

Gaslosun jarðvarmavirkjana á Íslandi 1970-2009

**Ívar Baldvinsson,
Þóra H. Þórisdóttir,
Jónas Ketilsson**

Gaslosun jarðvarmavirkjana á Íslandi 1970 – 2009

**Ívar Baldvinsson
Þóra H. Þórisdóttir
Jónas Ketilsson**

OS 2011/02

ISBN 978-9979-68-294-3

Orkustofnun

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



Skýrsla nr.: OS 2011/02	Dags.: 5.apríl 2011	Dreifing: Opin ☒ Lokuð ☐ Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Gaslosun jarðvarmavirkjana á Íslandi 1970 - 2009		Upplag: 20 Fjöldi síðna: 31
Höfundar: Ívar Baldvinsson Þóra H. Þórisdóttir Jónas Ketilsson		Verkefnisstjóri: Jónas Ketilsson
Gerð skýrslu / Verkstig:		Verknúmer: 303-4218
Unnið fyrir:		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Gerð er grein fyrir losun koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjunum á Íslandi á tímabilinu 1970 til og með 2009. Samantekt er gerð á helstu lögum og reglugerðum er varða eftirlit með gaslosun frá jarðvarmavirkjunum. Gerð er grein fyrir aðferðafræði hvers orkufyrirtækis fyrir sig við mat á gaslosun og þeim breytingum sem þar hafa orðið á nýlega. Þá voru eldri gögn endurskoðuð með tilliti til þessara breytinga. Árið 2009 nam heildarútblastur koldíoxíðs 168.293 tonnum, eða um 9% minna en árið 2008. Heildarútblastur brennisteinsvetnis nam 28.069 tonnum árið 2009 og minnkaði um 10% frá 2008. Meðalgaslosun á hverja kílowattstund unna af jarðvarmavirkjunum nam 50 g CO₂/kWh og 6 g H₂S/kWh árið 2009. Meðallosun koldíoxíðs á hverja kílowattstund unna hefur almennt farið lækkandi síðastliðin ár. Jarðvarmavirkjanir á Íslandi losa því um 19 sinnum minna af CO₂/kWh en hefðbundin kolaorkuver.		
Lykilorð: Jarðhiti, gaslosun, raforkuvinnsla, efna- greining, gróðurhúsáhrif, koldíoxíð, brenni- steinsvetni, umhverfi, gas, jarðvarmavirkjun.		ISBN-númer: 978-9979-68-294-3 Undirskrift verkefnisstjóra:  Yfirfarið af: HÁ og LÓ

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	7
2	LÖG OG REGLUGERÐIR UM GASLOSUN	9
3	AÐFERÐAFRÆÐI	10
3.1	Orkuveita Reykjavíkur	10
3.2	HS Orka	11
3.3	Landsvirkjun	13
3.4	Samanburður	13
4	GASÚTLÁSTUR FRÁ JARÐVARMVIRKJUNUM	15
4.1	Reykjanesvirkjun	17
4.2	Svartsengi	18
4.3	Kröfluvirkjun	19
4.4	Bjarnarflagsvirkjun	20
4.5	Hellisheiðarvirkjun	21
4.6	Nesjavallavirkjun	22
4.7	Samanburður	23
5	LOKAORÐ	28
	HEIMILDIR	29
	VIÐAUKI A	31

MYNDASKRÁ

Mynd 1: Samanburður á losun koldíoxíðs við raforkuvinnslu fyrir mismunandi orkugjafa. Erlend gögn byggð á Bloomfield o.fl. (2003).....	7
Mynd 2: Staðsetningar jarðvarmavirkjana á Íslandi.	8
Mynd 3: Koldíoxíð- og brennisteinsvetnislosun frá jarðvarmavirkjunum árið 2009. ...	16
Mynd 4: Útblástur koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjun á Reykjanesi frá 1970 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	17
Mynd 5: Útblástur brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjun á Reykjanesi frá 1970 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	18
Mynd 6: Útblástur koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjun í Svartsengi frá 1976 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	19
Mynd 7: Útblástur brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjun í Svartsengi frá 1976 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	19
Mynd 8: Útblástur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá Kröfluvirkjun frá 1977 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	20
Mynd 9: Útblástur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá virkjun í Bjarnarflagi frá 1977 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	21
Mynd 10: Útblástur koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar fyrir tímabilið 2007 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.	22

Mynd 11: Útblástur koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar fyrir tímabilið 1995 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.....	23
Mynd 12: Sögulegt yfirlit útblásturs jarðvarmavirkjana á koldíoxíði til ársins 2009. ..	24
Mynd 13: Sögulegt yfirlit útblásturs jarðvarmavirkjana á brennisteinsvetni til ársins 2009.	24
Mynd 14: Sögulegt yfirlit yfir magn koldíoxíðs losað á hverja kílówattstund (kWh) sem er unnin fyrir hverja virkjun fyrir sig.	25
Mynd 15: Sögulegt yfirlit yfir magn brennisteinsvetnis losað á hverja kílówattstund (kWh) sem er unnin fyrir hverja virkjun fyrir sig.	25
Mynd 16: Magn koldíoxíðs sem forðast er að losa með nýtingu jarðvarma í stað jarðefnaeldsneytis til orkuvinnslu á Íslandi.	26
Mynd 17: Olíuígildi þeirrar jarðvarmaorku sem nýtt hefur verið til orkuvinnslu hér á landi síðan 1990 (Mtoe: Million tonne of oil equivalent).	26
Mynd 18: Uppsafnað magn koldíoxíðs sem forðast er að losa með því að nýta jarðhita í stað jarðefnaeldsneytis til orkuvinnslu.	27
Mynd 19: Uppsafnað olíuígildi þeirrar jarðvarmaorku sem nýtt hefur verið til orkuvinnslu hér á landi síðan 1990 (Mtoe: Million tonne of oil equivalent).	27

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1: Heildarútbلاstur gróðurhúslofttegunda 2008 á Íslandi eftir uppruna (Birna Hallsdóttir o.fl., 2010).	15
Tafla 2: Jarðvarmavirkjanir á Íslandi, uppsett afl og rekstraraðili þeirra.	15
Tafla 3: Gasútbلاstur jarðvarmavirkjana á Íslandi árið 2009 og breyting frá 2008.....	16
Tafla 4: Árleg gaslosun frá jarðvarmavirkjunum frá 2009 aftur til 1970. Gögn voru fengin frá orkufyrirtækjum eða aðila á þeirra vegum.	31

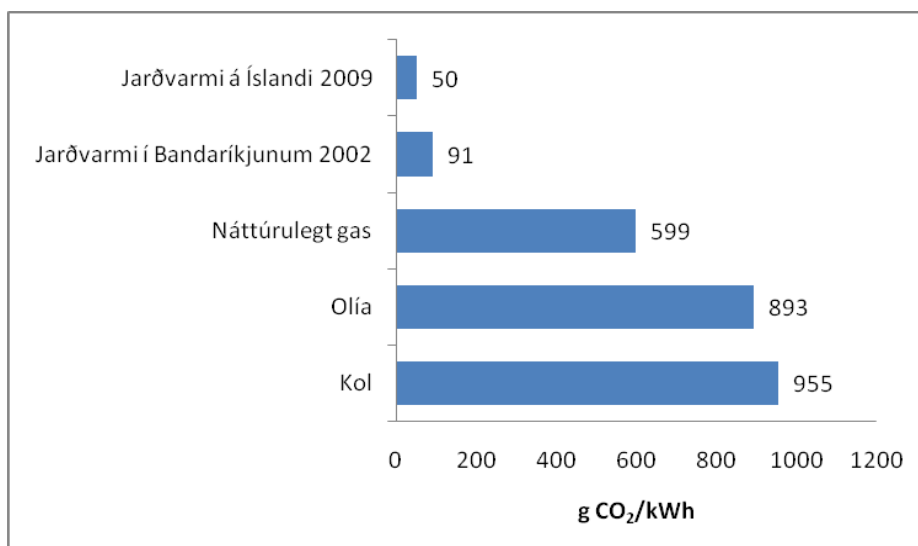
1 INNGANGUR

Í þessari skýrslu eru teknar saman upplýsingar yfir losun jarðvarmavirkjana á koldíoxíði og brennisteinsvetni fyrir tímabilið 1970 – 2009.

Virkjun jarðvarma hefur í för með sér losun gastegunda úr iðrum jarðar. Mest ber á koldíoxíði og brennisteinsvetni og er aðeins haldið bókhald yfir losun þeirra þar sem losun annarra gastegunda er óveruleg (Halldór Ármannsson o.fl., 2001). Þó hefur nýting jarðvarma til raforkuvinnslu jafnan mun minni útblástur af koldíoxíði í för með sér en nýting jarðefnaeldsneytis, eins og mynd 1 gefur glögg til kynna.

Koldíoxíð (CO_2) er í flokki gróðurhúslofttegunda ásamt vatnsgufu (H_2O), metani (CH_4), díköfnunarefnisoxíði (N_2O), óson (O_3), vetnisflúorkolefni (HFC), perflúorkolefni (PFC) og brennisteinshexaflúoríði (SF_6). Þessi flokkur lofttegunda veldur gróðurhúsáhrifum sem talin eru hafa áhrif á loftgæði og hitastig. Þær drekka í sig innrauða geisla á yfirborði jarðar og hindra þar með að orkan komist út úr lofthjúpnnum, sem veldur því að hitastigið í lofthjúpnnum hækkar. Koldíoxíð er algengasta gróðurhúslofttegundin sem losuð er af mannavöldum. Því er mikilvægt að fylgjast vel með losun koldíoxíðs út í andrúmsloftið (Birna Hallsdóttir o.fl., 2010). Jarðvarmavirkjanir á Íslandi losa þó um 19 sinnum minna af CO_2/kWh en hefðbundin kolaorkuver eins og sjá má á mynd 1.

Brennisteinsvetni (H_2S) er eitrað gas sem iðulega fylgir jarðgufu. Ef það er ekki í mjög miklu magni gefur það af sér sterka lykt, sem þykir einkenna jarðhitasvæði. Þá getur brennisteinsvetni mögulega haft neikvæð áhrif á heilsu fólks, gróður og mannvirki. Í miklu magni getur brennisteinsvetni verið banvænt og þar sem það er þyngra en andrúmsloft getur það safnast fyrir í lægðum. Því er mikilvægt að hafa eftirlit með losun þess. Hvort langvarandi innöndun brennisteinsvetnis hefur neikvæð heilsufarsáhrif í för með sér er þó enn óljóst (Umhverfissráðuneytið, 2010).



Mynd 1: Samanburður á losun koldíoxíðs við raforkuvinnslu fyrir mismunandi orkugjafa. Erlend gögn byggð á Bloomfield o.fl. (2003).

Uppleyst kvikugös frá innskotum í jarðhitakerfum losna við þrýstingslækkun sem myndast á leið vökvans til yfirborðs. Við suðu jarðhitavökva á yfirborði streymir gasið út í andrúmsloftið. Það magn gastegunda sem losnar er því háð eðli og aldri jarðhitakerfa. Gaslosun getur einnig verið talsverð við eldvirkni á yfirborði jarðar.

Nú eru sex jarðvarmavirkjanir í rekstri á háhitasvæðum á Íslandi og eru HS Orka, Landsvirkjun og Orkuveita Reykjavíkur með tvær virkjanir hvert í sinni umsjá. Staðsetningu þessara virkjana má sjá á mynd 2. Gaslosun á sér einnig stað við Hveragerði og var metin sem 160 tonn CO₂ og 10 tonn H₂S árið 2009. Þar sem þessi skýrsla snýr einvörðungu að jarðvarmavirkjunum verður þess ekki getið frekar.

Við virkjun jarðhitans til raforkuvinnslu á sér iðulega stað þrýstingslækkun í jarðhitageyminum frá náttúrulegu ástandi. Á Reykjanesi og í Svartsengi hefur myndast gufupúði ofan vatnsborðsins og við það getur þrýstingur ofan vatnsborðs aukist. Áhrif virkjunar jarðhitans á gaslosun geta því verið margslungin og háð aðstæðum hverju sinni. Halldór Ármannsson mældi breytingar á útblæstri koldíoxíðs og brennisteinsvetnis á svæðum fyrir og eftir virkjun, gefið að fyrir virkjun fari allur útblástur um gufuaugu. Niðurstöður þessara mælinga sýna að náttúrulegt gasstreymi minnkar en heildargasstreymi frá svæðinu eykst aftur á móti talsvert við virkjun. Einnig kom í ljós að útblástur brennisteinsvetnis eykst mun meira við virkjun en útblástur koldíoxíðs vegna þess að brennisteinsvetni er mun hvarfgjarnara gas en koldíoxíð og því meiri líkur á að það falli út þegar það berst með jarðhitavökva náttúrulegu leið sína í gegnum jarðhitakerfi að gufuaugu (Halldór Ármannsson o.fl., 2001). Sú samantekt sem hér er gerð nær aftur á móti aðeins yfir útblástur af mannavöldum og undanskilur því þennan náttúrulega útblástur, en um hann hafa m.a. fjallað Ármannsson o.fl. (2005, 2007); Friðriksson o.fl. (2006); Wiese o.fl. (2008); og Dereinda og Ármannsson (2010). Af ofantöldu er ljóst að losun koldíoxíðs kann að vera ofmetin í ljósi þess að náttúrulegt gasstreymi minnkar við virkjun jarðhitans.

Skýrslan er þannig uppbyggð að í 2. kafla er gerð grein fyrir lögum og reglugerðum um gaslosun og lagalegri skyldu Orkustofnunar í þeim efnum, í 3. kafla er farið yfir aðferðafræði orkufyrirtækjanna við mat á gaslosun og í 4. kafla er gerð grein fyrir gaslosun virkjana aftur í tíma í hlutfalli við frumorku- og raforkuvinnslu. Gögn og málinu tengd eru vistuð í GoPro undir málsnúmerinu 2008-010009.



Mynd 2: Staðsetningar jarðvarmavirkjana á Íslandi.

2 LÖG OG REGLUGERÐIR UM GASLOSUN

Í gegnum tíðina hafa lög og reglugerðir er varða útblástur gastegunda frá atvinnurekstri verið sett og falla jarðvarmavirkjanir undir sum þeirra. Helstu lögum og reglugerðum er snerta útblástur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjunum og eftirliti með því eru gerð skil hér.

Samkvæmt lögum nr. 65/2007 um losun gróðuhúslofttegunda í andrúmsloft ber rekstraraðilum jarðvarmavirkjana að tilkynna losun koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjunum. Markmið laganna er að gera stjórnvöldum kleift að standa við alþjóðlegar skuldbindingar Íslands um takmörkun útblásturs gróðurhúslofttegunda í andrúmslofti. Gildissvið laganna nær m.a. yfir skráningu og bókhald losunar gróðurhúslofttegunda á Íslandi og losunarheimildir. Jarðvarmavirkjanir eru undanskildar losunarheimildum en falla undir skráningu og bókhald losunar koldíoxíðs. Samkvæmt 5. gr. laganna ber Orkustofnun að safna saman upplýsingum frá orkufyrirtækjum og koma til Umhverfisstofnunar sem heldur bókhald yfir gaslosun gróðurhúslofttegunda. Umhverfisstofnun ber að búa til leiðbeiningar um skil á gögnum sem óskað er eftir í samráði við Orkustofnun. Slíkar leiðbeiningar hafa verið gerðar og fara þær fram á skil á upplýsingum um; orkuvinnslu, gaslosun, aðferðafræði við gagnaöflun og aðferðafræði við mat á gaslosun. Umhverfisstofnun er heimilt að sekta atvinnurekanda um allt að 100.000 kr daglega ef hann stendur ekki í skilum á skýrslu eins og til er ætlast.

Samkvæmt reglugerð nr. 514/2010 um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti er markmið hennar að setja losun brennisteinsvetnis og mögulegum neikvæðum heilsufarslegum áhrifum á mannfólk skorður og er hún helst miðuð að jarðvarmavirkjunum sem losa mest brennisteinsvetni í andrúmsloft á Íslandi. Samkvæmt reglugerðinni ber rekstraraðilum jarðvarmavirkjana, og öðrum atvinnurekendum sem valda brennisteinsvetnismengun, að kosta uppsetningu og rekstur mælistöðva og skal viðkomandi eftirlitsaðili, viðkomandi heilbrigðisnefnd og Umhverfisstofnun, sjá um eftirlit með mælingum og birtingu niðurstaðna þeirra. Þá ber rekstraraðila mælistöðva að skila ársskýrslu um rekstur stöðvarinnar og niðurstöður mælinga til Umhverfisstofnunar. Samkvæmt 1. viðauka reglugerðarinnar eru heilsuverndarmörk skilgreind sem $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ af brennisteinsvetni í andrúmslofti. Aðlögunartími er gefinn til ársins 2014 þar sem styrkur brennisteinsvetnis má fara fimm sinnum umfram viðmiðunarmörk árlega þangað til. Reglugerðin tekur einnig fram að atvinnurekandi sem veldur brennisteinsvetnismengun skuli gera viðeigandi ráðstafanir til þess að hamla losun brennisteinsvetnis í andrúmsloft og beita til þess bestu fánlegu tækni og viðbótarráðstöfunum ef þörf er á. Viðurlög við brotum á þessari reglugerð eru sektir, hvort sem brot er af ásetningi eða gáleysi. Upphæð sektar er ótilgreind í reglugerðinni. Ef ásetningsbrot er stórfellt eða ítrekað getur það varðað fangelsi í allt að fjögur ár.

Umhverfisstofnun hefur svo það hlutverk að koma upplýsingum um gaslosun til alþjóðastofnanna vegna alþjóðlegra samninga sem Ísland er aðili að; t.d. Rammasamnings Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) og samnings um loftmengun sem berst langar leiðir milli landa (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – LRTAP).

3 AÐFERÐAFRÆÐI

Almennt er gaslosunin metin með mælingum á gufurennslí gegnum virkjunina og gasgreiningu gufunnar. Allt gas er talið fara í gufufasa við aðskilnað gufu og vatns við holutopp og svo að allt gas í gufu losni síðan út í andrúmsloftið. Efnagreining vökvásýna fer fram á sambærilegan hátt, þ.e. með títrun. HS Orka og Landsvirkjun safna sýnum við holutopp og skiljustöð á meðan Orkuveita Reykjavíkur safnar inni í stöð. Við mat á gaslosun frá 1991-2007 var gætt samræmis í öflun gagna fyrir öll svæði (Halldór Ármannsson, 2011a). Þar sem að tölur fengust um gasstyrk í gufu hverrar einstakrar holu, upplýsingar um vermi og þrýsting, og upplýsingar um blásturstíma hverrar og einnar holu á hverju ári. Þessi gögn voru svo notuð til útreikninga við mat á gaslosun. Síðan 2007 hafa verklagsbreytingar átt sér stað með auknum kröfum sem gerðar eru til orkufyrirtækja um umhverfisbókhald og fær Orkustofnun nú mat á gaslosun jarðvarmavirkjana beint frá orkufyrirtækjunum. Hér verður fjallað nánar um aðferðafræði hvers fyrirtækis fyrir sig.

3.1 Orkuveita Reykjavíkur

Á Nesjavöllum hefur Orkuveita Reykjavíkur, áður Hitaveita Reykjavíkur, fylgst með afli og efnasamsetningu frá byrjun framkvæmda á virkjuninni árið 1987. Einnig voru til upplýsingar um fyrstu holurnar frá Orkustofnun. Sama máli gegnir um Hellið, þar sem Orkuveita Reykjavíkur hefur séð um mælingar á afli og efnasamsetningu frá gangsetningu virkjunarinnar og birt niðurstöður í skýrslum (Halldór Ármannsson, 2011b).

Eftir að hafa borist með jarðhitavökva upp borholur losnar gas frá jarðvarmavirkjunum út í andrúmsloftið á þrenna vegu að mati Orkuveitunnar; í eimsvölum í stöðvarhúsi, í umframguflu í háfa við skiljustöð og í hljóðdeyfum við prófanir á holum. Almennt er mesta losunin við stöðvarhús í eimsvölum en losun um hljóðdeyfa fer eftir fjölda nýrra borholna sem verið er að prófa. Þegar jarðhitavökvinn berst í skiljustöð eða hljóðdeyfi frá borholu og aðskilnaður gufu og vatns á sér stað leitar mest allt gasið í gufufasann, aðeins um 1% af gasinu fer í vatnsfasann (Einar Gunnlaugsson og Anna L. Oddsdóttir, 2009).

3.1.1 Mæling á gaslosun í eimsvölum

Myndun gass í eimsvölum á sér stað þannig að eftir að gufa hefur farið í gegnum hverfil þá liggur leið hennar í eimsvölu. Þar á þétting hennar sér stað og verður hún að þéttivatni annars vegar og að gasfasa hins vegar. Gasfasinn myndast þar sem að lítill hluti gastegunda í gufunni leysist upp í þéttivatninu. Gasinu er dælt úr eimsvölu með lofttæmisdælu út í andrúmsloftið. Sökum undirþrýstings sem myndast þar er erfitt að mæla rennslið um dæluna. Því er notast við óbeina mælingu til þess að mæla gaslosunina með því að efnagreina reglulega innstreymi í eimsvölu, þ.e.a.s. gufuna. Með því að mæla svo rennsli er hægt að reikna út heildarmagn gass í gufu, út frá gasstyrk og rennsli. Það jafngildir svo gasútblæstri um lofttæmisdælur þar sem að áætlað er að allt gas í gufu fari í gasfasa og út í andrúmsloftið.

Efnagreining gufu fer þannig fram að sýni eru tekin af gufu, þau þétt og safnað í lútarlausn og styrkur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis þá fundinn með títrun. Rennslismælingar eru framkvæmdar með hljóðhraðarennslismælum í frárennsli frá eimsvölum (Einar Gunnlaugsson og Anna L. Oddsdóttir, 2009; Einar Gunnlaugsson, 2011a).

3.1.2 Mæling á gaslosun í háfa við skiljustöð

Gufa er losuð um stjórnloka í útblástursháfa til þess að stýra gufustreymi til hverfla frá skiljustöð svo að þrýstingur gufu í virkjuninni verði ekki of mikill. Í flestum tilfellum er þessu haldið í lágmarki. Gasstyrkur gufunnar er mældur á sama hátt og greint er frá fyrir gaslosun í eimsvölum, þar sem áætlað er að hlutfallslega sami gasstyrkur sé í gufu undan hverfli og er við skiljustöð. Þá þarf að finna út hversu mikil gufa er losuð út í andrúmsloftið út um útblástursháfa. Það er gert með því að fylgjast með opnun stjórnloka, en samband opnunar, þrýstings og rennslis um stjórnloka er þekkt. Því er losun um háfa við skiljustöð reiknuð út frá gasstyrk í gufu og gufu hleypt um stjórnloka í útblástursháfa (Einar Gunnlaugsson og Anna L. Oddsdóttir, 2009).

3.1.3 Mæling á gaslosun í hljóðdeyfum

Útblástur um hljóðdeyfa á sér aðallega stað á meðan á rannsóknum og byggingu virkjunar stendur yfir og holur eru látnar blása á meðan. Eftir að virkjun hefur verið tekin í notkun eru einstaka tilfelli þar sem nýjar holur eru látnar blása um hljóðdeyfi, þá til aflmælinga og annarra prófana. Upplýsingum um aflmælingar, vermi og rennsli, og tímasetningar, upphaf og lok blásturstímabils, er haldið til haga og út frá þeim er hægt að meta heildarmagn gufu sem fer um hljóðdeyfinn og út í andrúmsloftið. Efnasamsetning jarðvarmavökvans frá borholum er reglulega fundin með sýnatöku og greiningu. Þá er gasútblastur reiknaður út frá gasstyrk í gufu og heildarrennsli gufu út um hljóðdeyfi (Einar Gunnlaugsson og Anna L. Oddsdóttir, 2009).

3.2 HS Orka

Í Svartsengi voru gassýni tekin til efnagreiningar frá byrjun vinnslu þar, 1976, en vankantar voru á aflmælingum þar sem að fylgst var með toppþrýstingi en gert ráð fyrir stöðugu vermi. Árið 1984 kom svo í ljós að ekki væri hægt að gera ráð fyrir stöðugu vermi lengur þar sem gufupúði myndaðist eftir að hola SV-10 hafði soðið að fullu. Fljótlega eftir það voru aflmælingarnar betrubættar. Sömu mælingar, fyrir utan mælingar á vermi, hafa verið gerðar á Reykjanesi síðan framkvæmdir við jarðvarma-virkjunina hófust þar 1999, en fyrir það er stuðst við tölur frá Orkustofnun allt aftur til 1970 þegar fyrstu vinnsluholunni var hleypt í blástur (Halldór Ármannsson, 2011b).

Verkfræðistofan Vatnaskil sér um vinnslueftirlit borholna í umsjá HS Orku. Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR) sjá um efnagreiningu úr borholunum og gera grein fyrir niðurstöðum í skýrslum, þar á meðal eru niðurstöður fyrir losun koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjunum HS Orku.

Tvö efnasýni eru tekin úr hverri virkri vinnsluholu á Reykjanesi árlega og hefur verið þannig síðan HS Orka (áður Hitaveita Suðurnesja) tók við rekstri svæðisins, en fyrir þann tíma var sýnatakan óregluleg. Eitt efnasýni er tekið árlega úr nýjum borholum sem

verið er að prófa (Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson, 2009a). Í Svartsengi eru tekin eitt til tvö sýni úr hverri holu á ári hverju en úr sumum aðeins annað hvert ár, í þeim tilfellum er notast við meðalgasstyrk áranna á undan (Finnbogi Óskarsson, 2011).

Sýni eru tekin við holutopp. Reikna þarf út vermi til að áætla hlutfall gufu og vatns í skilju. Þar sem innstreymi vökva í borholu er einfasa er heildarvermi áætlað það sama og vermi vatnsins við hitastig á innstreymi þess í holuna. Þar sem borholurenni er tvífasa er gufuskilja, nánar tiltekið Webre-skilja, notuð til þess að ná hreinu sýni af hvorum fasa fyrir sig, við mældan hita og þrýsting. Í því tilfelli þarf að taka tillit til umframgufu sem getur haft töluverð áhrif á gasstyrk í gufufasa. Umframgufan getur myndast á tvo vegu; annars vegar við suðu á djúpvökva með svipaða samsetningu og djúpvökvinn sem kemur inn í holuna eða hins vegar við suðu á soðnum djúpvökva sem hefur afgangast. Umframgufan kemur inn í borholur úr æðum fyrir ofan suðuborð. Sökum umframgufunnar eru útreikningar á samsetningu djúpvökva mun flóknari í tvífasa frekar en einfasa djúpvökva, þar sem að áætla þarf vermi í umframgufu. Gufa í skilju á holutoppi er þá blanda af umframgufu og gufu sem myndast við suðu djúpvökva í holunni. Hlutfall vatns og gufu í skilju ræðst svo af heildarvermi rennslis og þrýstingi í skilju. Þá er hægt að reikna út samsetningu djúpvökvans, þar af styrk uppleystra gastegunda, út frá efnasamsetningu vatns- og gufusýna og hlutfalli gufu og vatns í skilju (Þráinn Friðriksson o.fl., 2008).

Samkvæmt skýrslu eftir Þráin Friðriksson o.fl. (2008) liggja upplýsingar um vermi í borholum ekki fyrir í tilfelli Reykjanesvirkjunar. Því er gert ráð fyrir að innstreymi í borholur sé einfasa, þ.e. aðeins vatn, og notast er við hitastig djúpvökvans rétt undir suðuborði til þess að reikna út vermið. Þetta veldur skekkju í útreikningum á samsetningu á djúpvökva í borholum þar sem ljóst þykir að umframgufa streymi inn í gegnum æðar fyrir ofan suðuborð í sumum borholum svæðisins. Því er óvissan mest varðandi vermið. Einnig er hitastig á djúpvökva nálgun á raunverulegu djúphitastigi þar sem að vitað er að fleiri en einn misheitur vökví streymir inn í flestar vinnsluholur á svæðinu og því annar óvissuþáttur þar á ferð. En djúphitastig er stór áhrifaþáttur á reiknaðan styrk efna í djúpvökva (Þráinn Friðriksson o.fl., 2008).

ÍSOR sér um að greina sýni m.t.t. koldíoxíðs og brennisteinsvetnis og reiknar ársmeðaltal gasstyrks í djúpvökva í virkum borholum. Þá er gufuhlutinn reiknaður við skiljuþrýsting virkjunarinnar, 18 bar-g, og einnig gasstyrkur gufunnar. Upplýsingar um massatöku úr borholum fást hjá verkfræðistofunni Vatnaskil, sem reiknar þær út frá þrýstingi og opnun loka á hverjum holutoppi. Árleg gaslosun hverrar borholu er svo fundin með því að margfalda árlega upptekt hverrar virkrar vinnsluholu með ársmeðaltali gasstyrks gufu við skiljuþrýsting virkjunarinnar. Árleg losun frá hverri holu er svo lögð saman til þess að fá heildargaslosun frá svæðinu. Við þessa útreikninga er sú nálgun gerð að allt uppleyst gas í djúpvökva fari í gufufasa við suðu. Þessi nálgun ætti ekki að „valda meiri skekkju en sem nemur óvissu í gasstyrk og massatöku“ (Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson, 2009a; Þráinn Friðriksson o.fl., 2008).

Benedikt Steingrímsson o.fl. (2004) greindu frá því að reiknijafna fyrir opnun loka á holutoppi hafi verið endurbætt og eftir það reiknast minni massataka úr holum og því minna gufurennslis um loka. Tölur úr eftirlitsskýrslum fyrir 2003 voru endurreiknaðar með tilliti til þessa. Þetta útskýrir að öllum líkindum það misræmi sem hefur myndast á milli talna um gaslosun sem HS Orka hefur að geyma og þeirra sem Umhverfisstofnun hefur í bókhalði sínu fyrir 2003.

3.3 Landsvirkjun

Orkustofnun sá um öflun viðeigandi gagna fyrir Kröfluvirkjun, efnagreiningu gufu og mælingar á rennsli og vermi, frá upphafi borana 1974 og þar til 1987. Þá tók Kemía við fyrir Landsvirkjun og hefur sinnt þessu síðan þá. Góð gögn eru til fyrir gasflæði og breytingu þess í borholum á Kröflusvæði þar sem að tíðni gagnasöfnunar jókst eftir að umbrot vegna Kröfluelda hófust. Svipaða sögu er að segja frá Bjarnarflagi, en raforkuverið þar var gangsett 1969 (Halldór Ármannsson, 2011b).

Sama nálgun er gerð fyrir jarðvarmavirkjanir Landsvirkjunar og gerð er fyrir jarðvarmavirkjanir Orkuveitu Reykjavíkur og HS Orku um að allt uppleyst gas í djúpvökva úr borholu fari í gufufasa við aðskilnað gufu og vatns og að allt gas í gufu losni síðan í andrúmsloftið. Koldíoxíð- og brennisteinsvetnislosun er reiknuð út frá heildarvinnslu gufu og vatns úr borholum, uppitíma þeirra og meðalgasstyrk í gufu og vatni.

Gassamsetning gufu og vatns er fundin með efnagreiningu sýna sem tekin eru við ákveðinn skiljuþrýsting og vermi áður en rennsli kemur inn í stöð. Eitt til tvö sýni eru tekin úr hverri borholu árlega. Þéttri gufu er safnað í lofttæmda flösku og styrkur koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar fundinn með titrun. Kemía sér um sýnatöku og jafnframt um efnagreiningu. Þá er einnig fylgst með gasstyrk gufu inni í stöð með sýnatökum og efnagreiningu og rúmmálmælingum. Vinnslutölur eru fengnar út frá afkastamælingum sem gerðar eru á borholum og niðurstöður þeirra skráðar í ViewData, gagnagrunnsforrit, sem reiknar út heildarrennsli blásandi borholna, vermi þeirra og magn gufu úr skiljustöð. Útreikningar á gaslosun eru svo byggðir á gasefnagreiningu gufu úr einstaka holu og sú mæling látin gilda sem meðaltal fyrir þá gufu sem notuð er í stöðinni samkvæmt afkastamælingum. Fyrir árið 2005 var rennsli holu stundum mælt á milli afkastamælinga með þrýstifalli yfir blendu. En þetta þótti ekki fullnægjandi mæling þar sem hún mælir ekki vatnshlutann. Því var hætt að nota þessa mæliaðferð til útreikninga á vinnslu borholna og tölur leiðréttar aftur í tímann þar sem þessi mæling hafði verið notuð fyrir 2005 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2009; Trausti Hauksson, 2011).

3.4 Samanburður

Í grunninn eru útreikningar orkufyrirtækjanna byggðir á sömu þáttum. Mæliaðferðir eru sambærilegar en helsti munurinn er á sýnatökustöðum sem getur valdið misræmi á niðurstöðum.

Ólíkt HS Orku og Landsvirkjun safna starfsmenn Orkuveitu Reykjavíkur sýnum inni í stöð orkuversins frekar en úr hverri holu fyrir sig. Gufusýni til efnagreiningar eru tekin úr innstreymi í eimsvala. Þá er rennsli gufu um stöð mælt með hljóðhraðarennslismæli í frárennsli frá eimsvala. Því er ekki notast við vermismælingar til þess að reikna magn gufu inn í stöð líkt og HS Orka og Landsvirkjun gera. Orkuveita Reykjavíkur fer þó eins að og hin orkufyrirtækin við mælingar á losun frá blásandi holu um hljóðdeyfi, þ.e. notast við aflmælingar og blásturstíma holunnar og greiningu efnasýna.

Í tilfelli HS Orku eru mælingar gerðar á hverri holu fyrir sig ólíkt því sem Orkuveita Reykjavíkur gerir. Notast er við aflmælingar og efnagreiningu gufusýna fyrir hverja holu fyrir sig. Hlutfall vatns og gufu í skilju ræðst af vermi djúpvökvans og skiljuþrýstingi, 18 bör-g í tilfelli HS Orku. Vermi vinnsluholna á Reykjanesi hefur í

sumum tilfellum ekki verið mælt og því hefur verið gert ráð fyrir einfasa innstreymi í borholur og notast við hitastig við suðuborð til að meta vermi. Þá er hitastig djúpvökva við suðuborð einnig aðeins nálgun á raunverulegu djúphitastigi. Þetta veldur skekkju í reikningi á hlutfalli gufu í skiljustöð og gasstyrk í gufu o.þ.a.l. skekkju í gildi fyrir það gas sem losnar í andrúmsloftið.

Aðferðafræði Landsvirkjunar svipar að mörgu leyti til aðferðafræði HS Orku. Gufurennslí í virkjun er reiknað á sambærilegan hátt, þ.e. út frá aflmælingum, vermi við ákveðinn skiljuþrýsting til þess að reikna út hlutfall gufu og vatns í skilju og rennsli um holutopp. Þá taka þau bæði sýni við holutopp til gasefnagreiningar á gufu.

Samanburðurinn sýnir að munur er á sýnatöku- og mælitökustöðum Orkuveitu Reykjavíkur annars vegar og HS Orku og Landsvirkjunar hins vegar. Orkuveita Reykjavíkur notar t.d. hljóðhraðarennslismælingu inni í stöð til þess að reikna rennsli gufu inn í stöðvarhúsi á meðan notast er við rennsli um borholur og hlutfall gufu í skilju í tilfelli hinna tveggja. Þá hefur vermi sumra vinnsluborholna HS Orku á Reykjanesi verið nálgæð en ekki mælt en hin orkufyrirtækin hafa ekki haft þann hátt á. Það væri því til bóta að Orkustofnun myndi semja verklagsreglur til handa orkufyrirtækjunum sem leiðbeinandi stjórnvald á þessu sviði.

4 GASÚTBLÁSTUR FRÁ JARÐVARMVIRKJUNUM

Útblástur gróðurhúslofttegunda frá jarðvarmavirkjunum er hlutfallslega lítill miðað við aðrar uppsprettur þeirra hér á landi. Tafla 1 sýnir útblástur gróðurhúslofttegunda á Íslandi árið 2008 eftir uppruna. Þar má sjá að hlutur jarðvarmavirkjana er um 4% af heildarlosun koldíoxíðgilda (Birna Hallsdóttir o.fl., 2010).

Tafla 1: Heildarútblastur gróðurhúslofttegunda 2008 á Íslandi eftir uppruna (Birna Hallsdóttir o.fl., 2010).

Heildarútblastur gróðurhúslofttegunda eftir uppruna 2008, CO ₂ -ígildi		
	2008 [Gg]	Hlutfall af heildarlosun
Orka	2092	43%
- brennsla eldsneytis	1906	39%
- jarðvarmaorka	185	4%
Iðnaður	1992	41%
Leysiefni og önnur efnavinnsla	9	0%
Landbúnaður	566	12%
Úrgangur	221	5%
Samtals	4880	100%

Á Íslandi eru nú sex jarðvarmavirkjanir í rekstri á háhitasvæðum. Þær eru reknar af þremur orkufyrirtækjum; HS Orku, Landsvirkjun og Orkuveitu Reykjavíkur. Hvert fyrirtæki er með tvær virkjanir í sinni umsjá. Tafla 2 sýnir hvaða fyrirtæki hver virkjun tilheyrir og uppsett afl hvernir virkjunar, bæði fyrir raforku- og heitavatnsvinnslu.

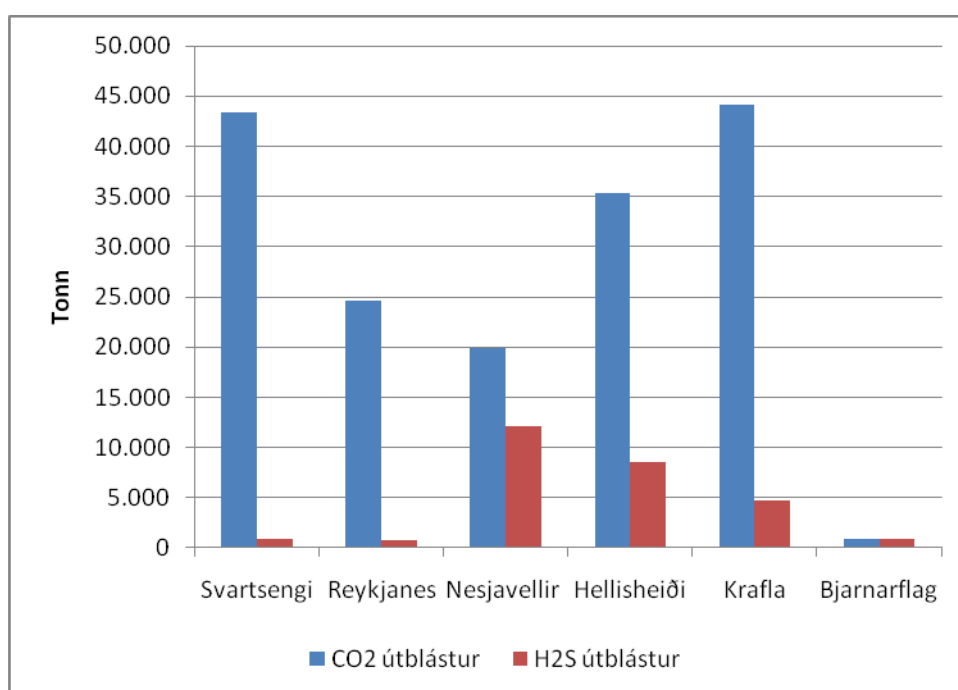
Tafla 2: Jarðvarmavirkjanir á Íslandi, uppsett afl og rekstraraðili þeirra.

Orkufyrirtæki	Virkjun	Afl
HS Orka	Reykjanes	100 MW _e
	Svartsengi	75 MW _e og 150 MW _{th}
Landsvirkjun	Bjarnarflag	3 MW _e
	Krafla	60 MW _e
Orkuveita Reykjavíkur	Hellisheiði	213 MW _e og 130 MW _{th}
	Nesjavellir	120 MW _e og 300 MW _{th}

Árið 2009 nam losun frá jarðvarmavirkjununum sem segir í töflu 3 og mynd 3 sýnir. Sjá má að í heildina minnkar losun koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá 2008 um 10%, þar sem losun frá Svartsengi minnkar hlutfallslega mest. Gaslosun frá Svartsengi hafði aukist talsvert árið 2008 þegar síðasti áfangi raforkuversins var tekinn í notkun en virðist vera að ganga til baka. Einnig má sjá að um 7% aukning er á gaslosun frá Hellisheiði. Þessa aukningu má rekja til aukinnar massavinnslu þar sem tvær 45 MW_e rafstöðvar voru gangsettar seinni hluta árs 2008. Aðrar breytingar eru nokkuð litlar en sjá má að almennt er gaslosun frá jarðvarmavirkjunum að minnka á hverja kílóvattstund raforku.

Tafla 3: Gasútblastur jarðvarmavirkjana á Íslandi árið 2009 og breyting frá 2008.

Svæði	CO ₂			H ₂ S		
	Tonn/ár	Breyting frá 2008	g/kWh	Tonn/ár	Breyting frá 2008	g/kWh
Svartsengi	43.427	-29%	83	844	-25%	2
Reykjanes	24.651	1%	28	766	-13%	1
Nesjavellir	19.918	-1%	20	12.175	-2%	12
Hellisheiði	35.325	7%	21	8.581	-17%	5
Krafla	44.145	-1%	92	4.773	-12%	10
Bjarnarflag	826	-14%	53	930	-21%	60
Samtals	168.293	-9%	298	28.069	-10%	90



Mynd 3: Koldíoxíð- og brennisteinsvetnislosun frá jarðvarmavirkjunum árið 2009.

Hér næst fer yfirlit yfir gasútblastur hvernar jarðvarmavirkjunar fyrir sig frá og með 2009 og aftur í tímann. Gaslosunartölur þessar má sjá í töflu 4 í viðauka A, aftast í þessari skýrslu. Gasútblastur virkjunar er borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu hennar. Gögn um frumorkuvinnslu eru fengin frá Ingimari G. Haraldssyni og Jónasi Ketilssyni (2010a), sjá nánar um frumorkunotkun í þeirri skýrslu. Þar er frumorka jarðvarma skilgreind á eftirfarandi hátt:

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

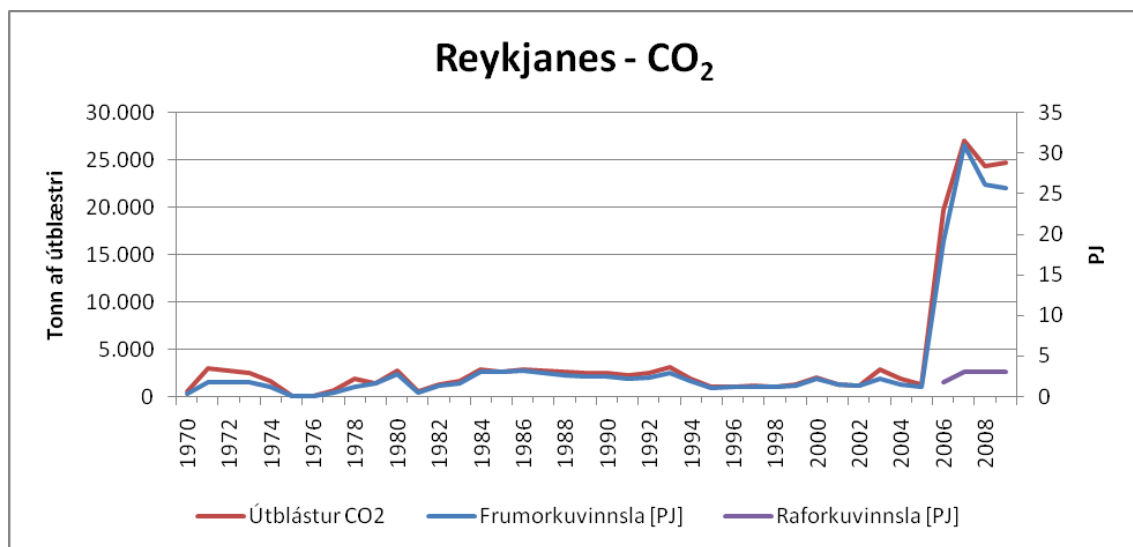
Frumorkuvinnsla jarðvarma er svo:

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

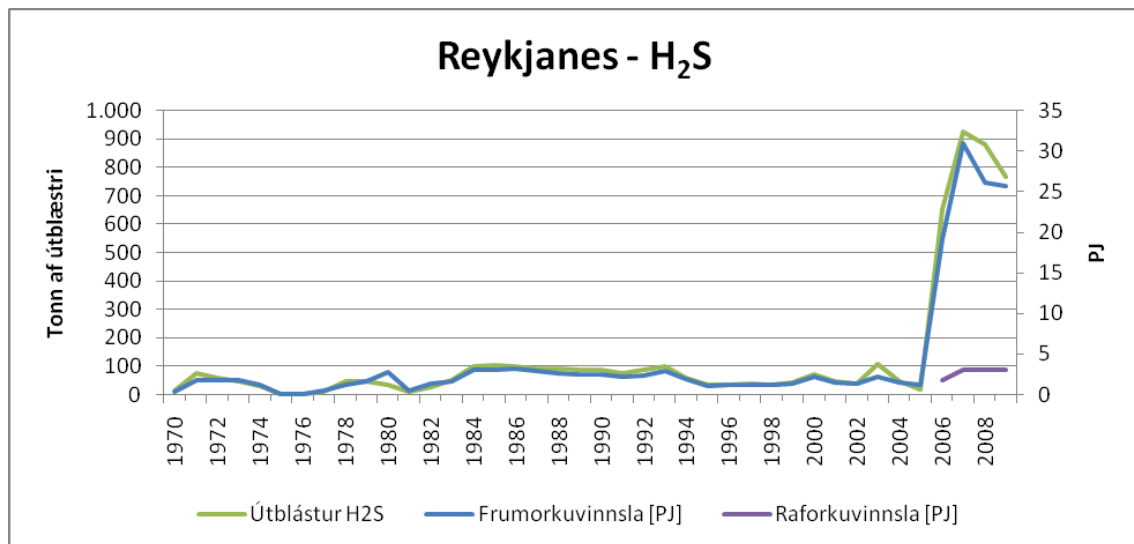
4.1 Reykjanesvirkjun

Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson (2009a) hjá ÍSOR gera grein fyrir vinnslueftirliti á Reykjanesi fyrir HS Orku, þar sem fram koma m.a. tölur yfir losun gastegunda frá virkjuninni frá 2008 og allt aftur til 1970. Sambærilegar skýrslur hafa verið gefnar út frá árinu 2002. Í því yfirliti sem hér er gert fyrir Reykjanes er stuðst við gaslosunargögn úr framangreindri skýrslu auk þess sem tölur fyrir árið 2009 fengust hjá ÍSOR.

Myndir 4 og 5 sýna útblástur koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar samanborið við frumorkuvinnslu og raforkuvinnslu virkjunarinnar. Fyrsta vinnsluholan, RN-08 var tekin í gagnið 1970. Síðan þá hafa fleiri holur verið teknar í notkun en vinnsla var á bilinu 40-80 kg/s á tímabilinu 1970-2006. Árið 2006 var 100 MW_e raforkuver byggt á svæðinu og jókst þá vinnsla úr kerfinu verulega (Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson, 2009a). Myndirnar hér fyrir neðan sýna skýra fylgni á milli útblásturs koldíoxíðs og brennisteinsvetnis og aukinnar vinnslu virkjunarinnar frá 2006. Fram að því hafði útblástur þessara gastegunda verið minniháttar og nokkuð stöðugur og fylgni frumorkuvinnslu og gasútbásturs mjög mikil. Hafa skal í huga að útblástur brennisteinsvetnis er langt um minni en útblástur koldíoxíðs á þessu svæði, en gashlutfallið CO₂/H₂S er um 25 til 30. Það er þó mikil fylgni á milli sveiflna í útblæstri þessara gastegunda og virðist sem styrkur þeirra í jarðvarmavökvanum sé stöðugur.



Mynd 4: Útblástur koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjun á Reykjanesi frá 1970 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

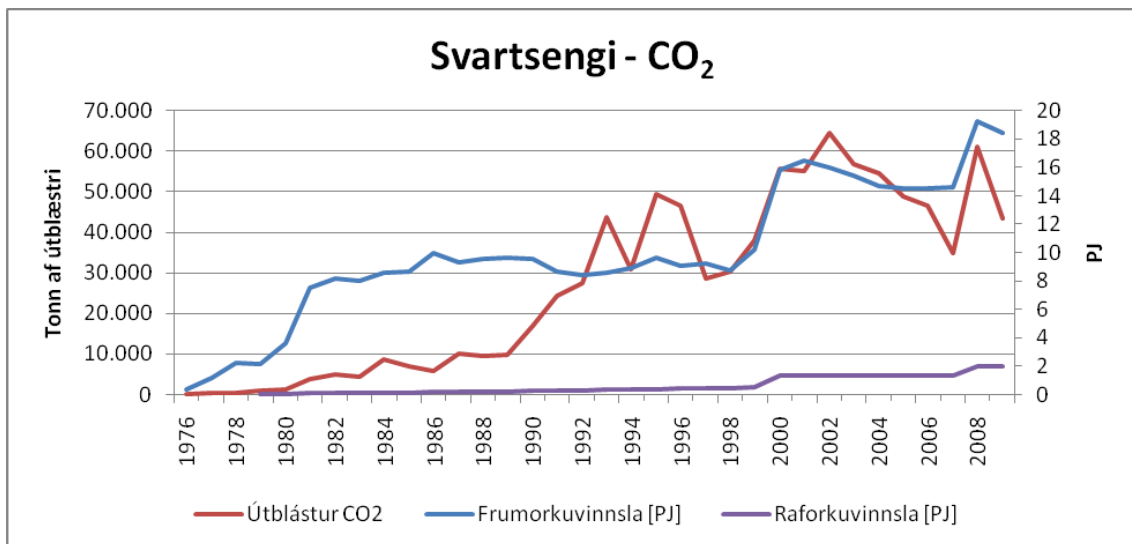


Mynd 5: Útblástur brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjun á Reykjanesi frá 1970 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

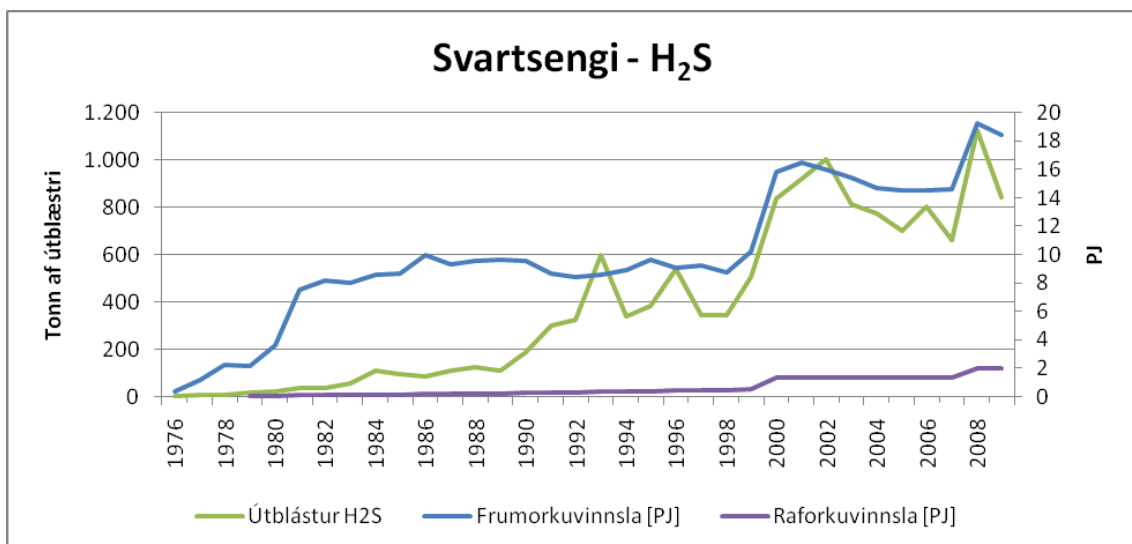
4.2 Svartsengi

Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson (2009b) hjá ÍSOR unnu sambærilega skýrslu fyrir HS Orku fyrir Svartsengi og fyrir Reykjanes. Þar er m.a. gerð grein fyrir gaslosun frá svæðinu allt frá 1976 til og með 2008. Sambærilegar skýrslur hafa verið gerðar allt frá árinu 1980. Stuðst er við gaslosunargögn úr framangreindri skýrslu í því yfirliti sem fer hér fyrir Svartsengi.

Myndir 6 og 7 sýna losun koldíoxíðs annars vegar og losun brennisteinsvetnis hins vegar frá árinu 1976 til og með 2009 borin saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar. Fyrsta borholan var boruð á svæðinu árið 1971. Nokkrar borholur fylgdu henni eftir og var varmi úr þeim nýttur til heitavatnsvinnslu í varmaskiptastöð sem byggð var 1976 eða sama ár og gaslosunargögn ná aftur til. Raforkuvinnsla á svæðinu hófst árið 1979 og hefur raforkuverið verið byggt upp í áföngum síðan þá. Byggingu síðasta áfanga lauk 2008. Rafafllgeta orkuversins er í dag 76,4 MW_e. Á myndunum má sjá að gaslosunin fylgir vinnsluaukningu orkuversins. Á tímabilinu 1990 til 2007 má sjá að sveiflur í gaslosun eru miklar, sérstaklega á koldíoxíði, og árleg losun hækkar talsvert umfram hækkun raf- og frumorkuvinnslu virkjunarinnar. Þessar sveiflur má rekja til aukinnar vinnslu úr gufupúða í kerfinu sem ganga svo til baka, samanber tímabil 1999 þegar orkuver 5 var tekið í notkun til 2006 (Þráinn Friðriksson o.fl., 2007). Fylgni er þó á milli sveiflna í losun koldíoxíðs og brennisteinsvetnis. Eins og fyrir Reykjanes er útblástur brennisteinsvetnis langt um minni en útblástur koldíoxíðs og gashlutfall CO₂/H₂S jafnan hærri en fyrir Reykjanes.



Mynd 6: Útblástur koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjun í Svartsengi frá 1976 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

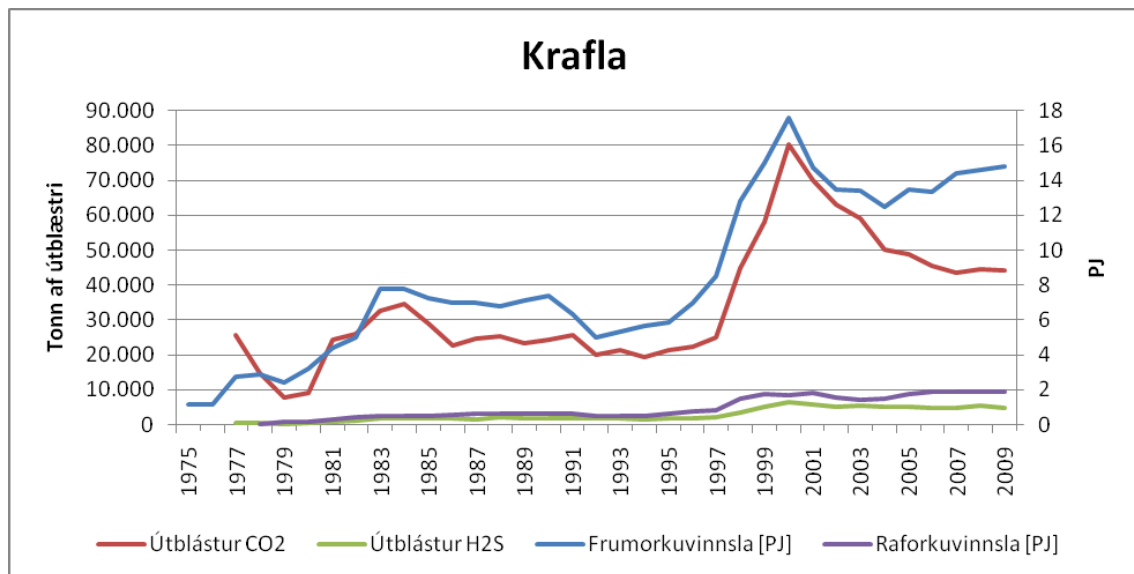


Mynd 7: Útblástur brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjun í Svartsengi frá 1976 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

4.3 Kröfluvirkjun

Kemía hefur séð um vinnslueftirlit Kröfluvirkjunar fyrir hönd Landsvirkjunar síðan á 9. áratug síðustu aldar. Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson gerðu síðast grein fyrir niðurstöðum úr vinnslueftirliti sínu fyrir árið 2008 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2009). Gögn fyrir gaslosun frá Kröfluvirkjun fengust hjá Kemía frá og með 2009 og allt aftur til 1977.

Tilraunaboranir vegna jarðgufuvirkjunar á Kröflusvæði hófust 1974. Virkjunin var svo gangsett 1977 þar sem ein 30 MW_e vélasamstæða var sett upp en raforkuvinnsla hófst ekki fyrr en ári seinna og þá aðeins á takmörkuðu afli þar sem að skortur var á gufu til



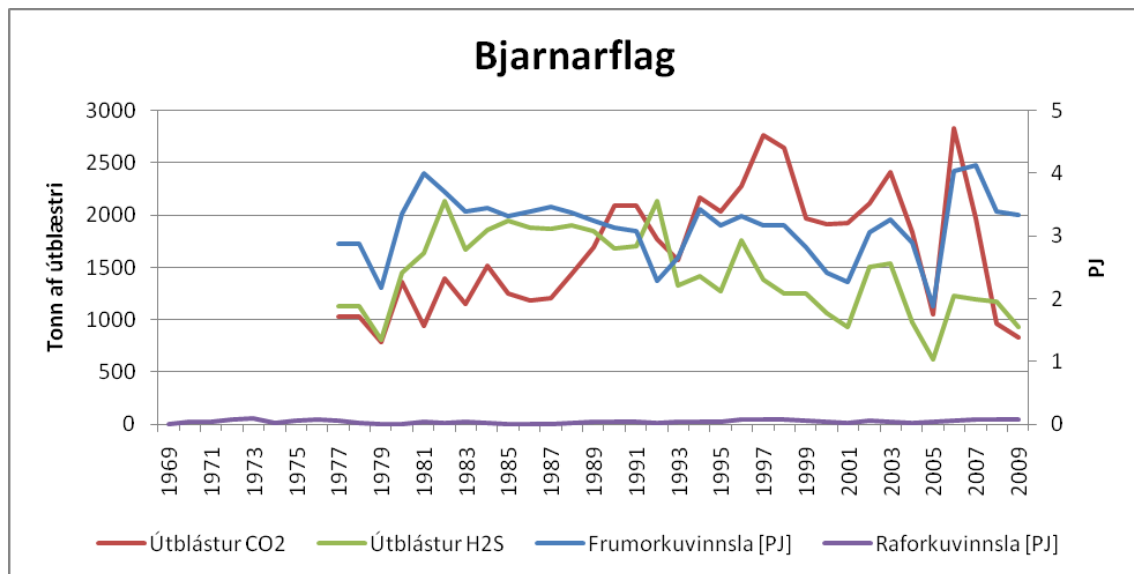
Mynd 8: Útblástur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá Kröfluvirkjun frá 1977 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

að byrja með. Hún var þó komin í fullt gang árið 1983. Seinni 30 MW_e vélasamstæða virkjunarinnar var svo ekki sett upp fyrr en 1996 og var gangsett ári seinna. Fyrst vann hún þó aðeins á hálfum afköstum en árið 1999, þegar lokið var við boranir og lagfæringar á borholum og virkjuninni, hóf virkjunin þá fyrst að vinna á fullum afköstum 60 MW_e samanlögðu afli beggja vélasamstæðanna. Sjá má á mynd 8 að fylgni er á milli útblásturs koldíoxíðs og vinnslu virkjunarinnar þar til árið 2003 en þá minnkar útblástur á meðan vinnsla eykst. Útblástur brennisteinsvetnis er töluvert minni en koldíoxíðs og mikið mildari í sveiflum. Vinnslu- og útblásturstopp árið 2000 má rekja til þess að um þennan tíma var virkjunin fyrst að byrja að vinna á fullum afköstum.

4.4 Bjarnarflagsvirkjun

Kemía hefur séð um vinnslueftirlit í Bjarnarflagi fyrir hönd Landsvirkjunar síðan á 9. áratug síðustu aldar líkt og fyrir Kröfluvirkjun. Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson gerðu grein fyrir niðurstöðum vinnslueftirlits síðast í skýrslu fyrir árið 2008 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2009). Eins og fyrir Kröflu voru tölur yfir gaslosun frá svæðinu fengnar frá Kemíu aftur til 1977.

Stöðin í Bjarnarflagi er lítil, aðeins 3 MW_e, og er gaslosun frá virkjuninni eftir því. Stöðin var byggð árið 1969 og hefur verið nýtt til raforkuvinnslu alla tíð síðan. Miklar sveiflur eru í frumorkuvinnslu virkjunarinnar og gaslosun frá henni þrátt fyrir að afl hennar hefur ekki verið aukið frá gangsetningu hennar 1969. Virkjunin vinnur litla raforku, sbr. afl hennar, en þó er frumorkuvinnsla hennar talsverð. En hlutfall raforkuvinnslu og frumorkuvinnslu er að jafnaði það minnsta af öllum jarðvarmavirkjunum landsins, en það var rétt um 2% árið 2008 á meðan sama hlutfall annarra virkjana var yfir 10% þetta sama ár (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010a).

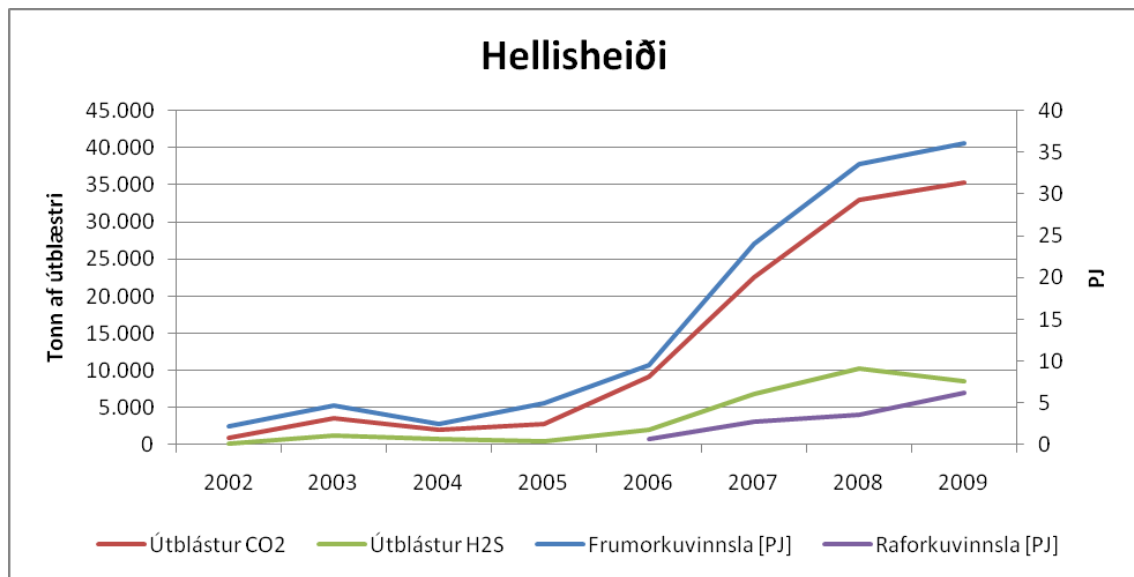


Mynd 9: Útblástur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá virkjun í Bjarnarflagi frá 1977 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

4.5 Hellsisheiðarvirkjun

Orkuveita Reykjavíkur er rekstraraðili jarðvarmavirkjunarinnar á Hellsisheiði sem að hefur verið starfrækt frá haustinu 2006. Það sér jafnframt sjálft um mælingar á gaslosun frá virkjuninni. Gögn um útblástur frá holum á svæðinu eru til frá upphafi blásturs árið 2002 en fyrstu niðurstöður gaslosunar frá virkjuninni voru birtar í skýrslu fyrir árið 2007. Þá hefur vinnslueftirlitsskýrsla fyrir 2009 nýlega verið gefin út (Einar Gunnlaugsson og Birna Kristinsdóttir, 2011a). Gaslosunargögn sem notast er við fyrir Hellsisheiði voru fengin frá Orkuveitu Reykjavíkur, frá og með 2007, og Íslenskum orkurannsóknnum, til 2007 (Einar Gunnlaugsson, 2011b).

Rekstrarsaga virkjunarinnar er stutt miðað við aðrar virkjanir hér á landi og það tímabil sem gögnin ná yfir í samræmi við það en fyrsta heila starfsár hennar var 2007. Fyrsti áfangi hitaveitu frá svæðinu var ekki tekinn í notkun fyrr en desember 2010 og er hitaveita frá svæðinu undanskilin því tímabili sem tekið er fyrir hér. Á mynd 10 má sjá að litlar sveiflur eru í útblæstri á koldíoxíði og brennisteinsvetni þetta tímabil og er aukning útblásturs koldíoxíðs í samræmi við aukningu í frumorkuvinnslu virkjunarinnar, en aukning brennisteinsvetnis er ekki eins drjúg og minnkar 2009 frá árinu áður. Í byrjun var afl virkjunarinnar 90 MW_e en hefur það verið aukið síðan og er nú 213 MW_e.

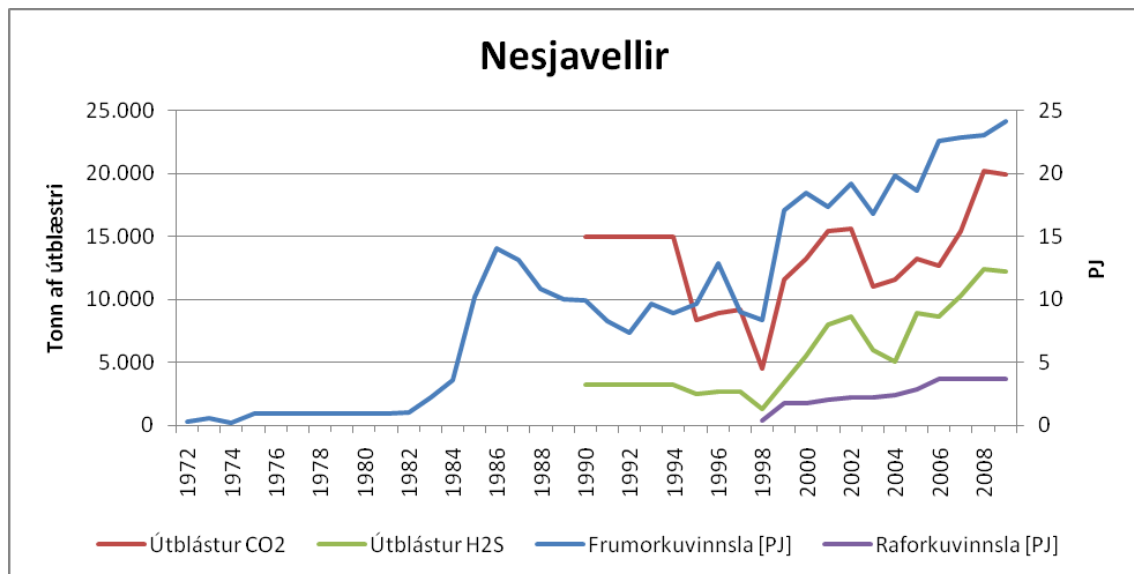


Mynd 10: Útblástur koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar fyrir tímabilið 2002 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

4.6 Nesjavallavirkjun

Eins og fyrir Hellisheiði er Orkuveita Reykjavíkur rekstraraðili að Nesjavallavirkjun og hefur jafnframt séð um mat á gaslosun frá virkjuninni. Einar Gunnlaugsson og Birna Kristinsdóttir (2011b) gera m.a. grein fyrir gaslosun frá virkjuninni árið 2009 í skýrslu þar sem einnig kemur fram yfirlit yfir gaslosun frá virkjuninni aftur til 1995. Notast er við þessi gögn fyrir Nesjavelli auk þess sem fengin voru gögn fyrir meðalgaslosun virkjunarinnar á tímabilinu 1990 til 1995 frá Umhverfisstofnun. Sambærilegar skýrslur hafa verið gefnar út reglulega fyrir fyrri tímabil.

Fyrsta borholan á Nesjavöllum sem nýtt var að einhverju leyti, NG-5, var tilbúin 1972. Í framhaldi voru fleiri holur boraðar og framkvæmdir við jarðvarmavirkjunina hófust árið 1987 og var hún gangsett 1990. Til að byrja með var hún aðeins nýtt til hitaveitu. Fyrsti gufuhverfillinn (30 MW_e) var tekinn í notkun árið 1998 og þar með hófst raforkuvinnsla virkjunarinnar. Árið 2001 hafði tveimur hverflum verið bætt við til viðbótar og afl stöðvarinnar til raforkuvinnslu var orðið 90 MW_e (Einar Gunnlaugsson og Anna L. Oddsdóttir, 2009). Í dag er uppsett afl virkjunarinnar 120 MW_e og 300 MW_{th}. Sjá má á mynd 11 að gaslosun frá virkjuninni eykst í samræmi við aukna vinnslu hennar með smávægilegum sveiflum. Mikil fylgni er á milli útblásturs koldíoxíðs og brennisteinsvetnis.



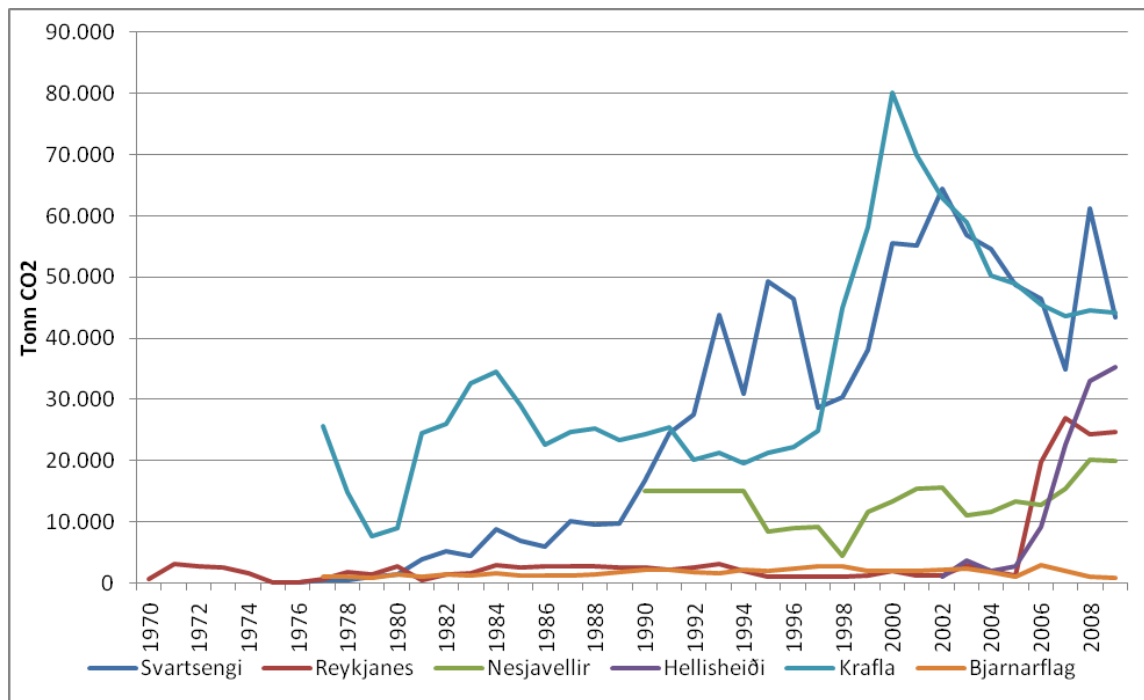
Mynd 11: Útblástur koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar fyrir tímabilið 1990 til og með 2009 borinn saman við frumorku- og raforkuvinnslu virkjunarinnar.

4.7 Samanburður

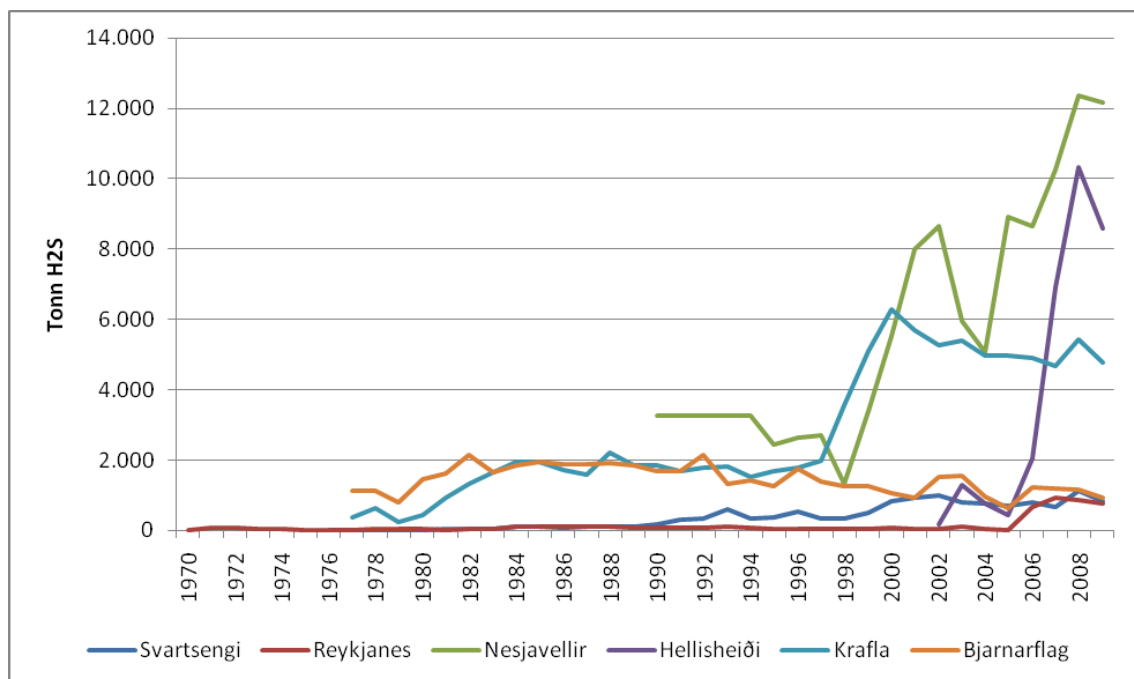
Hér koma fram línurit sem bera saman þær jarðvarmavirkjanir sem voru teknar fyrir hér á undan með tilliti til útblásturs koldíoxíðs og brennisteinsvetnis, sem sjá má í töflu 4 í viðauka A.

Myndir 12 og 13 sýna sögu útblásturs koldíoxíðs annars vegar og brennisteinsvetnis hins vegar til ársins 2009 fyrir hverja jarðvarmavirkjun. Hversu langt aftur þetta sögulega yfirlit nær er auðvitað háð aldri virkjunarinnar og hversu langt aftur tiltæk gögn ná til fyrir hverja virkjun. Í Svartsengi og við Kröflu var losun virkjana á koldíoxíði álíka mikil árið 2009 eins og mynd 12 sýnir eða rétt undir 45.000 tonnnum á meðan aðrar virkjanir losuðu talsvert minna. Á mynd 13 má sjá að virkjanir í umsjá Orkuveitu Reykjavíkur losa mun meira af brennisteinsvetni en aðrar virkjanir.

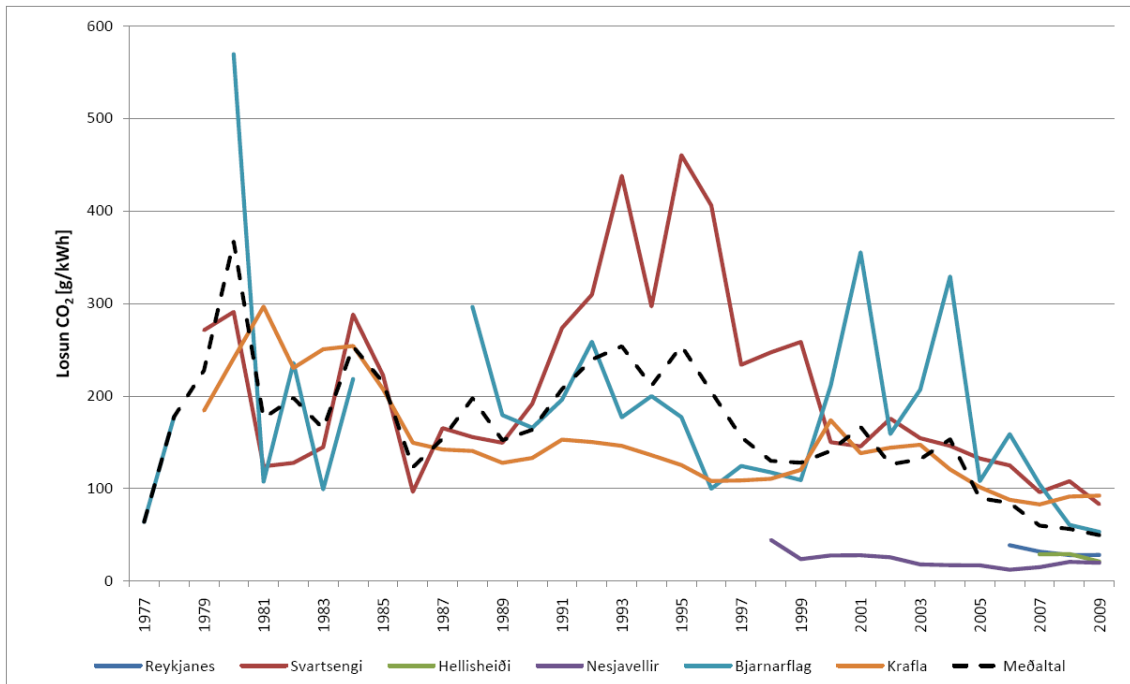
Myndir 14 og 15 sýna sögulegt yfirlit yfir magn koldíoxíðs og brennisteinsvetnis sem er losað á hverja kílóvattstund sem er unnin fyrir hverja virkjun fyrir sig. Ef mynd 14 er skoðuð virðist þróunin vera sú að útblástur koldíoxíðs á hverja kílóvattstund fari minnkandi. Sama þróun er ekki eins sjáanleg með losun brennisteinsvetnis á mynd 15. Virkjunin í Bjarnarflagi er ekki með á mynd 15 þar sem að útblástur brennisteinsvetnis á kílóvattstund er að meðaltali stærðargráðu meiri en fyrir önnur svæði. Í tilfelli Bjarnarflagsvirkjunar fór þetta hlutfall allt upp í 600 á níunda áratug síðustu aldar og var að meðaltali 162 g H₂S/kWh á tímabilinu 1977 til 2009.



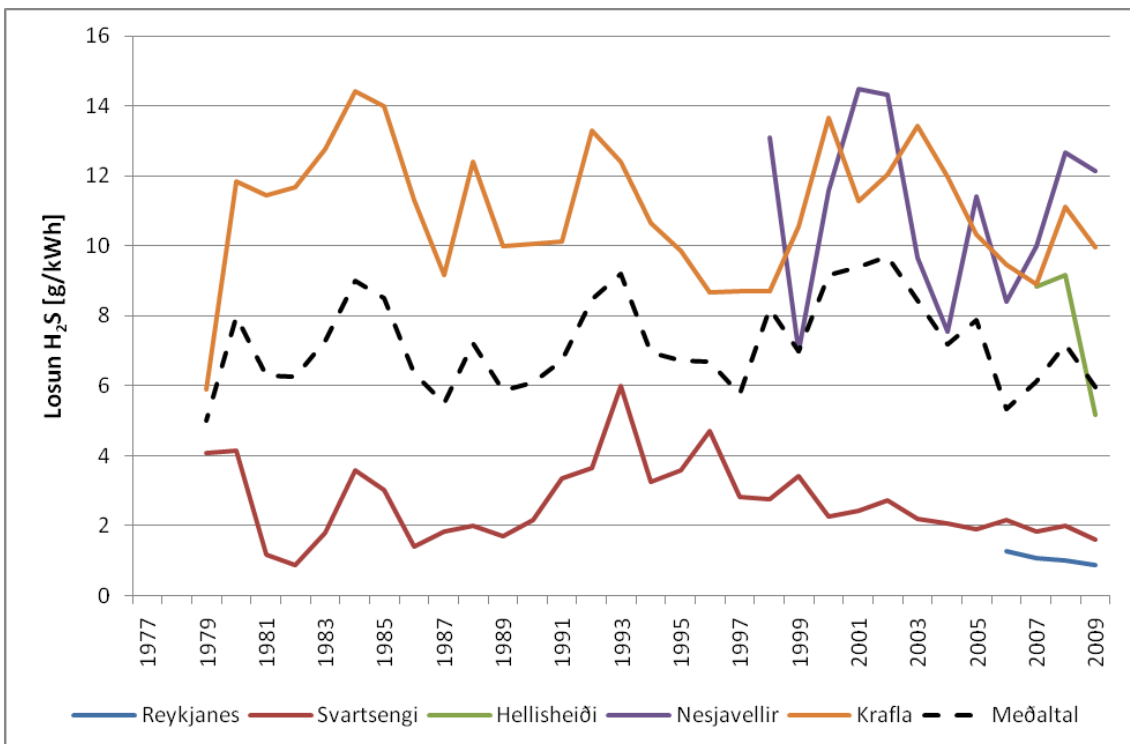
Mynd 12: Sögulegt yfirlit útblásturs jarðvarmavirkjana á koldíoxíði til ársins 2009.



Mynd 13: Sögulegt yfirlit útblásturs jarðvarmavirkjana á brennisteinsvetni til ársins 2009.



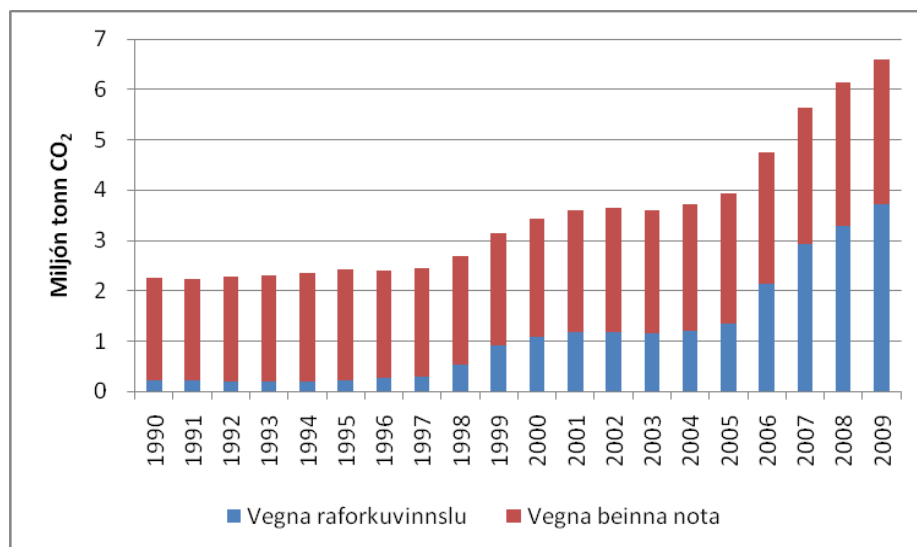
Mynd 14: Sögulegt yfirlit yfir magn koldíoxíðs losað á hverja kílóvattstund (kWh) sem er unnin fyrir hverja virkjun fyrir sig.



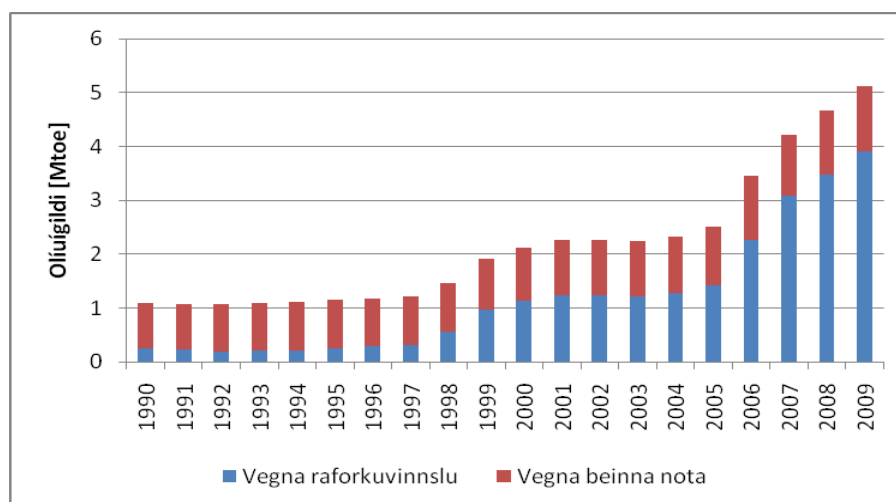
Mynd 15: Sögulegt yfirlit yfir magn brennisteinsvetnis losað á hverja kílóvattstund (kWh) sem er unnin fyrir hverja virkjun fyrir sig.

Nýting jarðhita er talin góður kostur til hita- og raforkuvinnslu þar sem það veldur jafnan mun minni útblæstri á gróðurhúslofttegundum en notkun jarðefnaeldsneytis. Alþjóða orkumálastofnunin (International Energy Agency) hefur birt svokallaða sparnaðarstuðla fyrir olíu og koldíoxíð útblástur m.t.t. nýtingu jarðvarma í þeim tilgangi að reikna út olíusparnað og magn koldíoxíðs sem forðast er að losa ef jarðvarmi er nýttur til orkuvinnslu í stað jarðefnaeldsneytis. Þeir eru bæði til fyrir beina notkun, t.d. húshitun, og raforkuvinnslu (Mongillo, 2005; International Energy Agency, 2007). Myndir 16 og 17 sýna niðurstöðuna ef þessir sparnaðarstuðlar eru notaðir í tilfelli Íslands fyrir tímabilið 1990 til 2009. Skammstöfunin Mtoe stendur fyrir Miljón tonn af olíuígildi (Million tonne of oil equivalent). Gögn yfir beina notkun eru fengin frá Ingimar G. Haraldssyni og Jónasi Ketilssyni (2010b).

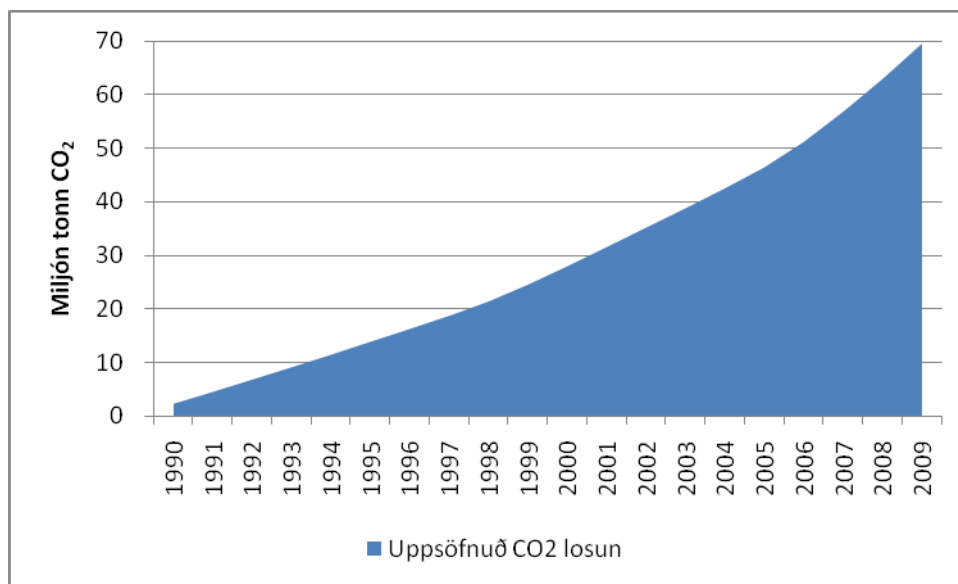
Uppsafnaðann olíusparnað annars vegar og uppsafnað magn koldíoxíðs sem er forðast að losa fyrir sama tímabil má svo sjá á myndum 18 og 19.



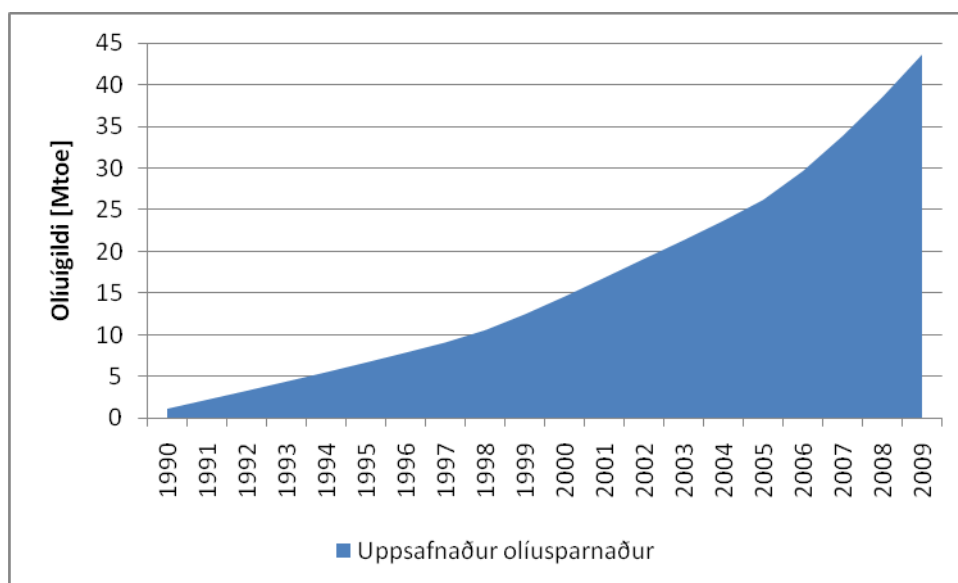
Mynd 16: Magn koldíoxíðs sem forðast er að losa með nýtingu jarðvarma í stað jarðefnaeldsneytis til orkuvinnslu á Íslandi.



Mynd 17: Olíuígildi þeirrar jarðvarmaorku sem nýtt hefur verið til orkuvinnslu hér á landi síðan 1990 (Mtoe: Million tonne of oil equivalent).



Mynd 18: Uppsafnað magn koldíoxíðs sem forðast er að losa með því að nýta jarðhita í stað jarðefnaeldsneytis til orkuvinnslu.



Mynd 19: Uppsafnað olíuígildi þeirrar jarðvarmaorku sem nýtt hefur verið til orkuvinnslu hér á landi síðan 1990 (Mtoe: Million tonne of oil equivalent).

5 LOKAORÐ

Útblástursgögnum var safnað saman fyrir jarðvarmavirkjanir fyrir 2009 og aftur til 1970. Gögnin eru borin saman við frumorku- og raforkuvinnslu fyrir hverja virkjun fyrir sig og einnig er samanburður gerður á gaslosun virkjananna. Úttekt er gerð á aðferðafræði við mat á gaslosun fyrir hvert orkufyrirtæki. Í sumum tilfellum hefur gögnum verið breytt í samræmi við breytingar á reikniaðferðum á gasútblastri jarðvarmavirkjana aftur í tímann. Þetta hefur valdið misræmi á gögnum sem Umhverfisstofnun hefur í bókhalði sínu og þeim sem orkufyrirtækin búa yfir.

Jarðvarmavirkjanir hafa í för með sér losun vissra gastegunda út í andrúmsloftið. Þar ber mest á koldíoxíði og brennisteinsvetni. Aukið magn koldíoxíðs í lofthjúpnunum er talið valda loftslagsbreytingum og brennisteinsvetni getur verið skaðlegt umhverfinu, heilsu fólks og gróður. Stjórnvöld hafa sett lög og reglugerðir til að tryggja eftirlit með losun þessara gastegunda. Þá hafa verið sett heilsuverndarmörk fyrir magn brennisteinsvetnis í andrúmslofti sem eru $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sem setur þó ekki beinar skorður á leyfilegt magn af brennisteinsvetni sem atvinnurekstur má losa út í andrúmsloftið.

Gaslosun er í meginatriðum metin út frá upplýsingum um rennsli úr borholum og blásturstíma þeirra, hlutfalli gufu í skilju og efnasamsetningu vökvans. Samanburður á aðferðafræði sýnir að munur er á sýnatöku- og mælitökustöðum Orkuveitu Reykjavíkur annars vegar og HS Orku og Landsvirkjunar hins vegar. Orkuveita Reykjavíkur notar t.d. hljóðhraðarennslismælingu inni í stöðvarhúsi til þess að reikna rennsli gufu á meðan notast er við hlutfall gufu í skilju í tilfelli hinna tveggja. Þá hefur vermi sumra vinnsluborholna HS Orku á Reykjanesi verið nálgað en ekki mælt en hin orkufyrirtækin hafa ekki haft þann hátt á. Það væri því til bóta að Orkustofnun myndi semja verklagsreglur til handa orkufyrirtækjunum sem leiðbeinandi stjórnvald á þessu sviði.

Orkustofnun sá um öflun nauðsynlegra gagna fyrir Landsvirkjun þar til 1987 og hafa Íslenskar orkurannsóknir séð um jarðefnafræðilegt vinnslueftirlit fyrir virkjanir HS Orku frá gangsetningu þeirra. Þá sá Orkustofnun um að afla gagna um gaslosun frá jarðvarmavirkjunum frá 1991 til 2003 og aftur eftir 2007 en þar á milli sáu sérfræðingar Íslenskra orkurannsókna um gagnasöfnunina fyrir Umhverfisstofnun.

Heildarútblastur koldíoxíðs frá jarðvarmavirkjunum árið 2009 nam 168.293 tonnum og er um að ræða 9% minnkun frá 2008. Mest bar á 29% minnkun á losun frá Svartsengi sem skýrist helst af því að útblástursaukning sem átti sér stað 2008 vegna tilkomu orkuvers VI er að ganga til baka þar sem gasstyrkur í gufuholum er að minnka. Á móti kemur að útblástur koldíoxíðs jókst um 7% frá Hellisheiði á milli ára vegna stækkunar virkjunarinnar.

Meðallosun koldíoxíðs á hverja kílóvattstund unna í jarðvarmavirkjunum var 50 g CO_2/kWh árið 2009 sem er 12% minnkun frá 2008. En meðallosun koldíoxíðs á hverja kílóvattstund hefur farið lækkandi á undanförunum árum. Heildarútblastur brennisteinsvetnis frá jarðvarmavirkjunum árið 2009 nam 28.069 tonnum og er það 10% minnkun frá 2008. Minnkun átti sér stað hjá öllum virkjunum landsins og var hlutfallslega mest í Svartsengi eða 25%. Meðallosun brennisteinsvetnis á hverja kílóvattstund unna í jarðvarmavirkjunum var 6 g $\text{H}_2\text{S}/\text{kWh}$ árið 2009 sem samsvarar um það bil 17% minnkun frá 2008.

HEIMILDIR

Ármannsson, H., Fridriksson, Th. and Kristjánsson, B.R., 2005. *CO₂ emissions from geothermal power plants and natural geothermal activity in Iceland*. Geothermics, 34, 286-29.

Ármannsson, H., Fridriksson, Th., Wiese, F., Hernández, P. and Pérez, N., 2007. *CO₂ budget of the Krafla geothermal system, NE-Iceland*. In Water-Rock Interaction , T.D. Bullen and Wang, Y. (Editors), 189-192.

Benedikt Steingrímsson, Magnús Ólafsson, Bjarni Reyr Kristjánsson, Þráinn Friðriksson og Þórólfur H. Hafstað, 2004. *Svartsengi – Reykjanes: Vinnslueftirlit og umhverfissvöktun 2003*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/004.

Birna Hallsdóttir, Kristín Harðardóttir, Jón Guðmundsson, Arnór Snorrason og Jóhann Þórsson, 2010. *Emissions of greenhouse gases in Iceland from 1990 to 2008 - National Inventory Report 2010*. Umhverfisstofnun, UST-2010/05.

Bloomfield, K.K., Moore, J.N. og Neilson, R.N., 2003. *Geothermal energy reduces greenhouse gases*. Geothermal Resources Council Bulletin, v. 32, bls. 77-79.

Dereinda, F.H and Ármannsson, H. 2010. *CO₂ Emissions from the Krafla Geothermal Area, Iceland*. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010 (Ed. R Horne), 7 pp.

Einar Gunnlaugsson (einar.gunnlaugsson@or.is), 2011a, 11. febrúar. *Gaslosun jarðvarmavirkjana*. Tölvupóstur til Ívars Baldvinssonar (ivar.baldvinsson@os.is).

Einar Gunnlaugsson (einar.gunnlaugsson@or.is), 2011b 18. janúar. *Gaslosun jarðvarmavirkjana*. Tölvupóstur til Ívars Baldvinssonar (ivar.baldvinsson@os.is).

Einar Gunnlaugsson og Birna Kristinsdóttir, 2011a. *Hellisheiði – Gufuborholur 2009: Afl, vatnsborð og vinnsla*. Orkuveita Reykjavíkur, 2010-17.

Einar Gunnlaugsson og Birna Kristinsdóttir, 2011b. *Nesjavellir – Gufuborholur 2009: Afl, vatnsborð, vinnsla – Yfirlit yfir rannsóknir*. Orkuveita Reykjavíkur, 2010-16.

Einar Gunnlaugsson og Anna L. Oddsdóttir, 2009. *Nesjavellir – Gufuborholur 2008: Afl, vatnsborð og vinnsla*. Orkuveita Reykjavíkur, 2009-7.

Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson, 2009a. *Jarðefnafræðilegt vinnslueftirlit á Reykjanesi árið 2008*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/41.

Ester Eyjólfsdóttir og Þráinn Friðriksson, 2009b. *Jarðefnafræðilegt vinnslueftirlit á Svartsengi 2007 og 2008*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR 2009/42.

Finnbogi Óskarsson (finnbogi.oskarsson@isor.is), 2011, 10. janúar. *Upplýsingar um gaslosun jarðvarmavirkjana*. Tölvupóstur til Ívars Baldvinssonar (ivar.baldvinsson@os.is).

Fridriksson, Th., Kristjánsson, B.R., Ármannsson, H., Margrétardóttir, E., Ólafsdóttir, S. and Chiodini, G, 2006. *CO₂ emissions and heat flow through soil, and steam heated mud pools at the Reykjanes geothermal area, SW Iceland*. Appl. Geochem., 21, 1551-1569.

Halldór Ármannsson (halldor.armannsson@isor.is), 2011a, 30. Mars. *Gaslosun jarðvarmavirkjana*. Tölvupóstur til Jónasar Ketilssonar (jonas.ketilsson@os.is).

Halldór Ármannsson (halldor.armannsson@isor.is), 2011b, 24. janúar. *Söfnun gagna yfir gaslosun frá jarðvarmavirkjunum aftur í tímann*. Tölvupóstur til Ívars Baldvinssonar (ivar.baldvinsson@os.is).

Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Birna Hallsdóttir, 2001. *Gasútblástur frá jarðhitasvæðum*. Orkuþing 2001. Orkustofnun og Hollustuvernd ríkisins.

Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010a. *Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna á Íslandi til ársins 2009*. Orkustofnun, OS-2010/03.

Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010b *Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna nota til ársins 2009*. Orkustofnun, OS-2010/02.

International Energy Agency, 2007. *Renewables Information 2007*. París, Frakklandi, bls. 238.

Mongillo, M.A, 2005. *Savings factors for geothermal energy utilization*. IEA-Geothermal Implementation Agreement (GIA).

Trausti Hauksson (th@kemia.is), 2011, 11. janúar. *Upplýsingar um gaslosun jarðvarmavirkjana*. Tölvupóstur til Ívars Baldvinssonar (ivar.baldvinsson@os.is).

Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 2009. *Krafla og Bjarnarflag: Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2008*. Landsvirkjun. LV-2009/083.

Umhverfissráðuneytið. 2010, 22. júní. Frétt: *Reglugerð um leyfilegt magn brennisteinsvetnis í andrúmslofti*. <http://www.umhverfissraduneyti.is/frettir/nr/1668>

Wiese, F., Fridriksson, Th, and Ármannsson, H, 2008. *CO₂ fixation by calcite in high-temperature systems in Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/003.

Þráinn Friðriksson, Magnús Ólafsson og Niels Giroud, 2007. *Jarðefnafræðilegt vinnslueftirlit árið 2006: Svartsengi og Hafnir*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR 2007/040

Þráinn Friðriksson, Magnús Ólafsson og Niels Giroud, 2008. *Jarðefnafræðilegt vinnslueftirlit á Reykjanesi 2006 og 2007*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR 2008/021.

VIÐAUKI A

Tafla 4: Árleg gaslosun frá jarðvarmavirkjunum frá 2009 aftur til 1970. Gögn voru fengin frá orkufyrirtækjum eða aðila á þeirra vegum.

Ár	Reykjanes				Svartsengi				Hellisheiði				Nesjavellir				Bjarnarflag				Krafla				Samtals		Meðaltal			
	CO ₂		H ₂ S		CO ₂		H ₂ S		CO ₂		H ₂ S		CO ₂		H ₂ S		CO ₂		H ₂ S											
	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn	g/kWh	Tonn CO ₂	Tonn H ₂ S	g CO ₂ /kWh	g H ₂ S/kWh				
2009	24.651	28	766	1	43.427	83	844	2	35.325	21	8.581	5	19.918	20	12.175	12	826	53	930	60	44.145	92	4.773	10	168.293	28.069	50	15		
2008	24.310	28	879	1	61.182	108	1.126	2	32.937	29	10.323	9	20.201	21	12.367	13	962	61	1.176	74	44.515	91	5.424	11	184.107	31.295	56	18		
2007	27.021	32	925	1	34.985	96	663	2	22.597	29	6.902	9	15.412	15	10.275	10	1.973	105	1.189	63	43.607	83	4.681	9	145.595	24.636	60	16		
2006	19.710	39	651	1	46.537	125	802	2	9.220	54	2.060	12	12.673	12	8.650	8	2.830	159	1.231	69	45.514	88	4.915	9	136.483	18.309	79	17		
2005	1.276		19		48.707	132	700	2	2.779		440		13.259	17	8.918	11	1.053	108	619	63	48.964	101	4.987	10	116.037	15.682	90	22		
2004	1.880		46		54.606	146	772	2	1.943		750		11.551	17	5.084	8	1.839	329	974	174	50.280	121	4.985	12	122.099	12.610	153	49		
2003	2.856		106		56.922	154	811	2	3.602		1.280		11.058	18	5.941	10	2.406	207	1.543	133	59.023	147	5.384	13	135.867	15.065	132	39		
2002	1.135		40		64.400	176	1.003	3	960		160		15.577	26	8.636	14	2.111	159	1.508	114	63.009	144	5.257	12	147.192	16.603	126	36		
2001	1.295		46		55.124	146	921	2					15.408	28	7.990	14	1.922	355	934	173	69.877	138	5.703	11	143.626	15.594	167	50		
2000	2.042		72		55.615	150	837	2					13.241	28	5.544	12	1.910	211	1.064	118	80.175	174	6.298	14	152.982	13.815	141	36		
1999	1.290		42		38.106	258	503	3					11.584	24	3.403	7	1.973	109	1.253	69	58.158	120	5.100	11	111.111	10.301	128	23		
1998	1.035		36		30.451	247	342	3					4.484	45	1.317	13	2.641	117	1.254	56	44.885	110	3.543	9	83.495	6.492	130	20		
1997	1.109		38		28.642	234	345	3					9.200		2.703		2.761	124	1.386	62	24.856	109	1.989	9	66.568	6.460	156	25		
1996	1.054		33		46.410	406	538	5					8.948		2.629		2.274	100	1.760	77	22.298	108	1.789	9	80.985	6.749	205	30		
1995	975		33		49.351	460	383	4					8.361		2.456		2.033	177	1.268	111	21.233	125	1.669	10	81.953	5.809	254	41		
1994	1.915		59		30.883	297	338	3					15.000		3.250		2.166	200	1.420	131	19.523	136	1.528	11	69.487	6.595	211	48		
1993	3.135		100		43.787	438	599	6					15.000		3.250		1.574	177	1.330	149	21.247	146	1.804	12	84.744	7.083	254	56		
1992	2.541		86		27.558	309	326	4					15.000		3.250		1.774	259	2.134	311	20.110	150	1.781	13	66.983	7.577	239	109		
1991	2.234		77		24.459	274	300	3					15.000		3.250		2.091	196	1.701	159	25.533	153	1.688	10	69.316	7.016	207	58		
1990	2.546		87		16.793	192	189	2					15.000		3.250		2.086	166	1.681	134	24.300	133	1.837	10	60.724	7.043	163	49		
1989	2.546		87		9.704	150	111	2									1.697	179	1.852	196	23.399	128	1.833	10	37.346	3.883	152	69		
1988	2.671		92		9.545	156	123	2									1.438	296	1.901	392	25.216	141	2.226	12	38.870	4.342	197	135		
1987	2.707		92		10.135	165	112	2									1.210		1.871		24.590	142	1.586	9	38.642	3.661	154	6		
1986	2.808		98		5.936	97	87	1									1.180		1.880		22.550	149	1.708	11	32.474	3.774	123	6		
1985	2.561		102		6.913	223	94	3									1.249		1.945		29.078	207	1.960	14	39.802	4.101	215	9		
1984	2.900		101		8.767	288	109	4									1.519	218	1.863	268	34.521	254	1.957	14	47.706	4.029	253	95		
1983	1.623		49		4.355	145	54	2									1.146	99	1.666	144	32.578	250	1.662	13	39.701	3.431	165	53		
1982	1.320		28		5.111	128	35	1									1.394	236	2.132	360	26.032	230	1.318	12	33.856	3.513	198	124		
1981	528		11		3.949	124	37	1									944	107	1.632	186	24.464	297	943	11	29.885	2.623	176	66		
1980	2.789		36		1.404	291	20	4									1.362	569	1.451	607	9.011	241	444	12	14.567	1.951	367	208		
1979	1.350		45		994	271	15	4									788		804		7.726	184	248	6	10.859	1.112	228	5		
1978	1.866		45		462		8										1.034	178	1.125	193	14.762		643		18.124	1.821	178	193		
1977	609		12		504		6										1.034	64	1.125	70	25.645		369		27.792	1.512	64	70		
1976	0		0		42		0																				42	0		
1975	0		0																								0	0		
1974	1.623		30																								1.623	30		
1973	2.462		46																								2.462	46		
1972	2.750		60																								2.750	60		
1971	3.044		74																								3.044	74		
1970	590		14																								590	14		