáls gróðurhúsa árin 1925-2008 (Orkuspárnefnd, 2010).

Heildarflatarmál gróðurhúsa náði hámarki árið 2002 þegar það var um 204.000 m<sup>2</sup> en var komið niður í tæplega 174.000 m<sup>2</sup> árið 2006 (Bændasamtök Íslands [BÍ], 2010). Í upphafi árs 2013 var heildarflatarmál gróðurhúsa um 194.000 m<sup>2</sup> og þar af voru 88.000 m<sup>2</sup> með raflýsingu eða 45% (Magnús Á. Ágústsson, ráðunautur í garðyrkju, tölvupóstur 5. mars 2013). Engin raunveruleg flatarmálsaukning hefur átt sér stað frá 2006 heldur hafa garðplöntustöðvar verið flokkaðar sem gróðurhús síðan 2007 en voru það ekki áður. Flatarmálsaukningu eftir 2006 má því skýra með breyttri aðferðafræði við skráningu en ekki nýjum gróðurhúsum (BÍ, 2010).

Með upphitun og raflýsingu gróðurhúsa er hægt er að ná fram kjör ræktunarskilyrði fyrir flestar plöntur og því nokkur fjölbreytni í framleiðslu hér á landi. Tómatar eru fyrirferðamestir í íslenskum gróðurhúsum en ræktun garð- og trjáplanta, rósa og gúrka er einnig talverð. Auk fyrrgreindra tegunda eru ræktaðar hér pottaplöntur og önnur blóm, paprikur og annað grænmeti, ávextir og ber auk kryddjurta (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Á mynd 8 má sjá hlutfallslega skiptingu flatarmáls gróðurhúsa eftir framleiðsluafurðum.



**Mynd 8: Skipting flatarmáls gróðurhúsa eftir framleiðslu (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).**

Nánast ómögulegt er fyrir íslenska framleiðslu að standast verðsamanburð við innflutta framleiðslu frá stöðum þar sem ræktun fer fram undir berum himni. Til að auka samkeppnishæfni íslenskrar framleiðslu hafa garðyrkjubændur í gegnum tíðina notið ýmissa ívilnana í formi styrkja, beingreiðslna, niðurgreiðslna, tollverndar eða tollaafsláttar. Garðyrkjubændur njóta enn slíkra ívilnana og fer umfang þeirra eftir framleiðsluafurðum. Íslenskir neytendur eru mjög hliðhollir íslenskri framleiðslu og virðast vera tilbúnir að greiða herra verð fyrir íslenska vöru (Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2010). Íslenskt grænmeti er selt ferskt sem þýðir að þurrkað, niðursoðið og frosið grænmeti er allt innflutt. Undanfarin ár hefur á bilinu 40-45% af heildarframboði á fersku grænmeti án kartafla verið íslensk framleiðsla (Magnús Á. Ágústsson, 2012) en hlutfallið er lægra séu allar grænmetisvörur skoðaðar (BÍ, 2010). Í töflu 1 má bæði sjá að framboð á grænmeti án

kartafla hér á landi hefur aukist síðustu tvo áratugi og að hlutdeild íslenskrar framleiðslu hefur dregist saman.

**Tafla 1: Framboð á grænmeti án kartafla á íslenskum markaði, mælt í kg á íbúa. Sjá má að framboð af grænmeti á hvern íbúa hefur aukist talsvert síðan árið 1991. Aukninguna má fyrst og fremst skýra með auknu framboði af erlendu grænmeti og hefur því hlutdeild innlendrar framleiðslu dregist saman á tímabilinu (BÍ, 2010).**

	1991	1995	2000	2006	2007	2008
Ferskt grænmeti, innlent	15,3	16,4	16,9	17	18,8	17,9
Ferskt grænmeti, innflutt	12,5	14,8	17,7	19,8	28	27,2
Grænmetisvörur, innfluttar	10,9	13,2	14,4	14	19,2	18,4
<b>Samtals</b>	<b>38,7</b>	<b>44,4</b>	<b>49</b>	<b>50,8</b>	<b>66</b>	<b>63,5</b>
Heildarhlutdeild innlands grænmetis	39,5%	36,9%	34,5%	33,5%	28,5%	28,2%
Hlutdeild innlands fersks grænmetis	55,0%	52,6%	48,8%	46,2%	40,2%	39,7%

Jarðhitanotkun í ylrækt náði hámarki árin 2001 og 2002 þegar notkunin var tæplega 0,9 PJ en hefur minnkað síðan vegna samdráttar í flatarmáli gróðurhúsa og aukinnar raflýsingar. Perur sem notaðar eru til raflýsingar gefa frá sér varma og því þurfa upplýst gróðurhús minni hitun. Á einum áratug dróst því áætluð orkunotkun jarðvarma til ylræktar saman um rúmlega 20% og var talin vera um 0,7 PJ árið 2011 (OS, 2013, e.d.-a).

Nær öll jarðhitanotkun í ylrækt er tilkomin vegna upphitunar gróðurhúsa en jarðhiti er þó einnig nýttur í minna mæli til upphitunar á jarðvegi í útigörðum og til sótthreinsunar á jarðvegi í gróðurhúsum. Bakrásarvatn frá gróðurhúsum er að jafnaði 30-40°C en getur verið hærra ef kalt er í veðri og gegnumstreymi er aukið (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Bakrásarvatnið má því m.a. nota til upphitunar á jarðvegi fyrir útiræktun en það eru helst kartöflur sem eru ræktaðar í upphituum jarðvegi. Enn er innan við helmingur gróðurhúsa með raflýsingu og framleiðendur ekki fullnema í beitingu raflýsingar til ræktunar. Því er enn mikið rými fyrir aukna framleiðni í greininni. Í töflu 2 má sjá þróun framleiðniaukningar í ræktun tómatu, gúrku og papríku í gróðurhúsum.

**Tafla 2: Framleiðni gróðurhúsa (kg/m<sup>2</sup>) jókst mikið með tilkomu raflýsingar og aukinni þekkingu á beitingu hennar (Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, 2010).**

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Tómatar</b>	18,5	18,6	19,5	24,1	23,8	21,2	26,1	31,8	33,9	38,7	39,1	38,9
<b>Gúrkur</b>	33,7	38,7	38,4	39,1	44,8	35,6	33,2	36,7	45,2	44,6	58,6	63,1
<b>Papríka</b>	8,3	9,0	8,2	8,8	10,0	8,1	7,9	9,6	12,2	12,7	12,0	14,2

Útlit er fyrir að heildarflatarmál gróðurhúsa muni stórukast á næstu árum. GeoGreenhouse hefur uppi áform um að byggja allt að 200.000 m<sup>2</sup> gróðurhús í þremur áföngum til framleiðslu á hágæða tómotum til útflutnings. Vandamál við fjármögnun hafa þó seinkað framkvæmdum talsvert en nú er stefnt að því að hægt verði að hefja framleiðslu fyrir lok árs 2014 (Sveinn Aðalsteinsson, 2013). Þá óskaði hollenskt fyrirtæki, EsBro, nýlega eftir lóð undir 150.000 m<sup>2</sup> gróðurhús einnig fyrir ræktun tómatu til útflutnings (Róbert Ragnarsson, 2013). Því má segja að það kveði við nýjan tón í ylrækt hér á landi því að hingað til hefur útflutningur á íslensku grænmeti eða annarri ræktun ekki þótt raunhæfur möguleiki.

Undanfarin ár hafa verið gerðar tilraunir með LED raflýsingu, en LED perur þurfa minni raforku en perur í hefðbundnum raflýsingarbúnaði. Tilraunir hafa m.a. átt sér stað í tilraunagróðurhúsi Landbúnaðarháskóla Íslands á Reykjum (Vistvæn Orka, 2010) og í hátæknigróðurhúsi ORF líftækni þar sem erfðabreytt bygg er ræktað til að vinna úr því sérvirk prótín sem nýttast m.a. í líf- og lækisfræðirannsóknir (Einar Mäntylä, forstöðumaður vísindasamvinnu- og hugverkadeildar ORF líftækni, tölvupóstur, 5.mars 2013). Komi garðyrkjubændur til með að taka upp LED raflýsingartækni er ljóst að hlutur jarðhita í upphitun gróðurhúsa mun aukast á ný því LED perur gefa frá sér minni varma en hefðbundin raflýsing (Vistræn Orka, 2010).

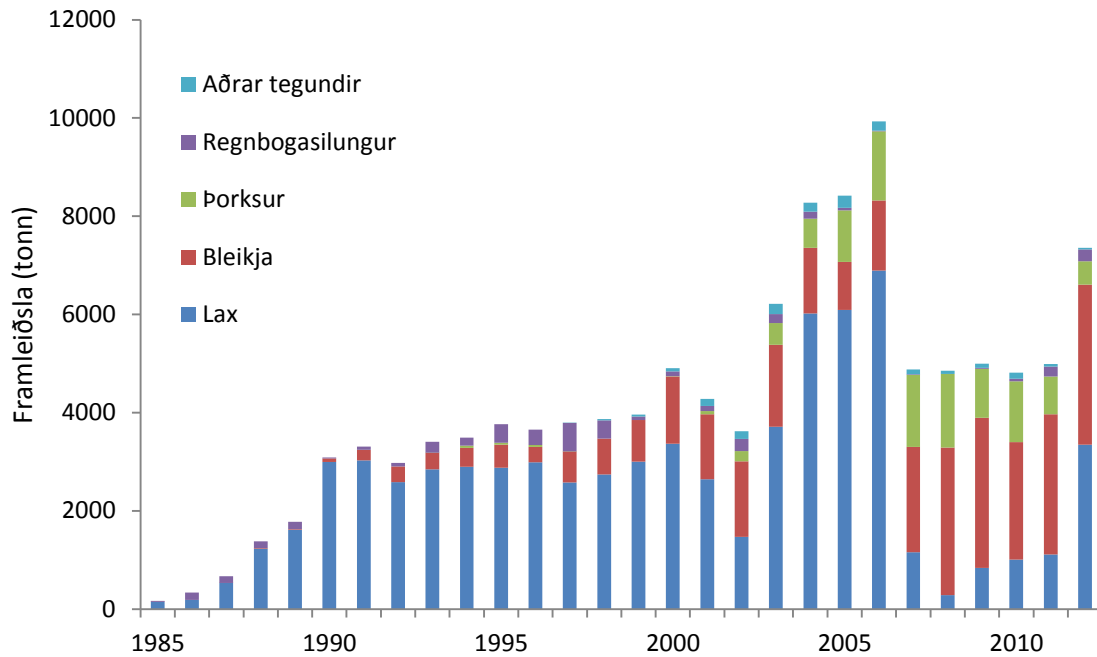
Gróðurhús gegna mikilvægu hlutverki í samrækt (e. aquaponics), en samrækt er þegar fiskeldi og ræktun á plöntum er sameinað í lokaðri hringrás báðum til góða. Slík framleiðsla er bæði hagkvæm og umhverfisvæn þar sem úrgangur frá fiskeldinu nýtist ræktuninni sem næringarefni og öfugt, þannig styðja ferlin hvort við annað og mynda vistkerfi sem hugsar að mestu um sig sjálft. Samrækt hefur gefist vel erlendis þar sem samræktarbændur hafa jafnvel bætt við sig veitingastarfsemi og slíkir staðir jafnan verið aðdráttarafli fyrir ferðamenn. Samrækt gæti gefið góða raun hér á landi hvort sem hún er á iðnaðarskala eða fyrir bændur að auka fjölbreytni framleiðslu sinnar. Undanfarið hafa nokkrir íslenskir aðilar hafið samrækt en umfang þeirrar framleiðslu er enn mjög lítið og aðilar að prófa sig áfram (Ragnheiður I. Þórarinsdóttir, framkvæmdastjóri Svinna verkfræði, samtal 4. apríl 2013).

### **2.3.6 Fiskeldi**

Segja má að íslenskt fiskeldi hafi byrjað fyrir alvöru á 9. áratug síðustu aldar. Þá voru byggðar fjölmargar fiskeldisstöðvar og ársframleiðsla á eldisfiski fór úr 150 tonnum í 3.000 tonn á tímabilinu 1985-1990. Framleiðslan byggðist aðallega upp á laxi og regnbogasilungi en rekstur stöðvanna gekk almennt illa vegna skorts á reynslu og þekkingu. Innkoma stóru sjávarútvegsfyrirtækjanna í greinina í byrjun aldarinnar gerði það að verkum að greinin tók aftur við sér. Árið 2006 var besta ár íslensks fiskeldis frá upphafi. Þá var framleiðslan um 10.000 tonn, þar af um 7.000 tonn af laxi en þorskur, bleikja og regnbogasilungur voru einnig á meðal helstu tegunda. Ári síðar varð hins vegar mikill samdráttur í laxeldi og lagðist það næstum af (Landssamband fiskeldisstöðva [LF], 2009).

Við samdrátt í laxeldi varð bleikja aðaleldistegundin. Framleiðsla á bleikju hafði aukist jafnt og þétt yfir tímabilið 1990-2008 þar til hún náði 3.000 tonnum og hefur síðan þá verið nokkuð stöðug. Íslandsbleikja er stærsti bleikjuframleiðandi heims en fyrirtækið ræktar um 2/3 allrar íslenskrar bleikju. Bleikjan fer að mestu á markaði erlendis en heimsmarkaður fyrir bleikju er mjög lítill, aðeins um 5-6.000 tonn á ári. Til að reyna að stækka þann markað stóð íslenska ríkið ásamt hagsmunaaðilum fyrir markaðsátaki fyrir bleikjuafurðir á erlendum mörkuðum árin 2007-2010 (LF, 2009). Árið 2012 byrjaði laxeldi aftur að taka við sér og var nánast jafnt bleikjuframleiðslunni árið 2012 (LF, e.d.). Á mynd 9 má sjá framleiðslu í íslensku fiskeldi eftir tegundum frá 1985-2012.





**Mynd 9: Slátrun framleiðslu í íslensku fiskeldi á árunum 1985-2012 (LF, e.d.;Valdimar I. Gunnarsson, 2004).**

Fiskeldi er ört vaxandi atvinnugrein á heimsvísu þar sem eftirspurn eftir fiski fer stöðugt vaxandi og ekki er hægt að auka fiskveiðar (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012). Borið hefur á breyttum neysluvenjum og hafa fiskneytendur í auknum mæli sóst í hitakærar hvítfisktegundir sem m.a. eru ræktaðar við bágar aðstæður í Asíu (Íslensk matorka, 2011). Slíkar tegundir má framleiða í landeldi. Frábærar aðstæður fyrir landeldi á Reykjanesi og í Öxarfirði þar sem aðgengi er gott að heitu vatni af góðum gæðum, bæði söltu og ósöltu. Þar er einnig næg orka og landsvæði í boði. Eldi á landi er þó mun dýrara en eldi í sjókvíum, en í landeldi má ná fram meiri gæðum með því að stýra umhverfisþáttum betur en hægt er í sjókvíaeldi.

Nú þegar hefur Íslensk matorka hafið framleiðslu á borra (e. tilapia) og Stolt Sea Farm á Senegalflúru (e. Senegal sole). Sæeyru og sæbjúgu eru jafnvel enn meira framandi tegundir í eyrum Íslendinga. Sæbýli hefur undanfarin ár stundað tilraunaeldi á þessum tegundum á Eyrarbakka og samkvæmt Ásgeiri Guðnasyni (símtal, 21. mars 2013) framkvæmdastjóra fyrirtækisins ráðgerir það að hefja útflutning á sæeyrum árið 2015.

Eftir nokkurra ára stöðnun virðist framleiðsla á hefðbundnari eldistegundum vera að taka aftur við sér hér á landi. Ástæða þessa er fyrst og fremst mikil uppbygging í sjókvíaeldi á Vestfjörðum en fyrirtæki þar eru stórhuga í lax- og regnbogasilungseldi og búast framleiðendur við margföldun í framleiðslu þessara tegunda. Þá er útflutningur á frjónvögnum hrognum og seiðum til áframeldis einnig mikilvægur þáttur í heildarútflutningi, sérstaklega laxahrogn og -seiði (Guðbergur Rúnarsson, 2013).

Framleiðsla hitakærra tegunda fer almennt fram í heitum löndum í sjó eða vatni þar sem vinnuafli er ódýrt. Hvað varðar laxeldi og annað sjókvíaeldi þá er Ísland lengra frá mörkuðum en til að mynda Noregur og Færeyjar og því flutningskostnaður íslenskrar framleiðslu hærri en hjá þessum samkeppnislöndum. Af þessu virðist ljóst að íslensk framleiðsla getur ekki keppt við erlenda framleiðslu á ódýrum markaði. Framleiðendur

þurfa heldur að beina sínum afurðum inn á markaði sem gera miklar kröfur til gæða og vistvænnar framleiðslu og eru í staðinn tilbúnir að greiða hærra verð fyrir vöru. Vottun á sjálfbærri framleiðslu greiðir aðgang fiskeldisstöðva að slíkum mörkuðum. Því er mikilvægt að Íslendingar haldi áfram markvissum rannsóknum í kynbótum og heilbrigði stofna sem hafa verið í gangi síðustu áratugi til að bæta samkeppnishæfni og auka þekkingu sína á greininni. Í dag eru mörg slík verkefni í gangi, flest innan bleikjueldis (Guðbergur Rúnarsson, 2013).

Mikilvægi jarðhita í fiskeldi er mismunandi eftir tegundum. Jarðhiti er nýttur á fyrstu þroskaskeiðum framleiðslu allra tegunda sem ræktaðar eru hér við land, en kjörhitastig fiska fer lækkandi eftir því sem fiskurinn vex og því er oft ekki þörf á jarðhitanotkun á seinni skeiðum. Lax og þorskur eru dæmi um fisk þar sem jarðhitinn er aðallega nýttur á fyrri þroskaskeiðum en bleikja dæmi um fisk þar sem jarðhiti er einnig nýttur á seinni skeiðum í áframeldi í landkvíum (Árni Ragnarsson, 2006). Almennt gildir að aukið hitastig við ræktun á öllum stigum framleiðslu skilar sér í meiri vaxtarhraða og þar með í meiri framleiðni. Áður fyrr var jarðhitavatn ekki notað beint í eldi heldur notað til upphitunar á fersku grunnvatni í varmaskiptum þar sem súrefnisinnihald ferskvatns er meira en í jarðhitavatni. Reynslan hefur hins vegar leitt í ljós að fiskeldi dafnar almennt vel í blöndu af lághitavatni og fersku grunnvatni (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

Áætluð jarðhitanotkun í fiskeldi árið 2011 var 1,75 PJ (OS, 2013; OS, e.d.-a). Þar sem mikil gróska virðist vera í greininni þessa stundina og nýir stórir aðilar að koma inn með þekkingu, reynslu og nýjar tegundir má gera ráð fyrir því að jarðhitanotkun í greininni muni aukast á komandi árum komi ekki bakslag í greinina vegna sýkinga eða annarra áfalla.

### **2.3.7 Þörungarækt**

Jarðhita má nýta til þörungaræktunar til að búa til góð ræktunarskilyrði fyrir hina ýmsu þörungum og hraða sprettu. Þörungana má svo m.a. nota í lífgas-, olíu-, áburðar-, dýra- og fiskafóður-, snyrtivöru- eða matvælaframleiðslu (Hotchkiss, 2012).

Umfang þörungaræktunar á Íslandi er enn mjög lítið og hefur einskorðast við Bláa Lónið sem undanfarin 20 ár hefur ræktað þörungum til notkunar í húðvörur. Bláa Lónið notar m.a. jarðsjó (skiljuvatn), raflýsingu og koldíoxíð við framleiðsluna. Árið 2013 hóf Bláa Lónið að nota útblástur (koldíoxíð) frá Svartsengi við ræktunina í stað aðkeypts koldíoxíðs (Ása Brynjarsdóttir, rannsóknar- og þróunarstjóri Bláa Lónsins, tölvupóstur 4. september 2013).

Stefnt er að því að hefja þörungarækt við Mývatn með hjálp jarðhita. Verkefnið er samstarfsverkefni Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands, Háskólans á Akureyri, Matís, Landsvirkjunar og Skútustaðahrepps og miðar að því að finna affallsvatni frá virkjunum á svæðinu farveg til verðmætasköpunar (Kristján M. Unnarsson, 2012).

Enn sem komið er jarðhitanotkun til þörungaræktunar takmörkuð.

### **2.3.8 Iðnaður**

Segja má að jarðhitanotkun í iðnaði hér á landi hafi byrjað fyrir alvöru árið 1968 þegar Kísiliðjan við Mývatn hóf vinnslu á kísilgúr. Kísiliðjan þurrkaði kísilgúr úr Mývatni með jarðgufu frá Bjarnarflagi og var langstærsti beini jarðhitanotandinn í iðnaði þar til

verksmiðjan lokaði árið 2004. Í dag er Þörungaverksmiðjan á Reykhólum við Breiðafjörð stærsti notandi jarðhita í iðnaði (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b). Þörungaverksmiðjan notar jarðhita til þurrkunar klóþangs og hrossapara úr firðinum og framleiðir úr því mjöl fyrir erlendan markað (Þörungaverksmiðjan, e.d.).

Fjölmörg önnur fyrirtæki nota jarðhita til þurrkunar. Til að mynda eru fiskþurrkanir, eins og t.d. Haustak, víða um land sem þurrka fiskhousa og aðra fiskhluta til útflutnings. Þá hefur Léttsteypan við Mývatn nýtt jarðhita frá Bjarnarflagi til þurrkunar á steypu og steypueiningum síðan 1963, en þurrkun eykur gæði og hraðar framleiðslu steypunnar (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b).

Jarðhitanoakun í iðnaði einskorðast þó ekki við þurrkun. Saltvinnsla er nú á Reykjanesi í Ísafjarðardjúpi þar sem salt er eimað úr sjó með jarðhita. Þeirri aðferð var fyrst beitt á sama stað árið 1773 fyrir tilstilli danska konungsins. Auk þess sem gerðar voru margar tilraunir til þess að reka saltverksmiðju á Reykjanesi á Reykjaneskaga á tímabilinu 1971-2002 en vandamál við framleiðslu framan af og markaðssetningu í seinni tíð gerðu það að verkum að reksturinn gekk ekki (Guðmundur Pálmason, 2005). Einnig nota mörg smáfyrirtæki jarðhita til þvotta eða í matvælaframleiðslu.

Árið 2011 var áætluð bein notkun jarðhita til iðnaðar 0,80 PJ (OS, 2013, e.d.-a). Árið 2014 var saltverksmiðja á Reykhólum helsta nýja verkefnið í þessum notkunarflokki. Möguleikar jarðhitanoakunar í iðnaði eru hins vegar mun meiri enda gnótt af heitu vatni og gufu í boði. Frostþurrkun er t.d. þurrkunaraðferð sem nánast ekkert hefur verið beitt hér á landi. Frostþurrkun er ferli sem nýtir orku til þess að fjarlægja vatn úr frosinni afurð með uppgufun og undirþrýstingi. Aðferðin er dýr í samanburði við aðrar þurrkunaraðferðir en þykir hafa yfirburði hvað varðar varðveislu á bragði, lit, lífvirkni og öðrum eiginleikum í viðkvæmum afurðum. Því er frostþurrkun aðallega beitt á dýrari afurðir þar sem gæði eru mikilvæg (Fellows, 2000). Frostþurrkun ætti því að geta nýst Íslendingum vel við útflutning á sjávarafurðum og öðrum matvælum.

### **2.3.9 Raforkuvinnsla**

Árið 2011 voru starfræktar sex jarðvarmavirkjanir á Íslandi og nýttu þær allar háhitavatn til raforkuvinnslu. Virkjanirnar standa fyrir rúmlega 27% allrar raforkuvinnslu hér á landi, en vatnsaflsvirkjanir tæplega 73% (OS, 2013). Orkustöðin á Húsavík var ekki starfrækt á árinu, en hún getur nýtt lághitavatn til raforkuvinnslu með Kalina tækni.

Árið 2011 nam heildar raforkuvinnsla jarðvarmavirkjananna 16,92 PJ. Raforkunotendum er gjarnan skipt í tvo flokka, í stóriðju og almenna notendum. Stóriðjan er langtum stærri flokkur með 80% af notkuninni, þar af notar áliðnaður 71%, járnblendi 6% og álþynnufuramleiðsla 3%. Heimili nota aðeins um 5% raforkunnar (OS, 2013). Eftirspurn eftir raforku frá erlendra stóriðju hefur aukist og nýir virkjunarkostir hafa verið í undirbúningi, nokkur óvissa hefur þó verið um framkvæmdir, ekki síst vegna umhverfissjónarmiða. Í töflu 3 má sjá lista yfir allar jarðvarmavirkjanirnar á Íslandi. Þar eru einnig upplýsingar um rekstraraðila þeirra, uppsett rafafll og hvenær raforkuvinnsla hófst.

**Tafla 3: Jarðvarmavirkjanir á Íslandi, helstu upplýsingar.**

Virkjanir	Uppsett rafafli [MW <sub>e</sub> ]	Raforkuvinnsla hófst	Eigandi/rekstraraðili
Bjarnarflag	3	1969	Landsvirkjun
Krafla	60	1978	Landsvirkjun
Svartsengi	75	1978	HS Orka
Nesjavellir	120	1998	Orka náttúrunnar
Húsavík	2	2000	Orkuveita Húsavíkur
Reykjanes	100	2005	HS Orka
Hellisheiði	303	2007	Orka náttúrunnar
<b>Samtals</b>	<b>663</b>		

### 2.3.10 Efnavinnsla

Ýmis ferli njóta góðs af jarðhita án þess að nýta varmaorku beint, t.d. geta uppleyst efni í jarðhitavatni verið eftirsóknarverð sé styrkur þeirra mikill og hægt að sækja þau án mikils kostnaðar. Einnig má vinna sérstakar lofttegundir úr jarðhitagasi með því að hreinsa aðrar lofttegundir burt úr útblæstrinum.

#### Efnavinnsla úr jarðhitavatni

Verðmætir málmar eins og gull og silfur hafa mælst í vinnanlegu magni í jarðhitavatni í borholum Reykjanesvirkjunar en málmar falla út ásamt jarðhitakísli og fleiri efnum í borholum og pípum. Málmana má svo vinna úr útfellingum (Vigdís Harðardóttir, 2011).

Úr jarðhitakísli, steinefnum og þörungum úr affallsvatni Orkuversins í Svartsengi hefur Bláa Lónið um árabíl framleitt vinsælar húðvörur sem seldar eru bæði hér á landi og erlendis. Kísill er mjög algengur sem fylliefni í ýmsum iðnaði og sérstaklega algengur í byggingarefnum. Nú stendur yfir tilraunavinna við að útbúa umhverfisvænt steinlím úr kísilútfellingum úr Bláa Lóninu og ösku úr Eyjafjallajökli (Nýsköpunarmiðstöð Íslands, 2012).

Þá sérhæfir nýstofnað fyrirtæki, geoSilica Iceland, sig í vinnslu á jarðhitakísli úr affallsvatni jarðvarmavirkjana. Fyrirtækið hefur þegar hafið tilraunaframleiðslu á fæðubótarefni úr jarðhitakísli og áformar einnig framleiðslu á kísilríkum heilsudrykk (geoSilica Iceland, e.d.).

#### Hreinsun lofttegunda úr jarðhitagasi (útblastri)

Jarðhitagas losnar þar sem háhitavatn nær upp á yfirborðið m.a. við raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana en jarðgasið samanstendur aðallega af koldíoxíði, brennisteinsvetni, köfnunarefni, vetni og metani. Mestur er styrkur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis en losun þess út í andrúmsloftið veldur talsverðum umhverfisáhrifum. Lofttegundunum má safna til nýtingar áður en þær losast út í andrúmsloftið. T.d. notar Bláa Lónið óhreinsaðan útblástur frá Orkuverinu í Svartsengi við þörungaræktun (sjá nánar í kafla 2.3.7). Notagildið eykst ef um hreinan styrk lofttegundar er að ræða en vinna má hreint koldíoxíð eða brennisteinsvetni úr útblæstri jarðvarmavirkjana með því að hreinsa aðrar lofttegundir burt. Carbon Recycling International hreinsar koldíoxíð úr útblæstri Orkuversins í Svartsengi og notar til framleiðslu á vistvænu metanóli til íblöndunar bensíns. Íblöndun bensíns hækkar oktana gildi þess og stuðlar að hreinni bruna og betri nýtingu (Carbon Recycling International, e.d.). Hreint koldíoxíð má einnig nota til að hraða sprettu í gróðurhúsum eða

þörungarækt, við gosdrykkjaframleiðslu eða í matvælaíðnað. ÍSAGA er helsti koldíoxíðframleiðandi landsins en fyrirtækið vinnur koldíoxíð úr jarðhitavatni á Hæðarenda í Grímsnesi (Árni Ragnarsson, 2010).

Hreint brennisteinsvetni má m.a. nota til vinnslu brennisteins, brennisteinssýru og áburðar. Hingað til hefur verið efast um arðbærni slíkrar framleiðslu (Egill Skúlason, 2012; Guðmundur Gunnarsson, 2013). Það kann þó að vera breytt því Carbon Recycling International hefur lýst yfir áhuga á að hefja framleiðslu á brennisteinsafurðum sem aukaafurð metanólframleiðslu úr útblæstri Hellisheiðarvirkjunar (Ómar F. Sigurbjörnsson, 2013). Brennistein má einnig nota í bakteríurækt en Prokaria hefur undanfarin ár unnið að þróun ræktunar hitakærra örvera (sérhæfar örverur sem þrífast á jarðhitasvæðum í miklum hita) sem nýta brennisteinsvetni sem orkugjafa til myndunar lífmassa. Lífmassann má svo nota í framleiðslu fóðurs, iðnaðarensíms eða lífræns plasts (Prokaria, e.d.).

## 2.4 Sjálfbær nýting auðlindar

Orkulindir jarðar eru flokkaðar sem endurnýjanlegar eða endanlegar eftir eðli þeirra.

*„Endurnýjanlegar orkulindir endurnýjast jafnhvatt eða hraðar en úr þeim er tekið. Endanlegar orkulindir eyðast eftir því sem af þeim er tekið“* (Stefán Arnórsson, 2011, bls.12).

Alþjóðlegar stofnanir hafa flokkað jarðvarmaorku (e. geothermal energy) sem endurnýjanlega orkulind og þar með sett hana í flokk með sólar-, vatns-, vind- og haforku. Ekki eru allir sammála þessari flokkun því jarðvarmaorka endurnýjar sig mun hægar en aðrar endurnýjanlegar orkulindir. Því er í raun mögulegt að nýta auðlindina hraðar en hún getur endurnýjað sig en það er augljós þversögn við skilgreininguna hér að ofan (Stefán Arnórsson, 2011).

### 2.4.1 Sjálfbær þróun

Íbúum jarðar hefur fjölgað hratt undanfarnar tvær aldir og hefur það haft í för með sér sífellt meiri ágang í auðlindir heimsins. Þjóðir og alþjóðasamtök hafa því leitað leiða til þess að nýta auðlindir jarðar með hagsmuni komandi kynslóða í huga. Þessi vinna hefur skilað af sér hugtakinu sjálfbær þróun (e. sustainable development). En hugtakið sem er kennt við Brundtland-skýrsluna, sem kom út árið 1987, hefur verið frumregla stefnumótunar í umhverfismálum allar götur síðan (Jónas Ketilsson o.fl., 2011). Til að mynda er það leiðarljós orkustefnu Íslands að orkubúskap hér á landi sé hagað með sjálfbærum hætti samfélaginu og almenningi til hagsbóta (Stýrihópur, 2011).

Með sjálfbærri þróun er leitast við að að mæta þörfum samtímans án þess að draga úr möguleikum komandi kynslóða til að mæta sínum þörfum. Grunnþættir sjálfbærrar þróunar eru samfélag, efnahagur og umhverfi. Hugtakið hefur hins vegar þótt teygjanlegt og því hafa hugtökin sterk sjálfbærni og veik sjálfbærni orðið til. Sterk sjálfbærni er þegar þróun hefur ekki neikvæð áhrif á neinn grunnþátt. Veik sjálfbærni leyfir rýrnun á einum grunnþætti enda skilar þróunin samfélagslegum ábata (Jónas Ketilsson o.fl., 2011).

Af þessu má sjá að bæði er hægt að nýta jarðhita á sjálfbæran og ósjálfbæran hátt. Guðni Axelsson o.fl. (2001, bls. 481) lögðu til eftirfarandi skilgreiningu á hugtakinu „sjálfbær vinnsla jarðhita á einu jarðhitasvæði“.

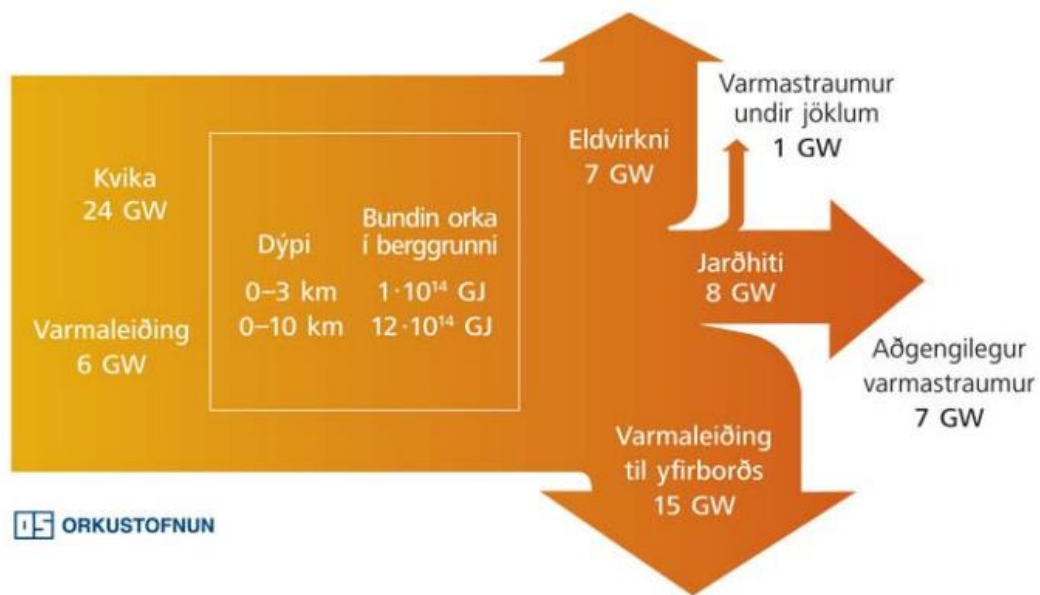
Fyrir sérhvert jarðhitasvæði, og sérhverja vinnsluaðferð, er til ákveðið hámarksvinnslustigi,  $E_0$ , sem er þannig háttað að með lægra vinnslustigi en  $E_0$  er unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu frá kerfinu yfir mjög langt tímabil (100-300 ár). Sé vinnsluálag meira en  $E_0$ , er ekki unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu svo lengi. Jarðvarmavinnsla minni en eða jöfn  $E_0$  er skilgreind sem sjálfbær vinnsla en vinnsla umfram  $E_0$  er ekki sjálfbær.

## 2.4.2 Stærð auðlindar

Til þess að geta lagt mat á nýtingu auðlindarinnar þarf að þekkja umfang hennar, þ.e. hversu mikill varmaforði er í berggrunninum og hversu hratt hann endurnýjar sig. Á níunda áratug síðustu aldrar var lagt mat á stærð beggja þessara þátta.

Árið 1982 lagði Gunnar Böðvarsson mat á stöðugan varmastraum frá iðrum jarðar upp undir Ísland, m.ö.o. þá áætlaði hann hversu hratt auðlindin endurnýjar sig. Áætlaði Gunnar að heildar árlegur orkustraumur sé  $30 \text{ GW}_{\text{th}}$  ( $1 \text{ GW}_{\text{th}} = 10^9 \text{ W}_{\text{th}}$ ), þar af berast  $24 \text{ GW}_{\text{th}}$  með kvikustreymi og  $6 \text{ GW}_{\text{th}}$  með varmaleiðingu. Þar sem þessi orka hefur þegar hitað berggrunninn og hann náð sístæðu ástandi má gera ráð fyrir að öll orka sem berst að neðan skili sér til yfirborðsins. Þá áætlaði Gunnar að í jarðskorpunni skiptist orkustraumurinn í  $7 \text{ GW}_{\text{th}}$  sem fylgja eldvirkni,  $8 \text{ GW}_{\text{th}}$  berast með vatni og gufu á jarðhitasvæðum og  $15 \text{ GW}_{\text{th}}$  með varmaleiðingu. Af þeim  $8 \text{ GW}_{\text{th}}$  orkustraumi sem berst með vatni og gufu áætlaði Gunnar að  $7 \text{ GW}_{\text{th}}$  sé aðgengilegur straumur (Jónas Ketilsson o.fl., 2009). Myndræna útfærslu á mati Gunnars má sjá á mynd 10.

Árið 1985 lagði Guðmundur Pálmason o.fl. á vegum Orkustofnunar mat á hversu mikla orku væri að finna í berggrunni Íslands, m.ö.o. þá áætlaði hópurinn stærð auðlindarinnar. Niðurstaða matsins var að í berggrunninum væri að finna  $12 \cdot 10^{14} \text{ GJ}$  ( $1 \text{ GJ} = 10^9 \text{ J}$ ) af varmaorku á 0-10 km dýpi. Þar af eru  $1 \cdot 10^{14} \text{ GJ}$  talin á vinnanlegu dýpi, 0-3 km (sjá mynd 10). Einungis er mögulegt að nýta hluta varmaorkunnar til raforkuvinnslu en hópurinn áætlaði að mögulegt væri að vinna 3.300 MW af rafafla til 50 ára (Jónas Ketilsson o.fl., 2009). Í töflu 4 má sjá mat hóps Guðmundar á vinnslugetu þekktra háhitasvæða.



Mynd 10: Bundin varmaorka og varmastreymi í gegnum Ísland. Á myndinni er búið að samsetja á myndrænan hátt mat Guðmundar Pálmasonar o.fl. (1985) og Gunnars Böðvarssonar (1982). Inn í kassanum er mat Guðmundar Pálmasonar o.fl. á stærð auðlindarinnar. Utan við kassann má sjá skiptingu árlegs varmastreymis upp undir Ísland skv. mati Gunnars Böðvarssonar (Jónas Ketilsson o.fl. 2009). Til að auðvelda samanburð er  $1 \text{ GW}_{\text{th}} = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ GJ} = 31,536 \text{ PJ}$ .

Út frá þessum tveimur rannsóknum má áætla að það hafi tekið varmaorkuna í berggrunni Íslands 1,3 milljónir ára að myndast og hún muni endurnýja sig á sama hraða. Endurnýjunin gengur hins vegar mishratt fyrir sig. Sá hluti sem endurnýjast með streymi kviku, vatns og gufu endurnýjast margfalt hraðar en sá hluti sem endurnýjast með varmaleiðingu (Jónas Ketilsson o.fl., 2009). Til að setja þessar tölur í samhengi nam frumorkunotkun jarðhita hér á landi 156 PJ árið 2011 (OS, 2013, e.d.-b) sem samsvarar  $4,95 \text{ GW}_{\text{th}}$  og jafngildir því um 71% af áætluðum aðgengilegum varmastraumi sem er  $7 \text{ GW}_{\text{th}}$ . Út frá þessu má áætla að jarðhiti sé nýttur á sjálfbæran hátt hér á landi. Hins vegar verður að hafa í huga að matið er nálgun sem gerir ráð fyrir því að allt Ísland sé eitt jarðhitasvæði sem er að sjálfsögðu ekki rétt auk þess sem jarðhitasvæðin eru eins mismunandi og þau eru mörg bæði hvað varðar magn og endurnýjun orku.

Árið 2009 endurmátu Jónas Ketilsson o.fl. hitaástand jarðskorpunnar hér á landi. Frá því að fyrra matið kom út árið 1985 hafði þekking á háhitasvæðum aukist og vinnslusaga svæða lengst til muna auk þess sem bæði voru til fleiri mælingar og úr fleiri borholum. Þá hafa nýjungar í bortækni gert mögulegt að bora á meira dýpi en áður og skáboranir gera mögulegt að ná til svæða sem áður voru talin óaðgengileg. Niðurstaða nýja matsins var að virkjanlegt svæði hafi aukist um 75% að flatarmáli og virkjanlegt rafafli sé 4.255 MW til 50 ára sem er 30% aukning frá fyrra mati. Í töflu 4 má sjá mat hóps Jónasar á vinnslugetu þekktra háhitasvæða.

Tafla 4: Mat á rafafla háhitasvæða til 50 ára. Samanburður á mati Guðmundar Pálmasonar o.fl. (1985) og mati Jónasar Ketilssonar o.fl. (2009) (Jónas Ketilsson o.fl., 2009).

Svæði	Mat á afli 1985		Mat á afli 2009			
	Stærð [km <sup>2</sup> ]	Afl [MW <sub>50</sub> ]	Stærð [km <sup>2</sup> ]	Hágildi	Miðgildi	Lággildi
				[MW <sub>50</sub> ]		
Reykjanes	2	28	9	81	45	27
Svartsengi - Eldvörp	11	108	30	270	150	90
Krýsuvík	60	302	89	801	445	267
Brennisteinsfjöll	2	12	5	45	25	15
Hengill	100	689	142	1278	710	426
Geysir	3	27	5	45	25	15
Kerlingarfjöll	11	76	39	351	195	117
Hveravellir	1	9	14	126	70	42
Torfajökull	147	1.012	253	2.277	1.265	759
Hágöngur	8	63	43	387	215	129
Vonarskarð	11	65	29	261	145	87
Kverkfjöll	25	49	31	279	155	93
Askja	25	74	27	243	135	81
Hrúthálsar	7	62	4	36	20	12
Fremrinámar	4	35	10	90	50	30
Krafla - Námafjall	37	464	62	558	310	186
Gjástykki	7	69	11	99	55	33
Þeistareykir	19	150	48	432	240	144
<b>Samtals</b>	<b>480</b>	<b>3.294</b>	<b>851</b>	<b>7.659</b>	<b>4.255</b>	<b>2.553</b>

### 2.4.3 Rammaáætlun

Aukin alþjóðleg umræða undir lok síðustu aldar um umhverfismál, orkunýtingu og sjálfbæra þróun náði einnig til Íslands. Til að bregðast við samþykkti þáverandi ríkisstjórn árið 1997 framkvæmdaáætlun um gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Samþykktin kom til framkvæmda 1999 þegar sett var saman sérstök verkefnisstjórn undir forystu Sveinbjörns Björnssonar til að vinna að gerð rammaáætlunar í samstarfi við sérfræðinga í orkumálum (Verkefnisstjórn, 2011).

Markmið Rammaáætlunarinnar er að leggja mat á og flokka virkjunarkosti, jafnt vatnsafls og háhita, meðal annars með tilliti til orkugetu, hagkvæmni og annars þjóðhagslegs gildis, samhliða því að skilgreina, meta og flokka áhrif þeirra á náttúrufar, náttúru- og menningarminjar svo og á hagsmuni allra þeirra sem nýta þessi sömu gæði. (Iðnaðarráðherra, 1999, bls. 1)

Vinna við fyrsta hluta rammaáætlunar stóð yfir frá 1999-2003 og lauk með skýrslu. Þá varð ljóst að frekari rannsókna væri þörf til að afla betri vitneskju um þau svæði sem skýrslan náði til. Því var ráðist í annan hluta rammaáætlunar á árunum 2004-2011 þó með þeirri áherslubreytingu að nú skildi einnig leggja mat á verndargildi virkjunarkosta. Var því formlegt heiti vinnunnar *Rammaáætlun um vernd og nýtingu vatnsafls og jarðvarma*. Lauk þeirri vinnu með skýrslu til iðnaðarráðherra og umhverfisráðherra þar sem 84 virkjunarkostum voru gerð skil, þar af 44 í jarðhita. Verkefnisstjórn lagði fram tillögu að



röðun virkjunarkosta í orkunýtingarflokk, verndarflokk og biðflokk skv. lögum nr. 48/2011 um verndar- og orkunýtingaráætlun (Verkefnisstjórn, 2011).

Eftir langa umræðu í þinginu um niðurstöður verkefnisstjórnar samþykkti Alþingi loks þann 14. janúar 2013 þingsályktunartillögu nr. 13/141 þar sem virkjunarkostum er raðað í fyrrgreinda flokka (sjá töflu 5). Þingsályktunin byggir á röðun verkefnisstjórnar með þeirri breytingu að Hágöngur voru færðar úr nýtingarflokki í biðflokk.

**Tafla 5: Flokkun virkjunarkosta í jarðvarma skv. samþykktri þingsályktunartillögu 13/141 frá árinu 2013.**

Svæði	Nýtingarflokkur	Biðflokkur	Verndarflokkur
Reykjanes	Reykjanes Stóra – Sandvík		
Svartsengi - Eldvörp	Eldvörp		
Krýsuvík	Sandfell Sveifluháls	Trölladyngja Austurengjar	
Brennisteinsfjöll			Brennisteinsfjöll
Hengill	Meitillinn Gráuhnjúkar Hverahlíð	Innstidalur Hverárdalur Ölfusdalur	Bitra Grænidalur
Geysir			Geysir
Kerlingarfjöll			Hverabotn Neðri - Hveradalir Kisubotnar Þverfell
Hágöngur		Hágöngur	
Hrúthálsar		Hrúthálsar	
Fremrinámar		Fremrinámar	
Krafla - Námafjall	Bjarnarflag Krafla		
Gjástykki			Gjástykki
Þeistareykir	Þeistareykir		

Háhitasvæðin Askja, Hveravellir, Torfajökull, Vonarskarð og Kverkfjöll eru undanskilin við þessa röðun vegna friðlýsingar svæðanna skv. lögum nr. 48/2011 um verndar- og orkunýtingaráætlun.

Verkefnisstjórn mun starfa áfram og vera þeim ráðherra er fer með orkumál til ráðgjafar, en flokkun virkjunarkosta skal endurskoða á a.m.k. fjögurra ára fresti skv. fyrrgreindum lögum um verndar- og orkunýtingaráætlun..

## 2.5 Jarðhitanotkun á heimsvísu

Íslendingar eru í fremstu röð þegar kemur að jarðhitanýtingu. Það hefur gert það að verkum að eftirspurn er eftir þekkingu og reynslu íslenskra sérfræðinga, og íslensk fyrirtæki og stofnanir eru farin að starfa á alþjóðavísu á sviði jarðvarma. Jarðboranir, ÍSOR, Landsvirkjun, Reykjavík Geothermal, RARIK Orkuþróun, Orka Energy auk

verkfræðistofanna Mannvits, Verkís, Eflu og Verkfræðistofu Jóhanns Indriðasonar taka t.d. öll þátt í alþjóðlegum verkefnum.

### 2.5.1 Jarðhitanotkun

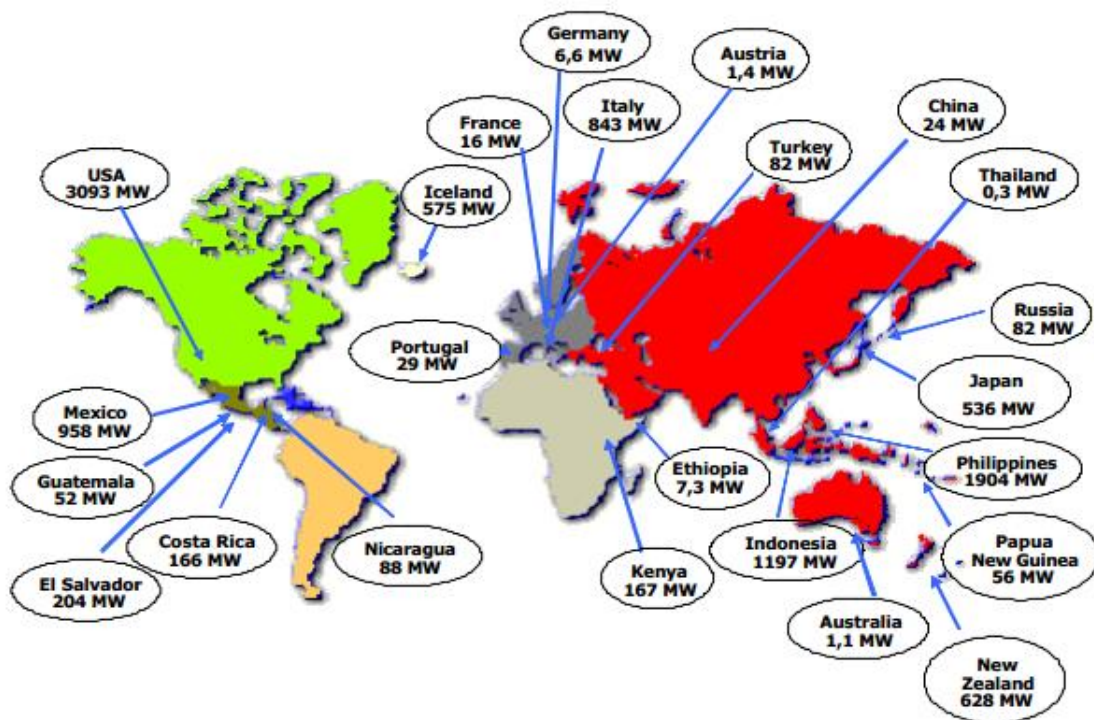
Á jarðhitaráðstefnunni í Balí árið 2010 birtu Lund, Freeston og Boyd yfirlit yfir beina nýtingu jarðvarma á heimsvísu. Þar kom fram að jarðhiti er nýttur með einhverju móti í tæplega 80 löndum víða um heim. Í mörgum löndum takmarkast nýting þó enn við frumstæða notkun eins og böð og þvotta. Alls nam bein notkun jarðhita á heimsvísu 424 PJ. Notkun var mest í Kína en á Íslandi sé miðað við höfðatölu. Í töflu 6 má sjá hvaða 10 þjóðir nýta jarðhita mest til beinna nota.

Lághitasvæði eru aðeins áhugaverð til raforkuvinnslu ef þau eru mjög nærri byggð eða athafnarsvæði sem nýtir orkuna. Því er raforkuvinnsla að mestu bundin við háhitasvæði en þau eru aðallega að finna í löndum sem liggja á flekaskilum (Guðmundur Pálmason, 2005). Árið 2010 nam raforkuvinnsla úr jarðhita 242 PJ í alls 24 löndum. Uppsett rafafll jarðvarmavirkjana í öllum 24 löndunum má sjá á mynd 11. Fjórðungur vinnslunnar var í Bandaríkjunum (Bertani, 2010). Í töflu 6 má svo sjá hvaða 10 þjóðir vinna mesta raforku úr jarðhita. Þar má einnig sjá að Ísland er fjórða mesta jarðhitapjóð í heimi miðað við jarðhitanotkun á eftir Bandaríkjunum, Kína og Svíþjóð og þá er ekki verið að miða við höfðatölu.

**Tafla 6: 10 fremstu jarðhitapjóðir í heimi árið 2010, m.t.t. beinnar notkunar, raforkuvinnslu og heildar jarðhitanotkunar.**

Röð	Bein jarðhitanotkun*			Raforkuvinnsla**			Heildar jarðhitanotkun		
	Land	PJ/ár	%	Land	PJ/ár	%	Land	PJ/ár	%
1.	Kína	75,4	18%	Bandaríkin	59,8	25%	Bandaríkin	116,3	17%
2.	Bandaríkin	56,6	13%	Filipseyjar	37,1	15%	Kína	75,9	11%
3.	Svíþjóð	45,3	11%	Indónesía	34,6	14%	Svíþjóð	45,3	7%
4.	Tyrkland	36,9	9%	Mexíkó	25,4	10%	Ísland	40,9	6%
5.	Ísland	24,4	6%	Ítalía	19,9	8%	Tyrkland	38,7	6%
6.	Frakkland	12,9	3%	Ísland	16,5	7%	Filipseyjar	37,1	6%
7.	Þýskaland	12,8	3%	Nýja Sjáland	14,6	6%	Japan	36,7	6%
8.	Noregur	10,8	3%	Japan	11,0	5%	Indónesía	34,6	5%
9.	Holland	10,7	3%	Kenýa	5,1	2%	Ítalía	29,8	4%
10.	Ítalía	9,9	2%	El Salvador	5,1	2%	Mexíkó	29,4	4%
	Samtals	295,6	70%	Samtals	229,1	95%	Samtals	484,8	73%
	Heild	424	100%	Heild	242	100%	Heild	666	100%

\* Upplýsingar úr Lund o.fl. 2010. \*\* Upplýsingar úr Bertani 2010.



Mynd 11: Uppsett afl jarðvarmavirkjana á heimsvísu árið 2010 (Bertani, 2010).

## 2.5.2 Jarðhitanotkun eftir flokkum

Tafla 7: Jarðhitanotkun eftir flokkum á heimsvísu borin saman við Ísland fyrir árið 2010.

Flokkur	Heimurinn*			Ísland***	
	Útbreiðsla [lönd]	Notkun [PJ]	%	Notkun [PJ]	%
Raforkuvinnsla	24**	242,1**	36,4%	16,1	38,8%
Varmadælur	43	200,1	30,1%	0	0%
Húshitun	27	63,0	9,5%	18,8	45,4%
Ylrækt	34	23,3	3,5%	0,7	1,7%
Fiskeldi	22	11,5	1,7%	1,8	4,2%
Iðnaður	22	13,4	2,0%	0,8	1,9%
Böð og sundlaugar	71	109,4	16,4%	1,6	3,7%
Snjóbræðsla	5	2,1	0,3%	1,7	4,1%
Annað	7	1,0	0,1%	0	0%
<b>Samtals</b>		<b>666</b>	<b>100%</b>	<b>41,4</b>	<b>100,0%</b>

\* Upplýsingar úr Lund o.fl. 2010. \*\* Upplýsingar úr Bertrani 2010. \*\*\*Upplýsingar úr OS e.d.-a.

Eins og sjá má í töflu 7 er jarðhitanotkun á heimsvísu um margt frábrugðin jarðhitanotkun hér á landi. Flest lönd sem nota jarðhita eru á breiddargráðum þar sem loftslag er hlýtt eða temprað og því þörf til upphitunar á húsnæði ýmist ekki til staðar eða aðeins til staðar hluta úr ári. Á Íslandi er þörf fyrir hitaveitu allan ársins hring og húshitun eða húsnotkun er mikilvægasti notkunarflokkur jarðhita með tæplega helming allrar árlegrar jarðhitanotkunar. Á heimsvísu er vægi flokksins mun minna eða innan við 10%. Alls nýta

27 lönd jarðhita til húshitunar og er orkunotkunin 63 PJ sem þýðir að 30% notkunarinnar á sér stað á Íslandi.

Húshitun með varmadælum sem nota jarðhita er mun útbreiddari aðferð en húshitun með hitaveitu, en varmadælur má einnig nýta til kælingar. Varmadælur sem nýta jarðhita hafa náð mikilli útbreiðslu í Bandaríkjunum, Evrópu og Kína og er talið að hátt í 3 milljónir heimila í 43 löndum noti slíkar varmadælur. Jarðhitanotkun varmadæla árið 2010 var 200 PJ sem gerir varmadælur að næst mikilvægasta notkunarflokki jarðhita á heimsvísu. (Lund o.fl., 2010). Varmadælur hafa enn sem komið er ekki náð miklum vinsældum á Íslandi.

Jarðhitanotkun til snjóbræðslu var 2 PJ árið 2010. Þar af átti 1,7 PJ eða 80% af notkuninni sér stað á Íslandi. Alls nota fjögur önnur lönd jarðhita til snjóbræðslu en í mjög litlum mæli í samanburði við Ísland.

Raforkuvinnsla er mikilvægasti notkunarflokkur jarðhita á heimsvísu með 36% allrar notkunar. Notkunarhlutfallið á Íslandi er mjög sambærilegt eða 39%, en hér er raforkuvinnsla næstmikilvægasti flokkurinn. Alls nam raforkuvinnsla úr jarðhita 242 PJ árið 2010 en jarðhiti hefur verið virkjaður í 24 löndum. Athyglisvert er að sjá að lönd eins og Filipseyjar, Indónesía, Kenýa og El Salvador sem eru meðal fremstu þjóða heims í virkjun jarðhita, hafa nær enga beina jarðhitanotkun (Lund o.fl.,2010).

Notkun jarðhita til baða og suns er sú notkun sem hefur náð mestri útbreiðslu á heimsvísu. Alls er vitað til þess að 71 land noti jarðhita í þessum tilgangi og mörg þeirra hafa gert það um margra alda skeið. Víða er mikil baðmenning m.a. í Japan og Tyrklandi (Lund o.fl.,2010). Árið 2010 nam jarðhitanotkun þessa flokks 109 PJ sem gerir böð og sundlaugar að þriðja stærsta notkunarflokki jarðhita á heimsvísu. Á Íslandi er mikil sundmenning og hér eru fjölmargar sundlaugar sem flestar eru hitaðar með jarðhita. Þrátt fyrir það er vægi sundlauga í jarðhitanotkun hér á landi mun minni en á heimsvísu.

Jarðhitanotkun í ylækt er nokkuð útbreidd en 34 lönd notuðu alls 23 PJ til upphitunar á gróðurhúsum og jarðvegshitunar árið 2010. Áætlað er að flatarmál upphitaðra gróðurhúsa í heiminum sé 1.163 ha (1 ha = 10.000 m<sup>2</sup>) og nýtist að nær öllu leyti við ræktun á grænmeti og plöntum (Lund o.fl.,2010). Á Íslandi eru gróðurhús einnig nýtt undir ræktun grænmetis og planta en ylækt hefur helmingi minna vægi í heildar jarðhitanotkun hér á landi en á heimsvísu.

Jarðhiti er notaður til fiskeldis og hrognaframleiðslu í 22 löndum og er fjölbreytni framleiðslutegunda mikil. Til viðbótar við þær tegundir sem framleiddar eru hér á landi eru allskyns hlývatnstegundir, rækjur, humar og jafnvel krókóðílar ræktaðir með hjálp jarðhita (Lund o.fl.,2010). Alls nam jarðhitanotkun til fiskeldis 12 PJ á heimsvísu eða tæplega 2% af allri jarðhitanotkun samanborðið við rúmlega 4% á Íslandi.

Hægt er að nota orku úr jarðhita til ýmissa iðnaðarferla. Nýtingin er þó lítil bæði hér á landi og á heimsvísu, aðeins um 2% af heildar jarðhitanotkun í báðum tilfellum. Þrátt fyrir að umfang nýtingarinnar sé ekki mikil er fjölbreytnin talsverð. Notkun bæði hér á landi og annars staðar er þó að miklu leyti bundin við þurrkun, t.d. á landbúnaðarafurðum eins og hveiti, korni, grasi, timbri og ávöxtum en einnig þangi og steypu. Heitt vatn og gufa er einnig notuð við pappírs- og pappaframleiðslu, textílframleiðslu, leðurvinnslu, gosdrykkjarframleiðslu, mjólkurframleiðslu, saltvinnslu, þurrís vinnslu, sýruframleiðslu og jafnvel olíuframleiðslu svo eitthvað sé nefnt (Lund o.fl., 2010).

Sú jarðhitanoftkun sem ekki fellur inn í ofantalda flokka hefur verið kölluð önnur notkun og nam alls 1 PJ í sjö löndum. Dæmi um slíka notkun er dýrabúskapur, ýmis sóttþreinsun og þörungaræftun (Lund o.fl., 2010).

Athuga skal að við gerð töflu 6 var stuðst við upplýsingar frá Bertani (2010) og Lund o.fl. (2010) fyrir öll lönd en í töflu 7 eru upplýsingar um jarðhitanoftkun á Íslandi fengnar frá Orkustofnun (e.d.-a). Gögnum ber ekki alveg saman og í samanburði við tölur Orkustofnunar er bein jarðhitanoftkun á Íslandi lítillaga vanmetin í skýrslu Lund o.fl. á meðan raforkuvinnsla er lítillaga ofmetin í skýrslu Bertani. Jarðhitanoftkun á Íslandi er samanlagt vanmetin um 0,5 PJ í töflu 6 í samanburði við gögn frá Orkustofnun í töflu 7.

## 2.6 Samantekt

Á Íslandi má finna mikinn jarðhita. Umfangsmikil og fjölbreytt notkun jarðhitans hér á landi hefur skipað Íslandi sess meðal mestu jarðhitapjóða heims hvort sem horft er til raforkuvinnslu eða beinnar notkunar. Til hefðbundinnar beinnar notkunar teljast húsnokun (húshitun), snjóbræðsla, ylæft, sundlaugar, fiskeldi og iðnaður. Húsnokun er og hefur verið stærsti og mikilvægasti notkunarflokkurinn hér á landi en það kemur til með að breytast ef áform um nýjar jarðvarmavirkjanir ganga eftir. Raforkuvinnsla úr jarðhita hefur aukist mikið undanfarinn áratug á meðan húsnokun hefur að mestu staðið í stað. Árið 2011 nam jarðhitanoftkun til raforkuvinnslu og húshitunar samtals 35,72 PJ eða 85% af allri jarðhitanoftkun hér á landi. Jarðhitanoftkun til annarrar beinnar notkunar var því 15%.

Jarðhiti er skilgreindur sem endurnýjanleg orkulind. Ekki eru allir sammála þeirri skilgreiningu þar sem jarðhiti endurnýjast svo hægt að unnt er að nýta auðlindina hraðar en hún getur endurnýjað sig. Árið 2011 nam frumorkunoftkun jarðhita hér á landi 156 PJ sem er rúmlega 70% af áætluðum árlegum aðgengilegum varmastraumi landsins. Frumorkunýtni heildar jarðhitanoftkunar hér á landi var aðeins 27% árið 2011 sem skýrist aðallega af mikilli raforkuvinnslu en almennt nýtist aðeins um 10-15% frumorku við raforkuvinnslu í íslenskum jarðvarmavirkjunum. Frumorkunýtni beinnar notkunar er mun betri, almennt yfir 80%.

Mikilvægt er að leita leiða til þess að bæta frumorkunýtni og auka sjálfbærni jarðhitanoftkunar hér á landi svo komandi kynslóðir fái einnig að njóta jarðhitans. Frumorkunýtni má bæta með aukinni fjölnýtingu jarðhitans og má í því samhengi t.d. skoða umfangsmeiri ylæft, fiskeldi, þörungaræft og iðnað samhliða raforkuvinnslu. Einnig leynast tækifæri í nýtingu aukaafurða sem myndast við raforkuvinnslu, t.d. má vinna verðmæt efni úr affallsvatni og útblæstri virkjana.



### 3 Raforkuvinnsla úr jarðhita

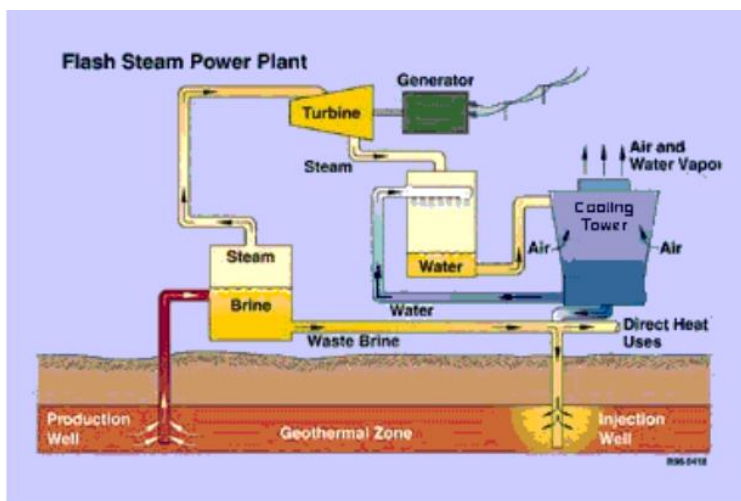
Í þessum kafla er leitast eftir því að útskýra á einfaldan hátt hvernig raforka er unnin úr jarðhita. Affallsvatni og jarðhitagasi eru gerð skil og útskýrt af hverju þau eru óhjákvæmilegar aukaafurðir vinnslunnar. Farið er yfir hvernig affallsvatni er fargað að lokinni nýtingu og hvernig er staðið að losun jarðhitagass.

#### 3.1 Raforkuvinnsla

Íslenskar jarðvarmavirkjanir eru mjög mismunandi að stærð og gerð auk þess að vera samsettar úr mismunandi vinnslukerfum. Skipta má vinnslukerfum jarðvarmavirkjana í þrjá flokka: eimsvalakerfi, mótþrýstikerfi og tvívökvakerfi (Guðmundur Pálmason, 2005). Mynd 12 sýnir dæmi um vinnslukerfi með opinn eimsvala.

Við raforkuvinnslu úr jarðhita á háhitasvæðum er 200-320°C heitur jarðhitavökvi sóttur með borunum niður í jarðhitageymi. Þegar jarðhitavökvinn nálgast yfirborðið lækkar þrýstingur og hluti vökvans breytist í gufu. Þess vegna kemur yfirleitt blanda af gufu og vatni upp úr borholum en hlutfallið fer eftir vermi viðkomandi borholu sem ákvarðast af þrýstingi og hitastigi. Því hærra vermi sem borhola hefur því hærra er gufuhlutfallið, en gufan er það sem leitað er eftir við raforkuvinnsluna (Guðmundur Pálmason, 2005; Sverrir Þórhallsson, 2011). Vermi þurrar gufu er 2800 kJ/kg en gera má ráð fyrir því að hlutfall gufu og vatns sé nálægt því að vera til helminga þegar vermi er á bilinu 1900-2100 kJ/kg (Oddur B. Björnsson og Davíð Ö. Benediktsson, 2008). Vermi borhola á Íslandi er þó almennt lægra og holurnar því frekar *blautar* en *þurrar* (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010a).

Nýlegri virkjanir hafa gufuskilju sem greinir á milli gufu og vatns. Gufan er svo nýtt til að knýja hverfil sem snýr rafali sem framleiðir raforku. Almennt nota jarðvarmavirkjanir háþrýstigufu við raforkuvinnslu en sumar nýta einnig lágþrýstigufu. Lágþrýstigufa fæst með því að sjóða skiljuvatn, sem greint er frá gufu í háþrýstiskilju, við lægri þrýsting í annarri gufuskilju. Lágþrýstigufan knýr svo lágþrýstihverfil sem snýr rafali og þannig má auka raforkuvinnslu jarðvarmavirkjunar án aukinnar upptöku jarðhitavökva. Með virkjun lágþrýstingsgufu aukast þó líkur á kísílutfellingum sem dregur úr hagkvæmni (Guðmundur Pálmason, 2005).

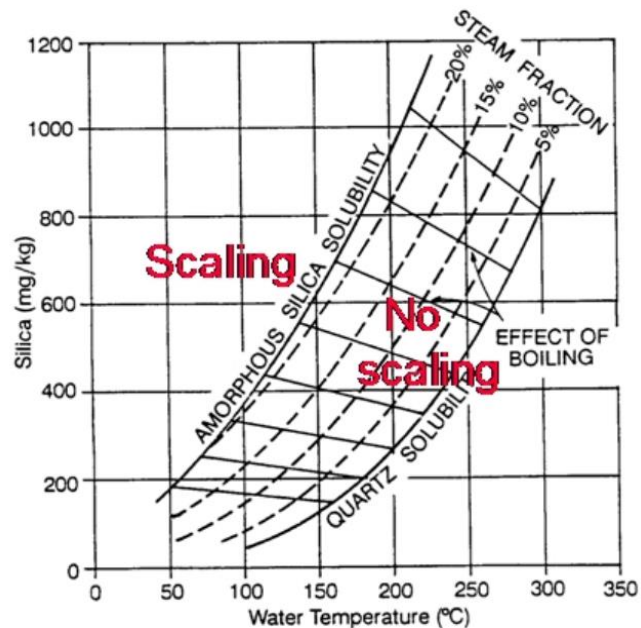


Mynd 12: Dæmi um framleiðsluferli eimsvalastöðvar með opinn eimsvala (Mburu, 2009).

## 3.2 Útfelling kísils

Jarðhitavatn á háhitasvæðum er ríkt af uppleystum efnum, t.d. kísli ( $\text{SiO}_2$ ). Styrkur efnanna fer eftir hitastigi vatns og jarðfræðilegum þáttum á hverjum stað. Kísilútfellingar eru helsta vandamál við raforkuvinnslu úr jarðhita og gera það að verkum að varmaorkan nýtist aðeins að takmörkuðu leyti til raforkuvinnslu (Guðmundur Pálmason, 2005; Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson, 2003, 2005).

Á háhitasvæðum er styrkur kísils í jarðhitavatni jafnan þannig að vatnið er mettað með tilliti til kvars (kristölluð gerð af kísli). Kísilútfellingar eru aftur á móti ókristallaðar (í formi ópala) og hafa meiri leysni en kvars og falla þess vegna út við lægri hita. Þegar jarðhitavatn sýður og skiptist upp í vatns- og gufufasa verða uppleyst efni, eins og kísill, eftir í vatninu sem kallast þá skiljuvatn á meðan súrar óþéttanlegar lofttegundir fara með gufunni. Styrkur uppleystra efna er því hærri í skiljuvatni en í jarðhitavatni auk þess sem pH-gildið er herra sem gerir það að verkum að útfellingarhraði kísils eykst. Útfelling hefst þó ekki fyrr en vatnið er yfirmettað með tilliti til ópala. Á mynd 13 má sjá á hvaða bili gufumyndun getur farið fram án útfellinga. Þumalputtareglan er sú að



Mynd 13: Línurit sem sýnir leysni kísils í vatni. Útfelling (e. scaling) verður þegar styrkur kísils í vatni er fyrir ofan ferilinn sem sýnir styrk ókristallaðs kísils (e. amorphous silica) (Sverrir Þórhallsson, 2011).

hægt er að kæla jarðhitavatn niður um  $100^\circ\text{C}$  án útfellinga. Jarðhitavökvi sem er  $250^\circ\text{C}$  má því kæla niður í allt að  $150^\circ\text{C}$  án útfellingavandamála. Þetta þýðir að hægt er að umbreyta um 20-25% af vatnshluta jarðhitavökvans í gufu með þrýstingslökkun, óháð upphaflegu hitastigi. Því heitari sem jarðhitavökvinn er því heitara er skiljuvatnið sem fellur til (Guðmundur Pálmason, 2005; Sverrir Þórhallsson, 2011).

## 3.3 Heitavatnsframleiðsla

Þar sem eftirspurn hefur verið eftir hitaveituvatni í námunda við jarðvarmavirkjanir hefur framleiðsla á heitu vatni farið fram samhliða raforkuvinnslunni. Þá er skiljuvatn notað til þess að hita upp ferskt grunnvatn í varmaskiptum. Nýting affallsvatns til heitavatnsframleiðslu bætir umtalsvert frumorkunýtni virkjananna (Guðmundur Pálmason, 2005).

## 3.4 Affallsvatn

Affallsvatn frá virkjunum skiptist í skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn.



### 3.4.1 Skiljuvatn

Eins og áður hefur komið fram er skiljuvatn vatnsfasi jarðhitavökva sem greindur er frá gufu í gufuskilju. Hitastig skiljuvatns fer eftir þrýstingi við gufuskilju og er almennt á bilinu 160-250°C (Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnarsson, 2003). Skiljuvatn er þó yfirleitt kaldara þegar því er fargað sérstaklega ef það hefur verið nýtt til heitavatsframleiðslu.

Í samanburði við grunnvatn og heitt vatn frá lághitasvæðum er skiljuvatn ríkt af uppleystum efnum og hentar því illa til beinnar notkunar. Hátt efnainnihald virkar sem hvati á efnahvörf og því eru tæring og útfelling vandamál við nýtingu á söltu og efnaríku vatni (Guðmundur Pálmason, 2005). Aðalefni í skiljuvatni eru kísill (SiO<sub>2</sub>), natríum (Na), klóríð (Cl), karbónat (CO<sub>2</sub>), kalíum (K), brennisteinsvetni (H<sub>2</sub>S), súlfat (SO<sub>4</sub>), ál (Al), járn (Fe), kalsíum (Ca), magnesíum (Mg) og bór (B). Snefilefni sem finnast í skiljuvatni eru arsen (As), baríum (Ba), kadmíum (Cd), kóbalt (Co), kopar (Cu), kvikasilfur (Hg), mólýbden (Mo), nikkell (Ni), blý (Pb), strontíum (Sr) og sink (Zn). Efnin eru flest gagnleg og jafnvel nauðsynleg mönnum og öðrum lífverum í hóflegu magni, en þungmálmur eins og t.d. arsen og kvikasilfur geta skaðað lífríki.

Styrkur efna í jarðhitavatni er talsvert frábrugðinn á milli svæða. Sérstaklega er mikill munur á söltum og ósöltum svæðum. Á ósöltum svæðum hér á landi er algengt að skiljuvatn innihaldi á bilinu 1000-2000 mg/kg af uppleystum efnum en styrkur uppleystra efna er margfalt meiri á söltum svæðum. Með efnavinnslu má vinna verðmæt efni úr jarðhitavatni eða útfellingum (sjá kafla 2.3.10).

### 3.4.2 Þéttivatn

Þéttivatn er gufa frá gufuhverfli sem hefur verið þétt með kælingu í eimsvala að raforkuvinnslu lokinni. Hluti þéttivatns gufar upp í kæliturnum og gas er skilið frá þéttivatni í afloftara og losast út í andrúmsloftið.

Hitastig þéttivatns er yfirleitt á bilinu 35-60°C og er þéttivatn almennt efnasnautt, með styrk uppleystra efna undir 500 mg/kg. PH-gildi þéttivatns er almennt lægra en pH-gildi neysluvatns, á milli 5-6, og getur því valdið tæringu á rörum og hentar því fremur illa til beinnar nýtingar (Guðmundur Pálmason, 2005).

### 3.4.3 Kælivatn

Kælivatn er kalt grunnvatn eða sjór sem notaður er til að kæla gufu í eimsvala. Kælivatnsþörf virkjana fer eftir því hvort eimsvalar þeirra séu vatnskældir eða loftkældir. Kælivatn blandast ekki jarðhitavökva og er því ekki efnamengað. Hitastig kælivatns við förgun er almennt á bilinu 35-60°C. Kælivatn sem er upphitað frekar við heitavatsframleiðslu fer inn á hitaveitukerfi og telst því ekki vera affallsvatn í umfjöllun þessarar ritgerðar. Ýmis ferli úr kafla 2.3 geta nýtt varmaorku úr kælivatni.

## 3.5 Förgun affallsvatns

Affallsvatn er ýmist losað á yfirborði á landi eða í sjó eða dælt niður í jörðu óháð því hversu mikil nýting á vatninu hefur farið fram áður.

### 3.5.1 Yfirborðslosun

Yfirborðslosun er förgun á yfirborði eða í sjó þar sem affallsvatn getur haft mengandi áhrif á grunnvatn og neikvæð áhrif á lífríki. Affallslón eða vötn fylgja oft yfirborðslosun á landi. Yfirborðslosun á sér stað í einhverjum mæli við allar jarðvarmavirkjanir landsins.

Við Nesjavallavirkjun og Hellisheiðarvirkjun er hluta affallsvatns fargað í grunnar svelgholur sem eru 10-60 m djúpar. Förgun í svelgholur, telst til yfirborðslosunar, dregur ekki úr hættu á mengun en kemur í veg fyrir myndun lóna og vatna á yfirborði.

### 3.5.2 Niðurdæling

Niðurdæling þykir góður kostur til förgunar affallsvatns. Þannig má komast hjá efna- og varmamengun sem fylgir yfirborðslosun affallsvatns, sérstaklega skiljuvatns. Kostir niðurdælingar eru þó ekki aðeins umhverfislegs eðlis heldur getur niðurdæling einnig viðhaldið þrýstingi í jarðhitageymum og aukið varmaupptöku í bergi í jarðhitakerfum (Guðni Axelsson, 2008). Með niðurdælingu má því bæta nýtingu auðlindarinnar og þar með stuðla að sjálfbærri nýtingu hennar.

Hins vegar er niðurdæling kostnaðarsöm. Borholur eru mjög dýrar og talsverður kostnaður fylgir rekstri hola vegna útfellingavandamála. Þá getur niðurdæling valdið kælingu borhola og þar með haft neikvæð áhrif á jarðhitakerfi auk þess sem að niðurdæling getur orsakað smáa jarðskjálfta (Guðni Axelsson, 2008).

*Grunnförgun* er förgun affallsvatns í 400-800 m djúpar borholur sem ná annaðhvort niður fyrir grunnvatn eða niður í neðri grunnvatnslög.

*Djúpförgun* er förgun affallsvatns í djúpar borholur sem ná niður fyrir grunnvatn og eru tengdar jarðhitageymi. Slíkar holur eru a.m.k. 800 m djúpar.

## 3.6 Jarðhitagas

Í gufuskilju þegar vatn og gufa eru aðskilin fer mest allt gasið sem er í jarðhitavökvanum með gufunni. Gasið er sogað úr gufunni og sleppt út í andrúmsloftið eða safnað til frekari vinnslu. Koldíoxíð ( $\text{CO}_2$ ) er langalgengasta loftegundin í jarðhitagasi en aðrar helstu gastegundir eru brennisteinsvetni ( $\text{H}_2\text{S}$ ), köfnunarefni ( $\text{N}_2$ ), vetni ( $\text{H}_2$ ) og metangas ( $\text{CH}_4$ ) (Guðmundur Pálmason, 2005).

## 3.7 Losun jarðhitagass

Jarðhitagas frá jarðvarmavirkjunum losast ýmist út í andrúmsloftið sem útblástur eða er safnað og fundinn farvegur til nýtingar. Í framtíðinni er mögulegt að útblæstri verði niðurdælt til að minnka loftmengun.

### 3.7.1 Útblástur

Frá upphafi jarðvarmavirkjana hér á landi hefur gasútblastur verið losaður út í andrúmsloftið. Fylgst er sérstaklega með losun koldíoxíðs, brennisteinsvetnis og metans frá jarðvarmavirkjunum. Koldíoxíð og metangas eru gróðurhúsalofttegundir en

brennisteinsvetni er eitruð lofttegund (Ívar Baldvinsson, Þóra H. Þórisdóttir og Jónas Ketilsson, 2011).

### 3.7.2 Nýting

Síðustu ár hafa Carbon Recycling International og Bláa Lónið nýtt útblástur við sína framleiðslu, sú nýting er enn sem komið er takmörkuð. Umfangsmikil nýting gæti dregið verulega úr umhverfisáhrifum jarðvarmavirkjana.

### 3.7.3 Niðurdæling

Vegna takmarkaðrar nýtingar útblásturs er verið að skoða niðurdælingu jarðhitagass til að draga úr umhverfisáhrifum.

#### CarbFix

CarbFix er alþjóðlegt samstarfsverkefni Orkuveitu Reykjavíkur, Háskóla Íslands, Columbia háskóla, rannsóknarráðs franska ríkisins (CNSR), Kaupmannahafnarháskóla og ráðgjafafyrirtækisins AMPHOS 21 á Spáni. Verkefnið snýr að því að draga úr koldíoxíð útblæstri Hellisheiðarvirkjunar með því að þróa tækni sem bindur koldíoxíð varanlega í jarðlögum (Orkuveita Reykjavíkur, e.d.).

Verkefnið hófst árið 2007 og hófust prófanir á búnaði árið 2011 en samfelld niðurdæling á hreinum straumi af koldíoxíði hófst í upphafi árs 2012. Koldíoxíðið er leyst upp í vatni og dælt niður um borholur þar sem það binst sem steind í berggrunninum. Í raun má segja að stefnt sé að því skila koldíoxíðinu aftur þangað sem það var tekið (Stýrihópur SulFix, 2013).

#### SulFix

Sulfix er samstarfsverkefni orkufyrirtækjanna, Orkuveitu Reykjavíkur, Landsvirkjunar og HS Orku. Markmið verkefnisins er að farga brennisteinsvetni frá jarðvarmavirkjunum með hagkvæmum, árangursríkum og umhverfisvænum hætti.

Orkuveitan hóf vinnu við verkefnið árið 2007 en hin orkufyrirtækin komu inn í verkefnið árið 2012. SulFix er um margt mjög svipað verkefni og CarbFix en í SulFix er stefnt að því að dæla tiltölulega hreinum straumi af brennisteinsvetni niður um borholur þar sem það binst sem steind. Komi til niðurdælingar brennisteinsvetnis má gera ráð fyrir að því verði blandað við skilju- eða þéttivatn fyrir niðurdælingu (Stýrihópur SulFix, 2013).

Tilraunaniðurdæling brennisteinsvetnis hófst í lok árs 2011 og stóð í sex daga. Tilraunaniðurdæling hélt áfram árið 2012 og þar með lauk fyrsta áfanga verkefnisins af fjórum (Stýrihópur SulFix, 2013).

## 3.8 Samantekt

Jarðvarmavirkjanir geta verið mismunandi að stærð og gerð en grunnvirkni þeirra er ávallt eins. Gufa er notuð til þess að knýja vélasamstæðu, sem samanstendur af hverfli og rafali, sem framleiðir raforku. Við raforkuvinnslu fellur til mikið magn af heitu affallsvatni sem skiptist í skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn. Skiljuvatnið er ríkt af uppleystum efnum sem geta valdið útfellingum og tæringu. Útfelling kísils er helsta vandamál raforkuvinnslu á

háhitasvæðum og aðalástæða lágrar frumorkunýtni jarðvarmavirkjana. Affallsvatn frá virkjunum er annaðhvort losað á yfirborði eða því niðurdælt óháð nýtingu. Niðurdæling affallsvatns getur aukið nýtingartíma jarðhitasvæðis og þykir auk þess vera umhverfisvænni kostur en yfirborðslosun.

Við raforkuvinnslu jarðvarmavirkjana losna jarðhitaloftegundir út í andrúmsloftið. Útblástur jarðvarmavirkjana samanstendur aðallega af koldíoxíði en einnig af brennisteinsvetni og öðrum lofttegundum. Orkufyrirtækin eru að skoða möguleikana á að dæla koldíoxíði og brennisteinsvetni aftur niður í jarðhitageyminn til að draga úr loftmengun. Útblástur má einnig nýta til iðnaðar og skapa þar með verðmæti samhliða því að takmarka loftmengun.

## 4 Jarðvarmavirkjanir á Íslandi

Í þessum kafla eru teknar saman helstu upplýsingar um affallsvatn og útblástur jarðvarmavirkjana hér á landi. Sérstakur undirkafla er fyrir hverja virkjun þar sem farið er yfir helstu þætti er kunna að skipta máli fyrir nýtingu affallsvatns og útblásturs virkjunarinnar. Í undirköflum koma fram: helstu rekstrarupplýsingar, umfang vinnslu og framleiðslu, ráðstöfun affallsvatns (skiljuvatns, þéttivatns og kælivatns) eftir förgunarleiðum og hvaða breytingar kunna að verða þar á í náinni framtíð, upplýsingar um efnasamsetningu og hitastig affallsvatns, umfang gaslosunar, upptalning á núverandi nýtingu affallsvatns og jarðhitagass auk þess sem skipulagsmál viðkomandi svæðis er skoðað til að sjá hvort gert sé ráð fyrir orkutengdum iðnaði innan viðkomandi orkuvinnslusvæðis eða í nágrenni þess.

Í lok kaflans er svo samantekt þar sem helstu upplýsingar virkjananna eru dregnar saman til þess að auðvelda samanburð á milli virkjana. Þar má sjá samanlagt heildarumfang affallsvatns og útblásturs íslenskra jarðvarmavirkjana auk heildarumfangs iðnaðarsvæða sem hafa verið skilgreind í aðalskipulögum sveitarfélaga fyrir orkutengdan iðnað í námunda við jarðvarmavirkjanir. Fyrrgreindar upplýsingar hafa ekki áður verið aðgengilegar á einum stað auk þess sem svo nákvæmar upplýsingar um umfang og ráðstöfun affallsvatns frá jarðvarmavirkjunum hafa ekki áður verið teknar saman.

### 4.1 Bjarnarflagsstöð

Jarðgufustöðin í Bjarnarflagi var tekin í notkun árið 1969. Virkjunin var fyrsta jarðvarmavirkjun landsins og nýtir gufu frá háhitasvæðinu við Námafjall í Mývatnssveit til raforkuvinnslu. Auk þess sér gufustöðin hitaveitu og smáiðnaði fyrir gufu og baðstað fyrir jarðhitavatni. Gufustöðin hefur eina vélasamstæðu og er uppsett afl hennar 3 MW<sub>e</sub> (Landsvirkjun, 2011). Áætlað er að hætta rekstri gufustöðvarinnar og byggja nýja virkjun, annaðhvort 45 MW<sub>e</sub> eða 90 MW<sub>e</sub> (Landsvirkjun, Mannvit og Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2011). Jarðvinnuframkvæmdir fyrir Bjarnarflagsvirkjun hófust árið 2012. Í töflu 8 eru helstu upplýsingar um Bjarnarflagsstöð.

Tafla 8: Helstu upplýsingar um Bjarnarflagsstöð (Landsvirkjun, 2011).

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	Landsvirkjun
Háhitasvæði	Námafjall
Sveitarfélag	Skútustaðahreppur
Starfsemi hófst	1969
Framleiðslugeta	3 MW <sub>e</sub>
Hverfill	1 x 3 MW <sub>e</sub>

#### 4.1.1 Vinnsla og framleiðsla

Árið 2011 nam upptaka á gufu og jarðhitavatni vegna Bjarnarflagsstöðvar 4,33 milljónum tonna úr þremur borholum. Upptakan jafngildir 137 kg/s meðalupptöku, sem er tvöföld upptaka ársins 2010. Ástæða aukinnar upptöku var ekki aukin vinnsla eða niðurdráttur, heldur var rannsóknarborhola látin blása á árinu til prófunar fyrir nýja virkjun. Gufustöðin var því áfram tengd tveimur borholum og nýttist upptakan til vinnslu á um 18 GWst af raforku. Heildarupptaka úr holunum tveimur nam 2,15 milljónum tonna (68 kg/s). Þá sér

gufustöðin Hitaveitu Reykjahlíðar fyrir gufu til upphitunar á grunnvatni fyrir hitaveitu á svæðinu (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

#### 4.1.2 Ráðstöfun affallsvatns

Gufustöðin er frumstæð mótþrýstistöð án eimsvala. Það gerir það að verkum að affallsvatn frá virkjuninni samanstendur af skiljuvatni en engu þéttivatni eða kælivatni. Frá upphafi hefur allt skiljuvatn frá stöðinni verið losað á yfirborði og engu dælt aftur niður í jarðhitageyminn. Yfirborðslosunin hefur leitt af sér affallslón við hlið gufustöðvarinnar sem kallað hefur verið Bjarnarflagslón. Í dag er allt skiljuvatn losað í Bjarnarflagslón eða Jarðböðin við Mývatn sem er baðstaður í anda Bláa lónsins. Alls voru 2,26 milljón tonn af skiljuvatni losuð í lónin árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012). Út frá rennslismælingum Trausta Haukssonar og Jóns Benjamínssonar (2012) má áætla að um 1,66 milljón tonn (53 kg/s) hafi farið í Bjarnarflagslón og um 0,60 milljón tonn (19 kg/s) hafi farið í Jarðböðin. Í töflu 9 má sjá hvernig affallsvatni frá Bjarnarflagsvirkjun var ráðstafað árið 2011.

Tafla 9: Förgun affallsvatns frá Bjarnarflagsstöð árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

Förgunaraðferð	Skiljuvatn frá tengdum holum [milljón tonn/ár]	Skiljuvatn frá rannsóknarborholu [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
Yfirborðslosun í Bjarnarflagslón	0,56	1,09	1,66
Yfirborðslosun í Jarðböðin	0,60	0	0,60
<b>Samtals</b>	<b>1,16</b>	<b>1,09</b>	<b>2,26</b>

#### Niðurdæling í stað yfirborðslosunar

Styrkur arsens (As) í affallsvatni Bjarnarflagsstöðvar fer yfir mengunarmörk. Sérstaklega í Bjarnarflagslóni þar sem styrkurinn mældist 216 µg/kg sem er umfram umhverfismörk V, í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns, sem telst ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012). Þrátt fyrir það er ekki talið að fjölskrúðlegu lífríki Mývatns stafi veruleg hættu af yfirborðslosuninni því mikill grunnvatnsstraumur er á svæðinu sem hefur þynningaráhrif og sýna mælingar að áhrif affallsvatnsins á grunnvatn hverfa fljótt (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2002, 2012). Í raun sýna mælingar að orkuvinnsla á svæðinu hefur ekki orsakað neina hækkun á styrk arsens eða áls í lindum við Mývatn og grunnvatni vestan Námafjalls (Sigurður G Kristinnsson, Þráinn Friðriksson, Magnús Ólafsson, Sveinborg H. Gunnarsdóttir og Steinþór Níelsson, 2013).

Starfsleyfi Bjarnarflagsstöðvar heimilar losun affallsvatns á yfirborði en gerir jafnframt ráð fyrir að styrkur mengandi efna í grunnvatninu sé innan umhverfismarka I í fyrrgreindri reglugerð þegar vatnið berst til Mývatns (Heilbrigðiseftirlit Norðurlands eystra [HNE], 2009). Gera má ráð fyrir að virkjunin fái nýtt starfsleyfi fyrir árslok 2014 en HNE hefur gildandi starfsleyfi Bjarnarflagsstöðvar til endurskoðunar.

Með fyrirhugaðri Bjarnarflagsvirkjun verður Jarðböðunum áfram séð fyrir skiljuvatni en ráðgert er að hefja niðurdælingu og hætta losun affallsvatns í Bjarnarflagslón nema sem

neyðarförgun. Því má gera ráð fyrir að lónið hverfi með tímanum (Landsvirkjun o.fl., 2011).

### 4.1.3 Efnasamsetning og hitastig affallsvatns

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni og gufu við gufuskilju frá holum BJ-09 og BJ-13 í samanburði við valdar holur annarra virkjana, en þær holur eru tengdar gufustöðinni. Í viðauka II má sjá efnagreiningu á skiljuvatni í lögn á leið til Jarðbaðanna í samanburði við affallsvatn annarra virkjana. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

#### Skiljuvatn

Skiljuvatn frá Bjarnarflagi inniheldur fremur lágan styrk uppleystra efna, almennt í kringum 1000 mg/kg sem er lágt fyrir háhitavatn. Af málum er styrkur arsens, áls og kalíums í skiljuvatni yfir viðmiði fyrir neysluvatn skv. reglugerð nr. 536/2001. Styrkur brennisteinsvetnis í affallsvatni virkjunarinnar er einnig hár í samanburði við aðrar íslenskar jarðvarmavirkjanir (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

Styrkur kísils í skiljuvatni ræðst af hitastigi jarðhitavatns en vegið meðaltal kísilstyrks við gufuskilju í Bjarnarflagi er 835 mg/kg (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

Vegið meðalvermi allra borholanna þriggja var 1477 kJ/kg árið 2011 og er hitastig skiljuvatns frá virkjuninni að lágmarki 128°C, en við það hitastig fá Jarðböðin sitt skiljuvatn (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

### 4.1.4 Umfang gaslosunar

Árið 2011 reiknaðist meðalgasstyrkur í gufu frá borholum Bjarnarflagsstöðvar 0,21% af rúmmáli. Gasútblásturinn samanstóð aðallega af vetni (41%), brennisteinsvetni (34%) og koldíoxíði (23%). Aðrar lofttegundir eins og köfnunarefni, metan og argon mældust samanlagt rúmlega 2%. Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Bjarnarflagi árið 2011 má sjá í töflu 10 en gaslosun ársins var meiri en undanfarin ár vegna blásturs rannsóknarborholunnar (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012). Í viðauka IV má sjá gaslosun Bjarnarflagsstöðvar á hverja kWst í samanburði við aðrar virkjanir.

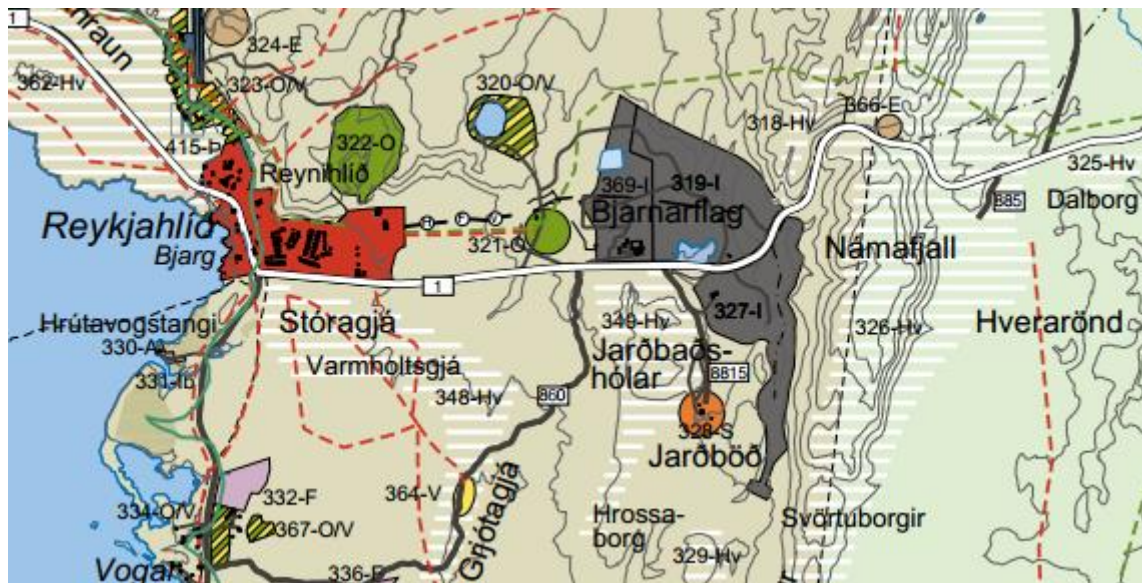
Tafla 10: Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Bjarnarflagi árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

	Koldíoxíð [tonn/ár]	Metan [tonn/ár]	Brennisteinsvetni [tonn/ár]
Tengdar borholur	595	5	643
Rannsóknarborhola	674	12	881
<b>Samtals</b>	<b>1.269</b>	<b>17</b>	<b>1.524</b>

### 4.1.5 Skipulagsmál og iðnaður

Bjarnarflag er austan við byggðarkjarnann Reykjahlíð sem er helsta þéttbýlisþyrping Skútustaðahrepps. Í aðalskipulagi Skútustaðahrepps 2011-2022 eru skilgreind þrjú iðnaðarsvæði við Bjarnarflag, þar af tvö orkuvinnslusvæði (Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013a). Á mynd 14 má sjá hvernig þjóðvegur 1 skilur í sundur

orkuvinnslusvæðin 319-I og 327-I, á myndinni má einnig sjá hverasvæðið Hverarönd austan við Námafjall sem er mikið aðdráttarafli fyrir ferðamenn.



Mynd 14: Bjarnarflag, Reykjahlíð og nágrenni. Á myndinni má sjá orkuvinnslusvæðin 319-I og 327-I auk iðnaðarsvæðisins 369-I. Einnig má sjá Bjarnarflagslón norðan við Þjóðveg 1, Jarðböðin við Mývatn og náttúruperluna Hverarönd (Teiknistofa Arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013b).

### Orkuvinnslusvæðin

Syðra orkuvinnslusvæðið (327-I) er 46 ha og að stærstu leyti í landi Voga. Þar hefur byggingarefnaframleiðandinn Léttsteypan starfsemi. Í gildandi deiliskipulagi fyrir svæðið er gert ráð fyrir að nær allt nýtanlegt landsvæði orkuvinnslusvæðisins fyrir utan lóðina þar sem Léttsteypan stendur fari undir Bjarnarflagsvirkjun og tengd mannvirki. Hluti svæðisins hentar þó illa til bygginga vegna staðhátta t.d. halla (Landsvirkjun o.fl., 2011).

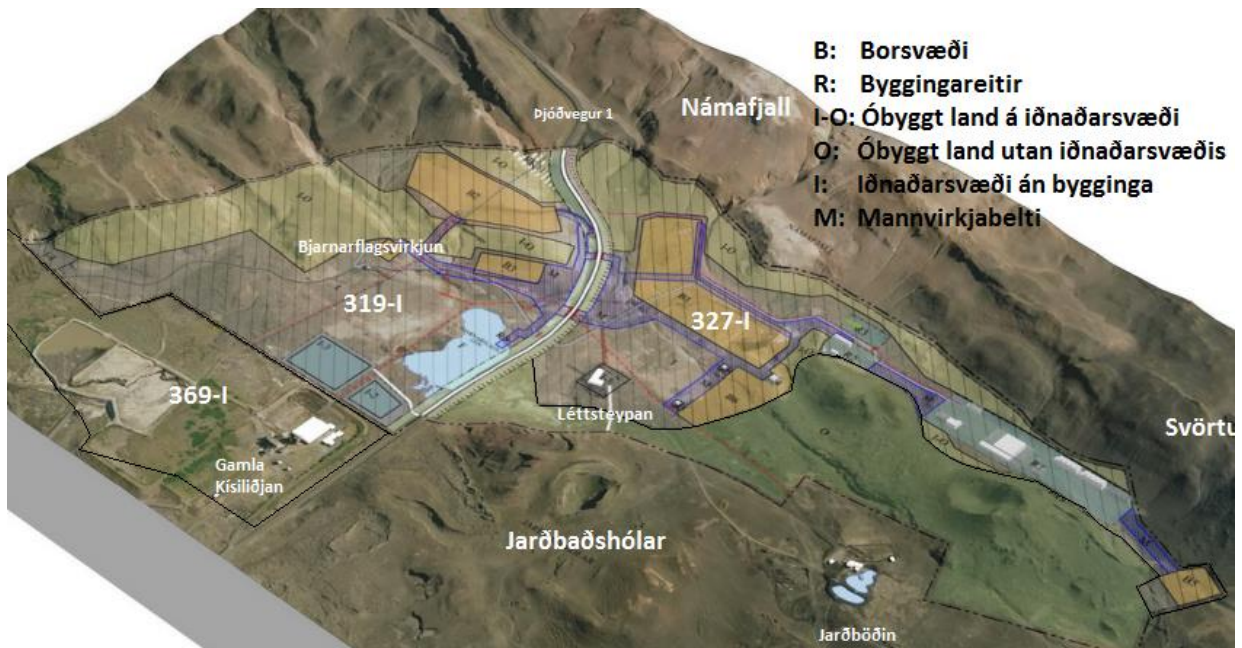
Nyrðra orkuvinnslusvæðið (319-I) er 56 ha og í landi Reykjahlíðar. Þar stendur Bjarnarflagsstöð og Bjarnarflagslón en ef áætlanir Landsvirkjunar fyrir svæðið, sem settar hafa verið í deiliskipulag, ganga eftir verður Bjarnarflagsstöð aflögð og fjarlægð. Í framhaldinu er ráðgert að svæðið nýtist aðallega undir borholur til að afla gufu fyrir nýja virkjun en þó hafa verðið skilgreindar tvær lóðir fyrir tengdan iðnað á svæðinu. Lóðirnar eru 1,2 og 2,2 ha og standa vestan við núverandi lón (sjá mynd 15) (Landsvirkjun o.fl., 2011).

### Iðnaðarsvæði

Á iðnaðarsvæðinu (369-I) þar sem Kísiliðjan var áður er gert ráð fyrir iðnaði en ekki orkuvinnslu. Svæðið er 32 ha og í landi Reykjahlíðar. Áætlað er að reisa þar vinnubúðir vegna byggingar Bjarnarflagsvirkjunar sem verða svo fjarlægðar að framkvæmdum loknum (Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013a).

Til stendur að reisa þörungabú í Mývatnssveit sem nýtir affallsvatn til framleiðslunnar. Verkefnið kallast Mýsköpun og er á frumstigi, en verði það að veruleika er sennilegt að því verði fundinn staður í námunda við Bjarnarflag (Kristján M. Unnarsson, 2012).





Mynd 15: Ásýnd orkuvinnslu- og iðnaðarsvæða eftir byggingu fyrirhugaðrar Bjarnarflagsvirkjunar (Breytt mynd úr Landsvirkjun o.fl., 2011).

## 4.2 Kröfluvirkjun

Íslenska ríkið reisti Kröfluvirkjun árið 1975 en Kröflueldar settu strik í reikninginn og ekki var hægt að gangsetja virkjunina fyrr en tveimur árum síðar þegar 30 MW<sub>e</sub> vélasamstæða sem nýttir blöndu af há- og lágþrýstigufu var tekin í notkun. Virkjunin sem er rekin af Landsvirkjun var fyrsta stóra jarðvarmavirkjun landsins en uppsett rafafli hennar er nú 60 MW<sub>e</sub>, önnur samskonar vélasamstæða var tekin í notkun árið 1997 (Landsvirkjun, 2011). Kröfluvirkjun er staðsett í Mývatnssveit tæpa 10 km norðaustur af Bjarnarflagsstöð. Landsvirkjun skoðar nú þann möguleika að stækka virkjunina um allt að 150 MW<sub>e</sub> (Landslag, 2012). Í töflu 11 eru helstu upplýsingar um Kröfluvirkjun.

Tafla 11: Helstu upplýsingar um Kröfluvirkjun (Landsvirkjun, 2011).

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	Landsvirkjun
Háhitavæði	Krafla
Sveitarfélag	Skútustaðahreppur
Starfsemi hófst	1977
Framleiðslugeta	60 MW <sub>e</sub>
Hverflar	2 x 30 MW <sub>e</sub>

### 4.2.1 Vinnsla og framleiðsla

Árið 2011 nam upptaka á gufu og jarðhitavatni úr jarðhitageyminum í Kröflu 9,22 milljónum tonna sem jafngildir 292 kg/s meðalupptöku. Upptakan kom úr átján tengdum borholum og nægði ekki til að reka virkjunina á fullum afköstum. Raforkuvinnsla ársins var 477 GWst en full afköst eru 500 GWst (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

### 4.2.2 Ráðstöfun affallsvatns

Heildarmagn skiljuvatns frá virkjuninni árið 2011 var 4,01 milljón tonn (127 kg/s). Þar af var 2,53 milljónum tonna (80 kg/s) dælt aftur niður í jarðhitageyminn með djúpförgun

niður fyrir grunnvatn. Því var 28% af uppteknum massa og 63% skiljuvatns skilað aftur til baka í jarðhitageyminn í formi niðurdælingar. Afganginum, um 1,48 milljón tonn (47 kg/s), voru losað á yfirborði í nærliggjandi læk. Þar sem virkjunin hefur opinn eimsvala blandast þéttivatn og kælivatn saman inn í eimsvala ólíkt því sem er í öðrum jarðvarmavirkjunum hér á landi (sjá mynd 12). Þéttivatn úr eimsvala er kælt í kæliturnum og dælt aftur inn í eimsvala sem kælivatn að viðbættu smáræði af köldu grunnvatni til að hækka sýrustigið í kælivökvanum. Yfirfallið úr þessari hringrás sem er að langstærstum hluta þéttivatn er losað með skiljuvatni í nærliggjandi læk. Áætlað er að yfirborðslosunin hafi verið um 65 kg/s eða 2,05 milljón tonn á ársgrundvelli (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012). Í töflu 12 má sjá hvernig affallsvatni frá Kröfluvirkjun var ráðstafað árið 2011.

**Tafla 12: Förgun affallsvatns frá Kröfluvirkjun árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).**

Förgunaraðferð	Skiljuvatn [milljón tonn/ár]	Þéttivatn [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
Niðurdæling í djúpar holur	2,53	0	<b>2,53</b>
Yfirborðslosun í Dallæk	1,48	2,05	<b>3,53</b>
<b>Samtals</b>	<b>4,01</b>	<b>2,05</b>	<b>6,06</b>

### Auka á niðurdælingu

Yfirborðslosun affallsvatns í Dallæk (einnig nefndur Hlíðardalslækur) hefur haft í för með sér neikvæð umhverfisáhrif. Nyrsti hluti lækjarins hefur hitnað, rennsli hans hefur aukist, útfellingar á botni hafa aukist, sýrustig hefur lækkað auk þess sem efnasamsetning vatnsins hefur breyst (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2012).

Í gildandi starfsleyfi virkjunarinnar eru engin sérstök skilyrði um hvernig skuli staðið að losun affallsvatns önnur en þau að það sé gert þannig að mönnum stafi ekki hætta af og áhrifum á lífríki sé haldið í lágmarki (HNE, 2009). HNE hefur starfsleyfi Kröfluvirkjunar til endurskoðunar og má búast við að nýtt starfsleyfi verði gefið út á árinu 2014.

Niðurdæling við Kröflu hefur verið stöðug frá árinu 2002. Skiljuvatni hefur þar verið dælt niður án íblöndunar við þéttivatn svo til án vandkvæða (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012). Frá og með desember 2012 hefur stöðug niðurdæling skiljuvatns verið 105 kg/s í stað 80 kg/s áður. Nú er því um 80% alls skiljuvatns dælt aftur niður í jarðhitageyminn og ætlar Landsvirkjun að hækka það hlutfall enn frekar á næstu árum (Landsvirkjun, 2013).

### 4.2.3 Efnasamsetning og hitastig affallsvatns

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni og gufu frá holum KJ-27 og KJ-30 úr gufuskilju í samanburði við valdar holur annarra virkjana. Í viðauka II má sjá efnagreiningu á 126°C skiljuvatni á leið í niðurdælingu og 45°C þéttivatni frá kæliturnum sem fargað er í Dallæk. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

## Skiljuvatn

Skiljuvatn frá Kröflu inniheldur lágan styrk uppleystra efna, á bilinu 1000-1500 mg/kg sem er fremur lágt fyrir háhitavatn. Af málum er styrkur arsens, áls og kalíums í skiljuvatni yfir viðmiði fyrir neysluvatn skv. reglugerð nr. 536/2001 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

Skiljuvatni frá Kröfluvirkjun er dælt niður við ca. 120-130°C en fargað á yfirborði við ca. 65°C eftir að það hefur verið kælt (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

Vegið meðaltal kísilstyrks við gufuskilju í Kröflu er 546 mg/kg sem er lægra en í Bjarnarflagi þrátt fyrir að vegið meðalvermi borhola í Kröflu sé hærra en í Bjarnarflagi, 1683 kJ/kg (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

## Kælivökvi (þéttivatn)

Yfirfall úr kælihringrás virkjunarinnar er losað í Dallæk við hitastig á bilinu 20-45°C. Grunnvatni er blandað við þéttivatn virkjunarinnar og því er það ekki eins súrt og þéttivatn annarra virkjana. Að öðru leyti inniheldur það líkt og þéttivatn almennt lágan styrk uppleystra efna, undir 500 mg/kg (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

Mælingar á þéttivatni sem losað er í Dallæk sýna að það er helst styrkur arsens í vatninu sem fellur undir umhverfismörk IV (reglugerð nr. 796/1999) sem þýðir að áhrifa sé að vænta á lífríki. Vegna tæringar í vélbúnaði fer styrkur króms og nikkels í þéttivatni yfir umhverfismörk II í sömu reglugerð (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

## 4.2.4 Umfang gaslosunar

Árið 2011 reiknaðist meðalgasstyrkur í gufu frá borholum Kröfluvirkjunar 1,06% af rúmmáli. Rúmlega 81% gasútblástursins var koldíoxíð en aðrar helstu tegundir voru brennisteinsvetni (13%) og vetni (6%). Aðrar lofttegundir eins og köfnunarefni, metan og argon mældust samanlagt tæplega 0,3%. Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Kröflu árið 2011 má sjá í töflu 13 en gaslosun ársins var sambærileg við losun síðustu ára (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012). Í viðauka IV má sjá gaslosun Kröfluvirkjunar á hverja kWst í samanburði við aðrar virkjanir.

Tafla 13: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Kröfluvirkjun árið 2011 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2012).

	Koldíoxíð [tonn/ár]	Metan [tonn/ár]	Brennisteinsvetni [tonn/ár]
Kröfluvirkjun	39.295	12	5.012
Samtals	39.295	12	5.012

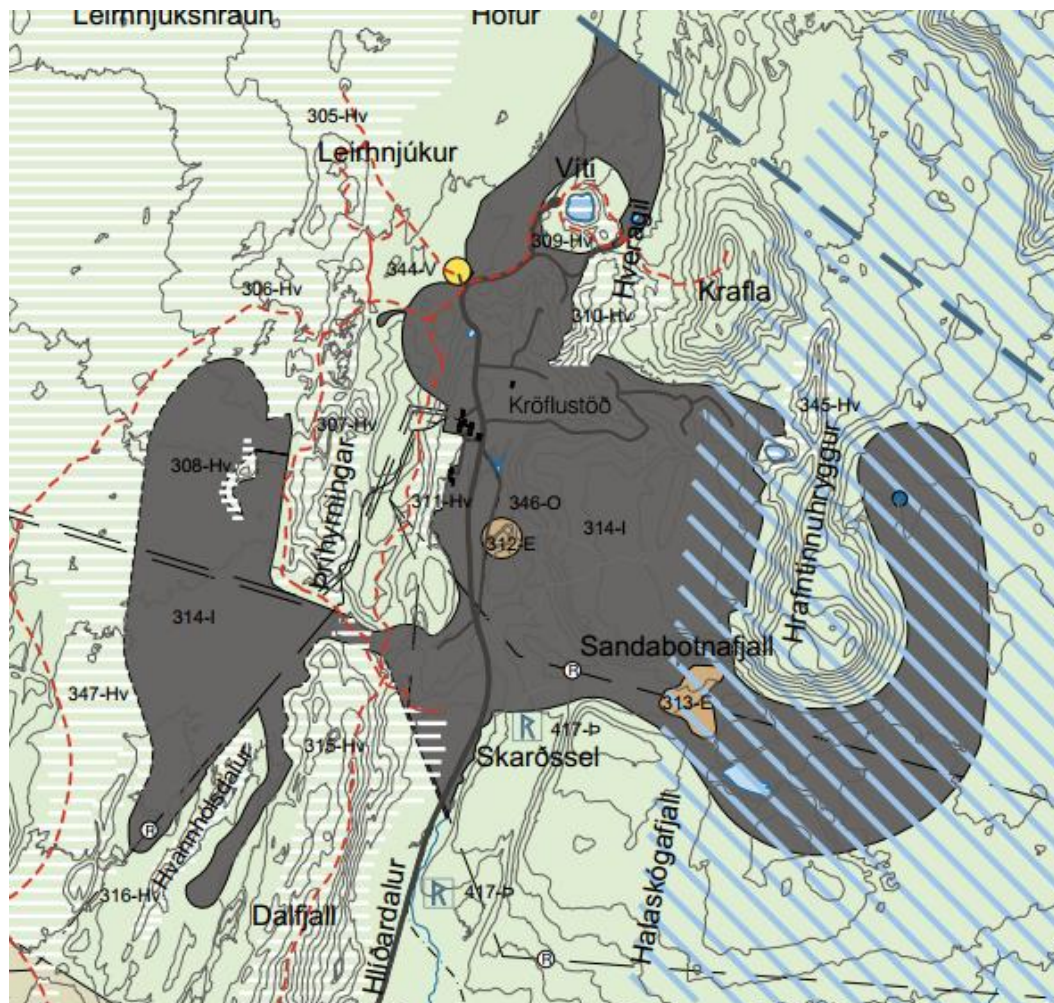
## 4.2.5 Skipulagsmál og iðnaður

Krafla er um 10 kílómetrum norðaustan við byggðarkjarnann Reykjahlíð sem er helsta þéttbýlisþyrping Skútustaðahrepps. Í aðalskipulagi Skútustaðahrepps 2011-2022 er skilgreint eitt stórt iðnaðarsvæði (orkuvinnslusvæði), alls 1.513 ha (sjá mynd 16). Skv. aðalskipulaginu einkennist svæðið af orkuvinnslu, ferðamennsku og útivist (Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013a). Stór hluti svæðisins er þó ekki nýtilegur þar sem afmörkuð svæði innan skilgreinds orkuvinnslusvæðisins njóta hverfisverndar á grunni

náttúrufars og austasti hluti svæðisins nýtur vatnsverndar, en grunnvatn fyrir virkjunina er sótt þar í lindir við Sandabotna (Landslag, 2012).

### Ferðamennska

Síðan orkuvinnsla hófst á svæðinu hefur aðgengi að því stórbatnað. Talið er að ár hvert komi þangað um 70 þúsund ferðamenn til þess að njóta einstakrar náttúru. Vinsælustu áfangastaðir ferðamanna eru sprengigígurinn Víti og Leirhnjúkur en einnig hafa fjölmargir áhuga á orkuvinnslunni og koma við í gestamóttöku Kröfluvirkjunar (Mannvit, 2010). Þá hafa vetraríþróttir einnig verið stundaðar á svæðinu við Grænagilsöxl en skíðasvæði með skíðalyftu hefur verið rekið þar frá árinu 2000 (Landslag, 2012).



Mynd 16: Skilgreint orkuvinnslusvæði við Kröflu, alls 1.513 ha. Svæðið nýtist þó ekki nema að hluta því að afmörkuð svæði innan þess njóta hverfisverndar á grunni náttúrufars og austasti hluti svæðisins nýtur vatnsverndar, en grunnvatn fyrir virkjunina er sótt þar í lindir við Sandabotna. Þá eru Víti og Leirhnjúkur vinsælir áfangastaðir ferðamanna (Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013b).

### Iðnaður

Iðnaðarsvæðið í Kröflu er fyrst og fremst orkuvinnslusvæði og hafa engar lóðir hafa verið fráteknaðar fyrir orkutengdan iðnað í gildandi deiliskipulagi svæðisins. Þó er ekki útilokað að það verði gert síðar (Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar, 2013b).

## 4.3 Svartsengi

Það var að frumkvæði Grindavíkurbæjar að farið var að bora eftir jarðhita í Svartsengi árið 1972. Fjórum árum síðar var farið að veita hitaveituvatni, sem hafði verið hitað með jarðhita í varmaskiptistöð, til Grindavíkur. Raforkuvinnsla hófst árið 1978 þegar tvær 1 MW<sub>e</sub> mótþrýstivélar voru teknar í notkun. Síðan þá hefur virkjunin verið stækkuð í áföngum og hefur nú uppsett afl upp á 74,4 MW<sub>e</sub> og 150 MW<sub>th</sub>. Þar af koma 8,4 MW<sub>e</sub> frá sjö tvívökvahverflum sem nýta lágþrýstigufu (Albert Albertsson, Geir Þórólfsson og Júlíus Jónsson, 2010). Virkjunin er rekin af HS Orku. Í töflu 14 eru helstu upplýsingar um Orkuverið í Svartsengi.

**Tafla 14:** Helstu upplýsingar um Orkuverið í Svartsengi (Albert Albertsson o.fl., 2010).

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	HS Orka
Háhitasvæði	Svartsengi
Sveitarfélag	Grindavík
Starfsemi hófst	1978
Framleiðslugeta	74,4 MW <sub>e</sub> og 150 MW <sub>th</sub>
Hverflar	1 x 6 MW <sub>e</sub> 7 x 1,2 MW <sub>e</sub> 2 x 30 MW <sub>e</sub>

### 4.3.1 Vinnsla og framleiðsla

Árið 2011 nam upptaka á gufu og jarðhitavatni úr jarðhitageyminum í Svartsengi 12,90 milljónum tonna sem jafngildir 409 kg/s meðalupptöku. Upptakan kom úr þrettán tengdum borholum og nýttist til vinnslu á 508 GWst af raforku og rúmlega 11,5 milljón tonnum af hitaveituvatni sem er sambærilegt við framleiðslu ársins 2010. Kaldvatnsframleiðsla HS Orku til HS Veitna á árinu 2011 var 6,2 milljón tonn (HS Orka, 2012).

### 4.3.2 Ráðstöfun affallsvatns

Árið 2011 nam niðurdæling affallsvatns í djúpar holur alls 5,16 milljónum tonna (164 kg/s), sem þýðir að rúmlega 40% af uppteknum massa var dælt aftur niður í jarðhitageyminn. Í grunnar holur sem ná niður fyrir ferskvatnslinsu var niðurdælt um 1,44 milljónum tonna (46 kg/s) af sýrublönduðu affallsvatni. Frá upphafi hefur affallsvatn frá virkjuninni verið losað á yfirborði í nærliggjandi hraun og er Bláa lónið til komið af því. Árið 2011 nam yfirborðslosun affallsvatns í nærliggjandi hraun alls 4,39 milljónum tonna (139 kg/s), en af því fóru að lágmarki 0,78 milljón tonn (25 kg/s) til baðlóns og annarrar starfsemi Bláa Lónsins. Þá var 1,89 milljónum tonna af skiljuvatni, sem íblandað var grunnvatni, losað í svelgholur (HS Orka, 2012; HS Orka, óbirt gögn). Kælivatn sem verður til við raforkuvinnslu virkjunarinnar nýttist í heitavatnsframleiðslu. Í töflu 15 má sjá hvernig affallsvatni frá Orkuverinu í Svartsengi var ráðstafað árið 2011.

Tafla 15: Förgun affallsvatns frá Svartsengi árið 2011 (HS Orka, 2012, óbirt gögn).

Förgunaraðferð	Skiljuvatn [milljón tonn/ár]	Þéttivatn [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
Yfirborðslosun í hraun	3,29	1,10	4,39
Losun í svelgholur	1,89	0	1,89
Niðurdæling í djúpar holur	3,10	2,06	5,16
Niðurdæling í grunnar holur	1,13	0,31	1,44
<b>Samtals</b>	<b>9,41</b>	<b>3,48</b>	<b>12,88</b>

### Aukin niðurdæling

Með tilkomu nýrrar niðurdælingarlagnar árið 2013 hefur niðurdæling í djúpar holur aukist verulega í Svartsengi, er nú allt að 300 kg/s, og virðist hafa jákvæð áhrif á jarðhitakerfið (Kristín V. Matthíasdóttir, efnaverkfræðingur hjá HS Orku, samtal 6. desember 2013). En skv. starfsleyfi virkjunarinnar er heimilt að farga affallsvatni frá virkjuninni með tvennum hætti, á yfirborði í Bláa lónið gegn því skilyrði að vatnshæð lónsins hækki ekki né að flatarmál þess aukist og með niðurdælingu niður fyrir grunnvatn (Heilbrigðiseftirlit Suðurnesja, 2010).

### Skortur á þéttivatni

Til að koma í veg fyrir kísilútfellingar við niðurdælingu hefur þéttivatni verið blandað við skiljuvatn til þynningar og lækkunar á sýrustigi (pH-gildi). Vegna skorts á þéttivatni gerði HS Orka tilraunir með íblöndun sýru og grunnvatns í skiljuvatn. Þær tilraunir teljast ekki geta leyst fráveitumál virkjunarinnar til lengri tíma. Þess vegna ráðgerir HS Orka að leysa fráveitumálin til framtíðar með því að leggja fráveitulögn frá niðurdælingarsvæði til sjávar við Arfadalsvík. Og veita þar með öllu affallsvatni, sem ekki er dælt aftur niður í jarðhitageyminn til sjávar (Ásbjörn Ó. Blöndal, forstöðumaður þróunarsviðs HS Orku, bréf 6. desember 2013).

### 4.3.3 Efnasamsetning og hitastig affallsvatns

Jarðhitavatn í Svartsengi er salt því jarðhitageymirinn inniheldur að mestu jarðsjó á meðan jarðhitageymar annarra virkjanasvæða utan Suðurnesja innihalda aðallega grunnvatn. Því er efnasamsetning affallsvatns söltu svæðanna talsvert frábrugðin hinum ósöltu.

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni og gufu frá holum SV-07 og SV-019 úr gufuskilju í samanburði við valdar holur annarra virkjana. Í viðauka II má sjá efnagreiningu á affallsvatni fyrir niðurdælingu en vatnið er ca. 100°C. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

### Skiljuvatn

Skiljuvatn frá Svartsengi inniheldur háan styrk uppleystra efna, á bilinu 20.000-30.000 mg/kg. Styrkur natríums og klóríðs er mjög hár vegna seltu en vatnið er einnig ríkt af málmum og öðrum efnum. Styrkur kísils í skiljuvatninu er við metunarmörk í Svartsengi en vegna seltu fellur kísill margfalt hraðar út en gerist á ósöltu svæðunum. Miðað við hitastig og hlutfall skiljuvatns í niðurdælingarvökva má áætla að hitastig skiljuvatns við gufuskilju sé nálægt 150°C (Guðmundur H. Guðfinnsson og Finnbogi Óskarsson, 2012).

## **Þéttivatn**

Þéttivatnið er almennt á bilinu 40-50°C. Líkt og þéttivatn annarra virkjana er það súrt, í samanburði við drykkjarvatn, og snault af uppleystum efnum (Guðmundur H. Guðfinnsson og Finnbogí Óskarsson, 2012).

### **4.3.4 Umfang gaslosunar**

Árið 2011 reiknaðist meðalgasstyrkur í gufu frá borholum í Svartsengi 0,48% af massa. Gasútblastur virkjunarinnar var aðallega koldíoxíð eða um 98% en styrkur brennisteinsvetnis var 1,7% og samanlagður styrkur köfnunarefnis, metans og argons mældist um 0,3% (Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012b). Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Svartsengi árið 2011 má sjá í töflu 16 en gaslosun ársins var yfir meðaltali (Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012b). Í viðauka IV má sjá gaslosun frá Svartsengi á hverja kWst í samanburði við aðrar virkjanir.

**Tafla 16: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Svartsengi árið 2011 (Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012b).**

	<b>Koldíoxíð</b> [tonn/ár]	<b>Metan</b> [tonn/ár]	<b>Brennisteinsvetni</b> [tonn/ár]
Svartsengi	61.153	5	1.128
<b>Samtals</b>	<b>61.153</b>	<b>5</b>	<b>1.128</b>

Bláa Lónið og Carbon Recycling International nýta gasútblastur frá virkjuninni fyrir sína starfsemi. Bláa Lónið til ræktunar á þörungum (sjá nánar kafla 2.3.7) en Carbon Recycling til framleiðslu metanóls (sjá nánar kafla 2.3.10). Enn sem komið er nota þessi nýtingarferli aðeins brot af heildarútblastri virkjunarinnar. Á fyrri hluta árs 2013 hóf Bláa Lónið þörungaræktun á koldíoxíði frá Svartsengi, en áður höfðu farið fram tilraunaræktanir á útblásturgasinu. Notkun útblásturs til ræktunarinnar hefur því aukist en samkvæmt Ásu Brynjólfssdóttur, rannsóknar- og þróunarstjóra Bláa Lónsins, liggja nákvæmar magntölur um gasnotkun starfseminnar ekki fyrir (tölvupóstur 24. júlí 2013).

Carbon Recycling tók metanólverksmiðju sína í notkun undir lok ársins 2011 og notkun útblásturs því takmörkuð það ár. Verksmiðjan hefur einn rafgreini sem getur á ársgrundvelli nýtt allt að 1800 tonn af koldíoxíði til framleiðslu á um 1300 tonnum af metanóli. Carbon Recycling vinnur nú að því að stækka verksmiðjuna í Svartsengi en þrefalda á afkastagetu verksmiðjunnar með því að bæta við tveimur rafgreinum til viðbótar. Markmið Carbon Recycling til lengri tíma er að nýta allt koldíoxíð virkjunarinnar, sem annars færi út í andrúmsloftið, til framleiðslu metanóls (Ómar F. Sigurbjörnsson, rannsóknar- og þróunarstjóri CRI, tölvupóstur 23. júlí 2013).

### **4.3.5 Skipulagsmál og iðnaður**

Svartsengi er í Grindavíkurbæ sem árið 2010 gaf út auðlindastefnu sem inniheldur m.a. markmið um að a.m.k. 50% allrar orku sem unnin er í lögsögu bæjarins sé nýtt þar (Grindavíkurbær, 2010). Í aðalskipulagi Grindavíkur 2010-2030 hafa nokkur iðnaðarsvæði fyrir orkutengdan iðnað verið skilgreind til viðbótar við orkuvinnslusvæðin í Svartsengi og Eldvörpum (sjá mynd 17). Þá hyggur bærinn á nýja höfn eða bæta núverandi höfn þannig

að hugsanlegur iðnaður á svæðinu geti skipað beint út afurðum sínum (Vinnustofan Þverá, 2011).

### Iðnaðarsvæðin

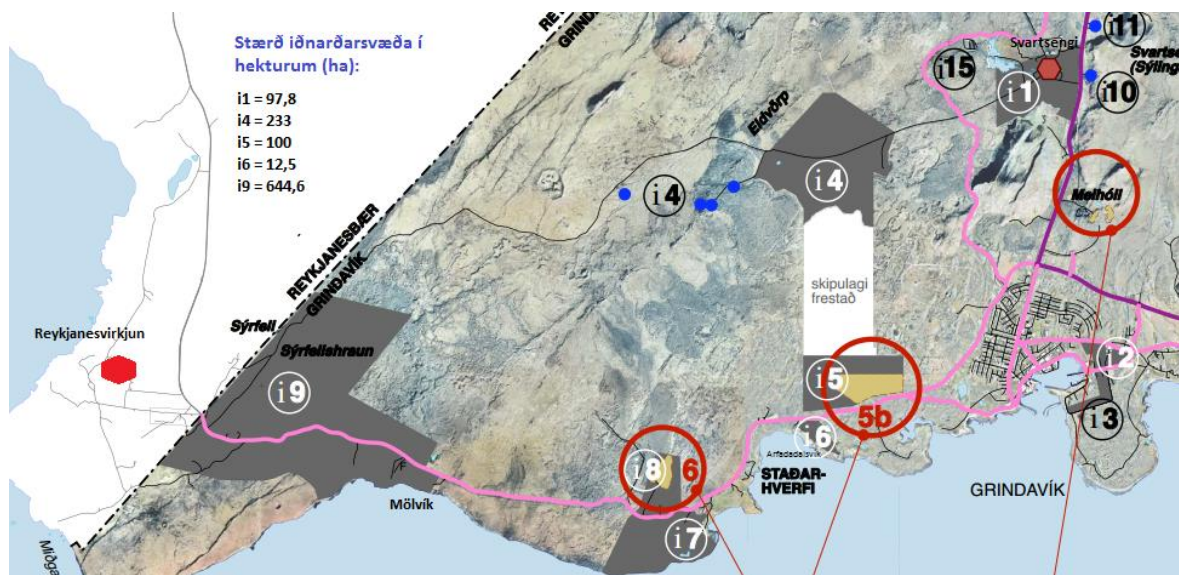
Svæði i1 er orkuvinnslusvæðið í Svartsengi sem er í eigu Grindavíkurbæjar, þar stendur virkjun HS Orku (Vinnustofan Þverá, 2011). Þar er einnig Bláa Lónið með heilsutengda ferðapjónustu, lækningalind og húðvöruframleiðslu, Northern Light Inn hótelið, metanólverksmiðja Carbon Recycling og Eldborg ráðstefnusalur sem er í eigu HS Orku.

Svæði i4 er skipulagt sem orkuvinnslusvæði Eldvarpa en lóðin er í landi Húsatófta sem er í eigu ríkisins. Engin starfsemi er á svæðinu í dag en líkt og í Svartsengi (i1) er gert ráð fyrir að iðnaður geti farið saman með orkuvinnslu á svæðinu.

Svæði i5, sem einnig er í landi Húsatófta, er skilgreint sérstaklega fyrir orkutengdan iðnað (Vinnustofan Þverá, 2011). IceAq hyggst reisa fiskeldisstöð á svæðinu. Í stöðinni verður framleitt allt að 3.000 tonn af bleikju og borra. Verkefnið er þó háð því að HS Orka fái að leggja fráveitulögn fyrir affallsvatn frá Svartsengi til Arfadalsvíkur, en IceAq hyggst veita heitu affallsvatni úr fráveitulögninni inn í stöðina til íblöndunar við ferskt vatn og jarðsjó í samræmi við kjörhitastig tegundanna (Skipulagsstofnun, 2013).

Á svæði i6 er Dýrfiskur með fiskeldi. Á svæði i9 er gert ráð fyrir iðnaði tengdum Reykjanesvirkjun. Svæði i6 og i9 eru í landi Staðar sem er lóð í eigu ríkisins (Vinnustofan Þverá, 2011). Við Mölvík á svæði i9 hefur EsBro fengið vilyrði fyrir úthlutun lóðar fyrir stórskala ylraekt með raforkuþörf upp á 35-40 MW (Haraldur Guðmundsson, 2014).

Melhóll er athafnasvæði þar sem gert er ráð fyrir léttum iðnaði og ylraekt. Þar stendur hátæknigróðurhús ORF-líftækni sem ræktar erfðabreytt bygg (Vinnustofan Þverá, 2011).



Mynd 17: Skilgreind iðnaðarsvæði í Grindavík. Svæði i1 er orkuvinnslusvæðið í Svartsengi og hýsir svæðið nú þegar orkutengdan iðnað og starfsemi. Á svæði i6 er fiskeldisstöð. Svæði i4 og i5 eru ónýtt í dag en gætu hæglega hýst orkutengdan iðnað í framtíðinni. Svæði i9 er ónýtt í dag en gæti hýst iðnað tengdum Reykjanesvirkjun (Breytt mynd úr Vinnustofan Þverá, 2011).



## 4.4 Reykjanesvirkjun

Hitaveita Suðurnesja hóf raforkuvinnslu á Reykjanesi árið 2006 þegar tveir 50 MW<sub>e</sub> háþrýstihverflar með sjókælda eimsvala voru teknir í notkun (Albert Albertsson o.fl., 2010). Nýlega gaf Orkustofnun út leyfi til að bæta við þriðja háþrýstihverflinum og lágþrýstihverfli sem nýtir skiljuvatn frá háþrýstihverflum. Viðbótin mun auka vinnslugetu virkjunarinnar upp í 180 MW<sub>e</sub> (OS, 2011a). Núverandi rafafli virkjunarinnar er 100 MW<sub>e</sub> (HS Orka, e.d.). Virkjunin er rekin af HS Orku. Í töflu 17 eru helstu upplýsingar um Reykjanesvirkjun.

**Tafla 17: Helstu upplýsingar um Reykjanesvirkjun (Albert Albertsson o.fl., 2010).**

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	HS Orka
Háhitasvæði	Reykjanes
Sveitarfélag	Reykjanesbær
Starfsemi hófst	2006
Framleiðslugeta	100 MW <sub>e</sub>
Hverflar	2 x 50 MW <sub>e</sub>

### 4.4.1 Vinnsla og framleiðsla

Árið 2011 nam upptaka á gufu og jarðhitavatni úr jarðhitageyminum á Reykjanesi 18,33 milljónum tonna sem jafngildir 581 kg/s meðalupptöku. Upptakan kom úr fimmtán tengdum borholum og nýttist til vinnslu á 820 GWst af raforku sem er sambærilegt við vinnslu ársins 2010 (HS Orka, 2012, 2013).

### 4.4.2 Ráðstöfun affallsvatns

Frá því að orkuvinnsla hófst á Reykjanesi hefur affallsvatni að mestu verið fargað í sjó. Árið 2011 var 2,47 milljónum tonna (78 kg/s) af skilju- og þéttivatni eða 14% af uppteknum massa skilað aftur í jarðhitageyminn með niðurdælingu í djúpar holur, öðru affallsvatni var fargað í sjó (HS Orka, 2012). Því var alls rúmlega 126 milljónum tonna (ca. 4000 kg/s) af affallsvatni veitt til sjávar með fráveitulögnum á árinu. Þar af voru 15,86 milljón tonn (503 kg/s) af skilju- og þéttivatni og rúmlega 110 milljón tonn (3500 kg/s) af kælissjó. Ástæða mikillar kælivatnsþarfur er að virkjunin notast við sjókælda eimsvala (HS Orka, óbirt gögn). Í töflu 18 má sjá hvernig affallsvatni frá Reykjanesvirkjun var ráðstafað árið 2011.

**Tafla 18: Förgun affallsvatns frá Reykjanesvirkjun árið 2011 (HS Orka, 2012, óbirt gögn).**

Förgunaraðferð	Skiljuvatn [milljón tonn/ár]	Þéttivatn [milljón tonn/ár]	Kælissjór [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
Förgun í sjó	11,90	3,97	110,38	126,24
Niðurdæling í djúpar holur	1,85	0,62	0	2,47
<b>Samtals</b>	<b>13,75</b>	<b>4,58</b>	<b>110,38</b>	<b>128,70</b>

### Aukin niðurdæling

Erfitt er að yfirfæra þekkingu af niðurdælingu frá einu svæði yfir á annað. Virkjunarleyfi sem Orkustofnun gaf út fyrir Reykjanesvirkjun árið 2011 tekur tillit til þessa, en leyfið gerir ráð fyrir því að niðurdæling verði aukin í áföngum þar til að leyfishafi niðurdæli árlega a.m.k. 40% af uppteknum massa aftur niður í jarðhitakerfið. Samkvæmt Kristínu V.

Matthíasdóttur (efnaverkfræðingi HS Orku, samtal 6. desember 2013) hefur niðurdæling frá Reykjanesvirkjun verið aukin í allt að 140 kg/s árið 2013.

#### 4.4.3 Efnasamsetning og hitastig affallsvatns

Jarðhitavatn á Reykjanesi er salt því jarðhitageymirinn inniheldur jarðsjó á meðan jarðhitageymar annarra virkjanasvæða utan Suðurnesja innihalda aðallega grunnvatn. Því er efnasamsetning affallsvatns söltu svæðanna talsvert frábrugðin hinum ósöltu.

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni og gufu frá holum RN-23 og RN-27 úr gufuskilju í samanburði við valdar holur annarra virkjana. Í viðauka II má sjá efnagreiningu á skiljuvatni, þéttivatni og affallsvatni í fráveitulögn. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

##### Skiljuvatn

Skiljuvatn frá Reykjanesi inniheldur mjög háan styrk uppleystra efna, nálægt 40.000 mg/kg. Styrkur natríums og klóríðs er mjög hár vegna seltu en vatnið er einnig ríkt af málum og öðrum efnum. Styrkur kísils í skiljuvatninu er yfir metunarmörkum á Reykjanesi og fellur kísillinn margfalt hraðar út en gerist á ósöltu svæðunum (Vigdís Harðardóttir og Finnbogi Óskarsson, 2012). Hitastig skiljuvatns við gufuskilju er um 210°C (Albert Albertsson og Þorleikur Jóhannesson, 2013).

##### Þéttivatn

Þéttivatn frá virkjuninni er nálægt 46°C. Líkt og þéttivatn annarra virkjana er það súrt, í samanburði við drykkjarvatn, og snautt af uppleystum efnum (Albert Albertsson og Þorleikur Jóhannesson, 2013).

##### Kælisjór

Kælisjórinn er hreinn sjór úr grunnum borholum og því laus við þörungum og önnur óhreinindi. Kælisjórinn er ca. 32°C þegar hann blandast skilju- og þéttivatni í kælisjárveitu (Albert Albertsson og Þorleikur Jóhannesson, 2013).

#### 4.4.4 Umfang gaslosunar

Árið 2011 reiknaðist meðalgasstyrkur í gufu frá Reykjanesvirkjun 0,55-0,86% af massa (Vigdís Harðardóttir og Finnbogi Óskarsson, 2012). Gasútblasturinn samanstóð af aðallega af koldíoxíði (95,5%) en styrkur brennisteinsvetnis var um 3,5% og styrkur vetnis, köfnunarefnis, metans og argons var samtals um 1% (Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012a). Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Reykjanesvirkjun árið 2011 má sjá í töflu 19 og í viðauka IV má sjá gaslosun Reykjanesvirkjunar á hverja kWst í samanburði við aðrar virkjanir.

Tafla 19: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Reykjanesvirkjun árið 2011 (Finnbogi Óskarsson og Þráinn Friðriksson, 2012a).

	Koldíoxíð [tonn/ár]	Metan [tonn/ár]	Brennisteinsvetni [tonn/ár]
Reykjanesvirkjun	22.114	2	819
<b>Samtals</b>	<b>22.114</b>	<b>2</b>	<b>819</b>

#### 4.4.5 Skipulagsmál og iðnaður

Reykjanesvirkjun er í Reykjanesbæ. Í aðalskipulagi Reykjanesbæjar 2008-2024 er skilgreint orkuvinnslusvæði á Reykjanesi stækkað úr 112 ha í 543 ha. Aðalástæða stækkunarinnar er að unnt sé að dreifa upptöku á jarðvarma og niðurdælingu á stærra svæði. Skipulagið gerir ekki aðeins ráð fyrir mannvirkjum tengdum orkuvinnslu heldur er einnig gert ráð fyrir iðnaði sem hentar vel með orkuvinnslunni, þó með takmörkunum sem sett eru til þess að umhverfi, ferðamennska og útivist geti farið sem best með iðnaði. Ákveðnar jarðmyndanir (hraun, gígar, hverir og eldvörp) á orkuvinnslusvæðinu njóta sérstakrar verndar skv. lögum um náttúruvernd, t.d. Gunnuhver. Sérstaklega er tekið fram að gert sé ráð fyrir fiskeldi á svæðinu (VSÓ ráðgjöf og Kanon arkitektar, 2010).

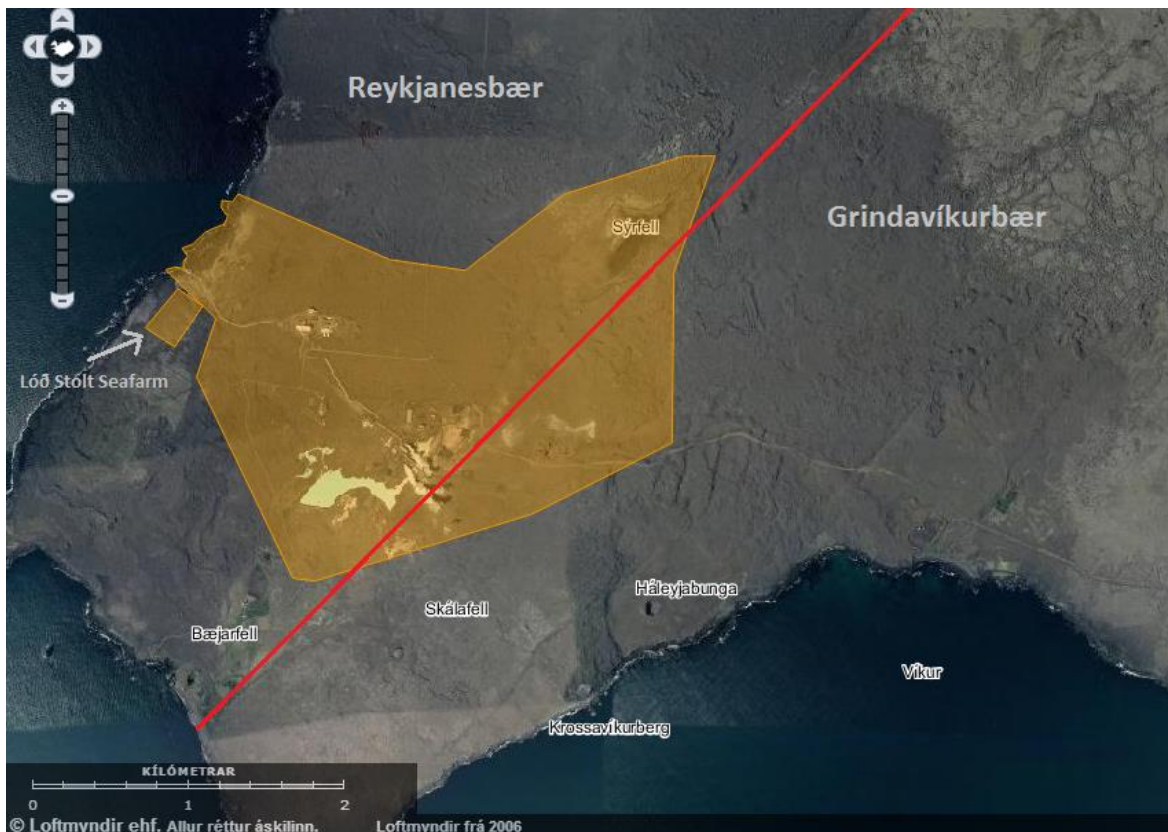
#### Iðnaðarsvæði í tveimur sveitarfélögum

Orkuvinnslusvæðið á Reykjanesi er í eigu ríkisins en tilheyrir að mestu Reykjanesbæ. Hluti svæðisins tilheyrir þó Grindavíkurbæ (sjá mynd 18). Austan við orkuvinnslusvæðið hefur Grindavíkurbær skilgreint, í aðalskipulagi sínu, iðnaðarsvæði sem m.a. er hugsað fyrir iðnað tengdan Reykjanesvirkjun. Svæðið er 645 ha og er gert ráð fyrir fiskeldi syðst á svæðinu (Vinnustofan Þverá, 2011). Á mynd 17 má sjá svæðið merkt í 9.

Í dag eru fiskþurrkanirnar Haustak og Fiskverkunin Háteigur með starfsemi á orkuvinnslusvæðinu. Þá heldur HS Orka úti orkusýningu í stöðvarhúsi virkjunarinnar sem kallast Orkuverið Jörð auk þess að rannsóknarfyrirtækið Agnir hefur aðstöðu á svæðinu.

#### Fiskeldi

Stolt Sea Farm hefur fengið úthlutað lóð á orkuvinnslusvæðinu fyrir fiskeldisstöð. Þar hyggst fyrirtækið framleiða allt að 2.000 tonn af Senegalflúru til útflutnings ár hvert. Við framleiðsluna mun fyrirtækið nýta allt að helming upphitaðs kælisjávar sem fargað er frá virkjuninni áður en hann blandast affallsvatni í kælisjavarveitu. Til að kæla kælisjóinn niður í kjörhitastig Senegalflúru þarf fyrirtækið að sækja allt að 2.000 kg/s af sjó í sjóholur sem þeir útvega sjálfir (Stolt Sea Farm, 2011). Fyrsti áfangi stöðvarinnar var tekinn í notkun árið 2013. Á mynd 18 má sjá hvar lóð Stolt Sea Farm er staðsett miðað við Reykjanesvirkjun.



Mynd 18: Orkuvinnslusvæðið á Reykjanesi. Eins og sjá má nær svæðið yfir til Grindavíkurbæjar (Loftmyndir, e.d.).

## 4.5 Nesjavallavirkjun

Fyrst var borað eftir heitu vatni á Nesjavöllum árið 1946 og stuttu síðar var farið að nýta heitt vatn úr borholum til að hita híbýli og gróðurhús á svæðinu. Árið 1990 var virkjunin gangsett með fjórum tengdum holum sem gáfu 100 MW af varmaorku. Árið 1998 hófst raforkuvinnsla og í dag er uppsett afl virkjunarinnar 300 MW<sub>th</sub> og 120 MW<sub>e</sub> (Orkuveita Reykjavíkur [OR], 2006). Orka náttúrunnar, dótturfélag Orkuveitu Reykjavíkur, tók við eignarhaldi og rekstri Nesjavallavirkjunar af Orkuveitu Reykjavíkur frá og með áramótum 2013/2014. Í töflu 20 eru helstu upplýsingar um Nesjavallavirkjun.

Tafla 20: Helstu upplýsingar um Nesjavallavirkjun (OR, 2006).

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	Orka náttúrunnar
Háhitavæði	Hengill
Sveitarfélag	Grímsnes- og Grafningshreppur
Starfsemi hófst	1990
Framleiðslugeta	120 MW <sub>e</sub> og 300 MW <sub>th</sub>
Hverflar	4 x 30 MW <sub>e</sub>

### 4.5.1 Vinnsla og framleiðsla

Árið 2011 nam upptaka á gufu og jarðhitavatni úr jarðhitageyminum á Nesjavöllum 16,21 milljón tonnum sem jafngildir 514 kg/s meðalupptöku. Upptakan kom úr sautján tengdum borholum og nýttist til vinnslu á 1012 GWst af raforku og 26,6 milljónum tonna af

hitaveituvatni, sem er meiri raforkuvinnsla en minni heitavatnsframleiðslan en árinu áður (Einar Gunnlaugsson, 2012b).

#### 4.5.2 Ráðstöfun affallsvatns

Árið 2011 var 6,39 milljón tonnum (203 kg/s) af skilju- og þéttivatni niðurdælt í grunnar holur. Þar sem holurnar tengjast ekki jarðhitageymi svæðisins var engu skilað til baka í jarðhitageyminn í formi niðurdælingar (Einar Gunnlaugsson, 2012b). Þá var rúmlega 2 milljónum tonna, á bilinu 60-70 kg/s, af þéttivatni losað í svelgholu við virkjun samkvæmt umhverfisskýrslu Orkuveitunnar fyrir árið 2011.

Annað affallsvatn var losað á yfirborði í Nesjavallalæk. Alls var 28,55 milljón tonnum (905 kg/s) af hitaveituvatni losað í lækinn á árinu 2011. Stærstur hluti eða um 22,25 milljón tonn voru kæld í kæliturni fyrir losun en um 6,30 milljón tonn losuðust fullheit (OR, óbirt gögn). Þá fóru einnig 4,76 milljón tonn (151 kg/s) af skiljuvatni í lækinn (Einar Gunnlaugsson, 2012b). Í töflu 21 má sjá hvernig affallsvatni frá Nesjavallavirkjun var ráðstafað árið 2011.

Tafla 21: Förgun affallsvatns frá Nesjavallavirkjun árið 2011 (Gögn úr Einar Gunnlaugsson, 2012b; OR, 2012, óbirt gögn).

Förgunaraðferð	Skiljuvatn [milljón tonn/ár]	Þéttivatn [milljón tonn/ár]	Kælivatn [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
Yfirborðslosun í Nesjavallalæk	4,76	0	28,55	<b>33,31</b>
Niðurdæling í grunnar holur	2,95	3,44	0	<b>6,39</b>
Losun í svelgholu	0	2,05	0	<b>2,05</b>
<b>Samtals</b>	<b>7,71</b>	<b>5,49</b>	<b>28,55</b>	<b>41,74</b>

#### Auka á niðurdælingu

Frá upphafi hefur affallsvatn frá virkjuninni verið losað á yfirborði í nærliggjandi læk. Þrátt fyrir að niðurdæling hafi aukist á síðustu árum er yfirborðslosun á svæðinu eftir sem áður talsverð. Samkvæmt Gretari Ívarssyni (2012) hefur langtíma yfirborðslosun haft í för með sér neikvæð áhrif á grunnvatn á svæðinu. Breytingar hafa orðið á efnasamsetningu þess auk þess sem hitastig þess hefur hækkað. Aukin niðurdæling og tilkoma kæliturns sem kæli ónýtt hitaveituvatn hefur hægt á þessum breytingum og þær jafnvel gengið til baka að hluta.

Til þess að takmarka umhverfisáhrif virkjunar á vatnasvið og lífríki Þingvallavatns er kveðið á um það í starfsleyfi virkjunarinnar að í framtíðinni skuli öllu skilju- og þéttivatni frá virkjuninni vera dælt niður í jörðu og skal Orkuveitan setja sér tímasett markmið hvað það varðar (Heilbrigðiseftirlit Suðurlands, 2009). Til að bregðast við því áformar Orkuveitan að fjölga grunnum niðurdælingarholum svo þær geti tekið við öllu skilju- og þéttivatni virkjunarinnar (OR, 2012). Ekki er ráðgert að hefja niðurdælingu í djúpar holur niður í jarðhitageymi svæðisins, en líkanreikningar benda til þess að slík niðurdæling sé svæðinu ekki til góðs og komi til með að kæla svæðið (Einar Gunnlaugsson, 2012b).

### 4.5.3 Efnasamsetning og hitastig affallsvatns

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni og gufu frá holum NJ-10 og NJ-23 úr gufuskilju í samanburði við valdar holur annarra virkjana. Í viðauka II má sjá efnagreiningu skiljuvatns frá virkjuninni fyrir niðurdælingu. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

#### Skiljuvatn

Skiljuvatn frá Nesjavöllum inniheldur lágan styrk uppleystra efna, á bilinu 1000-1500 mg/kg sem er fremur lágt fyrir háhitavatn. Skiljuvatn frá virkjuninni er nýtt til frekari upphitunar á kælivatni til hitaveitu í varmaskiptum (Hreinn Frímannsson, 2001). Skiljuvatn hefur því kólnað úr ca. 180°C niður í 80-90°C þegar því er fargað (Ingvi Gunnarsson, Trausti Hauksson og Stefán Arnórsson, 2002).

Á Nesjavöllum eru bæði blautar og þurrar borholur og er vermi hola á bilinu 1160-2710 kJ/kg. Árið 2011 var vegið meðalvermi borhola á Nesjavöllum fremur hátt eða 1828 kJ/kg og kísilstyrkur í vatninu því einnig hár (Einar Gunnlaugsson, 2012b).

Af málmum er styrkur arsens og áls í skiljuvatni yfir viðmiði fyrir neysluvatn skv. reglugerð nr. 536/2001. Styrkur brennisteinsvetnis er einnig hár í affallsvatninu í samanburði við skiljuvatn annarra virkjana (Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins, 2000).

#### Þéttivatn

Þéttivatn frá virkjuninni er nálægt 60°C. Líkt og þéttivatn annarra virkjana er það súrt, í samanburði við drykkjarvatn, og snautt af uppleystum efnum (Ingvi Gunnarsson o.fl., 2002; Hreinn Frímannsson, 2001). Þéttivatn er nýtt til forhitunar á kælivatni í varmaskiptum til heitavatsframleiðslu (OR, 2006).

#### Kælivatn

Nesjavallavirkjun fær kalt grunnvatn frá borholum við Grámel við bakka Þingvallavatns og nýtir vatnið til kælingar og heitavatsframleiðslu (Hreinn Frímannsson, 2001). Þar sem virkjunin notar meira kælivatn en þörf er á til heitavatsframleiðslu fer sírennsli ónýtt hitaveituvatns frá virkjuninni í Nesjavallalæk. Fyrir förgun er kælivatn frá einni vélasamstæðu kælt í kæliturni úr 70°C niður í 20°C. Kælivatn frá öðrum vélasamstæðum fer ókælt í lækinn. Á sumrin þegar eftirspurn eftir hitaveituvatni er minni getur sú förgun því verið allt að 1.400 kg/s (OR, óbirt gögn; Einar Gunnlaugsson, 2012b).

### 4.5.4 Umfang gaslosunar

Árið 2011 reiknaðist meðalgasstyrkur í gufu frá borholum Nesjavallavirkjunar 0,33% af massa. Gasútblasturinn samanstóð aðallega af koldíoxíði (60%) og brennisteinsvetni (38%). Aðrar lofttegundir eins og vetni, köfnunarefni, metan og argon mældust samanlagt um 2%. Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Nesjavöllum árið 2011 má sjá í töflu 22 en gaslosunin var minni en undanfarin ár (Einar Gunnlaugsson, 2012b). Í viðauka IV má sjá gaslosun frá Nesjavallavirkjunar á hverja kWst í samanburði við aðrar virkjanir.



## 4.6 Hellsheiðarvirkjun

Hellsheiðarvirkjun var tekin í notkun árið 2006 þegar vélasamstæða með 45 MW<sub>e</sub> háþrýstihverfli var tekin í notkun. Fimm árum síðar samanstendur virkjunin af sex háþrýstivélasamstæðum auk einnar sem nýtir lágþrýstigufu. Virkjunin hefur uppsett afl upp á 303 MW<sub>e</sub> og 133 MW<sub>th</sub>. Möguleiki er á að auka varmaframleiðslugetuna í allt að 400 MW<sub>th</sub> ef eftirspurn eftir hitaveituvatni eykst (Einar Gunnlaugsson, 2012c). Orka náttúrunnar, dótturfélag Orkuveitu Reykjavíkur, tók við eignarhaldi og rekstri Hellsheiðarvirkjunar af Orkuveitu Reykjavíkur frá og með áramótum 2013/2014. Í töflu 23 eru helstu upplýsingar um Hellsheiðarvirkjun.

Tafla 23: Helstu upplýsingar um Hellsheiðarvirkjun (Einar Gunnlaugsson, 2012c).

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	Orka náttúrunnar
Háhitavæði	Hengill
Sveitarfélag	Ölfus
Starfsemi hófst	2006
Framleiðslugeta	303 MW <sub>e</sub> og 133 MW <sub>th</sub>
Hverflar	6 x 45 MW <sub>e</sub> 1 x 33 MW <sub>e</sub>

### 4.6.1 Vinnsla og framleiðsla

Árið 2011 nam upptaka á gufu og jarðhitavatni úr jarðhitageyminum á Hellsheiði 29,53 milljón tonnum sem jafngildir 936 kg/s meðalupptöku. Upptakan kom úr 28 tengdum borholum og nýttist til vinnslu á 1754 GWst af raforku og 7,1 milljón tonnum af hitaveituvatni sem er talsverð aukning frá fyrri árum. Samanburður við fyrri ár er óhentugur því að tveimur 45 MW<sub>e</sub> háþrýstivélasamstæðum var bætt við virkjunina á síðari hluta árs 2011 og heitavatnsframleiðsla var aðeins í gangi í einn mánuð árið 2010 (Einar Gunnlaugsson, 2012a).

### 4.6.2 Ráðstöfun affallsvatns

Árið 2011 var affallsvatni frá virkjuninni að stærstum hluta niðurdælt í djúpar holur. Alls var 11,88 milljónum tonna (377 kg/s) af skilju- og þéttivatni fargað í niðurdælingarholur á Gráuhnjúkum og Húsmúla sem tengdar eru jarðhitakerfi svæðisins. Það skiljuvatn sem ekki fór í niðurdælingu var losað í Svínahraun, alls 0,51 milljón tonn (16 kg/s) (Einar Gunnlaugsson, 2012a). Þá var restinni af þéttivatninu losað í svelgholu við virkjun, alls um 2,30 milljón tonn (73 kg/s) (Kristinn Rafnsson, framleiðslustjóri virkjana Orkuveitu Reykjavíkur, tölvupóstur 23. september 2013). Allar vélasamstæður virkjunarinnar hafa tvískipta eimsvala og kæliturn sem gerir það að verkum að hluti þéttivatnsins gufar upp við vinnsluna og fyrir vikið er minna magn sem þarf að farga. Þá er þéttivatn notað sem kælivatn þegar heitavatnsframleiðsla er ekki í gangi og því þarf ekki að farga kælivatni frá virkjuninni (Einar Gunnlaugsson, 2012a). Í töflu 24 má sjá hvernig affallsvatni frá Hellsheiðarvirkjun var ráðstafað árið 2011.



Tafla 24: Förgun affallsvatns frá Hellisheiðarvirkjun árið 2011 (Einar Gunnlaugsson, 2012a).

Förgunaraðferð	Skiljuvatn [milljón tonn/ár]	Þéttivatn [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
Yfirborðslosun í Svínahraun	0,51	0	<b>0,51</b>
Losun í svelgholu	0	2,30	<b>2,30</b>
Niðurdæling í djúpar holur	9,92	1,96	<b>11,88</b>
<b>Samtals</b>	<b>10,43</b>	<b>4,26</b>	<b>14,69</b>

### Auka á niðurdælingu

Til þess að vernda grunnvatn á svæðinu og viðhalda þrýstingi í jarðhitakerfinu segja skilyrði í bæði starfsleyfi og virkjunarleyfi virkjunarinnar að dæla skuli affallsvatni aftur í jarðhitakerfið niður fyrir 800 m (Heilbrigðiseftirlit Suðurlands, 2006; OS, 2011b). Þar segir enn fremur að frá og með miðju ári 2012 skuli árleg niðurdæling skiljuvatns frá virkjuninni nema að lágmarki 18 milljónum tonna eða sem nemur öllu skiljuvatni virkjunarinnar, hvort sem er lægra. Telji leyfishafi skilyrðið hafa neikvæð áhrif á auðlindina getur hann farið fram á endurskoðun þess við Orkustofnun. Frá og með 2013 er förgun affallsvatns á yfirborði óheimil nema í neyðartilfellum t.d. vegna stórfelldra bilana (OS, 2011b).

### Vandamál við niðurdælingu og gufuöflun

Gráuhnjúkar voru aðalniðurdælingarsvæði Hellisheiðarvirkjunar þar til Húsmúlasvæðið tók við því hlutverki í september 2011. Nú er horft til þess að nota borholur í Gráuhnjúkum til upptöku gufu í stað niðurdælingar. Ástæðan er að þörf er á uppbotarvinnsluholum til þess að viðhalda orkuvinnslu á svæðinu vegna niðurdráttar (OR, 2012). Húsmúlasvæðið hefur þó tekið við minna magni af affallsvatni en vonir stóðu til og því hefur ekki verið hægt að hætta alfarið niðurdælingu í Gráuhnjúkum. Við aukna niðurdælingu á Húsmúlasvæðinu í september 2011 mældust hátt á annað þúsund skjálftar á mánaðar tímabili, flestir smáir, en finna mátti fyrir þeim stærstu í Hveragerði og á höfuðborgarsvæðinu. Olli þetta nokkru fjaðrafoki en skv. Orkustofnun (2011b) má búast við að draga muni úr smáskjálftum eftir því sem niðurdæling stendur yfir í lengri tíma.

### 4.6.3 Efnasamsetning og hitastig

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni og gufu frá holum HE-41 og HE-52 úr gufuskilju í samanburði við valdar holur annarra virkjana. Í viðauka II má sjá efnagreiningu skiljuvatns frá virkjuninni fyrir niðurdælingu. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

#### Skiljuvatn

Skiljuvatn frá Hellisheiðarvirkjun er mjög sambærilegt við skiljuvatn frá Nesjavallarvirkjun. Það inniheldur fremur lágan styrk uppleystra efna, á bilinu 1000-1500 mg/kg sem er fremur lágt miðað við háhitavatn (Scott, 2011). Hluti skiljuvatns er nýttur til upphitunar á kælivatni til hitaveitu í varmaskiptum. Við förgun er það á bilinu 90-125°C (OR, óbirt gögn).

Á Hellisheiði eru bæði blautar og þurrar borholur og er vermi hola á bilinu 1055-2660 kJ/kg. Árið 2011 var vegið meðalvermi borhola á Hellisheiði 1712 kJ/kg (Einar

Gunnlaugsson, 2012a). Af málmum er styrkur arsens og áls í skiljuvatni yfir viðmiði fyrir neysluvatn skv. reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn (OR, 2012).

### **Þéttivatn**

Þéttivatn frá virkjuninni er ca. 45-47°C (Kristinn Rafnsson, framleiðslustjóri virkjana Orkuveitu Reykjavíkur, tölvupóstur 23. september 2013). Líkt þéttivatn annarra virkjana er það súrt, í samanburði við drykkjarvatn, og snauð af uppleystum efnum.

### **4.6.4 Umfang gaslosunar**

Árið 2011 reiknaðist meðalgasstyrkur í gufu frá borholum Hellisheiðarvirkjunar 0,43% af massa. Gasútblasturinn samanstóð aðallega af koldíoxíði (70%) og brennisteinsvetni (29%). Aðrar lofttegundir eins og vetni, köfnunarefni, metan og argon mældust samanlagt tæplega 1% (Einar Gunnlaugsson, 2012a). Heildarlosun óþéttanlegra gastegunda frá Hellisheiðarvirkjun árið 2011 má sjá í töflu 25 og í viðauka IV má sjá gaslosun Hellisheiðarvirkjunar á hverja kWst í samanburði við aðrar virkjanir.

**Tafla 25: Heildarlosun óþéttanlegra lofttegunda frá Hellisheiði árið 2011 (Einar Gunnlaugsson, 2012a).**

	<b>Koldíoxíð</b> [tonn/ár]	<b>Metan</b> [tonn/ár]	<b>Brennisteinsvetni</b> [tonn/ár]
Hellisheiðarvirkjun	39.479	57	16.110
<b>Samtals</b>	<b>39.479</b>	<b>57</b>	<b>16.110</b>

Nokkur tilraunaverkefni eru í gangi við Hellisheiðarvirkjun sem snúa að því að draga úr útblæstri virkjunarinnar. Þar á meðal eru CarbFix og SulFix verkefni sem bæði hafa verið í gangi frá árinu 2007. Árið 2011 var hreinu aðkeyptu koldíoxíði niðurdælt í jarðhitageyminn á vegum CarbFix og nokkrum tonnum af blöndu af brennisteinsvetni og koldíoxíði á vegum SulFix. Í báðum verkefnum er gert ráð fyrir að straumur lofttegundarinnar sem á að farga sé eins hreinn og kostur er. Gasskiljustöð er því nauðsynleg fyrir framgang verkefnanna (Stýrihópur SulFix, 2013). Framkvæmdir við byggingu gasskiljustöðvar mun ljúka á árinu 2014.

Carbon Recycling hefur opinberlega lýst yfir áhuga sínum á að reisa stóra verksmiðju á Hellisheiði sem myndi framleiða metanól og brennisteinsafurðir. Slík virkjun gæti nýtt allan útblástur virkjunarinnar (Ómar F. Sigurbjörnsson, 2013).

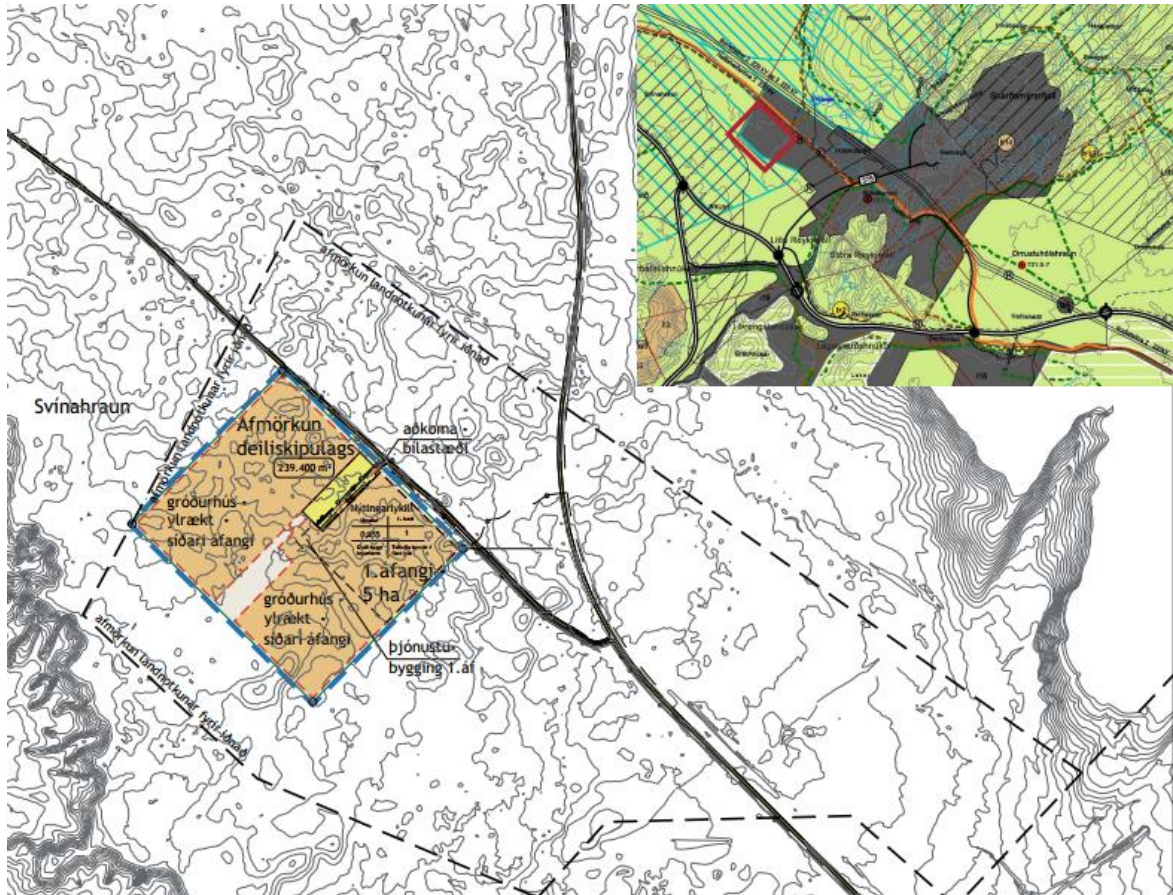
### **4.6.5 Skipulagsmál og iðnaður**

Hellisheiðarvirkjun er staðsett í Sveitarfélaginu Ölfusi við Þjóðveg 1 á milli Reykjavíkur og Hveragerðis. Samkvæmt aðalskipulagi Ölfuss 2010-2022 er orkuvinnslusvæðið, sem er um 1030 ha, í landi Kolviðarhóls sem er jörð í eigu Orkuveitunnar og hefur innan þess svæðis verið skilgreint sérstakt iðnaðarsvæði fyrir orkutengdan iðnað (Steinsholt og Landslag, 2014).

#### **Iðnaðarsvæði**

112 ha svæði er frátekið fyrir iðnað á vesturhluta orkuvinnslusvæðis virkjunarinnar (Steinsholt og Landmótun, 2012). Í dag er engin starfsemi á svæðinu önnur en tilraunaaðstaða orkulíftæknifyrirtækisins Prókatíns en það kann að breytast fljótlega.

GeoGreenhouse hefur nú þegar samið við Orkuveituna um að fá allt að 20 ha lóð, raforku, heitt og kalt vatn og útblástur til tómataræktunar (Sveinn Aðalsteinsson, 2013). Auglýst deiliskipulag fyrir gróðurhúsið má sjá á mynd 20. Carbon Recycling hefur einnig áhuga á að setja upp stóra og orkufreka verksmiðju á svæðinu auk þess sem geoSilica vill frá lóð fyrir hreinsistöð sem vinnur kísilríkan heilsudrykk úr skiljuvatni virkjunarinnar.



Mynd 20: Deiliskipulagsuppdráttur fyrir iðnaðarsvæðið á Hellið. Svæðið er 112 ha að stærð. Inn á myndina er búið að teikna upp fyrirhugað gróðurhús GeoGreenhouse (Teiknistofan Stord, 2012).

## 4.7 Húsavíkurvirkjun

Árið 2000 tók Orkuveita Húsavíkur í notkun orkuver á Hrísmóum. Orkustöðin er frábrugðin öðrum jarðvarmavirkjunum hér á landi en hún nýtir aðeins varma við lágan þrýsting frá lágheatavæði en ekki varma frá háheatavæði. Orkustöðin tekur inn um 121°C vatn frá Hveravöllum, 20 km sunnan Húsavíkur, og kælir vatnið niður í 80°C áður en vatninu er veitt inn á hitaveitukerfi bæjarins. Við kælinguna losnar orka sem knýr tvær MW<sub>e</sub> vélasamstæður sem nægir til að fullnægja yfir helmingi af raforkuþörf bæjarins. Tæknin kallast Kalina tækni og er orkustöðin frumgerð slíkrar virkjunar á heimsvísu (Þórhallur Bjarnason, 2002). Í töflu 26 eru helstu upplýsingar um Húsavíkurvirkjun.

Tafla 26: Helstu upplýsingar um Húsavíkurvirkjun (Þórhallur Bjarnason, 2002 og Guðrún E. Jónsdóttir, 2011).

Rekstrarupplýsingar	
Eigandi	Orkuveita Húsavíkur
Lágheatavæði	Hveravellir
Sveitarfélag	Norðurþing
Starfsemi hófst	2000
Framleiðslugeta	2 MW <sub>e</sub>
Hverfill	1 x 2 MW <sub>e</sub>

### 4.7.1 Vinnsla og framleiðsla

Orkustöðin hefur ekki verið starfrækt frá janúar 2008 vegna bilunar en stefnt er að því að gera við stöðina og hefja aftur rekstur (Guðrún E. Jónsdóttir, 2012b).

### 4.7.2 Ráðstöfun affallsvatns

Þar sem virkjunin var ekki í rekstri árið 2011 kom í raun ekkert affallsvatn frá henni. Þegar hún var í rekstri vann hún árlega um 12-14 GWst af raforku og tók inn um 95 kg/s af heitu vatni frá Hveravöllum. Þar sem sama vatn er notað til að knýja orkustöðina og fer inn á hitaveitukerfi bæjarins var einnig um 95 kg/s af hitaveituvatni til ráðstöfunar fyrir bæinn sem er magn umfram eftirspurn. Umframvatni hefur því verið losað í tjarnir skammt frá Hrísmóum, mest yfir sumartímenn þegar eftirspurn eftir hitaveituvatni er minni (Orkuveita Húsavíkur, e.d.).

Til þess að kæla vatnið við raforkuvinnsluna tók virkjunin inn um 180 kg/s af 4°C köldu vatni frá vatnsbóli og er kælivatnið um 23°C þegar það fer frá virkjun. Kælivatnið var að mestu losað á yfirborði í fyrrnefndar tjarnir en Fiskeldið Haukamýri hefur keypt hátt í þriðjung upphitaða kælivatnsins (60 kg/s) fyrir eldi á bleikju (Orkuveita Húsavíkur, e.d.).

#### Yfirborðslosun

Yltjarnirnar, sem taka við affallsvatni frá orkustöðinni í Hrísmóa, eru mikið aðdráttarafl. Þar er vinsælt að synda og baða sig (Guðrún E. Jónsdóttir, 2012a). Affallsvatnið sem fer í tjarnirnar er hitaveituvatn og volgt grunnvatn og því í raun laust við uppleyst efni sem einkenna vatn frá háheatavæðum.

#### Afhendingaröryggi affallsvatns

Talsvert affallsvatn kemur frá virkjuninni og getur Orkuveita Húsavíkur afhent mikið magn af vatni á bilinu 5-120°C af góðum gæðum. Þar sem virkjunin hefur neyðarkæli hefur hún getað staðið í skilum með afhendingu á volgu vatni til fiskeldis öll þau ár sem hún hefur verið úr rekstri en ekkert hlé hefur verið á streymi á heitu vatni frá Hveravöllum

vegna hitaveitunnar þó vissulega sé streymið minna þegar engin raforkuvinnsla er. Þess vegna er afhendingaröryggi á heitu vatni mikið þrátt fyrir að rekstraröryggi virkjunarinnar hafi ekki verið með besta móti (Guðrún E. Jónsdóttir, framkvæmdastjóri Orkuveitu Húsavíkur, símtal 30. nóvember 2012).

### **4.7.3 Efnasamsetning og hitastig affallsvatns**

Í viðauka I má sjá efnagreiningu aðalefna í vatni frá holu HV-01 í samanburði við vatn úr gufuskiljum valdra hola annarra virkjana. Í viðauka III má sjá hver umhverfismörk málma í yfirborðsvatni eru skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

Afallsvatn frá orkustöðinni á Húsavík er annað hvort umfram hitaveituvatn eða heitt grunnvatn sem hitnað hefur við kælingu á hitaveituvatni og getur hitastig þess verið breytilegt eftir framleiðslu. Affallsvatn frá orkustöðinni er ólíkt affallsvatni frá virkjunum háhitasvæða og inniheldur jarðhitavatnið frá Húsmúla til að mynda mjög lítið af uppleystum efnum, rúmlega 300 mg/kg. Þó er styrkur áls yfir viðmiðum reglugerðar nr. 536/2001 um neysluvatn (Magnús Ólafsson, 2011).

### **4.7.4 Umfang gaslosunar**

Engin vöktun fer fram á útblæstri frá virkjuninni.

### **4.7.5 Skipulagsmál og iðnaður**

Húsavík er stærsti kaupstaðurinn í Norðurþingi með yfir tvö þúsund íbúa. Þar hefur atvinnulíf dregist saman undanfarna áratugi og íbúum fækkað. Til þess að reyna að sporna við þessari þróun horfir sveitarfélagið helst til stóriðju á Bakka en einnig til iðnaðar tengdum jarðhita. Aðalskipulag Norðurþings fyrir 2010-2030 hefur skilgreint iðnaðarsvæði fyrir orkutengdan iðnað sunnan við bæinn (Ráðgjafarfyrtækið Alta, 2010).

#### **Iðnaðarsvæði**

Orkuveita Húsavíkur er með starfsemi sína á iðnaðarsvæðinu Hrismóum sunnan við Húsavík. Svæðið er 14 ha að stærð og lítið nýtt. Gert er ráð fyrir að hægt sé að stækka það um 2,5 ha ef þörf er á. Svæðið er ekki sérstaklega skilgreint sem orkuvinnslusvæði enda allt heitt vatn flutt á svæðið frá Hveravöllum í Reykjahverfi (Ráðgjafarfyrtækið Alta, 2010). Hrismóasvæðið er merkt I5 á mynd 21.

Vestan við Hrismóa og Þjóðveg er ekki gert ráð fyrir iðnaði. Þar eru m.a. Kaldbakstjarnir sem taka við affallsvatni virkjunarinnar og fjöldi smáhýsa fyrir gististarfsemi. Smáhýsasvæðið er merkt F1 á mynd 21. Fiskeldið Haukamýri er með sína starfsemi á svæði I4 en við hlið þeirrar lóðar er athafnasvæðið A6 sem er 10,5 ha að stærð og nánast óbyggt, en líklega er það einnig hentug staðsetning fyrir fiskeldi (Ráðgjafarfyrtækið Alta, 2010).



Mynd 21: Iðnaðarsvæðið Hrismói (I5), smáhýsasvæðið (F1) og Kaldbakstjarnir. Húsavík er norður af myndinni (Ráðgjafarfyrtækið Alta, 2010).

## 4.8 Samantekt

Hér á eftir eru dregnar saman helstu upplýsingar um íslenskar jarðvarmavirkjanir til þess að auðvelda samanburð á milli virkjana.

### 4.8.1 Vinnsla og framleiðsla

Á árinu 2011 voru sex jarðvarmavirkjanir í rekstri hér á landi og nam raforkuvinnsla þeirra alls 4.589 GWst. Orkustöðin á Húsavík var ekki í rekstri á árinu en hún hefur verið biluð síðan 2008. Þá nam samanlögð heitavatsframleiðsla virkjananna 45,2 milljónum tonna á árinu. Orkuverið í Svartsengi var eina jarðvarmavirkjunin þar sem kaldavatsframleiðsla fór fram á árinu og framleiddi alls 6,2 milljón tonn. Samantekt á raforkuvinnslu, heitavatsframleiðslu og kaldavatsframleiðslu íslenskra jarðvarmavirkjana fyrir árið 2011 má sjá í töflu 27.

Tafla 27: Vinnsla og framleiðsla íslenskra jarðvarmavirkjana árið 2011.

	Raforka [GWst/ár]	Heitt vatn [milljón tonn/ár]	Kalt vatn [milljón tonn/ár]
Bjarnarflag	18	0	0
Krafla	477	0	0
Svartsengi	508	11,5	6,2
Reykjanes	820	0	0
Nesjavellir	1.012	26,6	0
Hellisheiði	1.754	7,1	0
<b>Samtals</b>	<b>4.589</b>	<b>45,2</b>	<b>6,2</b>

#### 4.8.2 Affallsvatn

Affallsvatn jarðvarmavirkjana skiptist í skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn. Helsta nýting affallsvatns hefur verið til heitavatsframleiðslu en talsverð nýtanleg varmaorka er í affallsvatni, sérstaklega skiljuvatni. Auk þess má vinna efni eins og kísil úr skiljuvatni.

Hvort sem varmaorka úr affallsvatni hefur verið fullnýtt eða einhver efni unnin úr affallsvatninu þarf að farga því eftir nýtingu í samræmi við kvaðir í starfsleyfi viðkomandi virkjunar. Affallsvatn er ýmist losað á yfirborði á landi eða í sjó, eða því niðurdælt í grunnar eða djúpar holur. Djúpar holur eru borholur sem fóðraðar eru niður á a.m.k. 800 m dýpi og tengdar jarðhitageymi viðkomandi svæðis. Grunnar holur eru fóðraðar niður á 400-800 m dýpi og ná niður í neðra grunnvatnskerfi. Svelgholur eru 10-60 m djúpar holur og telst losun í svelgholur til yfirborðslosunar.

#### Ráðstöfun skiljuvatns

Í töflu 28 má sjá heildarráðstöfun skiljuvatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum fyrir árið 2011. Alls nam losunin tæpum 48 milljónum tonna og var yfirborðslosun heldur meiri en niðurdæling. Af niðurdældu skiljuvatni fóru rúm 17 milljón tonn í djúpar holur sem tengdar eru jarðhitageymum viðkomandi svæða. Engin djúpförgun átti sér stað í Bjarnarflagi og á Nesjavöllum á árinu, en í Bjarnarflagi hefur allt skiljuvatn ávallt verið losað á yfirborði og á Nesjavöllum er niðurdæling í djúpar holur talin geta haft neikvæð áhrif á orkuvinnslu. Öll orkufyrirtækin stefna að því að auka niðurdælingu skiljuvatns.

Af þeim 12 milljónum tonna sem losuð voru á landi fóru 1,34 milljón tonn í baðlón Bláa Lónsins og Jarðbaðanna við Mývatn.

Tafla 28: Heildarráðstöfun skiljuvatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011.

	Bjarnarflag [milljón tonn/ár]	Krafla [milljón tonn/ár]	Svartsengi [milljón tonn/ár]	Reykjanes [milljón tonn/ár]	Nesjavellir [milljón tonn/ár]	Hellisheiði [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
<b>Niðurdæling:</b>							
Djúpar holur	0	2,53	3,10	1,85	0	9,92	17,40
Grunnar holur	0	0	1,13	0	2,95	0	4,08
<b>Samtals</b>	<b>0</b>	<b>2,53</b>	<b>4,23</b>	<b>1,85</b>	<b>2,95</b>	<b>9,92</b>	<b>21,48</b>
<b>Yfirborðslosun:</b>							
Á landi	2,26	1,48	3,29	0	4,76	0,51	12,30
Í sjó	0	0	0	11,90	0	0	11,90
Í svelgholur	0	0	1,89	0,00	0	0	1,89
<b>Samtals</b>	<b>2,26</b>	<b>1,48</b>	<b>5,18</b>	<b>11,90</b>	<b>4,76</b>	<b>0,51</b>	<b>26,09</b>
<b>Alls</b>	<b>2,26</b>	<b>4,01</b>	<b>9,41</b>	<b>13,75</b>	<b>7,71</b>	<b>10,43</b>	<b>47,57</b>

### Ráðstöfun þéttivatns

Í töflu 29 má sjá heildarráðstöfun þéttivatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum fyrir árið 2011. Alls nam losunin tæpum 20 milljónum tonna og var yfirborðslosun meiri en niðurdæling. Þéttivatn er gjarnan nýtt til íblöndunar við skiljuvatn til að koma í veg fyrir útfellingar við niðurdælingu. Ekkert þéttivatn kom frá Bjarnarflagsstöð þar sem virkjunin hefur engan eimsvala.

Tafla 29: Heildarráðstöfun þéttivatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011.

	Bjarnarflag [milljón tonn/ár]	Krafla [milljón tonn/ár]	Svartsengi [milljón tonn/ár]	Reykjanes [milljón tonn/ár]	Nesjavellir [milljón tonn/ár]	Hellisheiði [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
<b>Niðurdæling:</b>							
Djúpar holur	0	0	2,06	0,62	0	1,96	4,64
Grunnar holur	0	0	0,31	0	3,44	0	3,75
<b>Samtals</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,38</b>	<b>0,62</b>	<b>3,44</b>	<b>1,96</b>	<b>8,40</b>
<b>Yfirborðslosun:</b>							
Á landi	0	2,05	1,10	0	0	0	3,15
Í sjó	0	0	0	3,97	0	0	3,97
Í svelgholur	0	0	0	0	2,05	2,30	4,35
<b>Samtals</b>	<b>0</b>	<b>2,05</b>	<b>1,10</b>	<b>3,97</b>	<b>2,05</b>	<b>2,30</b>	<b>11,47</b>
<b>Alls</b>	<b>0</b>	<b>2,05</b>	<b>3,48</b>	<b>4,58</b>	<b>5,49</b>	<b>4,26</b>	<b>19,86</b>

### Ráðstöfun kælivatns

Í töflu 30 má sjá heildarráðstöfun kælivatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum fyrir árið 2011. Alls nam losunin tæpum 140 milljónum tonna sem losaðist á yfirborði á landi eða í sjó. Megnið af kælivatninu er kælisjór frá Reykjanesvirkjun en virkjunin notast aðeins við sjókölda eimsvala sem skapar virkjuninni sérstöðu gagnvart öðrum jarðvarmavirkjunum hér á landi.



Kælivatn frá Nesjavöllum, Hellisheiði og Svartsengi nýtist til heitavatnsframleiðslu eftir að það er hitað í varmaskiptum með skiljuvatni. Á Hellisheiði og í Svartsengi hefur kælivatn verið fullnýtt en á Nesjavöllum er umfram kælivatni og ónýttu hitaveituvatni fargað á yfirborði.

Ekkert kælivatn kemur frá Bjarnarflagi og Kröflu. Bjarnarflagsstöð hefur engan eimsvala og notar þar af leiðandi ekki kælivatn. Kröfluvirkjun hefur opinn eimsvala þar sem þéttivatn er kælt í loftkældum eimsvala áður en það er notað til kælingar.

Tafla 30: Heildarráðstöfun kælivatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011.

	Bjarnarflag [milljón tonn/ár]	Krafla [milljón tonn/ár]	Svartsengi [milljón tonn/ár]	Reykjanes [milljón tonn/ár]	Nesjavellir [milljón tonn/ár]	Hellisheiði [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
<b>Yfirborðslosun:</b>							
Á landi	0	0	0	0	28,55	0	28,55
Í sjó	0	0	0	110,38	0	0	110,38
<b>Samtals</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>110,38</b>	<b>28,55</b>	<b>0</b>	<b>138,93</b>

### Efnasamsetning og hitastig

Efnasamsetning jarðhitavatns ósöltu svæðanna (Bjarnarflag, Krafla, Nesjavellir og Hellisheiði) er innbyrðis mjög sambærileg, en styrkur uppleystra efna í skiljuvatni þessara svæða er almennt á bilinu 1.000-2.000 mg/kg sem þykir lágt fyrir háhitavatn. Styrkur uppleystra efna í affallsvatni söltu svæðanna (Reykjanes og Svartsengi) er margfalt meiri, á bilinu 20.000-40.000 mg/kg. Jarðhitavatn er ýmist mettað eða yfirmettað m.t.t. kvars og því hætt við kísilútfellingum er það kólnar. Af málum er það helst arsen og ál sem eru yfir viðmiðum reglugerðar nr. 536/2001 um neysluvatn.

Við förgun er hitastig skiljuvatns almennt yfir 120°C en lægra þar sem skiljuvatn hefur verið nýtt til heitavatnsframleiðslu.

Efnasamsetning þéttivatns er sambærileg á milli virkjana óháð seltu. Þéttivatn er ávallt súrt, í samanburði við drykkjarvatn, og tiltölulega snautt af uppleystum efnum. Þéttivatn frá Kröfluvirkjun hefur herra pH-gildi en hefðbundið þéttivatn vegna þess að fersku vatni er blandað við þéttivatnið til að koma í veg fyrir tæringu í kælikerfi. Hitastig þéttivatns er almennt á bilinu 35-60°C.

Kælivatn er almennt 35-60°C grunnvatn eða sjór.

### 4.8.3 Gaslosun

Koldíoxíð og brennisteinsvetni eru helstu lofttegundir í gasútblæstri jarðvarmavirkjana hér á landi en styrkur annarra lofttegunda eins og niturs, vetnis, metans og argons er almennt lágur. Koldíoxíð, brennisteinsvetni og metan eru óþéttanlegar lofttegundir sem orkufyrirtækin vakta sérstaklega losun á, en koldíoxíð og metan eru gróðurhúsalofttegundir og brennisteinsvetni er eitruð lofttegund.

### Umfang

Árið 2011 losuðu íslenskar jarðvarmavirkjanir 212 þúsund tonn af óþéttanlegum lofttegundum. Þar af voru 178.100 tonn af koldíoxíði, 34 þúsund tonn af brennisteinsvetni

og 140 tonn af metani. Í töflu 31 má sjá heildarlosun íslenskra jarðvarmavirkjana á óþéttanlegum lofttegundum árið 2011.

**Tafla 31: Heildarlosun íslenskra jarðvarmavirkjana á óþéttanlegum lofttegundum árið 2011.**

	<b>Koldíoxíð</b> [tonn/ár]	<b>Metan</b> [tonn/ár]	<b>Brennisteinsvetni</b> [tonn/ár]	<b>Samtals</b> [tonn/ár]
<b>Bjarnarflag</b>	1.269	17	1.524	<b>2.810</b>
<b>Krafla</b>	39.295	12	5.012	<b>44.319</b>
<b>Svartsengi</b>	61.153	5	1.128	<b>62.286</b>
<b>Reykjanes</b>	22.114	2	819	<b>22.935</b>
<b>Nesjavellir</b>	14.800	47	9.414	<b>24.261</b>
<b>Hellisheiði</b>	39.479	57	16.110	<b>55.646</b>
<b>Samtals</b>	<b>178.110</b>	<b>140</b>	<b>34.007</b>	<b>212.257</b>

### Ráðstöfun

Almennt losast gas frá jarðvarmavirkjunum út í andrúmsloftið sem mengun. Allur útblástur frá Nesjavöllum, Reykjanesi, Bjarnarflagi og Kröflu losaðist út í andrúmsloftið árið 2011. Einnig losaðist allur útblástur frá Hellisheiðarvirkjun út í andrúmsloftið ef frá eru talin nokkur tonn af blöndu af koldíoxíði og brennisteinsvetni, sem dælt var niður í jarðhitageyminn sem hluti af tilraunaniðurdælingu SulFix verkefnisins. Í Svartsengi nýttu Carbon Recycling og Bláa Lónið útblástur virkjunarinnar við sína starfsemi, en sú nýting var hlutfallslega mjög lítil.

### 4.8.4 Skipulagsmál og iðnaður

Vinnsla jarðhita fer fram á iðnaðarsvæðum sem sérstaklega hafa verið skilgreind sem orkuvinnslusvæði í aðalskipulagi viðkomandi sveitarfélaga. Gjarnan gera skipulögin ráð fyrir því að iðnaður geti farið þar saman með orkuvinnslu eða sérstakar lóðir hafa verið teknar frá fyrir orkutengdan iðnað í nágrenni orkuvinnslusvæða. Iðnaður í nágrenni jarðvarmavirkjana gæti því nýtt affallsvatn eða útblástur við sína starfsemi auk hefðbundnari afurða virkjana eins og raforku og hitaveitu. Slíkur iðnaður myndi hafa hag af nánd sinni við virkjun.

#### Iðnaðarsvæði

Skilgreind orkuvinnslusvæði fyrir uppsettar virkjanir á háhitasvæðum þekja samanlagt 3.716 ha. Almennt gera gildandi aðalskipulög viðkomandi sveitarfélaga ráð fyrir iðnaði á orkuvinnslusvæðum samhliða orkuvinnslu en svo er ekki á Nesjavöllum og Kröflu, sjá nánar í töflu 32.

Til viðbótar við sérstök orkuvinnslusvæði hafa sveitarfélög frátekið í aðalskipulögum sínum alls yfir 1.000 ha í nágrenni virkjana fyrir annan iðnað en orkuvinnslu (sjá töflu 32). Grindavíkurbær fer þar fremstur í flokki en bærinn hefur skilgreint stórt iðnaðarsvæði austan við orkuvinnslusvæði Reykjanesvirkjunar auk tveggja iðnaðarsvæða sunnan orkuvinnslusvæðisins í Eldvörpum. Jafnframt er gert ráð fyrir því að orkutengdur iðnaður fari fram samhliða orkuvinnslu í Eldvörpum líkt og nú er í Svartsengi. Í Skútustaðahreppi vestan við orkuvinnslusvæði Bjarnarflagsstöðvar hefur verið skilgreint 32 ha iðnaðarsvæði. Á Hellisheiði er ekki gert ráð fyrir iðnaði fyrir utan skilgreint orkuvinnslusvæði en innan orkuvinnslusvæðisins er 112 ha iðnaðarsvæði frátekið fyrir orkutengdan iðnað.

Orkuver OH stendur á iðnaðarsvæði sunnan Húsavíkur. Svæðið er 14 ha að stærð og er þar gert ráð fyrir iðnaði tengdum virkjuninni. Þar er ekki um sérstakt orkuvinnslusvæði að ræða þar sem jarðhitinn er sóttur annað.

**Tafla 32: Iðnaðar- og orkuvinnslusvæði við jarðvarmavirkjanir.**

Virkjun	Uppsett rafafli	Orkuvinnslusvæði	Gert ráð fyrir iðnaði á orkuvinnslusvæði	Iðnaðarsvæði í nánd við orkuvinnslusvæði
Bjarnarflag	3 MW	102 ha	Já	32 ha
Krafla	60 MW	1.513 ha	Nei	Ekki skilgreint
Svartsengi	74 MW	98 ha	Já	346 ha*
Nesjavellir	120 MW	430 ha	Nei	Ekki skilgreint
Húsavík	2 MW	Ekki skilgreint	-	14 ha
Reykjanes	100 MW	543 ha	Já	645 ha
Hellisheiði	303 MW	1.030 ha**	Já	Ekki skilgreint
<b>Samtals</b>	<b>662 MW</b>	<b>3.716 ha</b>		<b>1.037 ha</b>

\* Orkuvinnslusvæðið í Eldvörpum (233 ha) meðtalið.

\*\* Sérstakt 112 ha iðnaðarsvæði skilgreint innan orkuvinnslusvæðis.

### Orkutengdur iðnaður og annað

Í Svartsengi hefur risið mikil orkutengd starfsemi og tala menn þar gjarnan um auðlindagarð. Þar eru þekkt fyrirtæki eins og Bláa Lónið með heilsutengda ferðapjónustu, lækningarlind auk vinnslu heilsuvara. Einnig eru þar metanólverksmiðja Carbon Recycling, Northern Light Inn hótél, Eldborg fræðslusetur og ráðstefnusalur. Auk þess sem líftæknifyrirtækið ORF er með hátæknigróðurhús skammt frá. Þá eru IceAq og hollenska fyrirtækið EsBro að skoða uppsetningu á fiskeldi og tómataræktun á nærliggjandi iðnaðarsvæðum.

Á orkuvinnslusvæði Reykjanesvirkjunar eru fiskverkanirnar Haustak og Háteigur með starfsemi auk fiskeldisstöðvar Stolt Sea Farm.

Við Bjarnarflagsstöð rekur Léttsteypa byggingaeiningaverksmiðju auk þess sem þar er nú í gangi vinna við nýsköpunarverkefnið Mýsköpun sem snýr að því að koma upp þörungaráæktun með beinni nýtingu jarðvarma.

Á Húsavík nýtir Fiskeldið Haukamýri hluta kælivatnsins frá virkjuninni. Annað kælivatn rennur í tjarnir við Hrísmóa sem hafa orðið að vinsælu útivistarsvæði.

Á Hellisheiði er orkulíftæknifyrirtækið Prókatín með tilraunaaðstöðu en fyrirtækið leitast eftir að þróa ræktunarkerfi örvera með jarðhitagasi. Þar hefur GeoGreenhouse einnig fengið vilyrði fyrir því að hefja tómataræktun og geoSilica fyrir því að setja upp hreinsistöð fyrir skiljuvatn til framleiðslu heilsudrykkjar. Þá hefur Carbon Recycling lýst opinberlega yfir áhuga sínum á að reisa þar stóra verksmiðju sem myndi framleiða metanól og brennisteinsafurðir út öllum útblæstri virkjunarinnar.

Við Kröflu og Nesjavelli er enginn iðnaður, en bæði svæðin eru mikil ferðamanna- og útivistarsvæði. Virkjanir og orkuvinnslusvæði draga að mikið af ferðamönnum og rekur Landsvirkjun gestamóttöku í Kröflu, jarðhitasýningin Orkusýn og kaffihúsið Kolviðarhóll eru í Hellisheiðarvirkjun, jarðhitasýningin Orkuverið Jörð er í Reykjanesvirkjun og ION

hótel og Adrenalíngarðurinn eru á Nesjavöllum. Í töflu 33 má sjá útlitun á iðnaði, nýtingu lágvarma og ferðamennsku við virkjuð orkuvinnslusvæði landsins.

Tafla 33: Yfirlit yfir fjölbætta nýtingu við virkjuð orkuvinnslusvæði landsins.

VirkJun	Uppsett rafafi	Iðnaður	Nýting lágvarma	Ferðamennska
<b>Bjarnarflag</b>	3 MW	Byggingareininga-framleiðsla	Hitaveita og baðlón	Baðlón og hverasvæðið við Hverarönd
<b>Krafla</b>	60 MW	Enginn	Lágbrýstiprep	Gestamóttaka í Kröflu, Víti og Leirhnjúkar.
<b>Svartsengi</b>	74 MW	Metanólframleiðsla, þörungaræktun og framleiðsla ýmissa heilsuvara	Tvívökvahverflar, hitaveita, baðlón, lækningalind og hátækniþróðurrhús	Baðlón, lækningarlind, hótel og ráðstefnusalur
<b>Nesjavellir</b>	120 MW	Enginn	Hitaveita	Vinsælt útivistarsvæði, hótel og Adrenalíngarður
<b>Húsavík</b>	2 MW	Fiskeldi	Hitaveita og yltjörn	Yltjörn
<b>Reykjanes</b>	100 MW	Fiskþurrkun og fiskeldi	Engin	Jarðhitasýning og Gunnhver
<b>Hellisheiði</b>	303 MW	Enginn	Hitaveita og lágbrýstiaflstöð	Útivistarsvæði, jarðhitasýning og kaffihús

## 5 Niðurstöður og umræða

Markmið ritgerðarinnar var að taka saman í fyrsta sinn á einn stað helstu upplýsingar um affallsvatn og útblástur íslenskra jarðvarmavirkjana, þ.e. upplýsingar um umfang, ráðstöfun, efnasamsetningu og hitastig affallsvatns og útblásturs. Auk þess að taka saman upplýsingar um svæði í nágrenni við jarðvarmavirkjanir þar sem orkutengdur iðnaður er starfræktur í dag eða gæti verið starfræktur í náninni framtíð. Til að ná markmiðinu er rannsóknarspurninguunum úr inngangi skýrslunnar svarað hér á eftir.

Í kafla 5.1 er umræða um affallsvatn og rannsóknarspurningu eitt svarað.

Í kafla 5.2 er umræða um útblástur og rannsóknarspurningu tvö svarað.

Í kafla 5.3 er umræða um orkutengdan iðnað og rannsóknarspurningu þrjú svarað.

Í kafla 5.4 er gerð grein takmörkunum ritgerðarinnar og settar fram tillögur að frekari rannsóknum.

### 5.1 Affallsvatn

***RS1: Hversu mikið affallsvatn (skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn) kemur frá íslenskum jarðvarmavirkjunum? Hver er nýting þess?***

Árið 2011 förguðu virkjanirnar sex sem voru í rekstri alls 206 milljón tonnum af affallsvatni. Þar af voru um 48 milljón tonn af skiljuvatni, 20 milljón tonn af þéttivatni og 139 milljón tonn af kælivatni.

Nýting affallsvatns var bundin við nýtingu skilju- og þéttivatns til reksturs baðlóna Bláa Lónsins og Jarðbaðanna við Mývatn (1,38 milljón tonn), niðurdælingu í djúpar holur til að viðhalda auðlindinni (22,05 milljón tonn) og til framleiðslu 45 milljónum tonna af hitaveituvatni í varmaskiptum. Því má segja að hægt er að gera mun betur í nýtingu affallsvatns íslenskra jarðvarmavirkjana. Í töflu 34 má sjá samantekt á því hvernig affallsvatni frá íslenskum jarðvarmavirkjunum var ráðstafað á árinu 2011.

**Tafla 34: Heildarráðstöfun affallsvatns (skiljuvatn, þéttivatn og kælivatn) frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011.**

	Skiljuvatn [milljón tonn/ár]	Þéttivatn [milljón tonn/ár]	Kælivatn [milljón tonn/ár]	Samtals [milljón tonn/ár]
<b>Niðurdæling:</b>				
Djúpar holur	17,40	4,64	0	22,05
Grunnar holur	4,08	3,75	0	7,83
<b>Samtals</b>	<b>21,48</b>	<b>8,40</b>	<b>0</b>	<b>28,88</b>
<b>Yfirborðslosun:</b>				
Á landi	12,30*	3,15*	28,55	44,00
Í sjó	11,90	3,97	110,38	126,25
Í svelgholur	1,89	4,35	0	6,24
<b>Samtals</b>	<b>26,09</b>	<b>11,47</b>	<b>138,93</b>	<b>176,49</b>
<b>Alls</b>	<b>47,57</b>	<b>19,86</b>	<b>138,93</b>	<b>206,37</b>

\*Yfirborðslosun í Bláa Lónið og Jarðböðin við Mývatn innifalin.

Með aukinni umhverfisvitund í seinni tíð hafa starfsleyfisskilyrði jarðvarmavirkjana varðandi losun affallsvatns verið hert. Áður var nánast öllu affallsvatni fargað á yfirborði með tilheyrandi efna- og varmamengun. Til að bregðast við hefur aðallega verið horft til niðurdælingar, en með niðurdælingu í grunnar eða djúpar holur má koma í veg fyrir mengun grunnvatns og skaðleg áhrif á lífríki. Þess fyrir utan er niðurdæling affallsvatns í djúpar holur talin stuðla að bættri nýtingu jarðhitasvæða með því að viðhalda þrýstingi og auka varmaupptöku. Þess vegna má færa rök fyrir því að djúpförgun sé eitt form nýtingar affallsvatns.

Þar sem erfitt er að yfirfæra þekkingu af niðurdælingu frá einu svæði til annars þarf að prófa sig áfram og læra inn á hvert svæði fyrir sig, bæði hvað varðar umfang niðurdælingar og staðsetningar niðurdælingarhola. Niðurdæling á röngum stað getur kælt jarðhitasvæði og þar með haft skaðleg áhrif á orkuvinnslu. Niðurdæling er því mjög kostnaðarsamt ferli. Bæði er kostnaður við hverja niðurdælingarholu mjög hár auk þess sem lausnir vegna útfellingavandamála geta verið dýrar. Niðurdæling hefur því takmarkast að mestu leyti við skiljuvatn enda veldur það mestri efna- og varmamengun þar sem það er bæði heitara og ríkara af uppleystum efnem en þéttivatn og kælivatn, auk þess þykir kostur að niðurdælingarvökvi er sé sem líkastur þeim vökva sem fyrir er í jarðhitakerfinu. Þrátt fyrir mikinn kostnað hefur niðurdæling aukist síðan árið 2011 og stefna stóru orkufyrirtækin á að auka niðurdælingu enn frekar.

### 5.1.1 Skiljuvatn

Hvort sem skiljuvatni er niðurdælt eða losað á yfirborði þarf að leita leiða til nýtingar þess. Baðlón Bláa Lónsins og Jarðbaðanna við Mývatn eru t.d. skemmtileg dæmi um nýtingu skiljuvatns sem losað er á yfirborði. Augljóst er þó að ekki er raunhæft að reka baðstaði við allar jarðvarmavirkjanir auk þess sem vatnspörf slíkra staða er aðeins brot af heildarskiljuvatni virkjana. Vegna hás styrks uppleystra efna hentar skiljuvatn illa til beinnar nýtingar en hentar hins vegar ágætlega til framleiðslu á hitaveituvatni í varmaskiptistöð. Skiljuvatn er í dag nýtt til heitavatnsframleiðslu í Svartsengi, Nesjavöllum og Hellisheiði. Hitaveituframleiðsla virkjananna gæti verið mun meiri og jafnvel hluti af starfsemi allra jarðvarmavirkjana hér á landi ef aðeins er horft til varmaorku skiljuvatns

sem nýtanlegt er til slíkrar framleiðslu. Eftirspurn er hins vegar takmarkandi þáttur og til að virkjanir geti farið að framleiða meira hitaveituvatn þarf eftirspurn að aukast. Tilkoma fleiri hitaveitunotenda er því þörf til að hægt sé að auka framleiðslu og bæta nýtni virkjana. Í því samhengi væri gaman að sjá hér aukna ylrækt, fiskeldi og þörungarækt. Þar sem íslenskur markaður er lítill er ljóst að til aukins útflutnings þyrfti að koma nái þær hugmyndir fram að ganga. Ef flytja á út mat frá Íslandi verður ýmis þurrkun einnig áhugaverð, t.d. er vert að skoða möguleika þess að flytja á erlendan markað frostþurrkuð matvæli.

Uppleyst efni í skiljuvatni má nýta. Sýnt hefur verið fram á að verðmætir málmar finnast í vinnanlegu magni í skiljuvatni Reykjanesvirkjunar. Málmana má svo vinna úr útfellingum. Þá hefur vinnsla kísilafurða úr skiljuvatni alla burði til að vera góð viðbót við aðra nýtingu skiljuvatns, en allt skiljuvatn er mettað eða yfirmettað af jarðhitakísli. Sprotafyrirtækið geoSilica hyggst vinna kísilfæðubótarefni og heilsudrykk úr skiljuvatni jarðvarmavirkjana.

### 5.1.2 Þéttivatn

Þéttivatn er lítt spennandi til annarrar nýtingar en til íblöndunar við skiljuvatn til að koma í veg fyrir útfellingar við niðurdælingu. Þéttivatn inniheldur tiltölulega lágan styrk uppleystra efna og veldur því ekki útfellingum en getur valdið tæringu á lögnum vegna lágs pH-gildis, á bilinu 5-6. Þess vegna hentar það illa til beinnar nýtingar auk þess sem það inniheldur frekar lítinn varma.

### 5.1.3 Kælivatn

Kælivatn er ýmist upphitað grunnvatn eða sjór sem er í dag alltaf losað á yfirborði á landi eða í sjó. Þess vegna veldur kælivatn ekki efnamengun við yfirborðslosun en getur valdið varmamengun. Kælivatn inniheldur þó frekar lítinn varma. Þar sem kælikerfi virkjana eru mismunandi er kælivatnsþörf þeirra misjöfn. Magn kælivatns sem virkjanir þurfa að losa er því mjög mismunandi, t.d. nota virkjanirnar í Bjarnarflagi og Kröflu ekkert eiginlegt kælivatn. Virkjanirnar í Svartsengi og Hellisheiði nota eins mikið kælivatn og þörf er á til heitavatnsframleiðslu hverju sinni og því þarf ekki að farga kælivatni frá virkjununum. Það eru því í raun aðeins virkjanirnar á Reykjanesi og Nesjavöllum sem farga kælivatni. Reykjanesvirkjun hefur þá sérstöðu að allir eimsvalar virkjunarinnar eru vatnskældir og því er kælivatnsþörf, og jafnframt förgun þess, margföld á við aðrar íslenskar jarðvarmavirkjanir. Einnig kemur kælivatn frá orkuverinu á Húsavík þegar það er í gangi.

Þar sem kælivatn veldur hvorki útfellingum né tæringu ætti alltaf að finna varmaorku úr vatninu farveg til nýtingar t.d. til fiskeldis eða þörungaræktunar. Nágrenni Reykjanesvirkjunar ætti að vera kjörinn staður fyrir slíka starfsemi, en virkjunin liggur nálægt sjó og þar er gnótt af ónýttu kælivatni. Flóknara er að finna kælivatni frá Nesjavallarvirkjun farveg til nýtingar vegna mikilla árstíðasveifla í förgun, en þar er förgun á kælivatni mikil yfir sumartímann og lítil yfir veturinn.

## 5.2 Útblástur

*RS2: Hversu mikill útblástur óþéttanlegra lofttegunda kemur frá íslenskum jarðvarmavirkjunum? Hvernig ráðstafast lofttegundirnar?*

Árið 2011 losuðu virkjanirnar sex sem voru í rekstri 178 þúsund tonn af koldíoxíði, 34 þúsund tonn af brennisteinsvetni og 140 tonn af metangasi. Alls losaðist því um 212 þúsund tonn af skaðlegu jarðhitagasi út í andrúmsloftið sem mengun. Lítið brot af útblæstrinum var þó safnað og nýtt til verðmætasköpunar og tilraunaverkefna. Bláa Lónið og Carbon Recycling fengu hluta af óhreinsuðum útblæstri Orkuversins í Svartsengi fyrir sína starfsemi, magntölur fyrir þá nýtingu liggja ekki fyrir en ljóst er að umfang nýtingar var smá því starfsemi beggja fyrirtækjanna var á tilraunaskala. Þá fékk SulFix nokkur tonn af útblæstri frá Hellisheiðarvirkjun til prófana. Því er mikið rúm er til að gera betur við nýtingu útblásturs frá íslenskum jarðvarmavirkjunum. Í töflu 35 má sjá ráðstöfun útblásturs frá íslenskum jarðvarmavirkjunum árið 2011.

**Tafla 35: Heildarráðstöfun útblásturs íslenskra jarðvarmavirkjana árið 2011.**

	<b>Koldíoxíð</b> [tonn/ár]	<b>Metan</b> [tonn/ár]	<b>Brennisteinsvetni</b> [tonn/ár]	<b>Samtals</b> [tonn/ár]
Útblástur	178.110	140	34.007	212.257
<b>Samtals</b>	<b>178.110</b>	<b>140</b>	<b>34.007</b>	<b>212.257</b>

Gasútblastur jarðvarmavirkjana er mikið vandamál sem hefur verið í deiglu undanfarin misseri, sérstaklega brennisteinsmengun. Til að draga úr mengun og tryggja loftgæði á svæðum í nágrenni jarðvarmavirkjana var reglugerð nr. 514/2010 um hámarksstyrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti samþykkt árið 2010. Reglugerðin gerir stangar kröfur um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti og höfðu orkufyrirtækin frest til 1. júlí 2014 til að uppfylla skilyrði reglugerðarinnar. Orkuveita Reykjavíkur fékk þó tveggja ára undanþágu frá skilyrðum reglugerðarinnar.

Til að reyna að leysa útblástursvandamál sín hafa orkufyrirtækin staðið fyrir rannsóknum sem miða að því að þróa tækni til að dæla koldíoxíði og brennisteinsvetni aftur niður í jarðhitageyminn þar sem það á að bindast jarðlögum til frambúðar. Verkefnin ganga undir nöfnunum SulFix og CarbFix og eru ekki komin það langt á veg að þau leysi vandann. Bæði SulFix og CarbFix gera kröfu um tiltölulega hreinan straum koldíoxíðs eða brennisteinsvetnis sem þýðir að koma þyrfti upp gasskiljustöð við jarðvarmavirkjanir til að aðskilja loftegundirnar í útblæstrinum.

Hreinn straumur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis hefur meira virði en óhreinsaður útblástur og gefur aukna möguleika til nýtingar. Því er spurning hvort ekki megi búa til afurðir úr útblæstri sem hægt er að nýta til iðnaðar og verðmætasköpunar ef á annað borð á að hreinsa útblásturinn, í stað þess að farga ofan í jörðu með tilheyrandi kostnaði og ófyrirséðum árangri.

Hreint koldíoxíð má m.a. nota til að hraða sprettu í gróðurhúsum og þörungaræktun og við framleiðslu gosdrykkja, matvæla og metanóls. Síðan 2011 hefur Carbon Recycling rekið metanólverksmiðju í Svartsengi sem framleiðir umhverfisvænt metanól til íblöndunar bensíns með því að hvarfa koldíoxíð við vetni, en koldíoxíðið vinnur fyrirtækið úr útblæstri virkjunarinnar. Bláa Lónið hefur einnig nýtt útblástur Orkuversins í Svartsengi með góðum árangri til þörungaræktunar en styrkur koldíoxíðs í útblæstri virkjunarinnar er um 98%. Styrkur koldíoxíðs í útblæstri Reykjanesvirkjunar er einnig mjög hár, um 96%, en styrkur koldíoxíðs í útblæstri jarðvarmavirkjana utan Reykjanesskagans er lægri en að sama skapi er útblásturinn ríkari af brennisteinsvetni af jarðfræðilegum ástæðum og þarf því meiri hreinsun ef vinna á úr honum hreinan straum koldíoxíðs.



Hreint brennisteinsvetni má m.a. nota til framleiðslu brennisteins, brennisteinssýru, áburðar og í bakteríurækt. Þar sem brennisteinsmengun er alls ekki séríslenskt vandamál er framboð brennisteinsafurða í heiminum talsvert og verð þeirra lágt. Að þeim sökum hefur slík framleiðsla ekki þótt koma til greina hér á landi. Þetta kann þó að vera að breytast og mögulega er hagkvæmni fólgin í því að framleiða brennisteinsafurðir samhliða metanóli. Allavega vill Carbon Recycling reisa stóra verksmiðju við Helligheiðarvirkjun sem framleiðir metanól og brennisteinsafurðir úr öllum útblæstri virkjunarinnar. Slík verksmiðja væri gríðarlega umhverfisvæn og myndi leysa útblástursvandamál virkjunarinnar. Viðræður á milli Carbon Recycling og rekstraraðila virkjunarinnar standa nú yfir en Carbon Recycling þarf að sýna fram á arðbæran markað fyrir framleiðsluna auk þess að sýna fram á þeir geti séð slíkri verksmiðju fyrir orku, en orkuþörf slíkrar verksmiðju er mikil.

## 5.3 Iðnaður

### *RS3: Eru tækifæri fyrir nýjan orkutengdan iðnað við jarðvarmavirkjanir?*

Já, ljóst er að bæði affallsvatn og útblástur er laus til nýtingar við allar jarðvarmavirkjanir landsins. Þá hafa sveitarfélög alls frátekið 1.037 ha af landi í nágrenni jarðvarmavirkjana fyrir orkutengdan iðnað. Þessi svæði eru í dag nær ónýtt. Iðnaður er almennt leyfður á orkuvinnslusvæðum virkjana ef hann samræmist orkuvinnslu. Þó er ekki er gert ráð fyrir iðnaði við Kröfluvirkjun og Nesjavallavirkjun skv. gildandi aðalskipulögum svæðanna, en það kann að breytast við Kröflu óski iðnfyrirtæki eftir lóð á svæðinu. Það er því helst að iðnaður komi ekki til greina við Nesjavallavirkjun en gildandi skipulag fyrir svæðið gerir aðeins ráð fyrir frístundabyggð og útivist í námunda við virkjunina. Því má segja að hér séu mikil tækifæri og í raun ætti aðeins að vera tímaspursmál hvenær fjölbreyttur iðnaður verður kominn upp við flestar jarðvarmavirkjanir landsins.

Nokkuð fjölbreyttur iðnaður gæti komið til greina við nýtingu og margt sem þarft er að skoða í þeim efnum. Ákveðinn iðnaður gæti hentað betur við eina virkjun heldur en aðra og iðnaðarsvæði einnar virkjunar getur þótt ákjósanlegra en annarra. Það er margt sem spilar þar inn í m.a. umfang og gæði affallsvatns eða útblásturs, lóðaframboð, vilyrði sveitarfélaga, kjör hjá orkufyrirtækjum, afhendingaröryggi, fjarlægð frá mörkuðum viðkomandi framleiðsluvöru og framboð af menntuðu starfsfólki svo eitthvað sé nefnt.

Sveitarfélög eru í auknum mæli farin að taka frá svæði í nágrenni virkjana og markaðssetja til iðnfyrirtækja. Nánd við virkjun skiptir fyrirtæki sem vilja nýta affallsvatn eða útblástur miklu máli, bæði vegna þess að flutningskostnaður eykst með aukinni fjarlægð frá virkjun og varmaorka tapast í flutningi. Í dag er mest iðnstarfsemi við virkjanir HS Orku á Reykjanessvæðinu, þar hefur einnig mest svæði verið tekið frá fyrir orkutengdan iðnað. Enginn iðnaður er í dag við virkjanirnar á Helligssvæðinu en nokkur fyrirtæki hafa áhuga á að koma upp starfsemi á Helligheiði og hafa jafnvel hafið undirbúning. Það er því sennilegt að einhver fyrirtæki hefji þar starfsemi jafnvel strax á þessu ári. Smáiðnaður þrífst við Bjarnarflagsvirkjun en enn sem komið er virðast fyrirtæki síður áhugasöm um að koma upp starfsemi við virkjanir Landsvirkjunar á Mývatnssvæðinu. Líklega spilar staðsetning þar inn í.

## 5.4 Takmarkanir og tillögur

Almennt er umfang affallsvatns metið með rennslismælingum og efnasamsetning ákvörðuð með efnagreiningu vökvasýna, útblástur er hins vegar metinn með mælingum á gufurennslu og gasgreiningu gufunnar. Aðferðafræði mælinga, t.d. tíðni mælinga og hvar í kerfi sýni eru sótt, getur verið breytileg eftir mælingum. Í þessari ritgerð er ekki sérstaklega gerð grein fyrir aðferðafræði einstakra mælinga auk þess að framsetning niðurstaða mælinga, úr heimildum, voru í einhverjum tilfellum ósamanburðarhæfar á milli virkjana. Í undantekningar tilfellum skorti mæld gildi sem nauðsynleg voru fyrir ritgerðina. Þegar gildi voru ósamanburðarhæf voru þau gerð samanburðarhæf með umreikningum. Þegar gildi vantaði var leitað var til sérfræðinga við að leggja mat á stærð þeirra gilda, en slíkt er ávallt tekið fram í texta. Við umreikninga var gert ráð fyrir að 1 lítri af jarðhitavatni vegi 1 kg. Sú einföldun er mjög algeng en er að sjálfsögðu ekki alveg nákvæm fyrir öll hitastig vatns. Þrátt fyrir vissa ónákvæmni í gögnum er óhætt að segja að niðurstöður ritgerðarinnar gefi mjög góða mynd af umfangi affallsstrauma íslenskra jarðvarmavirkjana, því er helsta markmiði ritgerðarinnar náð.

Í lok annars kafla er nýting jarðhita hér á landi borin saman við nýtingu annarra jarðhitapjóða. Samanburðurinn nær til allra flokka beinnar notkunar jarðhita og raforkuvinnslu, sem er dæmi um óbeina notkun. Samanburðurinn nær hins vegar ekki til efnavinnslu úr jarðhitavatni eða útblæstri sem er annað dæmi um óbeina notkun. Í kafla 2.3.10 er fjallað stöðu efnavinnslu á Íslandi en samanburð vantar við efnavinnslu annarra pjóða. Þann þátt mætti skoða frekar.

Í öðrum kafla eru kynnt til sögunnar ýmis ferli sem geta nýtt affallsvatn eða útblástur til einhverskonar vinnslu eða framleiðslu og þar með skapað verðmæti. Hér á landi er aftur á móti takmörkuð reynsla af notkun jarðhita til sumra þessara ferla. Í því samhengi má t.d. nefna þörungarækt sem er þó mjög spennandi kostur, en Íslendingar þurfa að prófa sig áfram og þróa þekkingu á viðkomandi ferlum við íslenskar aðstæður.

Í ritgerðinni er ekki lagt mat á afhendingaröryggi affallsvatns eða útblásturs frá jarðvarmavirkjunum en það skiptir mögulega nýtingaraðila affallsstraumanna miklu máli. Einnig vantar að skoða hversu vel ferli samræmast orkuvinnslu á hverjum stað og hversu hagkvæm þau eru, t.d. gæti þurft að ráðast í umfangsmiklar og kostnaðarsamar breytingar á orkumannvirkjum til að breyta rás affallsstraumanna og koma þeim til nýtingar. Kostnaður við slíkar framkvæmdir gæti verið það mikill að ekki sé hagkvæmt að nýta affallstraum eða affallsstrauma til viðkomandi ferlis. Þessa þætti þarf að rannsaka frekar.

## 6 Greining á viðskiptahugmynd: geoSilica Iceland ehf. – Heilsudrykkur úr affallsvatni

geoSilica Iceland ehf. er nýsköpunarfyrirtæki sem sérhæfir sig í vinnslu kísilríkra heilsuafurða úr skiljuvatni jarðvarmavirkjana. Stofnendur og eigendur geoSilica eru Fida A. Libdeh, Burkni Pálsson og rannsóknarfyrirtækið Agnir. Fyrirtækið hefur vakið talsverða athygli og fengið bæði nýsköpunarstyrki og verðlaun. Ráðgert er að fyrsta vara fyrirtækisins, kísilfæðubótarefni (kísilsviflausn) sem unnin er úr skiljuvatni með rafdrætti, komi á markað á fyrir árslok 2014.

Önnur vara geoSilica kemur til með að vera *kísil- og steinefnaríkur heilsudrykkur* úr skiljuvatni Hellisheiðarvirkjunar. Með jónaskiptatækni má hreinsa skaðlega málma (t.d. arsen) valkvætt úr skiljuvatninu, eftir stendur þá vökvi sem er mjög kísilríkur og inniheldur einnig talsvert af steinefnum. Eftir að vökvinn hefur verið meðhöndlaður er hann tilbúinn til átöppunar. Drykkurinn kemur til með að vera markaðssettur sem heilsudrykkur en kísill er snefilefni sem gegnir m.a. lykilhlutverki í kollagenmyndun líkamans ásamt styrkingu utanfrumuefnis bandvefs og stuðlar því að auknu heilbrigði húðar, hárs og nagla. Kísill gegnir einnig lykilhlutverki í myndun og viðhaldi beina og sýnt hefur verið fram á samband á milli kísilskorts og beinþynningar. Rannsóknir frá Vesturlöndum sýna að fólk, sérstaklega konur, fær ekki nægan kísil úr fæðu og frekar en að breyta matarvenjum sínum leitar það í fæðubótarefni og vítamín. Markaður fyrir slík efni er því orðinn mjög stór og fer stækkandi.

Til að líkaminn geti upptekið kísil úr fæðu þarf hann að vera á réttu formi. Ákjósanlegasta form kísils fyrir líkamann m.t.t. upptöku er uppleysta form hans, kísilsýra. Kísilsýra er hins vegar mjög óstöðug og fjöliliðast nær strax í kísil á formi kísildíoxíðs. Sé kísillinn á formi kísildíoxíðs er nauðsynlegt að kornastærð hans sé sem minnst. Form kísils í fæðu skiptir því meira máli en magn. Þrátt fyrir að kísill sé algengur í náttúrunni fyrirfinnst hann aðeins á uppleystu formi í jarðhitavatni. Þess vegna nota erlendir framleiðendur kísilfæðubótar kísil sem unninn er með iðnaðarferlum, gjarnan úr kvartssandi með saltsýru. Framleiðsla geoSilica verður því allt í senn íslensk, einstök og umhverfisvæn sem skapar vörunni sérstöðu við markaðssetningu.

Stofnkostnaður við einfalda tilraunahreinsunarverksmiðju á Hellisheiði er tiltölulega lágur en ferlið þarfnast ekki yfirbyggingar. Framleiðslugeta slíkrar verksmiðju er mikil og hreinsunarferlið fljótlegt. Átöppun og dreifingu verður úthýst en stefnt er að því að drykkurinn verði seldur á samkeppnishæfu verði miðað við aðra heilsu- og svaladrykki og komi í verslanir um mitt ár 2015. Kostnaðargreining og söluáætlun gefa tilefni til að áætla að verkefnið sé hagkvæmt og arðbært. Framþróun verkefnisins er þó háð því að fjármögnun klárast.

**Til að vernda einkaleyfishæfa hugmynd og viðkvæmar upplýsingar hefur viðskiptaáætlunin verið færð í annað skjal sem ekki er ætlað til opinberrar birtingar.**



## 7 Ályktun

Brýn þörf er á að leysa mengunarvanda jarðvarmavirkjana á sem ódýrastan hátt svo unnt sé að bæta og auka sjálfbæra nýtingu þessarar verðmætu náttúruauðlindar. Þess vegna þarf að finna affallsvatni og útblæstri farveg til verðmætasköpunar og bæta þar með nýtingu jarðhitans í stað þess að einblína um of á dýrar förgunarlausnir. Fjöldmörg áhugaverð nýtingarferli koma til greina í því samhengi, t.d. fiskeldi, þörungarækt, ylækt, samrækt og metanólframléiðsla. Það sem helst heftir framgang slíkra verkefna er skortur á þolinmóðu fjármagni. Þess vegna er mikilvægt að orkufyrirtækin sem hafa mikilla hagsmuna að gæta taki þátt í að greiða götu raunhæfra verkefna með því að útvega aðstöðu eða leggja til lagnir við að leiða affallsvatn eða útblástur á nýtingarstað. Þessi aðstoð þarf ekki að vera gjaldfrjáls heldur gætu orkufyrirtækin fengið eignarhlut í viðkomandi fyrirtæki í staðinn.

Þegar metið er hvort að ákveðið nýtingarferli komi til greina við virkjun þarf að taka tillit til margra þátta. Þetta eru þættir eins og t.d. umfang og *gæði* affallsvatns eða útblásturs, framboð lóða, vilyrði sveitarfélaga, kjör hjá orkufyrirtækjum, afhendingaröryggi og fjarlægð frá mörkuðum.

Vegna þess hve umfang affallsvatns og útblásturs er mikið er erfitt eða ómögulegt að finna eitt nýtingarferli sem kemur til með að leysa mengunarvandann. Hins vegar gerir margt smátt eitt stórt og fjölbreyttur iðnaður við virkjanir gæti samanstaðið af fyrirtækjum sem nýta stóran hluta affallsvatns eða útblásturs í bland við niðurdælingu. Þar með er heldur ekki verið að setja öll egginn í sömu körfuna og treysta um of á eitt ferli til að leysa vandann. Bætt nýting ætti að lækka kostnað við orkuvinnslu og þar með bæta samkeppnishæfni jarðhitans gagnvart öðrum orkugjöfum á mjög umhverfisvænan hátt, auk þess að skapa störf og verðmæti.

Framleiðsla heilsudrykkjar úr affallsvatni kann að hljóma einkennilega en er engu að síður raunhæfur og spennandi kostur. Sprotafyrirtækið *geoSilica Iceland ehf.* hyggst koma kísilríkum heilsudrykk, úr skiljuvatni Hellsheiðarvirkjunar, á markað um mitt ár 2015. Að því gefnu að það takist að fullfjármagna verkefnið í tíma. Þetta kemur þó ekki til með að leysa skiljuvatnsvandamál virkjunarinnar þar sem framleiðslan kemur aðeins til með að nota lítið brot af því skiljuvatni sem kemur frá virkjuninni. Hins vegar kemur þetta til með að auka fjölbreytni nýtingar affallsvatnsins á arðbæran hátt skv. fyrirliggjandi forsendum.



# Heimildir

- Albert Albertsson og Þorleikur Jóhannesson. (2013, mars). *Reykjanes Resource Park*. Fyrirlestur haldinn á Iceland Geothermal Conference, Reykjavík, Ísland. Sótt 3. júní 2013 af [http://www.geothermalconference.is/files/fyrirlestrar/reykjanes\\_resoruce\\_park%20final%20-%20thorleikur%20.pdf](http://www.geothermalconference.is/files/fyrirlestrar/reykjanes_resoruce_park%20final%20-%20thorleikur%20.pdf)
- Albert Albertsson, Geir Þórólfsson og Júlíus Jónsson. (2010, apríl). *Three Decades of Power Generation-Svartsengi Power Plant*. Málsmeðferð af World Geothermal Congress 2010, Balí, Indónesíu. Sótt 14. desember 2012 af <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0643.pdf>
- Árni Ragnarsson. (2006). Orkunotkun á Íslandi. Í Sigurður Ágústsson (ráðstefnustj.), *Orkuþing 2006. Orkan og samfélagið – vistvæn lífsgæði* (bls. 45-58). Reykjavík: Samorka.
- Árni Ragnarsson. (2010, apríl). *Geothermal Development in Iceland 2005-2009*. Málsmeðferð af World Geothermal Congress 2010, Balí, Indónesíu. Sótt 3. desember 2012 af <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0124.pdf>
- Baldur Líndal. (1973). Industrial and Other Applications of Geothermal Energy. *Geothermal Energy*, 12, 135-148.
- Bertani, R. (2010). Geothermal Power Generation in the World. 2005-2010 Update Report. *Geothermics*, 41, 1-29.
- Bloomfield, K.K., Moore, J.N., og Neilson, R.N. (2003). Geothermal energy reduces greenhouse gases. *Geothermal Resources Council Bulletin*, 32, 77-79.
- Bændasamtök Íslands. (2010). *Hagtölur landbúnaðarins 2010*. Reykjavík: Höfundur.
- Carbon Recycling International. (e.d.). Plants: Commerical Plants: *First commercial plant*. Sótt 16. janúar 2013 af [http://www.carbonrecycling.is/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14&Itemid=8&lang=en](http://www.carbonrecycling.is/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=8&lang=en)
- Einar Gunnlaugsson. (2012a). *Hellisheiði – Vinnuskýrsla 2011. Afl, vatnsborð, vinnsla, efnafraeði – Yfirlit yfir rannsóknir*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur, OR-2012/12.
- Einar Gunnlaugsson. (2012b). *Nesjavellir – Vinnuskýrsla 2011. Afl, vatnsborð, vinnsla, efnafraeði – Yfirlit yfir rannsóknir*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur, OR-2012/13.
- Einar Gunnlaugsson. (2012c, mars). *The Hellisheiði Geothermal Project- Financial Aspects of Geothermal Development*. Erindi flutt á „Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells“, Santa Tecla, El Salvador. Skipulagt af

- Jarðhitaskóla Sameinuðu þjóðanna og LaGeo. Sótt 3. júní 2013 af <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-14-12.pdf>
- Egill Skúlason. (2012). *Förgun á brennisteinsvetni úr útblæstri jarðvarmavirkjana* (BSc-ritgerð). Háskólinn á Akureyri, Viðskipta- og raunvísindadeild. Sótt af <http://hdl.handle.net/1946/12218>
- Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology. Principles and Practice* (2. útg.). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Finnbogi Óskarsson og Práinn Friðriksson. (2012a). *Reykjanes Production Field. Geothermal Monitoring in 2011*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/015.
- Finnbogi Óskarsson og Práinn Friðriksson. (2012b). *Svartsengi Production Field. Geothermal Monitoring in 2011*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/014.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2012). *State of the World Fisheries and Aquaculture – 2012*. Róm: Höfundur.
- geoSilica Iceland. (e.d.). *geoSilica*. Sótt 10. apríl 2013 af <http://geosilica.is/geosilica>
- Giroud, N. og Stefán Arnórsson. (2008). Gas Chemistry in five Icelandic High-Temperature Geothermal Systems (Doktorsritgerð). Giroud, N. (ritstj.): *A Chemical Study of Arsenic, Boron and Gases in High-Temperature Geothermal Fluids in Iceland* (bls. 7-37). Sótt af [http://www.nielsgiroud.com/GiroudN-PhD\\_thesis.pdf](http://www.nielsgiroud.com/GiroudN-PhD_thesis.pdf)
- Gretar Ívarsson. (2012). *Uppsprettur og grunnar borholur í nágrenni Nesjavalla*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.
- Grindavíkurbær. (2010). *Auðlindarstefna Grindavíkur*. Sótt 16. nóvember 2012 af [http://www.grindavik.is/gogn/2011/Aulindastefna\\_samykkt\\_14\\_april\\_2010.pdf](http://www.grindavik.is/gogn/2011/Aulindastefna_samykkt_14_april_2010.pdf)
- Grímsnes- og Grafningshreppur. (2009). *Grímsnes og Grafningur 2008-2020 Endurskoðun aðalskipulagsins 2002-2014. Stefnumörkun – umhverfismat. Greinagerð*. Selfoss: Höfundur.
- Guðbergur Rúnarsson. (2013, 24. janúar). Spennandi tímar framundan í fiskeldi. Viðtal Kjartans Stefánssonar við Guðberg Rúnarsson framkvæmdastjóra Landssambands fiskeldisstöðva. *Fiskifréttir*, bls. 6-7.
- Guðbjartur Kristófersson. (2003). *Jarðfræði*. Reykjavík: Menntaskólinn í Reykjavík.
- Guðmundur H. Guðfinnsson og Finnbogi Óskarsson. (2012). *Svartsengi Power Plant. Steam and Water Quality in 2011*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/016. Unnið fyrir HS Orku.
- Guðmundur Gunnarsson. (2013, apríl). *Results of some projects on geothermal gases at Innovation Center and IceTec*. Erindi flutt á þriðja W2V málþingi Georgs,



Reykjavík, Ísland. Sótt 3. janúar 2013 af  
<http://georg.hi.is/files/Jar%C3%B0hitag%C3%B6s%20apr%C3%ADl%202013.pdf>

Guðmundur Pálmason. (2005). *Jarðhitabók. Eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.

Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur I. Haraldsson og Gísli K. Halldórsson. (1985). *Mat á jarðvarma Íslands*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-85076.

Guðni Axelsson. (2008, maí). *Importance of Geothermal Reinjection*. Erindi flutt á Workshop for Decision Makers on Direct Heating Use of Geothermal Resources in Asia, Tianjin, Kína. Skipulagt af Jarðhitaháskóla Sameinuðu þjóðanna, TBLRREM og TBGMED. Sótt 3. júní 2013 af <http://www.os.is/gogn/flytja/JHS-Skjal/China%202008/Presentations/19-Gudni%20Axelsson.pdf>

Guðni Axelsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Pálmason, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz, Sveinbjörn Björnsson og Valgarður Stefánsson. (2001). Um sjálfbæra vinnslu jarðhita. Í María J. Gunnardóttir (ráðstefnustj.), *Orkuþing 2001. Orkumenning á Íslandi – Grunnur til stefnumótunar* (bls. 478-484). Reykjavík: Samorka.

Guðrún E. Jónsdóttir (2011, 3. janúar). *Samningar takast um enduruppbyggingu Orkustöðvar Orkuveitu Húsavíkur* (frétt birt á heimasíðu OH). Sótt 15. janúar 2013 af [http://www.oh.is/news/samningar\\_takast\\_um\\_enduruppbyggingu\\_orkustodvar\\_orkuveitu\\_husavikur/](http://www.oh.is/news/samningar_takast_um_enduruppbyggingu_orkustodvar_orkuveitu_husavikur/)

Guðrún E. Jónsdóttir. (2012a, 18. maí). *Kafað í yltjörninni* (frétt birt á heimasíðu OH). Sótt 15. janúar 2013 af [http://www.oh.is/news/kafad\\_i\\_yltjorninni/](http://www.oh.is/news/kafad_i_yltjorninni/)

Guðrún E. Jónsdóttir. (2012b, 5. október). *OH og GGL framlengja samningi* (frétt birt á heimasíðu OH). Sótt 15. Janúar 2013 af [http://www.oh.is/news/oh\\_og\\_ggl\\_framlengja\\_samningi/](http://www.oh.is/news/oh_og_ggl_framlengja_samningi/)

Gunnar Böðvarsson. (1961). Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. *Jökull*, 11, 29-38.

Gunnar Böðvarsson. (1982). Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. Í Guðmundur Pálmason (ritstj.): *Continental and oceanic rifts. Geodynamic Series, 9, Am. Geophys. Union*, 271-282.

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands. (2010). *Staða og horfur garðyrkjunnar. Ísland og Evrópusambandið*. Reykjavík: Höfundur. Sótt 11. nóvember 2012 af [http://hhi.hi.is/sites/hhi.hi.is/files/C-Series/2010/C10\\_05.pdf](http://hhi.hi.is/sites/hhi.hi.is/files/C-Series/2010/C10_05.pdf)

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson. (2002). *Efnarannsóknir á vatni úr holum, lindum og gjám í Búrfellshrauni og nágrenni. Undirstöður vöktunar vegna affalls frá jarðhitavirkjunum, Kröflu og Námafjalli*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2002/076.

- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson. (2012). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2011*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/006.
- Haraldur Guðmundsson. (2014, 5. júní). Samningur um ívilnanir til risagróðurhúss nærri Grindavík liggur fyrir. *Vísir*. Sótt 25. júní 2014 af <http://www.visir.is/samningur-um-ivilnanir-til-risagrodurhuss-naerri-grindavik-liggur-fyrir/article/2014140609503>
- Heilbrigðiseftirlit Norðurlands eystra. (2009). *Starfsleyfisskilyrði. Kröflustöðvar*. Akureyri: Höfundur.
- Heilbrigðiseftirlit Suðurlands. (2006). *Starfsleyfisskilyrði Hellisheiðarvirkjun*. Selfoss: Höfundur.
- Heilbrigðiseftirlit Suðurlands. (2009). *Starfsleyfisskilyrði Nesjavallavirkjun*. Selfoss: Höfundur.
- Heilbrigðiseftirlit Suðurnesja. (2010). *Starfsleyfisskilyrði fyrir HS Orku hf. Orkuverið í Svartsengi*. Reykjanesbær: Höfundur.
- Hreinn Frímannsson. (2001). Nesjavallavirkjun. Í María J. Gunnardóttir (ráðstefnustj.), *Orkuþing 2001. Orkumenning á Íslandi – Grunnur til stefnumótunar* (bls. 413-417). Reykjavík: Samorka.
- Hotchkiss, S. (2012, maí). *Value added products from macroalage*. Erindi flutt á ráðstefnu á vegum Nordic Algae Network samstarfsverkefnisins, Reykjavík, Ísland. Sótt 2. janúar 2014 af [http://www.nordicinnovation.org/Documents/Attachments/NordicAlgaeNetwork\\_MarineProject/Sarah%20Hotchkiss%20Value%20Added%20Products%20from%20Macroalgae\\_isl2012.pdf](http://www.nordicinnovation.org/Documents/Attachments/NordicAlgaeNetwork_MarineProject/Sarah%20Hotchkiss%20Value%20Added%20Products%20from%20Macroalgae_isl2012.pdf)
- HS Orka. (2012). *Ársskýrsla 2011*. Reykjanesbær: Höfundur.
- HS Orka (2013). *Ársskýrsla 2012*. Reykjanesbær: Höfundur.
- HS Orka. (e.d). Framleiðsla: *Raforka, hitaveituvatn og jarðsjór með jarðgufu*. Sótt 24. október 2012 af <http://hsorka.is/HSProduction/HSProductionStartPage.aspx>
- Iðnaðarráðherra. (1999). *Maður – nýting – náttúra. Rammaáætlun um nýtingu vatnsafls og jarðvarma*. Reykjavík: Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið. Sótt 10. janúar 2013 af <http://www.atvinnuvegaraduneyti.is/utgafa/frettir/eldri-frettir/idn/nr/811>
- Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson. (2010a). *Frumorkunotkun til jarðvarmavirkjana og hitaveita á Íslandi til ársins 2009*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2010/03.
- Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson. (2010b). *Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna nota til ársins 2009*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2010/02.

- Ingimar G. Haraldsson, Þóra H. Þórisdóttir og Jónas Ketilsson. (2010). *Efnahagslegur samanburður húshitunar með jarðhita og olíu árin 1970-2009*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2010/04.
- Ingvar B. Friðleifsson. (1979). Geothermal activity in Iceland. *Jökull*, 29, 47-56.
- Ingvar B. Friðleifsson. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 299-312.
- Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson. (2003, september). *Silica scaling: The main obstacle in efficient use of high-temperature geothermal fluids*. Málsmeðferð af International Geothermal Conference 2003, Reykjavík, Ísland. Sótt 5. Febrúar 2013 af <http://jardhitafelag.is/media/PDF/S13Paper118.pdf>
- Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson. (2005). Impact of silica scaling on the efficiency of heat extraction from high-temperature geothermal fluids. *Geothermics*, 34, 320-329.
- Ingvi Gunnarsson, Trausti Hauksson, Stefán Arnórsson. (2002). *Nesjavallavirkjun. Tilraunir til að hindra útfellingu kísils úr affallsvatninu*. Reykjavík: Raunvísindastofnun Háskólans.
- Íslensk matorka. (2011). *Markaðsrannsókn og markaðsátak fyrir hágæða hvítfisk úr íslensku hlývatnseldi*. Sótt 1. mars 2013 af [http://www.avs.is/media/skyrslur/R\\_045\\_10\\_AVS---Markadsgreining-og-markadsatak-a-islenskum-hlyvatnsfiski---lokaskyrsla.pdf](http://www.avs.is/media/skyrslur/R_045_10_AVS---Markadsgreining-og-markadsatak-a-islenskum-hlyvatnsfiski---lokaskyrsla.pdf)
- Íslenskar orkurannsóknir. (e.d.-a). Jarðhiti: *Háhiti*. Sótt 14. janúar 2013 af <http://isor.is/efni/hahiti>
- Íslenskar orkurannsóknir. (e.d.-b). Jarðhiti: *Lághiti*. Sótt 14. janúar 2013 af <http://isor.is/efni/laghiti>
- Ívar Baldvinsson, Þóra H. Þórisdóttir og Jónas Ketilsson. (2011). *Gaslosun jarðvarmavirkjana á Íslandi 1970-2009*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2011/02.
- Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson. (2009). *Mat á vinnslugetu háhitasvæða*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2009/09.
- Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson. (2011). *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans*. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2010/05.
- Knattspyrnusamband Íslands. (2013). Sparkvellir. *KSÍ blaðið*, 1(1), 68-69.
- Kristján M. Unnarsson. (2012, 17. september). Þörungaráæktun undirbúin í Mývatnssveit. *Vísir*. Sótt af <http://www.visir.is/thorungaraekt-undirbuin-i-myvatnssveit/article/2012120919050>

- Landslag. (2012). *Kröfluvirkjun. Stækkun Kröfluvirkjunar. Tillaga. Deiliskipulag og umhverfisskýrsla*. Sótt 3. mars 2013 af [http://myv.is/files/St%C3%A6kkun%20Krafla-deiliskipulag%20og%20umhverfissk%C3%BDrsla%202013\\_1678867173.pdf](http://myv.is/files/St%C3%A6kkun%20Krafla-deiliskipulag%20og%20umhverfissk%C3%BDrsla%202013_1678867173.pdf)
- Landssamband fiskeldisstöðva. (2009). *Staða fiskeldis á Íslandi, framtíðaráform og stefnumótun Landssambands fiskeldisstöðva í rannsókn- og þróunarstarfi 2010-2013*. Reykjavík: Höfundur.
- Landssamband fiskeldisstöðva. (e.d.). Hagtölur:*Eldið* sótt 1. mars 2013 af <http://www.lfh.is/hagtolur-eldid.htm>
- Landsvirkjun. (2011). *Aflstöðvar og orkuvinnsla*. Reykjavík: Höfundur.
- Landsvirkjun. (2013). *Árskýrsla 2012*. Reykjavík: Höfundur.
- Landsvirkjun, Mannvit og Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar (2011). *Deiliskipulag Bjarnarflagsvirkjunar Skútustaðahreppi. Greinagerð. 7.apríl 2011, 12.maí 2011*. Sótt 3. mars 2013 af [http://www.myv.is/files/Bjflag-deiliskgreinargerð-110512\\_872551702.pdf](http://www.myv.is/files/Bjflag-deiliskgreinargerð-110512_872551702.pdf)
- Loftmyndir. (e.d.). *Skipulagsvefsjá*. Sótt 5. febrúar 2013 af <http://www.skipulagsstofnun.is/skipulagsmal/skipulagssja/>
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics (2. útg.)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lund, J.W, Freeston, D.H. og Boyd, T.L. (2010). Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. *Geothermics*, 40, 159-180.
- Lög um niðurgreiðslu húshitunarkostnaðar nr. 78/2002.
- Lög um verndar- og orkunýtingaráætlun nr. 48/2011.
- Magnús Á. Ágústsson. (2012, nóvember). *Staða garðyrkjunnar*. Erindi flutt á haustfundi Sambands garðyrkjubænda, Flúðir, Ísland.
- Magnús Ólafsson. (2011). *Orkuveita Húsavíkur. Efnavöktun 2007 og 2010*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/004.
- Mannvit. (2010). *Kröfluvirkjun II. Allt að 150 MWe jarðhitavirkjun við Kröflu í Skútustaðahreppi. Mat á umhverfisáhrifum*. Reykjavík: Landsvirkjun, LV-2010/077.
- Mburu, M. (2009, nóvember). *Geothermal Energy Utilisation*. Erindi flutt á „Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources“, Lake Navisha, Kenía. Haldið af Jarðhitaháskóla Sameinuðu þjóðanna (UNU-GTP), KenGen and GDC. Sótt 24. febrúar 2013 af <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-10-0202.pdf>
- Nýsköpunarmiðstöð Íslands. (2012, 19. mars). Fréttir: *Steinlím úr eldfjallaösku*. Sótt 05. mars 2013 af <http://www.nmi.is/frettir/2012/03/steinlim-ur-eldfjallaoesku/>

- Oddur B. Björnsson og Davíð Ö. Benediktsson. (2008, desember). *Nýtni jarðhitavökva til orkuframleiðslu*. Erindi flutt á málþingi Jarðhitafélags Íslands, Reykjavík, Ísland. Sótt 12. desember 2013 af [http://www.jarðhitafelag.is/media/PDF/Haustthing\\_2008\\_n%C3%ACtni\\_jarDhitav%E2%80%9Dkva\\_til\\_orkuframleiDslu\\_Oddur\\_Bj%E2%80%9Drnsson.pdf](http://www.jarðhitafelag.is/media/PDF/Haustthing_2008_n%C3%ACtni_jarDhitav%E2%80%9Dkva_til_orkuframleiDslu_Oddur_Bj%E2%80%9Drnsson.pdf)
- Orkuspárnefnd. (2010). *Almennar forsendur orkuspáa 2010. Samantekt fyrir vinnuhópa Orkuspárnefndar*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Orkustofnun. (1987). *Fiskeldisverkefni orkustofnunar 1987. Bráðabirgðaskýrsla um stöðu og helstu niðurstöður í 1.12.1987*. Reykjavík: Höfundur, OS-87053.
- Orkustofnun. (1989). *Fiskeldisverkefni orkustofnunar 1989. Bráðabirgðaskýrsla um stöðu og helstu niðurstöður í des.1989*. Reykjavík: Höfundur, OS-89060.
- Orkustofnun. (2011a). *Fylgibréf með leyfi vegna stækkunar Reykjanesvirkjunar úr 100 MWe í rafmagni í 160-180 MWe í rafmagni*. Sótt 14. nóvember 2012 af <http://www.orkustofnun.is/media/leyfi-2011/Virkjunarleyfi-HS-Orka-fylgibref-15092011.pdf>.
- Orkustofnun. (2011b). *Virkjunarleyfi vegna stækkunar Hellisheiðarvirkjunar úr 213 MWe í rafmagni í 303 MWe í rafmagni*. Sótt 14. nóvember 2012 af [http://www.orkustofnun.is/media/leyfi-2011/virkjunarleyfi\\_OR\\_03.06.2011.pdf](http://www.orkustofnun.is/media/leyfi-2011/virkjunarleyfi_OR_03.06.2011.pdf)
- Orkustofnun. (2012). Raforka. *Orkumál*, 8 (1), 1-12.
- Orkustofnun. (2013). *Orkutölur 2012*. Reykjavík: Höfundur.
- Orkustofnun. (e.d.-a). Orkunotkun: *Jarðhitanothun á Íslandi*. Sótt 28. janúar 2013 af <http://www.os.is/orkustofnun/orkutolur/jardhitanotkun/>
- Orkustofnun. (e.d.-b). Orkutölur: Frumorka: Uppruni orku: *Hvaðan kemur orkan sem við Íslendingar notum?*. Sótt 24. janúar 2013 af <http://www.os.is/orkustofnun/orkutolur/frumorka/uppruni-orku/>
- Orkuveita Húsavíkur. (e.d.). *Framleiðsla*. Sótt 10. desember 2012 af <http://www.oh.is/page/framleidsla>
- Orkuveita Reykjavíkur. (2006). *Nesjavellir orkuver*. Reykjavík: Höfundur.
- Orkuveita Reykjavíkur. (2012). *2011 Umhverfisskýrsla Orkuveitu Reykjavíkur*. Reykjavík: Höfundur.
- Orkuveita Reykjavíkur. (e.d.). Umhverfi og fræðsla: *CarbFix verkefnið*. Sótt 21. júlí 2013 af <http://www.or.is/umhverfi-fraedsla/carbfix-verkefnid>.
- Ómar F. Sigurbjörnsson. (2013, apríl). *Recycling of Geothermal Carbon and Sulfur Emissions for Chemical Production*. Erindi flutt á þriðja W2V málþingi Georgs, Reykjavík. Sótt 26. júní 2013 af <http://georg.hi.is/files/GEORG%20CRI%20WSA%202013-04-17.pdf>

- Prokaria. (e.d.). *Forsíða*. Sótt 16. janúar 2013 af <http://www.prokatin.is/about.htm>
- Ragnar K. Ásmundsson. (2005). *Varmadætur. Hagkvæmni á Íslandi*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2205/024.
- Rannsóknarráð ríkisins. (1974). *Ylraektarver. Frumkönnun á hagkvæmni ylraektarvers og tillögur um framhaldsathuganir. Skýrsla starfshóps um hagnýtingu jarðhitans*. Reykjavík: Höfundur.
- Rannsóknarráð ríkisins. (1992). *Skýrsla starfshóps Rannsóknarráðs ríkisins um fiskeldi. Drög*. Reykjavík: Höfundur.
- Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins. (2000). *Mæliniðurstöður af vatnssýnum frá Nesjavöllum og lindum við Þingvallavatn, greind í júlí 2000 (af SGAB Analytica)*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.
- Ráðgjafarfyrtækið Alta. (2010). *Aðalskipulag Norðurlands 2010-2030; 24.-27. Kafli; Skipulag þéttbýlis; 16.11.2010*. Sótt 14. mars 2013 af <http://www.nordurthing.is/static/files/adalskipulag-2010-2030/skipulag-thettbylis.pdf>
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001.
- Reglugerð um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti nr. 514/2010.
- Reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999.
- Reykjavíkurborg. (2013). *Laugarnar í Reykjavík. Framtíðarsýn til 20 ára*. Reykjavík: Höfundur.
- Róbert Ragnarsson. (2013, 5. október). Tvöfalda gróðurhús landsins í Grindavík. Viðtal Garðars Arnar Úlfarssonar við Róbert Ragnarsson bæjarstjóra Grindavíkur. *Fréttablaðið*, bls. 2.
- Scott, S.W. (2011). *Gas Chemistry of the Hellisheidi Geothermal Field* (MSc-ritgerð). Háskóli Íslands, Náttúruvísindasvið. Sótt af <http://en.ru.is/media/reyst/Samuel-Scott.pdf>
- Sigurður. G Kristinsson, Þráinn Friðriksson, Magnús Ólafsson, Sveinborg H. Gunnarsdóttir og Steinþór Níelsson. (2013). *Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni*. Reykjavík: Landsvirkjun, LV-2013-091.
- Skipulagsstofnun. (2013). *Eldi á bleikju og borra vestan Grindavíkur. Allt að 3.000 tonn á ári. Ákvörðun um matsskyldu*. Sótt 30. maí 2013 af <http://www.skipulagsstofnun.is/media/attachments/Umhverfismat/989/201306031.pdf>
- Stefán Arnórsson. (1974). *Hitaveita Hveragerðis. Álitsgerð um orsakir útfellinga. Tillögur til úrbóta*. Reykjavík: Orkustofnun, OSJHD-7425.
- Stefán Arnórsson. (2011). *Jarðhiti á Íslandi. Eðli auðlindar og ending. Verklag við undirbúning að vinnslu. Umhverfisáhrif af nýtingu*. Verkefnisstjórn rammaáætlunar

um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhita. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.

Steinsholt og Landmótun. (2012). *Sveitarfélagið Ölfus. Aðalskipulag 2010-2022. Greinagerð*. Sótt 3. mars 2013 af <http://www.olfus.is/media/adalskipulag-olfuss-2010-2022/Greinargerð-adalskipulags.pdf>

Steinsholt og Landslag. (2014). *Sveitarfélagið Ölfus - Aðalskipulag. Breyting á aðalskipulagi 2010-2022. Hellisheiði - Hverahlíð, iðnaðarsvæði*. Sótt 10. apríl 2014 af <http://www.olfus.is/media/stofnanir/stjornsysla/13071-Olfus-ask-br1-270314.pdf>

Stolt Sea Farm Holdings Iceland. (2011). *Eldi á Senegalflúru (solea senegalensis) við Reykjanesvirkjun HS Orku, Reykjanesbær, apríl 2011*. Sótt 26. nóvember 2013 af [http://www.ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Starfsleyfi/i-auglysingu/2012/Stolt-Sea-Farm/Stolt%20Sea%20Farm%20Greinarger%C3%B0%20fyrir%20Skipulagsstofnun%20\(11-04-2011\)%2024M%20Final%20\(EA\)\\_optimized.pdf](http://www.ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Starfsleyfi/i-auglysingu/2012/Stolt-Sea-Farm/Stolt%20Sea%20Farm%20Greinarger%C3%B0%20fyrir%20Skipulagsstofnun%20(11-04-2011)%2024M%20Final%20(EA)_optimized.pdf)

Stýrihópur um mótun heildstæðar orkustefnu. (2011). *Orkustefna fyrir Ísland*. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.

Stýrihópur SulFix. (2013). *Verkefnisáætlun SulFix. Um förgun brennisteinsvetnis frá jarðgufuvirkjunum*. Sótt 20. desember 2013 af [https://www.or.is/sites/default/files/verkefnisaaetlun\\_sulfix\\_2.pdf](https://www.or.is/sites/default/files/verkefnisaaetlun_sulfix_2.pdf)

Sveinbjörn Björnsson. (1969, 20. desember). Ylrækt sem stóriðja. Hugleiðingar um notkun jarðhita til stóriðju í ræktun og vinnslu matvæla. *Morgunblaðið*, (blað II).

Sveinn Aðalsteinsson. (2013, apríl). *GeoGreenhouse. Pure Resources – Healty Living*. Erindi flutt á fjórða W2V málþingi Georgs, Reykjavík. Sótt 30. október 2013 af [http://georg.hi.is/files/2013\\_04\\_Presentation\\_GEORG.pdf](http://georg.hi.is/files/2013_04_Presentation_GEORG.pdf)

Sveinn Þórðarson. (1998). *Auður úr iðrum jarðar. Saga hitaveitna og jarðhitánýtingar á Íslandi*. Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.

Sverrir Þórhallsson. (2011, janúar). *Common Problems Faced in Geothermal Generation and How to Deal With Them*. Erindi flutt á „Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants“, Santa Tecla, El Salvador. Haldið af Jarðhitaháskóla Sameinuðu þjóðanna (UNU-GTP) og LaGeo. Sótt 2. febrúar 2013 af <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-12-44.pdf>

Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar. (2013a). *Aðalskipulag Skútustaðahrepps 2011-2023. Greinagerð. Stefna og skipulagsákvæði. Umhverfisskýrsla*. Sótt 13. Nóvember 2013 af [http://www.myv.is/files/AS-Skutu-greinargerð-130221-br\\_1445195234.pdf](http://www.myv.is/files/AS-Skutu-greinargerð-130221-br_1445195234.pdf).

Teiknistofa arkitekta Gylfi Guðjónsson og félagar. (2013b). *Aðalskipulag Skútustaðahrepps 2011-2023. Sveitaruppdráttur. Þéttbýlisuppdrættir*. Sótt 13. nóvember 2013 af [http://www.myv.is/files/Sveitar%20og%20C3%BE%20C3%A9ttb%C3%BDlisuppdr%C3%A6ttir%20feb2013\\_273383283.pdf](http://www.myv.is/files/Sveitar%20og%20C3%BE%20C3%A9ttb%C3%BDlisuppdr%C3%A6ttir%20feb2013_273383283.pdf)

- Teiknistofan Storð. (2012). *Gróðurhús í Svínahrauni. Deiliskipulagsuppráttur A – Tillaga*. Unnið fyrir Sveitarfélagið Ölfus og GeoGreenhouse.
- Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson. (2012). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2011*. Reykjavík: Landsvirkjun, LV-2012/098.
- Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. (2014, 6. júní). *Orkuveitan uppfylli hert skilyrði um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti fyrir 1.júlí 2016* (tilkynning birt á heimasíðu ráðuneytisins). Sótt 19. júní 2014 af <http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/2606>
- Valdimar I. Gunnarsson. (2004). *Staða og framtíðaráform í íslensku fiskeldi*. Reykjavík: Landbúnaðarráðuneytið og Sjávarútvegsráðuneytið.
- Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar. (2011). *Niðurstöður um 2.áfangar rammaáætlunar: Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhitasvæði*. Reykjavík: Verkefnisstjórn Rammaáætlunar og Iðnaðarráðuneytið.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen. (2001, febrúar). *Sundlaugar fyrr og nú. Gangverk*, bls. 4-6.
- Vigdís Harðardóttir. (2011). *Metal-rich Scales in the Reykjanes Geothermal System, SW Iceland: Sulfide Minerals in a Seawater-dominated Hydrothermal Environment* (Doktorsritgerð við Náttúruvísindasvið Háskólans í Ottawa, Kanada). Sótt af [http://www.os.is/gogn/Greinar-starfsmanna/Hardardottir\\_Vigdis\\_2011\\_thesis.pdf](http://www.os.is/gogn/Greinar-starfsmanna/Hardardottir_Vigdis_2011_thesis.pdf)
- Vigdís Harðardóttir og Finnbogi Óskarsson. (2012). *Reykjanes Power Plant. Steam and Water Quality in 2011*. Reykjavík: Íslenskar Orkurannsóknir, ÍSOR-2012/17.
- Vinnustofan Þverá. (2011). *Grindavík aðalskipulag 2010-2030. Greinagerð ásamt umhverfisskýrslu*. Grindavík: Grindavíkurbær.
- Vistvæn Orka. (2010). *Ræktun á papriku og rósum undir LED ljósdíóðuraflýsingu. Niðurstöðuskýrsla*. Sótt 21. nóvember 2013 af [http://www.vo.is/skrar/file/files/VO\\_skyrsla2.pdf](http://www.vo.is/skrar/file/files/VO_skyrsla2.pdf)
- VSÓ ráðgjöf og Kanon arkitektar. (2010). *Aðalskipulag Reykjanesbæjar 2008-2024. Greinagerð. Ágúst 2010*. Reykjanesbær: Reykjanesbær.
- Þingsályktun um vernd og orkunýtingu landsvæða nr. 13/141.
- Þjóðgarðurinn á Þingvöllum. (e.d.). Náttúra: *Flekahreyingar*. Sótt 10. apríl 2013 af <http://thingvellir.is/n%C3%A1tt%C3%BAr/flekahreyingar.aspx>
- Þórhallur Bjarnason. (2002). *Raforkuframléiðsla úr heitu vatni – Útflutningur á tækniþekkingu*. Sótt 21. september 2013 af [http://www.oh.is/skrar/File/Skyrslur\\_og\\_greinar/Kynningarefni/X\\_Orka\\_Rafframl\\_u\\_r\\_heitu\\_vatni.pdf](http://www.oh.is/skrar/File/Skyrslur_og_greinar/Kynningarefni/X_Orka_Rafframl_u_r_heitu_vatni.pdf)



Þörungaverksmiðjan. (e.d.). Fyrirtækið: *Saga Þörungaverksmiðjunnar*. Sótt 15. janúar 2013 af <http://www.thorverk.is/islenska/fyrirtaekid/index.php>



# Viðauki I – Efnagreining vatns og gufu

Í meðfylgjandi töflu má sjá efnagreiningar á aðalefnum gass og gufu úr gufuskilju valdra borhola íslenskra jarðvarmavirkjana. Gildi í vatnsfasa sem eru umfram viðmiðunargildi neysluvatns eru merkt með rauðum lit til aðgreiningar.

Svæði	Bjarnarflög				Krafla		Nesjavellir		Helliðshéidi		Svartsengi		Reykjanes		Húsavík	Hámarksgildi í neysluvatni
	Bj-09 24.5.2011	Bj-13 24.5.2011	KJ-27 12.5.2011	KJ-30 19.5.2011	NJ-10 10.12.2004	NJ-23 10.12.2004	HE-52 7.6.2010	HE-41 9.2.2009	SV-07 13.10.2011	SV-19 18.4.2011	RN-23 11.4.2011	RN-27 9.11.2011	HV-01 5.5.2010	Hámarksgildi í neysluvatni		
Hola																
Dagsetning																
Sýni nr.																
Vermi	894	1751	972	2744	1133	2662	1169	2704	1040	1384	2117	931/21.8	20100193	6.5-9.5/25		
Sýrustig	9.15/25	9.25/25	9.18/25	7.72/25	9.46/22.7	8.54/22.6	9.22/27.1	9.13/17	6.40/21.9	7.27/22.9	5.30/22.6	5.56/22.9				
Vatn																
Karbonsát	41,9	15,0	44,9	44,1	25,7	9,2	20,1	93,3	16,0	7,6	19,6	23,0	33,5	**		
Brennstoffsívetni	112,2	69,4	27,0	21,5	50,2	59,6	26,4	57,6	0,5	0,1	1,6	2,6	1,45	**		
Bór	0,7	2,0	0,7	29,2	1,5	7,7	0,5	1,0	7,2	9,1	10,1	9,4	0,07	1		
Kísill	519	897	499	511	739	829	678	710	480	482	836	657	169	**		
Natríum	143	106	203	41	171	144	178	72	7080	7380	12780	12070	53,1	200		
Kallíum	18	21	28	8	32	31	29	15	1040	1110	1870	1760	2,47	12*		
Magnesium	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001	0,005	0,350	0,320	2,210	1,960	0,002	50*		
Kalsíum	3,08	0,21	2,85	0,51	0,32	0,42	1,27	0,17	1150,00	1170,00	2160,00	2130,00	1,69	100*		
Flúoríð	0,37	0,68	0,77	3,25	1,58	1,36	1,44	1,05	0,21	0,20	0,23	0,21	0,9	1,5		
Klóríð	37	64	40	6	122	125	78	41	14200	14780	25900	24200	11,2	250		
Súlfat	44,9	12,7	249,6	7,7	12,7	5,5	30,5	2,9	29,1	28,7	19,6	26,0	28	250		
Al	0,838	3,076	1,390	1,890	2,052	1,886	1,870	2,290	0,151	0,200	0,121	0,104	0,216	0,2		
Járn	0,003	0,009	0,009	0,036	0,002	0,003	0,008	0,037	0,056	0,017	1,180	0,878	0,0033	0,2		
Gufa																
Koltvísýringur	2366	721	2618	11181	1839	1918	3931	2127	5440	1670	3950	6520				
Brennstoffsívetni	1566	807	411	1474	630	1482	119	769	120	39	210	340				
Vetni	84,6	48,8	3,6	37,5	3,2	81,6	2,0	30,3								
Köfnunarefni	72,8	13,8	21,1	10,3	242,5	59,0	459,2	15,2								
Metangas	46,34	2,97	8,84	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00								
Argon	3,16	3,16	0,77	1,18	0,60	1,56	22,16	0,44								

\* Viðmiðunargildi fyrir neysluvatn úr eldri reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995 (reglugerð ekki lengur í gildi).

\*\* Engin viðmiðunargildi til fyrir- viðkomandi efni, hvortki í gildandi né eldri reglugerð.

Heimildir:

Krafla og Bjarnarflög: Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson (2012); Nesjavellir: Gröund og Stefan Arnórsson (2008); Helliðshéidi: Scott (2011); Svartsengi og Reykjanes: ISOR (dbirt Eðgn); Húsavík: Magnús Ólafsson (2011).  
Neysluvatn: Reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn

# Viðauki II – Efnagreining affallsvatns

Í meðfylgjandi töflu má sjá efnagreiningar affallsvatns frá jarðvarmavirkjunum sem voru starfandi árið 2011. Viðmiðunargildi fyrir neysluvatn fylgja til samanburðar. Gildi umfram viðmiðunargildi neysluvatns eru merkt með rauðum lit til aðgreiningar.

Efnasamsetning affallsvatns frá íslenskum jarðvarmavirkjunum

Svæði	Bjarnarflag	Krafía	Nesjavellir	Hellsheiði	Svartsengi	Reykjanes	Hámarksildi í neysluvatni
Staður	Skiljuvatn í jarðböðin	Skiljuvatn f. niðurdælingu	Skiljuvatn 2000	Skiljuvatn 2009	Niðurdælingu	Skiljuvatn	Sjór (úr borholu)
Dags.	27.5.2011	16.5.2011	2000	2009	10.11.2011	13.4.2011	11.7.2011
Sýni nr.	9,16/25	9,59/25	2000	2009	2011.04.10	2011.01.17	2011.02.27
Sýrustig	pH/°C				6,75/22,3	5,86/23,1	7,94/22,4
Karbonsát	CO <sub>2</sub> (t)	59	38	28,8	65,8	14,0	86,5
Bremsteinsetvætni	H <sub>2</sub> S	28,7	73	20	<0,03	1,71	<0,03
Bór	B	0,74	1,07	1,039	4,4	9,3	3,7
Kísill	SiO <sub>2</sub>	518,1	601	822	79	698	8,5
Natrium	Na	146	231	213	8650	11110	9570
Kalíum	K	18,8	30,2	38,4	461	1650	353
Magnesium	Mg	0,001	0,001	0,0035	864	1,42	1130
Kalsíum	Ca	3,09	3,15	0,456	526	1870	354
Flúoríð	F	0,47	0,79	0,95	0,11	0,22	0,73
Klóríð	Cl	35,9	72,7	170	15810	22580	17280
Súlfat	SO <sub>4</sub>	41,4	245	19	1790	13,9	2230
Al	Al	0,851	1,37	1,7	0,061	0,0404	0,0044
Arsen	As	0,00578	0,0431	0,09	0,052	0,0879	<0,001
Baríum	Ba		<0,00179	0,078	1,04	12	0,0196
Kadmíum	Cd		<0,000005	0,0017	0	0,000097	<0,00002
Kóbalt	Co		<0,000005	0,0002	0,0002	0,00013	0,000114
Króm	Cr	0,00341	0,00129	0,00008	0,00131	0,00095	0,00114
Kopar	Cu	0,0023	0,367	0,002	0	0,00129	0,00256
Járn	Fe	0,002	0,008	0,03	0,09	<0,0005	0,0379
Kvikasilfur	Hg	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	1,10	0,00002
Mangan	Mn		0,0038	0,0002	0,0945	<0,000002	0,001
Mólybden	Mo		0,000374	0,000374	0,341	2,76	0,00569
Níkkel	Ni	0,000082	0,000266	0,000928	0,00963	0,0102	0,01
Bly	Pb	0,00001	0,000036	0,000063	0,0128	0,000592	0,00683
Strontíum	Sr		<0,00003	0,0035	0,0003	0,00058	<0,003
Sínk	Zn	0,00247	0,0124	0,0097	6,32	10,4	6,93
Forsórf	P	0,000001	0,000001	0,00194	<0,0044	0,0357	<0,002
Uppleyst efni	TSD		920	0,004	27600	39270	

\* Viðmiðunargildi fyrir neysluvatn úr eldri reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995 (reglugerð ekki lengur í gildi).

\*\* Engin viðmiðunargildi til fyrir viðkomandi efni, hvorki í gildandi né eldri reglugerð.

Heimildir:

Krafía og Bjarnarflag: Trausti Hauksdóttir og Jón Benjamínsson (2012); Nesjavellir: Ramnsóknastofnun fiskiðnaðarinnar (2000); Hellsheiði: OR (2012); Svartsengi: Guðmundur H. Guðfínsson og Finnþógi Óskarsson (2012).

Reykjanes: Finnþógi Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012); Neysluvatn: Reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn.

# Viðauki III – Umhverfismörk málma í yfirborðsvatni

Í töflunni hér að neðan má sjá umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni skv. reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns.

	Sink (Zn)	Kopar (Cu)	Króm (Cr)	Nikkel (Ni)	Kadmíum (Cd)	Blý (Pb)	Arsen (As)
	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]
<b>Flokkur I &lt;</b>	5	0,5	0,3	0,7	0,01	0,2	0,4
<b>Flokkur II &lt;</b>	20	3	5	1,5	0,1	1	5
<b>Flokkur III &lt;</b>	60	9	15	4,5	0,3	3	15
<b>Flokkur IV &lt;</b>	300	45	75	22,5	1,5	15	75
<b>Flokkur V &gt;</b>	300	45	75	22,5	1,5	15	75

Umhverfismörk I: Mjög lítil eða engin hættu á áhrifum.

Umhverfismörk II: Lítil hættu á áhrifum.

Umhverfismörk III: Áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki.

Umhverfismörk IV: Áhrifa að vænta.

Umhverfismörk V: Ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki/þynningarsvæði.

## Viðauki IV – Gasútblástur á orkuvinnslueiningu

Til að bera saman hagkvæmni íslenskra jarðvarmavirkjana m.t.t. loftmengunar þarf að skoða hversu mikið af óþéttanlegum gastegundum kemur frá hverri virkjun miðað við umfang orkuvinnslu. Í fyrri töflunni er samanburður á útblæstri íslenskra jarðvarmavirkjana á hverja unna kWst af raforku árið 2011.

Virkjun	Koldíoxíð [g/kWst]	Metan [g/kWst]	Brennisteinsvetni [g/kWst]	Samtals [g/kWst]
<b>Bjarnarflag</b>	33,1	0,30	35,7	<b>69,1</b>
<b>Krafla</b>	82,4	0,03	10,5	<b>93,0</b>
<b>Svartsengi</b>	120,4	0,01	2,2	<b>122,6</b>
<b>Reykjanes</b>	27,0	0,002	1,0	<b>28,0</b>
<b>Nesjavellir</b>	14,6	0,05	9,3	<b>24,0</b>
<b>Hellisheiði</b>	22,5	0,03	9,2	<b>31,7</b>

### Heimildir:

Bjarnarflag og Krafla: Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson (2012); Svartsengi: Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012b) og HS Orka (2012); Reykjanes: Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012a) og HS Orka (2012); Nesjavellir: Einar Gunnlaugsson (2012b); Hellisheiði: Einar Gunnlaugsson (2012a).

Sumar virkjananna framleiða hitaveituvatn samhliða raforkuvinnslu. Í seinni töflunni er samanburður á útblæstri íslenskra jarðvarmavirkjana á hverja unna kWst af orku árið 2011, raforku og varmaorku.

Virkjun	Koldíoxíð [g/kWst]	Metan [g/kWst]	Brennisteinsvetni [g/kWst]	Samtals [g/kWst]
<b>Bjarnarflag</b>	33,1	0,30	35,7	<b>69,1</b>
<b>Krafla</b>	82,4	0,03	10,5	<b>93,0</b>
<b>Svartsengi</b>	54,0	0,004	2,0	<b>56,0</b>
<b>Reykjanes</b>	27,0	0,002	1,0	<b>28,0</b>
<b>Nesjavellir</b>	5,7	0,02	3,6	<b>9,3</b>
<b>Hellisheiði</b>	21,6	0,03	8,8	<b>30,4</b>

### Heimildir:

Bjarnarflag og Krafla: Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson (2012); Svartsengi: Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012b) og HS Orka (2012); Reykjanes: Finnbogí Óskarsson og Þráinn Friðriksson (2012a) og HS Orka (2012); Nesjavellir: Einar Gunnlaugsson (2012b); Hellisheiði: Einar Gunnlaugsson (2012a).