

Brennisteinsvetnismælingar á vegum ON – Staðan í lok árs 2014



Snjólaug Ólafsdóttir

Útgefandi: Orka Náttúrunnar
Útgáfudagur:
Umsjón og ábyrgð: Snjólaug Ólafsdóttir
Forsíðumynd: Gretar Ívarsson

Skráningarblað skýrslna

Skýrsla nr. ON-2014-01	Útgáfudagur 18.12 2014	Útgáfustaður Reykjavík
Heiti skýrslu Brennisteinsvetnismælingar á vegum ON – Staðan í lok árs 2014		
Upplag 3	Fjöldi síðna 23	Dreifing
Höfundur/ar Snjólaug Ólafsdóttir		Verknúmer
Unnið fyrir Orku Náttúrunnar		Samvinnuaðilar
<p>Útdráttur</p> <p>Styrkur brennisteinsvetnis í andrúmslofti hefur verið mældur á höfuðborgarsvæðinu frá árinu 2006 og hefur mælum fjölgað jafnt og þétt. Í þessari skýrslu er farið stuttlega í það hvernig mælur ON virka og áhrif annarra brennisteinsgasa á mælingarnar s.s. frá eldgosinu í Holuhrauni. Skoðaðar eru mælingar H₂S á fjórum mismunandi stöðum á höfuðborgarsvæðinu m.t.t. vindáttar og þá mögulegra annarra uppsprettna af H₂S. Þá er skoðað hvort hægt sé að sjá ávinning af Sulfix verkefninu frá því að niurdæling á H₂S hófst á Hellisheiði í júní 2014, þ.e. hvort styrkur í andrúmslofti hafi lækkað. Þá er stuttlega fjallað um Lækjarbotna, staðsetningu þeirra og möguleg áhrif á styrk H₂S þar. Að lokum er imprað á þeim veðurskilyrðum þar sem Gufuháfur í Hellisskarði gæti komið í veg fyrir að styrkur H₂S í andrúmslofti fari yfir heilsufarsmörk.</p> <p>Niðurstöður sýna að vegna mæliaðferða í mælum ON á höfuðborgarsvæðinu hefur styrkur SO₂ mikil áhrif á mælingu H₂S. Þar sem sama vindátt gefur hækkaðan styrk H₂S á svæðinu og háan SO₂ styrk frá eldgosinu er ekki marktækt að taka meðaltalsgildi af H₂S á höfuðborgarsvæðinu meðan á gosi stendur. Uppsprettur aðrar en virkjanirnar í Henglinum eru t.d. hitaveitumannvirki OR og urðunarstaðurinn Álfsnesi. Merki um aðrar uppsprettur sjást þó lítið á mælingum, helst að það sjáist merki um urðunarstaðinn í Mosfellsbænum. Enn sem komið er sjást engin stór merki um lækkaðan styrk H₂S eftir að niurdæling hófst á Hellisheiðinni. Erfitt getur reynst að sjá það á svo stuttum tíma og yfir sumarið, eins og hér var skoðað, þegar ekki er að vænta þeirra veðurfarsaðstæðna sem helst gefa háan styrk. Á meðan á eldgosinu í Holuhrauni stendur er ekki marktækt að bera saman mælingar yfir vetrarmánuðina fyrir og eftir að niurdæling hófst. Lækjarbotnar eru staðsettir undan vindi frá virkjununum í einna algengustu vindáttunum á svæðinu. Þær veðurfarsaðstæður þar sem gufuháfur myndi draga úr styrk H₂S á höfuðborgarsvæðinu er í hægum vindi við hitahvörf og í austan golu eða blæstri.</p>		
Efnisorð Brennisteinsvetni, brennisteindíoxíð		Yfirfarið GÍ

Efnisyfirlit

1.	INNGANGUR	6
2.	MÆLINGAR Á BRENNISTEINSVETNI.....	7
2.1.	MÆLINGAR Á H ₂ S ÞEGAR SO ₂ STYRKUR ER HÁR.....	7
3.	STYRKUR H ₂ S Á HÖFUÐBORGARSVÆÐINU	8
3.1.	HITAVEITUMANNVIRKI ORKUVEITU REYKJAVÍKUR	9
3.2.	UMFERÐ.....	10
3.3.	MÆLINGAR Í NORÐLINGAHOLTI	10
3.4.	MÆLINGAR Á GRENSÁSVEGI.....	12
3.5.	MÆLINGAR Á HVALEYRARHOLTI	14
3.6.	MÆLINGAR Í MOSFELLSBÆ	16
3.7.	SAMANTEKT Á H ₂ S STYRK Á HÖFUÐBORGARSVÆÐINU	18
4.	ÁHRIF SULFIX	18
4.1.	TILLAGA AÐ MÆLIADFERÐUM.....	19
5.	LÆKJARBOTNAR	19
6.	GUFUHÁFUR	20
7.	HEIMILDIR	21
	VIÐAUKI A.....	22

Töflur

TAFLA 1. MEÐAL STYRKUR H ₂ S, MEÐAL VINDSTYRKUR , MEÐAL HITASTIG OG MEÐAL ÚRKOMA Í NORÐLINGAHOLTI Í VINDÁTTINNI 54-131° FRÁ JÚNÍ TIL SEPTEMBER ÁRIN 2013 OG 2014.	19
TAFLA 2. MEÐAL STYRKUR H ₂ S, MEÐAL VINDSTYRKUR, MEÐAL HITASTIG OG MEÐAL ÚRKOMA Í HVERAGERÐI Í VINDÁTTINNI 54-131° FRÁ JÚNÍ TIL SEPTEMBER ÁRIN 2013 OG 2014.....	19

Myndir

MYND 1. H ₂ S (BLÁR) OG SO ₂ (RAUÐUR) STYRKUR Í HVERAGERÐI 16. OKTÓBER 2014.	8
MYND 2. MÆLISTÖÐVAR SEM NOTAÐAR ERU TIL GREININGA ÁSAMT JARÐVARMAVIRKJUNUM OG ÖÐRUM MÖGULEGUM UPPSPRETTUM.....	9
MYND 3. BRENNISTEINSVETNI Í NORÐLINGAHOLTI Á MÓTI VINDÁTT. BLÁAR LÍNUR SÝNA 50, 90 OG 95 HUNDRADSHLUTALÍNUR.....	11
MYND 4. BRENNISTEINSVETNI Í NORÐLINGAHOLTI Á MÓTI VINDÁTT. BLÁAR LÍNUR SÝNA 50, 90 OG 95 HUNDRADSHLUTALÍNUR.....	11
MYND 5. VINDRÓS MEÐ STYRK BRENNISTEINSVETNIS Í NORÐLINGAHOLTI EFTIR VINDÁTT. KORT SÝNIR AFSTÖÐU MÆLIS OG VIRKJANA.	12
MYND 6. BRENNISTEINSVETNI Á GRENSÁSVEGI Á MÓTI VINDÁTT. BLÁAR LÍNUR SÝNA 50, 90 OG 95 HUNDRADSHLUTALÍNUR.....	13
MYND 7. VINDRÓS MEÐ STYRK BRENNISTEINSVETNIS Á GRENSÁSVEGI EFTIR VINDÁTT. KORT SÝNIR AFSTÖÐU MÆLIST OG VIRKJANA OG HUGSANLEGRA ANNARRA UPPSPRETTNA.....	14
MYND 8. BRENNISTEINSVETNI Á HVALEYRARHOLTI Á MÓTI VINDÁTT Í STRAUMSVÍK. BLÁAR LÍNUR SÝNA 50, 90 OG 95 HUNDRADSHLUTALÍNUR.....	15
MYND 9. VINDRÓS MEÐ STYRK BRENNISTEINSVETNIS EFTIR VINDÁTT. MÆLINGAR Á BRENNISTEINSVETNI FRÁ HVALEYRARHOLTI EN Á VINDÁTT FRÁ STRAUMSVÍK. KORT SÝNIR AFSTÖÐU MÆLIST OG VIRKJANA OG HUGSANLEGRA ANNARRA UPPSPRETTNA.....	16
MYND 10. BRENNISTEINSVETNI Í MOSFELLSBÆ Á MÓTI VINDÁTT. BLÁAR LÍNUR SÝNA 50 OG 90 HUNDRADSHLUTALÍNUR.....	17
MYND 11. VINDRÓS MEÐ STYRK BRENNISTEINSVETNIS Í MOSFELLSBÆ EFTIR VINDÁTT.	17

1. Inngangur

Við gangsetningu Hellisheiðarvirkjunar árið 2006 varð vart við aukningu á styrk brennisteinsvetnis. Auk þess er virkjunin staðsett við Suðurlandsveg og því sýnilegri almenningi en Nesjavallavirkjun. Í samræmi við ákvæði í starfsleyfi vaktar Orka Náttúrunnar styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti á virkjunarsvæðum og í byggð. Settar hafa verið upp fjórar síritandi loftgæðamælistöðvar sem staðsettar eru í Hveragerði, í Norðlingaholti í Reykjavík, við Hellisheiðarvirkjun og við Nesjavallavirkjun. Auk þess verður, á næstu mánuðum, settur upp færanlegur mælir tímabundið við Waldorfskóla að Lækjarbotnum. Verkfræðistofan Vista hefur umsjón með mælingunum en mælarnir eru kvarðaðir á Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Sambærilegar mælingar hafa verið gerðar á höfuðborgarsvæðinu frá árinu 2006 og hafa greiningar á þeim leitt í ljós að hæstur styrkur þar er í austlægri átt, hægum vindi, þegar hitastig er undir frostmarki og hitaskiptalag er til staðar (Snjólaug Ólafsdóttir og Sigurður M. Garðarsson, 2013, Þróstur Þorsteinsson o.fl., 2013).

Þann 1. júlí 2010 tók í gildi reglugerð nr. 514/2010 um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti. Þar eru heilsuverndarmörk sett við $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir 24-stunda hlaupandi meðaltal og $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir ársmeðaltal. Leyfilegt er að fara yfir 24-stunda heilsuverndarmörkin 3 sinnum á ári frá 1. júlí 2014 en fyrir þann tíma var leyfilegt að fara fimm sinnum á ári yfir mörkin. Tilkynningamörk eru við $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir 3 samfelldar klukkustundir. Orka Náttúrunnar fékk tímabundna undanþágu, með takmörkunum, til 1. júlí 2016 meðan unnið er að tilraunaverkefni í niðurdælingu brennisteinsvetnis aftur niður í jarðhitageyminn við Hellisheiðarvirkjun. Verkefnið nefnist Sulfix og er meginmarkmið þess að þróa varanlega, hagkvæma lausn svo að styrkur brennisteinsvetnis í andrúmslofti frá jarðvarmavirkjununum sé í samræmi við reglugerðir hverju sinni (Verkefnisáætlun Sulfix). Hafin er niðurdæling á um 20-30% þess brennisteinsvetnis sem kemur frá Hellisheiðarvirkjun.

Í ágúst 2014 hófst eldgos í Holuhrauni norðan Vatnajökuls. Gosið er hraungos og fylgir því meiri brennisteinsdíoxíðs (SO_2) mengun en áður hefur þekkt.

Í þessari skýrslu verða mælingar á H_2S skoðaðar, áhrif brennisteinsgass frá eldgosinu í Holuhrauni á H_2S mælingar metnar, ávinningur niðurdælingar H_2S skoðaður og þeirri spurningu velt upp hvort aðrar uppsprettur H_2S séu á höfuðborgarsvæðinu nógu öflugar til að valda lyktarópægindum. Þá eru aðstæður að Lækjarbotnum skoðaðar með tilliti til H_2S styrks og að lokum er stuttlega fjallað um þær veðurfarsaðstæður þ.s. ávinningur væri af því að skipta yfir á gufuháf á Hellisskarði.

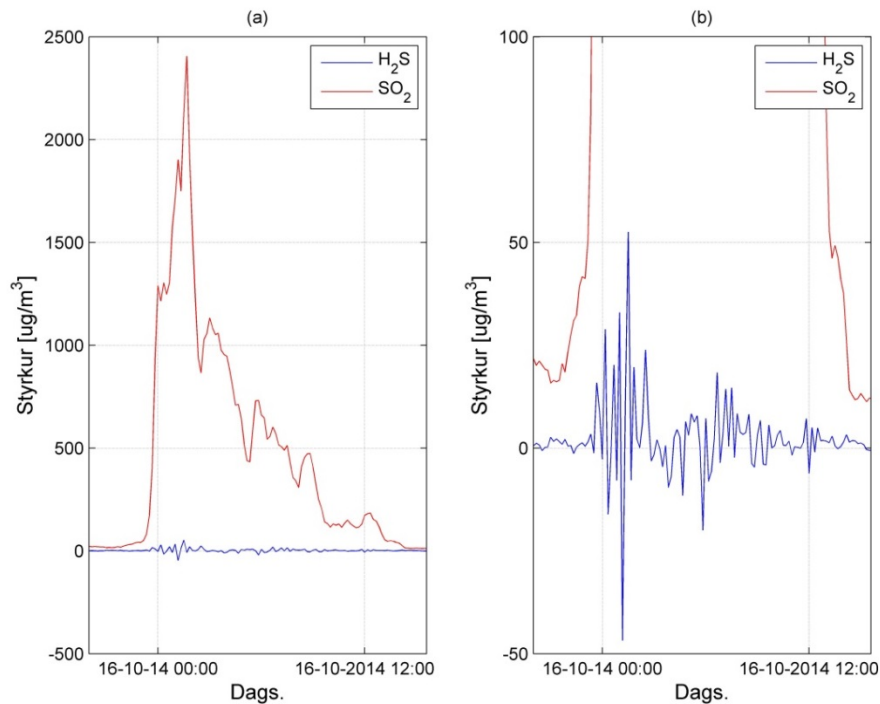
2. Mælingar á brennisteinsvetni

Tvennskonar brennisteinsvetnismælar eru á vegum ON, annarsvegar Thermo 450i mælar í Norðlingaholti, Hveragerði og á Hellisheiði og hinsvegar Airpointer mælir á Nesjavöllum. Báðar tegundir mæla sýna 10 mínútna gildi en þessi gildi eru ekki fengin á sama hátt. Thermo 450i mælar ON mæla í eina mínútu SO₂ og svo eina mínútu CS (combined sulfur eða SO₂, H₂S og önnur afoxuð brennisteinssambönd), H₂S gildið er reiknað með því að draga SO₂ gildið frá CS gildinu og sýnd 10 mínútna mæligildi eru meðaltöl af þeim 5 mælingum sem teknar eru á 10 mínútum. Allir Airpointer mælar mæla SO₂ og H₂S beint, þ.e. draga inn loft og mæla SO₂, þá er dregið inn loft og SO₂ þvegið út með scrubber og afgangi brennisteinssambanda í loftsýninu breytt í SO₂ og það svo mælt og umbreytt í magn H₂S. Airpointer mælarnir mæla í 3 mínútur SO₂ svo eru 2 mínútur í pásu/hreinsun þá 3 mínútur í H₂S mælingu svo 2 mínútur í pásu/hreinsun.

2.1. Mælingar á H₂S þegar SO₂ styrkur er hár

Vegna mæliaðferðar Thermo 450i mælisins þ.s. SO₂ styrkur er dreginn frá heildar styrk brennisteinssambanda til að finna H₂S styrk, kemur mikill breytileiki í SO₂ magni á milli mælilota fram sem aukning eða minnkun á H₂S styrk. Við aðstæður eins og hafa komið fram á meðan á gosinu í Holuhrauni hefur staðið þar sem styrkur SO₂ nær í nokkur hundruð, jafnvel nokkur þúsund, míkrogrömm á rúmmetra getur flökt á H₂S styrk verið þó nokkuð. Óvissa allra Thermo 450i H₂S mælinga eykst svo enn frekar þar sem kvörðun SO₂ og CS mælinganna er innbyrðis háð og á ákveðnu kvörðunarbili sem leiðir til þess að á meðan háir toppar SO₂ vara verða H₂S mælingar ónákvæmari. Mynd 1 sýnir styrk SO₂ (rautt) og H₂S (blátt) í Hveragerði þann 16. október 2014. Á Mynd 1(a) sést að styrkur SO₂ fór hátt í 2500 µg/m³ og að H₂S styrkurinn flökti á meðan SO₂ toppurinn varði. Við fyrstu sýn virðist þetta ekki vera mikið flökt en á Mynd 1(b) sést að styrkur H₂S flöktir þó nokkuð, mest yfir 50 µg/m³ og niður í tæplega - 50 µg/m³. Vegna þessa þyrfti að taka út mælingar á H₂S sem mældar eru á meðan SO₂ gildi eru há þar sem þau eru lítið marktæk. Á höfuðborgarsvæðinu eru þær vindáttir sem gefa hækkuð H₂S gildi þær sömu og gefa hækkuð SO₂ gildi frá Holuhrauni og því harla marktækt að miða heilsufarsmörk við meðaltöl fengin úr mælingum á meðan á gosinu í Holuhrauni stendur.

Airpointer mælarnir gefa minna flökt á H₂S gildum en í Thermo 450i mælinum vegna mæliaðferðarinnar en einnig er kvörðun SO₂ og H₂S óháð. Mælarnir geta þó gefið hærri H₂S gildi þegar scrubberinn, sem er filter, verður settur og þarf því að skipta um hann reglulega og þeim mun oftar sem SO₂ styrkurinn er hærri.

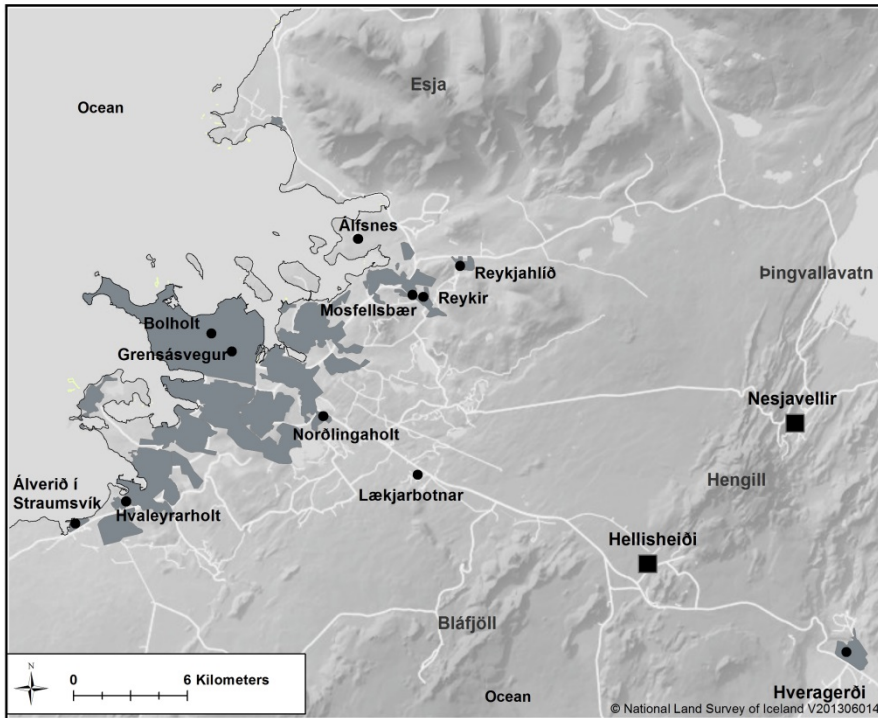


Mynd 1. H₂S (blár) og SO₂ (rauður) styrkur í Hveragerði 16. Október 2014.

3. Styrkur H₂S á höfuðborgarsvæðinu

Mælingar á brennisteinsvetni á höfuðborgarsvæðinu hófust á Grensásvegi í byrjun árs 2006, á næstu árum fjölgaði mælum og eru nú þrjár fastar mælistöðvar á svæðinu (þ.e. auk Grensásstöðvarinnar, stöð ON í Norðlingaholtinu og mælistöð í Hvaleyrarholti í eigu Rio Tinto Alcan, sjá Mynd 2) og aðrar þrjár færanlegar, þær eru þó e.t.v. ekki allar í notkun á höfuðborgarsvæðinu allt árið. Eins og lýst hefur verið mæla mælarnir öll afoxuð brennisteinssambönd sem H₂S. Ekki er vitað um margar uppsprettur afoxaðra brennisteinssambanda á höfuðborgarsvæðinu en t.d. getur allt að 10% af SO₂ útblæstri frá Álverinu í Straumsvík verið á forminu COS. Aðrar uppsprettur H₂S á höfuðborgarsvæðinu eru litlar í samanburði við virkjanirnar en t.d. losar urðunarstaður Sorpu í Álfsnesi um 270 kg ári af H₂S en önnur afoxuð brennisteinssambönd þaðan eru hverfandi (Sigurður Páll Steindórsson, 2014). Aðrar uppsprettur eru hitaveitumannvirki Orkuveitu Reykjavíkur (OR) á höfuðborgarsvæðinu (sjá Viðauka A) og ef til vill frárennlistöðvar. Hér verða skoðaðar aðrar hugsanlegar uppsprettur H₂S þ.e. hitaveitumannvirki OR og bílaumferð. Þá eru mælingar úr öllum föstum mælistöðvum á höfuðborgarsvæðinu þ.e. í Norðlingaholti, á Grensásvegi og Hvaleyrarholti skoðaðar og auk þess úr færanlegri mælistöð sem staðsett var í Mosfellsbæ til að varpa ljósi á þær vindáttir sem gefa hækkaðan styrk brennisteinsvetnis og skoða hvort aðrar uppsprettur hafi áhrif á H₂S mælingar. Afstaða þessara mæla og uppsprettna má sjá á Mynd 2.

Tekið skal fram að vindáttir eru mældar í gráðum (°) hrings þ.s. 0° og 360° eru há norðan átt, 90° er austan átt, 180° sunnan átt og 270° vestan átt.



Mynd 2. Mælistöðvar sem notaðar eru til greininga ásamt jarðvarmavirkjunum og öðrum mögulegum uppsprettum.

3.1. Hitaveitumannvirki Orkuveitu Reykjavíkur

Borholur OR á höfuðborgarsvæðinu eru staðsettar á þremur stöðum, 10 í Laugarnesinu, 8 í Elliðaárdalnum Breiðholtsmegin og 32 að Reykjum og í Reykjavíð í Mosfellsbæ (sjá Mynd 2 og viðauka A) þá eru einnig borholur staðsettar í Mosfellsdal. Þrjár afloftarar eru á höfuðborgarsvæðinu einn í Bolholti og tveir í Mosfellsbæ í Reykjavíð og að Reykjum. Þann 4. desember fóru skýrsluhöfundur og Páll Baldvin Sveinsson starfsmaður Veitna í ferð til mælinga á H_2S frá borholum og aflofturum. Mælt var með Jerome X-631 mæli OR. Byrjað var á 3 borholum að Reykjum í Mosfellsbæ, á holum HM14 og HM3 (sjá viðauka A) var ekkert gasstreymi en hjá holu HM20 mældist frá 350 til 2050 $\mu g/m^3$ styrkur alveg við útblástursrör. Í nágrenni afloftarans á Reykjum mældist 3 $\mu g/m^3$ styrkur í andrúmsloftinu. Í Laugarnesinu var tekin mæling í borholuhúsi HR 20, þar var styrkur 3-5 $\mu g/m^3$. Í Bolholtsstöð var skrúfað frá gufuloka og mæling tekin sem gaf 4 $\mu g/m^3$, þá var skrúfað heldur meira frá sem gaf 17 $\mu g/m^3$. Það skal tekið fram að ekki var hægt að taka mælingar beint úr gufunni þar sem ekki má koma raki inná mælinn.

Mælingarnar sýna fram á að H_2S er að koma frá borholum og aflofturum. Ekki eru teknar mælingar á magni gufu sem hleypt er út svo ekki er hægt að meta hversu miklu magni af H_2S verið er að hleypa út. Í greiningu Snjólaugar Ólafsdóttur og Sigurðar M. Garðarssonar (2013) af mæligögnum frá Grensásvegi 2006-2010 sáust ekki merki um að styrkur

færi að jafnaði yfir lyktarmörk ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (WHO,2000) í annarri átt en austan átt en þó var ekki útilokað að lægri styrkur en það væri vegna hitaveitumannvirkja. Frekari greining fyrir hverja mælistöð m.t.t. þessara mannvirkja fer hér á eftir.

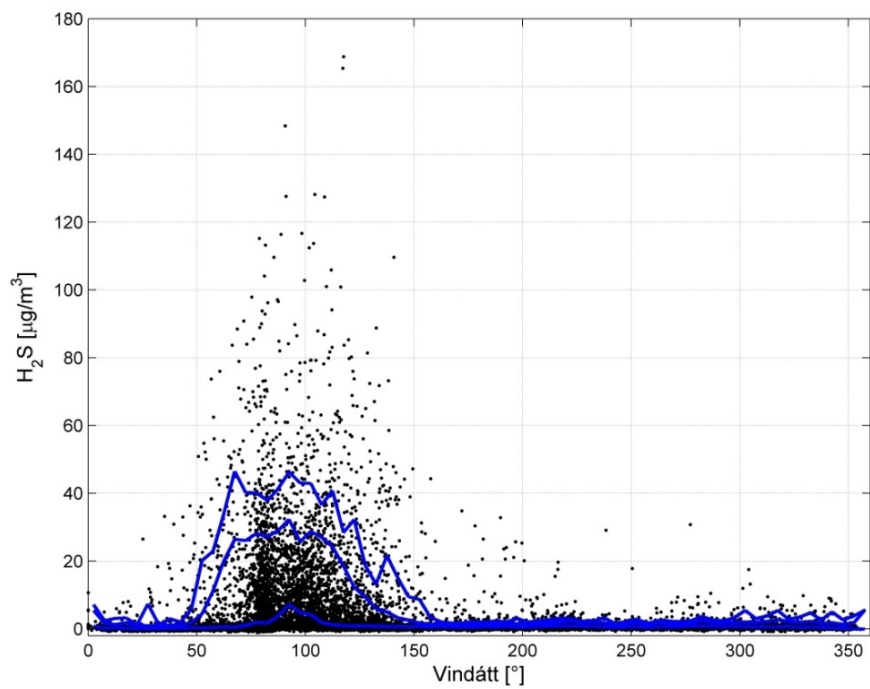
3.2. Umferð

Birtar hafa verið rannsóknir um að hvarfakútar geti skilað brennisteini úr jarðefnaeldsneyti sem brennisteinsvetni (Kourtidis o.fl., 2004). Hlutfall þess SO_2 og H_2S frá umferð hefur verið á reiki en Kourtidis o.fl. (2004) sýndu fram á að um hlutfall milli massa H_2S og SO_2 í lofti við umferðargötu í Thessaloniki í Grikklandi væri 0,24 sem var hærra en áður hafði verið greint frá. Þetta hlutfall myndi þýða að þegar styrkur SO_2 væri $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ væri styrkur H_2S $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sem er lítið meira en mælióvissan í mælinum. Gildi SO_2 eru yfirleitt ekki svo há t.d. fóru klukkustundargildi SO_2 á Grensásvegi aðeins þrisvar yfir $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ árið 2012 og tvisvar árið 2013. Séu SO_2 og H_2S mælingar á Grensásvegi bornar saman má sjá örlitla ($< 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hækkun á H_2S gildi þegar SO_2 gildin hækka en hækkunin er minni en svo að hægt sé að rekja þau til umferðar, eins líklegt er að um mælivillur sé að ræða. Mælirinn á Grensásvegi er Horiba mælir, sem mælir SO_2 og H_2S með svipaðri tækni og Thermo 450i mælarnir. Mælir Reykjavíkurborgar sem er þegar þetta er skrifað staddur í Völundarhúsum í Grafarvogi, er Airpointer mælir og ætti því mæliskekkja í honum að vera minni en í öðrum mælum. Fljótleig yfirferð á þeim mælingum af vef Reykjavíkurborgar sýndi enga samsvörun milli umferðatoppa og H_2S toppa.

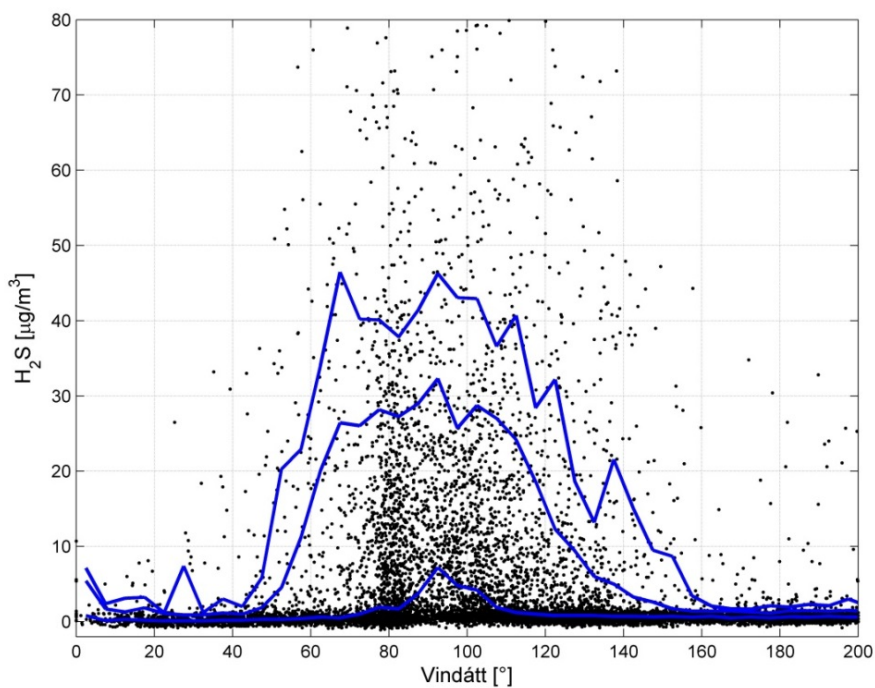
3.3. Mælingar í Norðlingaholti

Mælingar á vegum Orkuveitu Reykjavíkur hófust 2011 en vegna byrjunarörðugleika eru mælingar fyrir mitt ár 2012 ómarktækar. Hér eru notuð klukkustundargögn frá 1. janúar 2013 til 1. október 2014 yfirfarin hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

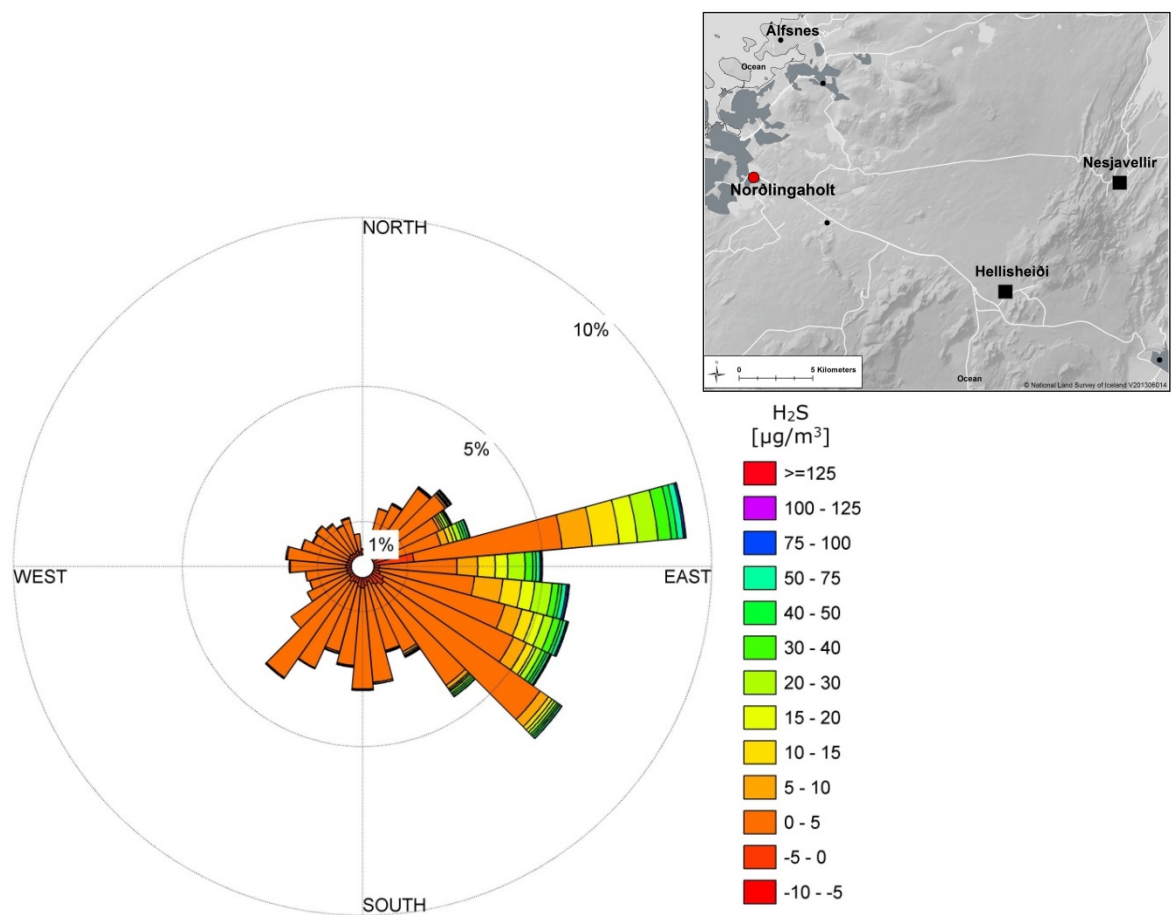
Myndir 3 og 4 sýna brennisteinsvetni mælt í Norðlingaholti á móti vindátt mældri á svæðinu, bláar línur eru 50, 90 og 95 hundraðshluta línur þ.e. 50, 90 og 95% allra mæligilda eru undir línunni (reiknað með 5° millibili). 95 og 90 hundraðshluta línurnar fara yfir lyktarmörk ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (WHO,2000) í austlægum áttum þ.e. á bilinu $54-131^\circ$ fyrir 90% línuna og $48-154^\circ$ fyrir 95% línuna, þessar áttir gefa til kynna að um brennisteinsvetni frá Nesjavalla- og Hellisheiðarvirkjun sé að ræða. Mynd 5 sýnir vindrós með styrk brennisteinsvetnis eftir vindátt og afstöðu mælis og virkjana. Á myndinni sést að styrkur H_2S yfir $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eru algengastur í austlægum áttum. Engar borholur eru í nágrenni mælisins í Norðlingaholti og er hann í nokkurri fjarlægð bæði frá Álverinu í Straumsvík og urðunarstaðnum í Álfsnesi.



Mynd 3. Brennisteinsvetni í Norðlingaholti á móti vindátt. Bláar línur sýna 50, 90 og 95 hundraðshlutilínur.



Mynd 4. Brennisteinsvetni í Norðlingaholti á móti vindátt. Bláar línur sýna 50, 90 og 95 hundraðshlutilínur.



Mynd 5. Vindrós með styrk brennisteinsvetnis í Norðlingaholti eftir vindátt. Kort sýnir afstöðu mælis og virkjana.

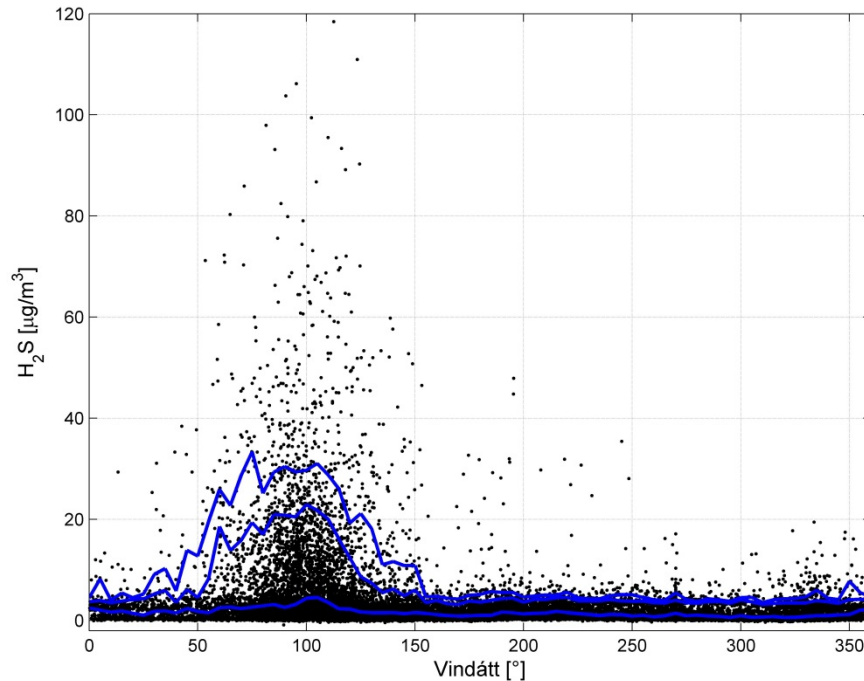
3.4. Mælingar á Grensásvegi

Mælingar á Grensásvegi hófust árið 2006 á vegum Umhverfissviðs Reykjavíkurborgar, í dag eru mælingarnar á vegum Umhverfisstofnunnar. Mælirinn er af gerðinni Horiba APSA-360A, mælitæknin er með svipuðu sniði og í Thermo 450i mælunum en mælirinn skilar aðeins 30 mínútna gögnum. Hér eru notuð meðaltals klukkustundargögn H_2S frá árunum 2012 og 2013, vindgögnin eru frá Grensásstöðinni og eru vindgögnin þannig að 2012 var tekið meðaltal yfir tvö vindgildi sem stöðin skilar á 30 mínútna fresti en árið 2013 er notað aðeins vindgildið af heila tímanum. Gögnin eru fengin leiðrétt frá Umhverfisstofnun.

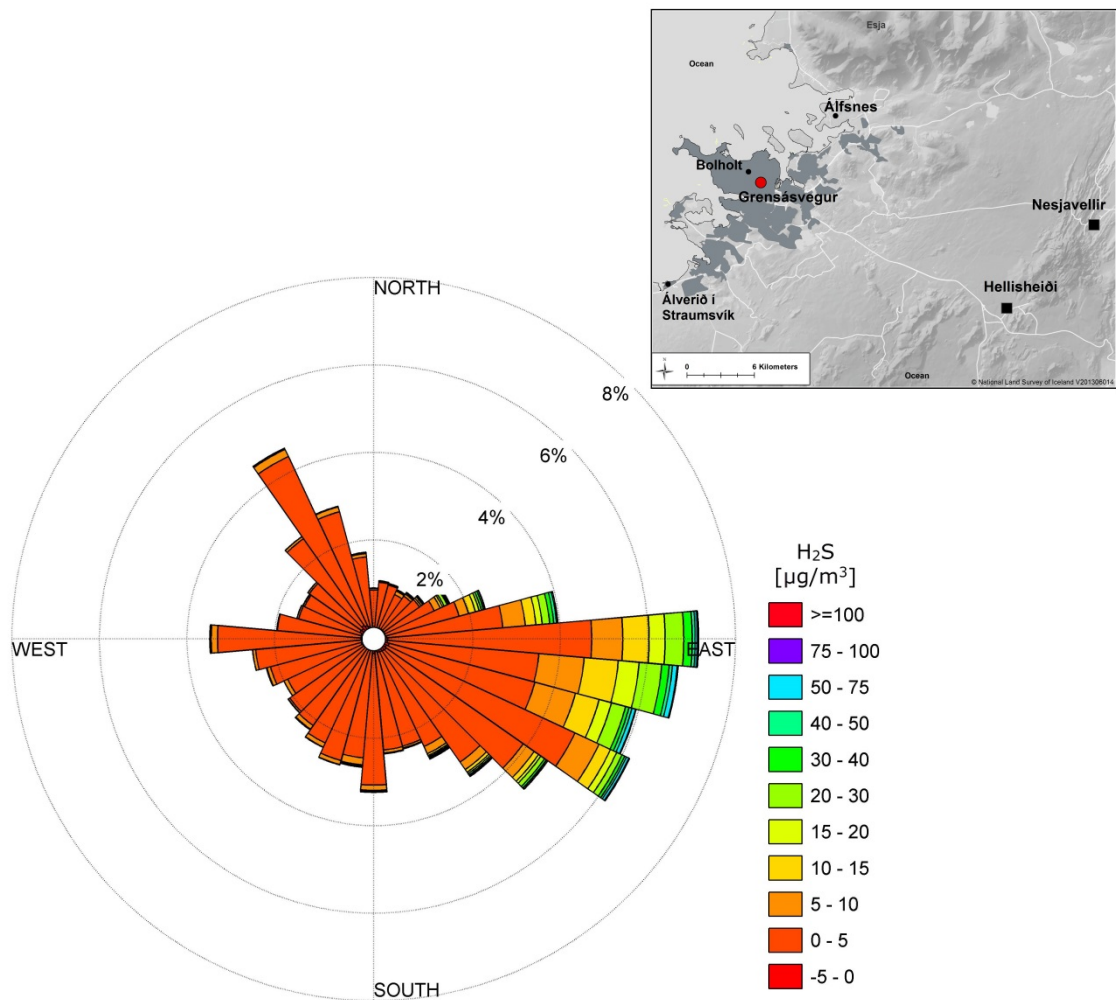
Mynd 6 sýnir brennisteinsvetni mælt á Grensásvegi á móti vindátt, bláar línur eru 50, 90 og 95 hundraðshluta línur þ.e. 50, 90 og 95% allra mæligilda eru undir línunni (reiknað með 5° millibili). 95 og 90 hundraðshluta línurnar fara yfir lyktarmörk ($7 \mu g/m^3$) (WHO, 2000) í austlægum áttum þ.e. á bilinu $53 - 131^\circ$ fyrir 90% línuna og $27-153^\circ$ fyrir 95% línuna, þessar áttir gefa til kynna að um brennisteinsvetni frá jarðvarmavirkjunum á Hengilsvæðinu sé að ræða. Örlítill hækkun er á 95%

línunni við 350°, mögulegt er að þetta bendi til H₂S frá Bolholti en frekari skoðun þyrfti til að staðfesta það.

Mynd 7 sýnir vindrós með styrk H₂S á Grensásvegi. Hæstur styrkur er úr austan- og suðaustanáttum en þó eru styrkir að mælast milli 5 og 10 µg/m³ úr vestlægum áttum. Erfitt er að lesa eitthvað ákveðið út úr þessum mælingum, mæligildin yfir lyktarmörkum eru fá og gæti verið að þau hafi aðra uppsprettu en virkjanirnar en einnig má vera að staðbundnar vindaðstæður á horni Grensásvegar og Miklubrautar hafi einhver áhrif.



Mynd 6. Brennisteinsvetni á Grensásvegi á móti vindátt. Bláar línur sýna 50, 90 og 95 hundraðshluta línur.



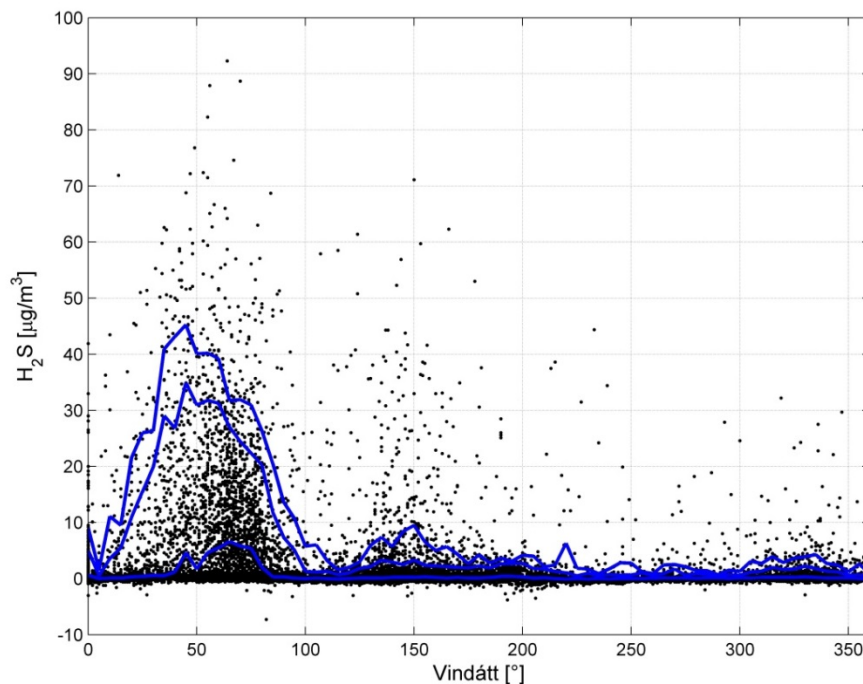
Mynd 7. Vindrós með styrk brennisteinsvetnis á Grensásvegi eftir vindátt. Kort sýnir afstöðu mælist og virkjana og hugsanlegra annarra uppsprettna.

3.5. Mælingar á Hvaleyrarholti

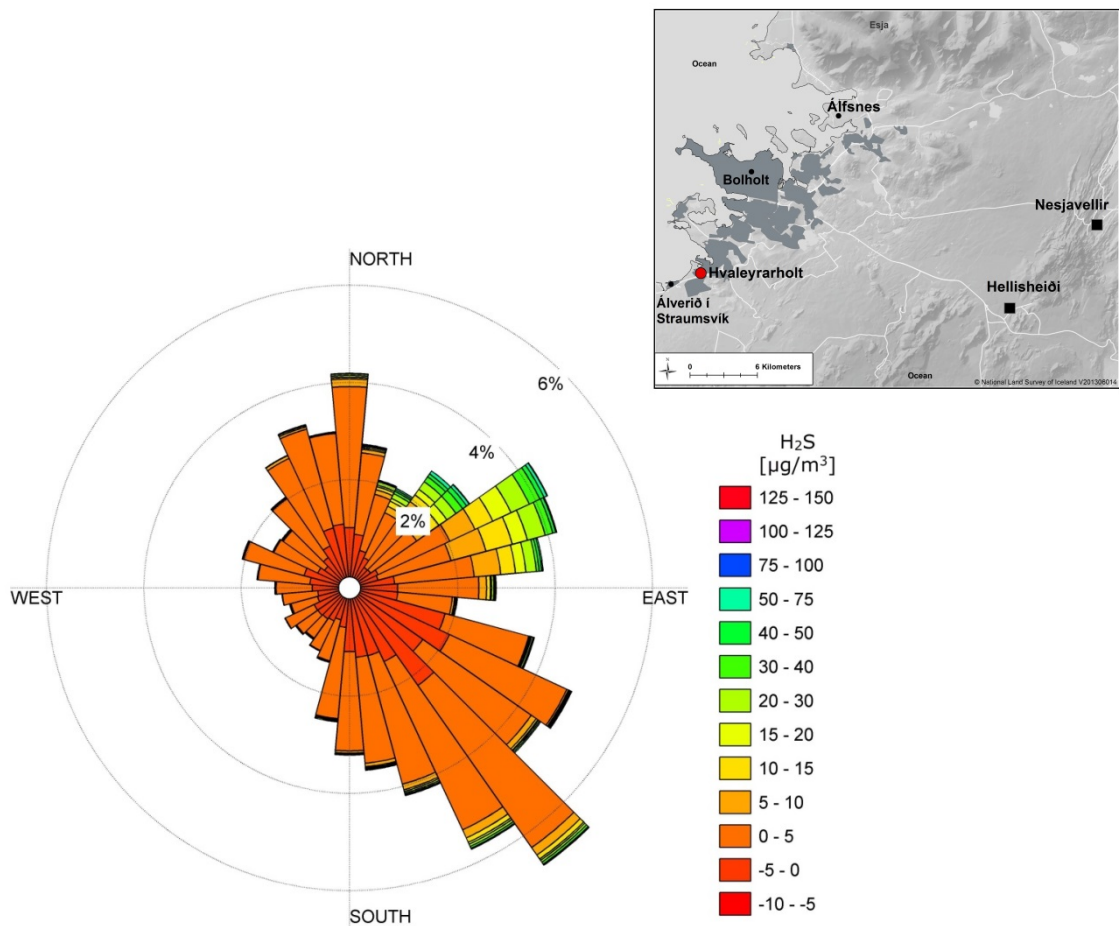
Mælingar á vegum Alcan á Íslandi hófust árið 2007. Hér eru skoðuð klukkustundar mælingar frá árunum 2012 og 2013. Vindáttarmælingar sem notaðar eru til samanburðar eru gerðar í Straumsvík og eru notuð miðgildi klukkustundar. Gögnin eru fengin hjá Umhverfisstofnun.

Mynd 8 sýnir brennisteinsvetni mælt á Hvaleyrarholti á móti vindátt mældri í Straumsvík, bláar línur eru 50, 90 og 95 hundraðshluta línur þ.e. 50, 90 og 95% allra mæligilda eru undir línunni (reiknað með 5° millibili). 90 og 95 hundraðshluta línurnar fara yfir lyktarmörk ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) í norðaustan átt þ.e. milli 16 og 91° á 90 hundraðshluta línunni og milli 8 og 99° á 95 hundraðshluta línunni en línan fer einnig yfir lyktarmörk í suðaustanátt þ.e. frá 134 til 154°. Virkjanir ON eru norðaustan við mælinn en hve langt línurnar teygja sig til norðurs er athyglisvert. Þegar mælingar voru bornar saman við vindmælingar á Hellisskarði kom í ljós að vindáttarbilið þar sem H_2S fer yfir lyktarmörk var þrengra þ.e. 90 hundraðshluta línunni var yfir $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frá 43 upp í 106°. Mögulegt er að aðstæður við veður mælinn séu þannig að norðaustanátt á svæðinu mælist sem norðanátt (t.d. er álveríð austan mælisins).

Mynd 9 sýnir vindrós með styrk H_2S mælingum á Hvaleyrarholti og vindmælingum í straumsvík. Myndin staðfestir enn betur að hæstur styrkur er í norðaustan og austanáttum og að hækkaður styrkur er einnig í suðaustan áttum. Suðaustanáttin er algengari í Straumsvík en á Hellisskarði. Vitað er að brennisteinsvetnið getur legið meðfram fjöllum í átt að Hafnafirði (Snjólaug Ólafsdóttir o.fl., 2014) og getur því verið að H_2S frá Hellisheiði berist frá virkjunum, meðfram fjöllum (m.a. Bláfjöllum) í Hafnarfjörðinn. Ekki er að sjá nein augljós merki um álverið sem er vestsuðvestan við mælinn né um jarðhitasvæðið í Krýsuvík sem er suðvestan við mælinn en eins og vindrósin sýnir er vindur úr þessum áttum sjaldgæfur.



Mynd 8. Brennisteinsvetni á Hvaleyrarholti á móti vindátt í Straumsvík. Bláar línur sýna 50, 90 og 95 hundraðshlutanur.



Mynd 9. Vindrós með styrk brennisteinsvetnis eftir vindátt. Mælingar á brennisteinvetni frá Hvaleyrarholti en á vindátt frá Straumsvík. Kort sýnir afstöðu mælist og virkjana og hugsanlegra annarra uppsprettna.

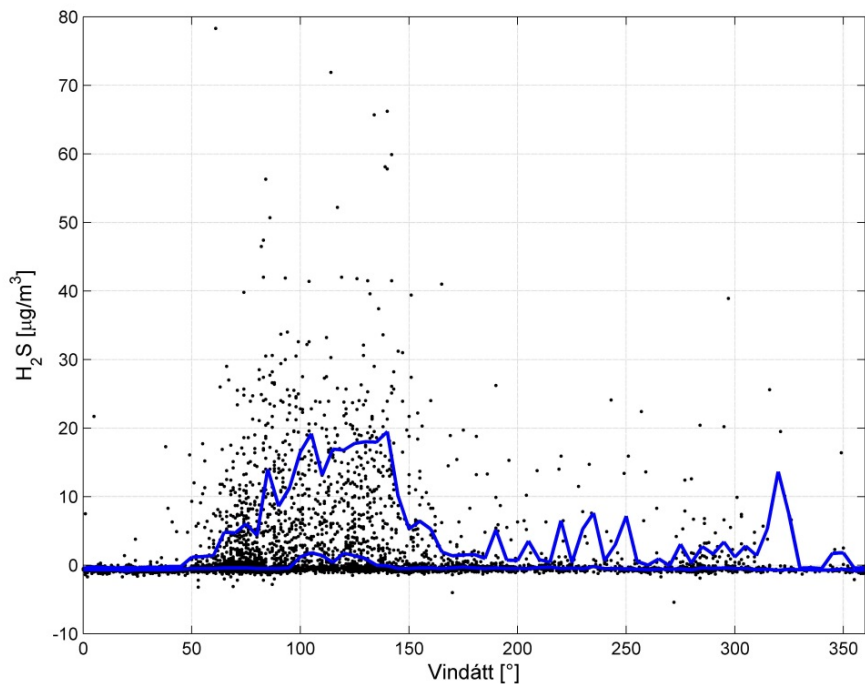
3.6. Mælingar í Mosfellsbæ

Umhverfisstofnun var með færanlegan mæli staðsettan að Völuteigi 15 í Mosfellsbæ frá 5. október 2012 til 16. maí 2013. Hér eru borin saman óyfirfarin klukkustundar H_2S gildi og klukkustundargildi vinds (þ.e. mæld á heila tímanum).

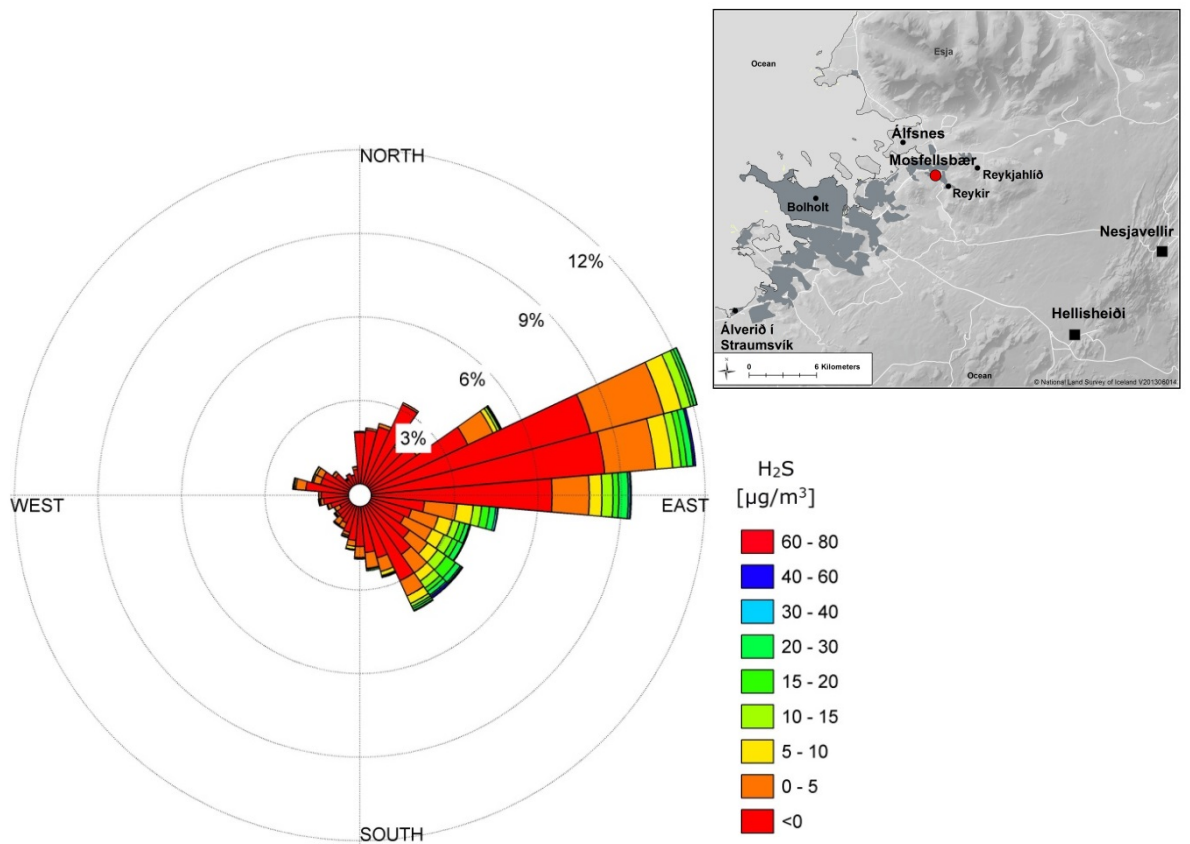
Mynd 10 sýnir brennisteinsvetni mælt í Mosfellsbæ á móti vindátt mældri á sama stað, bláar línur eru 50 og 90 hundraðshluta línur þ.e. 50 og 90% allra mæligilda eru undir línunni (reiknað með 5° millibili). 90 hundraðshluta línan hækkar mest í austan og suðaustanátt þ.e. frá 81 til 148° sem er í vindátt frá virkjunum ON en einnig nær hún lyktarmörkum í suðvestanátt u.þ.b. 230 - 250° og enn aftur í norðvestan þ.e. 315 til 325° . Hækkun á styrk í norðvestanátt samræmist staðsetningu urðunarstaðarins í Álfsnesi.

Mynd 11 sýnir að austlægur áttir eru algengastar á svæðinu og að hækkaður styrkur er frá norðaustri til suðausturs. Suðvestanáttir eru fátíðar eins og sést á vindrósinni og hækkun á styrk þar (Mynd 10) gæti verið vegna mæliaðferðar en einnig gæti hækkunin verið í samhengi við lækkun í landslægi sunnan mælis, milli Ulfarsfells og Hádegisfells, þetta þyrfti þó að athuga betur. Borholur í Mosfellsbænum eru staðsettar að Reykjum og í Reykjahlíð, norðaustan, austan og suðaustan við mælinn (sjá viðauka A),

sem eru þær áttir sem búast mætti við styrk frá virkjununum og því erfitt að meta hve hár styrkur er af þeirra völdum.



Mynd 10. Brennisteinsvetni í Mosfellsbæ á móti vindátt. Bláar línur sýna 50 og 90 hundraðshlutfalínur.



Mynd 11. Vindrós með styrk brennisteinsvetnis í Mosfellsbæ eftir vindátt.

3.7. Samantekt á H₂S styrk á höfuðborgarsvæðinu

Stærsta uppspretta H₂S á höfuðborgarsvæðinu eru jarðvarmavirkjanir á Hengilsvæðinu, minni uppsprettur eru þó fyrir hendi. Aðrar uppsprettur eru t.d. jarðhitamannvirki OR og urðunarstaðurinn Álfsnesi. Í Norðlingaholti sáust engar uppsprettur aðrar en jarðvarmavirkjanirnar. Á Grensásvegi var hæstur styrkur í vindátt frá virkjununum en nokkur hækkuð gildi voru úr annarri vindátt. Ekki er loku fyrir það skotið að þetta sé frá öðrum uppsprettum, þó gæti einnig verið að staðbundnar vindaðstæður á horni Grensásvegur og Miklubrautar hafi þarna áhrif. Á Hvaleyrarholti var hæstur styrkur í norðaustanátt en einnig voru hágildi í suðaustanátt, báðar áttir benda til áhrifa frá jarðvarmavirkjunum. Í Mosfellsbæ var hæstur styrkur í austlægum áttum en einnig fór styrkur að hluta til yfir lyktarmörk í norðvestlægum áttum sem bendir til áhrifa frá urðunarstaðnum í Álfsnesi. Borholur í eigu OR í Mosfellsbæ eru staðsettar þannig að sama vindátt ætti að sýna hækkaðan styrk frá þeim og frá jarðvarmavirkjununum og því ekki hægt að meta hversu mikil áhrif þær hafa með þeim aðferðum sem notaðar voru hér. Mælingar með handmæli sýndu fram á að styrkur er vegna þessara mannvirkja en ekki hversu mikill hann er. Til að athuga þetta nánar mætti fylgjast vel með veðurspá og/eða kvörtunum og fara með handmæli og mæla þegar vitað er að aðstæður gætu gefið háan styrk þ.e. kalt, lítill vindur, heiðskýrt en engin sól (um morgun eða kvöld).

4. Áhrif Sulfix

Niðurdæling á brennisteinsvetni aftur niður í jarðhitageyminn hófst á Hellisheiði 2014. Niðurdæling var nærri samfelld frá byrjun júní. Samanburður á mælingum í júní til og með september var gerð til að athugunar á því hvort breyting hefði orðið á H₂S styrk í Norðlingaholti og í Hveragerði á þessu tímabili á milli áranna 2013 og 2014. Á meðan gosmengun (SO₂) frá eldgosinu í Holuhrauni stendur er ekki marktækt að bera saman mælingar yfir vetrarmánuðina fyrir og eftir að niðurdæling hófst.

Tafla 1 sýnir meðal H₂S styrk, meðal vindhraða, meðal hitastig og meðal úrkomu á tímabilinu árin 2013 og 2014 þegar vindáttin var af virkjununum að mælinum í Norðlingaholti þ.e. 54-131° (sbr. Mynd 3). Ekki er marktækur munur á styrk H₂S í Norðlingaholti milli ára þrátt fyrir niðurdælingu á brennisteinsvetni. Vindstyrkur er ögn lægri 2014 sem hefði e.t.v. átt að gefa tilefni til hækkunar styrks. Hitastig hækkar milli ára en þegar milt er ætti breyting í hitastigi ekki að hafa áhrif (Snjólaug Ólafsdóttir og Sigurður M. Garðarsson, 2013). Úrkoma er sambærileg.

Tafla 2 sýnir meðaltöl frá Hveragerði frá júní til og með september 2013 og 2014 þegar vindátt var frá virkjununum þ.e. 298° til 344° (Snjólaug Ólafsdóttir, 2014). Styrkur lækkaði milli ára um tæp 29%, vindstyrkur lækkaði lítillega einnig en þó gæti verið um áhrif frá niðurdælingu að ræða. Samanburðartímabilið hér er stutt eða aðeins 4 mánuðir og yfir sumarmánuðina þegar ekki er von á háum styrk H₂S. Betra væri að bera saman lengra tímabil en ekki þótti óhætt að gera það hér þar sem mælum

ON var breytt m.t.t. mælinga á SO₂ 22. september 2014 vegna eldgos í Holuhrauni. Hér verða lagðar fram tillögur að mælingum til að sjá ávinning Sulfix betur.

Tafla 1. Meðal styrkur H₂S, meðal vindstyrkur, meðal hitastig og meðal úrkoma í Norðlingaholti í vindáttinni 54-131° frá júní til september árin 2013 og 2014.

Ár	H ₂ S [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Vindstyrkur [m/s]	Hitastig [°C]	Úrkoma [mm]
2013	3,7	4,1	9	0,6
2014	3,9	3,6	10,3	0,5

Tafla 2. Meðal styrkur H₂S, meðal vindstyrkur, meðal hitastig og meðal úrkoma í Hveragerði í vindáttinni 54-131° frá júní til september árin 2013 og 2014.

Ár	H ₂ S [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Vindstyrkur [m/s]	Hitastig [°C]	Úrkoma [mm]
2013	12,9	3,8	9,7	0,06
2014	9,2	3,3	10,7	0,06

4.1. Tillaga að mæliaðferðum

Þegar skoða á ávinning af mótvægisaðgerðum útblásturs, s.s. af niðurdælingu H₂S er markvissast að skoða sem lengstar tímaraðir fyrir og eftir breytingu. Sé það ekki hægt væri möguleiki að notast við veðurspár til að finna tvo samliggjandi daga þar sem svipuðu veðurfari væri spáð og hafa niðurdælinguna í gangi annan daginn en slökkva á dælingunni hinn daginn og bera saman mælingar báða dagana. Þetta þyrfti helst að endurtaka um 3 sinnum svo vel sé þ.e. að finna 3 sett af mælidögum. Best væri að notast bæði við símælingarnar á höfuðborgarsvæðinu og við punktmælingar á fyrirfram ákveðnum stöðum. Þessar mælingar þurfa þó að bíða þar til gosi í Holuhrauni líkur þar sem mælingar á H₂S eru ónákvæmar þegar SO₂ gildi eru mjög há eins og rætt er um í kafla 2.1.

5. Lækjarbotnar

Áhyggjur hafa verið viðraðar vegna styrks brennisteinsvetnis að Lækjarbotnum þar sem Waldorfskóli er starfræktur. Í minnisblaði frá Heilbrigðiseftirliti Hafnafjarðar og Kópavogssvæðis (2013) kemur fram að á tímabilinu 18. september 2012 til janúarloka 2013 hafi styrkur ítrekað farið yfir 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ í nokkrar klukkustundir og á sama tíma hafi styrkur verið hækkaður í Norðlingaholti og/eða Hvaleyrarholti. Tekið skal fram að mælir Heilbrigðiseftirlitsins hafði ekki verið kvarðaður samkvæmt samþykktum verklagsreglum þegar mælingar fóru fram en þær gefa engu að síður ákveðna vísbendingu um stöðu mála.

Lækjarbotnar eru austan Reykjavíkur en vestan virkjana (sjá Mynd 2) og er Hellisheiðarvirkjun u.þ.b. 13 km austsuðaustan við skólann og Nesjavallavirkjun u.þ.b. 20 km norðaustan við skólann. Ríkjandi vindátt á svæðinu er austanátt þ.e. úr austnorðaustri til suðausturs (Einar Sveinbjörnsson, 2014). Það þýðir að ríkjandi vindátt í Lækjarbornum er frá virkjanasvæðunum.

Skólinn stendur við/í fjalli sunnan Suðurlandsvegur og liggja fjöll í kring þannig að við ákveðin vindskilyrði gæti H_2S legið meðfram þeim og að skólanum. Skv. Snjólaugu Ólafsdóttur o.fl. (2014) getur H_2S legið meðfram Bláfjöllum að Hafnarfirði og í gegnum fjallaskörð á svæðinu í hlutlausu eða stöðugu andrúmslofti. Ætla má að hið sama gæti gilt um fjöllin meðfram Suðurlandsvegi.

Því má segja að vegna legu Lækjarbotna, staðsettir í lítilli dæld í fjallshlíð undan ríkjandi vindátt frá jarðvarmavirkjunum í Hengilinum, séu þeir líklega útsettir fyrir hækkuðum H_2S styrk í andrúmslofti. Eins eru líkur á að mengun vegna umferðar við Suðurlandsveg geti haft áhrif á loftgæði þar. Hvort styrkur þar fari yfir heilsuverndarmörk er þó óvíst enn sem komið er, en þar er ON að setja upp færnanlegan H_2S mæli. Á meðan á eldgosu stendur verða þær mælingar þó háðar sömu óvissu og aðrar mælingar á höfuðborgarsvæðinu.

6. Gufuháfur

Ein af þeim aðgerðum sem ON ætlar að fara í til að minnka H_2S styrk á höfuðborgarsvæðinu er að reisa gufupeysi í Hellisskarði þar sem H_2S verður losað þegar veðuraðstæður benda til hækkunar á andrúmsloftsstyrk í höfuðborginni.

Rannsóknir og athuganir gefa til kynna að hækkuð mæligildi brennisteinsvetnis verða einkum við tvenns konar veðuraðstæður.

1. Í hægum A-lægum vindi þegar hitahvörf eru ýmist við jörðu eða nærri yfirborði.
2. Í A-golu eða blæstri þar sem standandi fjallabylgja af Reykjafelli beinir gufu frá kæliturnum Hellisheiðarvirkjun aftur niður til jarðar.

Hækkuð gildi verða einkum þegar loft er stöðugt eða millistöðugt. Merkjanleg inngeislun sólar eykur á óstöðugleika og lóðréttu blöndun lofts. Að deginum yfir sumarhelming ársins verður því sjaldnast vart við hækkaðan styrk H_2S á Höfuðborgarsvæðinu (Einar Sveinbjörnsson, 2014).

7. Heimildir

Alþjóða heilbrigðisstofnunin (WHO). (2000). Air Quality Guidelines for Europe (2. útgáfa). Efni af geisladisk.

Bjarni Már Júlíusson (verkefnisstjóri). Verkefnisáætlun SulFix. Um förgun brennisteinsvetnis frá jarðgufuvirkjunum. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur – Landsvirkjun – HS Orka.

Einar Sveinbjörnsson. (2014). Tíðni veðurskilyrða fyrir gufuþeysi í Hellisskarði – frumathugun. Minnisblað unnið fyrir Orku Náttúrunnar.

Heilbrigðiseftirlit Hafnafjarðar- og Kópavogssvæðis. Mælingar á brennisteinsvetni (H₂S) í Kópavogi frá 18. september 2012 til janúarloka 2013. Sótt af:

http://www.heilbrigdiseftirlit.is/innihald_heimasida/Umhverfi/loftgaedi/M%C3%A6lingar%20%C3%A1%20H2S%20%C3%AD%20K%C3%B3pavogi%20sept%202012%20til%20jan%202013.pdf

Kourtidis, K., Kelesis, A., Maggana, M., Petrakakis. (2004). Substantial traffic emissions contribution to the global H₂S budget. Geophysical Research Letters 31, L18107.

Sigurður Páll Steindórsson, vélaverkfræðingur hjá Mannvit. (2014). Upplýsingar í tölvupósti 3. júní 2014.

Snjólaug Ólafsdóttir. (2014). Brennisteinsvetni í Hveragerði. September 2012 – mars 2014. Orkuveita Reykjavíkur.

Snjólaug Ólafsdóttir, Sigurður M. Garðarsson, Hrund Ó. Andradóttir. (2014). Spatial distribution of hydrogen sulfide from two geothermal power plants in complex terrain. Atmospheric Environment 82, 60-70.

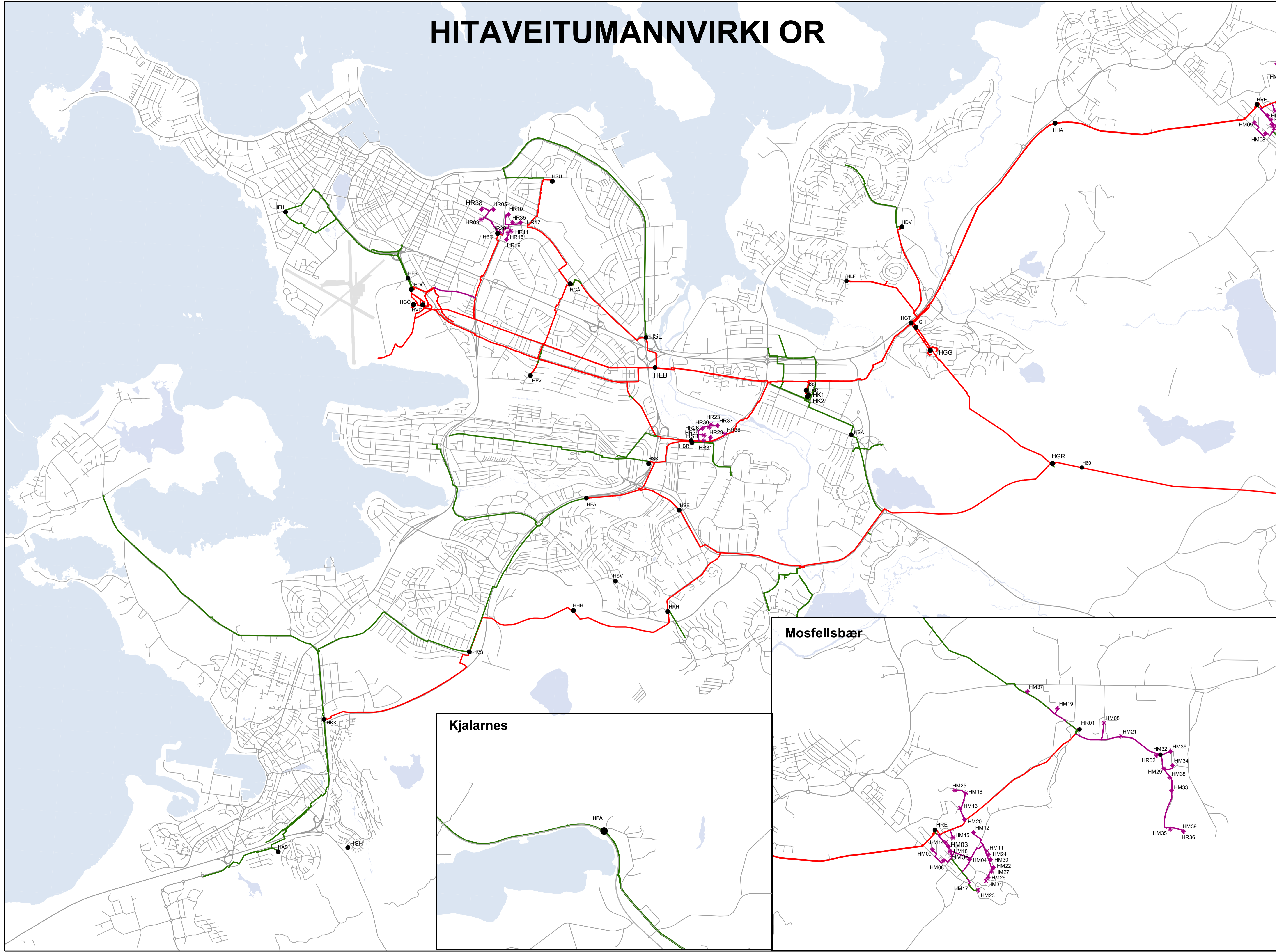
Snjólaug Ólafsdóttir, Sigurður M. Garðarsson. (2013). Impacts of meteorological factors of hydrogen sulfide concentration downwind of geothermal power plants. Atmospheric environment 77, 185-192.

Þröstur Þorsteinsson, Julia Hackenbruch, Einar Sveinbjörnsson, Þorsteinn Jóhannsson. (2013). Statistical assessment and modeling of the effects of weather conditions on H₂S plume dispersal from Icelandic geothermal power plants. Geothermics 45, 31-40.

Viðauki A

Hitaveitumannvirki Orkuveitur Reykjavíkur.

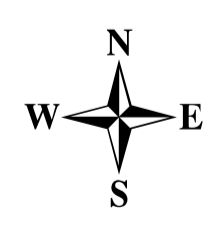
HITAVEITUMANNVIRKI OR



- Skýringar**
- mannvirki
 - ✱ borholur
 - safnað
 - flutningsað
 - stofnað

Vinnusæting	Eign framleiðslu
H00	Stýðing Reykjavírarheiti
H01	Árógarstöð
H02	Boðstöð
H03	Brautstöð
H04	Víkuvogstöð
H05	Dalstöð Óskjális
H06	Elfbáttunur
H07	Stýðing Fúðvæmmi
H08	Fossvogstöð
H09	Gemmasstöð
H10	Geymar Grafarholti
H11	Grafarhólabíó
H12	Geymar Reykjavírarheiti
H13	Lokahús á Grafarholti, neðra
H14	Lokahús undir geymum/Geymar Óskjális
H15	Hampráðunur
H16	Stýðing Hróðarholti
H17	Kyðstöð 1
H18	Kyðstöð 2
H19	Stýðing Kaplakrika
H20	Dalstöð Lagafellis
H21	MG-3 Reykr
H22	MG-4 Reykr
H23	MG-5 Reykr
H24	MG-6 Reykr
H25	MG-7 Reykr
H26	MG-8 Reykr
H27	MG-9 Reykr
H28	MG-10 Reykr
H29	MG-11 Reykr
H30	MG-12 Reykr
H31	MG-13 Reykr
H32	MG-14 Reykr
H33	MG-15 Reykr
H34	MG-16 Reykr
H35	MG-17 Reykr
H36	MG-18 Reykr
H37	MG-19 Reykjalís
H38	MG-20 Reykr
H39	MG-21 Reykjalís
H40	MG-22 Reykr
H41	MG-23 Reykr
H42	MG-24 Reykr
H43	MG-25 Reykr
H44	MG-26 Reykr
H45	MG-27 Reykr
H46	MG-28 Reykjalís
H47	MG-29 Reykjalís
H48	MG-30 Reykr
H49	MG-31 Reykr
H50	MG-32 Reykjalís
H51	MG-33 Reykjalís
H52	MG-34 Reykjalís
H53	MG-35 Reykjalís
H54	MG-36 Reykjalís
H55	MG-37 Reykjalís
H56	MG-38 Reykjalís
H57	MG-39 Reykjalís
H58	RV-05 Laugarnes
H59	RV-09 Laugarnes
H60	Reykjalísstöð 1
H61	RV-10 Laugarnes
H62	RV-11 Laugarnes
H63	RV-15 Laugarnes
H64	RV-17 Laugarnes
H65	RV-19 Laugarnes
H66	Reykjalísstöð 2
H67	RV-20 Laugarnes
H68	RV-23 Elilábravæði
H69	RV-25 Elilábravæði
H70	RV-26 Elilábravæði
H71	RV-29 Elilábravæði
H72	RV-30 Elilábravæði
H73	RV-31 Elilábravæði
H74	RV-35 Laugarnes
H75	RV-36 Elilábravæði
H76	RV-37 Elilábravæði
H77	RV-38 Laugarnes
H78	RV-39 Laugarnes
H79	Reykjalís
H80	Dalstöð Rjúplássar
H81	Stækjarbakunur
H82	Seljahverfisunur
H83	Stýðing við Steinvung
H84	Súlfurandbrautunur (M-1)
H85	Skerpstöð
H86	Sundlagastöð
H87	Villistabrunnur
H88	Lokahús Óskjális
H89	HVO

Vinnusæting	Eign dreifingar
HAS	Dalstöð Áslandi
HFA	Fálkatunur
HFB	Flugvallarunur
HFH	Dalstöð Fornaga
HSA	Sellassöð
HSD	Selbunur
HSH	Dalstöð við Sónaskóli



Mælikvarði
1:25.000

