

LV-2016-069



Landsvirkjun



Veðurmælingar í Bjarnarflagi og nágrenni

Úrvinnsla og líkleg dreifing brennisteinsvetnis frá jarðhitavirkjun

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2016-069

Dags: 20. maí

Fjöldi síðna: 37

Upplag: 3

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Veðurmælingar í Bjarnarflagi og nágrenni

Höfundar/fyrirtæki: Einar Sveinbjörnsson, Veðurvaktin ehf

Verkefnisstjóri: Sigurður Markússon

Unnið fyrir: Landsvirkjun, jarðavarmi

Samvinnuaðilar:

Útdráttur: Unnið er úr veðurmælingum úr sérstöku mælingamastri sem starfrækt var í Bjarnarflagi 2013-2015 auk veðurmælingum uppi á Námafjalli. Út frá hitafalli með hæð er stöðugleiki loftsins greindur. Hann hefur mest að segja ásamt vindáttinni fyrir dreifingu brennisteinsvetnis yfir byggðina við Mývatn. Frá Námafjalli stafa fjallabylgjur í A-og NA-átt, einkum þegar loft er hlutlaust eða millistöðugt. Gerðar voru athuganir með veðurbelg sem staðfestu tilurð bylgnanna þar sem brennisteinsvetni jarðhitavirkjunar í Bjarnarflagi mundi beinist niður til yfirborðs í stað þess að þynnast í 50-200 metra hæð. Yfir vetrarhelming ársins má ætla að brennisteinsríkt loft berist yfir þéttbýlið við Reykjahlíð eða Voga í allt að 12% alls tímans. Bent er á mótvægisáðgerðir, m.a. þær að beina gasinu burtu og losa það þar sem skilyrði til blöndunar og þynningar eru betri.

Lykilorð: Jarðgufuvirkjun, brennisteinsvetni, stöðugleiki, vindmælingar, svæling, hitahvörf.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Sigurður Markússon

Veðurmælingar í Bjarnarflagi og nágrenni

Úrvinnsla og líkleg dreifing brennisteinsvetnis frá
jarðhitavirkjun

1.0 Inngangur	1
2.0 Stutt lýsing á staðháttum og vindafari	2
3.0 Veðurathuganir og gagnaskil	4
3.1 Mælingar í 30 metra mastri	4
4.0 Hitafallandi með hæð og stöðugleikagreining	5
4.1 Stöðugleiki lofts við Mývatns, jaðarlag og hitahvörf	5
4.2 Pasquill stöðugleikagreining.....	9
4.2.1 21. febrúar 2015	12
4.2.2 29. desember 2015	14
4.3 Stöðugleiki eftir vindáttum	15
4.3.1 Nánar um A-átt	18
4.4 Brennisteinsvetni með A-átt yfir Reykjahlíð og nágrenni	21
5.0 Mælingar á Námafjalli og samanburður við Bjarnarflag	22
6.0 Nokkrar ályktanir	25
6.1 A-gola í hlutlausu og millistöðugu lofti	25
7.0 Samantekt og umræður	27
Viðaukar.....	29
Viðauki 1. Lýsing tveggja mælingaferða með helíumloftbelg.....	29
Viðauki 2. Mælingar í mastri Bjarnarflags frá júlí 2013 – júlí 2015.....	33

1.0 Inngangur

Fyrirhuguð er uppbygging jarðvarmavirkjunar í Bjarnarflagi, en frá fyrri tíð er lítil 3 MW jarðhitavirkjun í Bjarnarflagi. Áætlanir gera ráð fyrir að auka vinnslu í tveimur aðskyldum 45 MW áföngum þar sem háhitasvæðið við Námafjall væri nýtt. Jarðhitavinnslu hér á landi fylgir losun brennisteinsvetnis í mismiklum mæli. Á síðsutu árum hafa sjónir manna, í auknum mæli, beinst að heilsufarsálagi brennisteinsvetnis. En einnig til hvaða mótvægisáðgerða hægt væri að grípa í því skyni að auka þynningu eða hreinlega að freista þess að fjarlægja brennisteinsvetni úr útblæstri jarðgufuvirkjana. Brennisteinsvetnismælum hefur víða verið komið upp á síðustu árum í tengslum við jarðhitavinnslu eða fyrirhugaða jarðhitavinnslu. Það á m.a. við í Mývatnssveit, einkum í og við þéttbýlið í Reykjahlíð þar sem Landsvirkjun hefur rekið nokkra mæla. Þá stóð Landsvirkjun að uppsetningu veðurstöðva í grennd við Bjarnarflag og um tveggja ára skeið var mælt í 30 m. mastri og eins var mæli uppi á hábungu Námafjalls. Tilgangur þessara mælinga var að afla gagna um lóðsnið hita- og vinds í grennd við fyrirhugaða vikjun og kanna algengi þess að loft er stöðugt með hitahvörfum við jörðu. Slíkt veðurlag leiðir til svælingar gufu með yfirborði jarðar og útslag á mælum fylgir gjarnan. Einnig að könnuð yrðu tengsl hita við vindafar og algengi þess að austlægar vindáttir koma til með að beina brennisteinsríkri gufu yfir byggð við Mývatn, einkum Reykjahlíð og Voga.

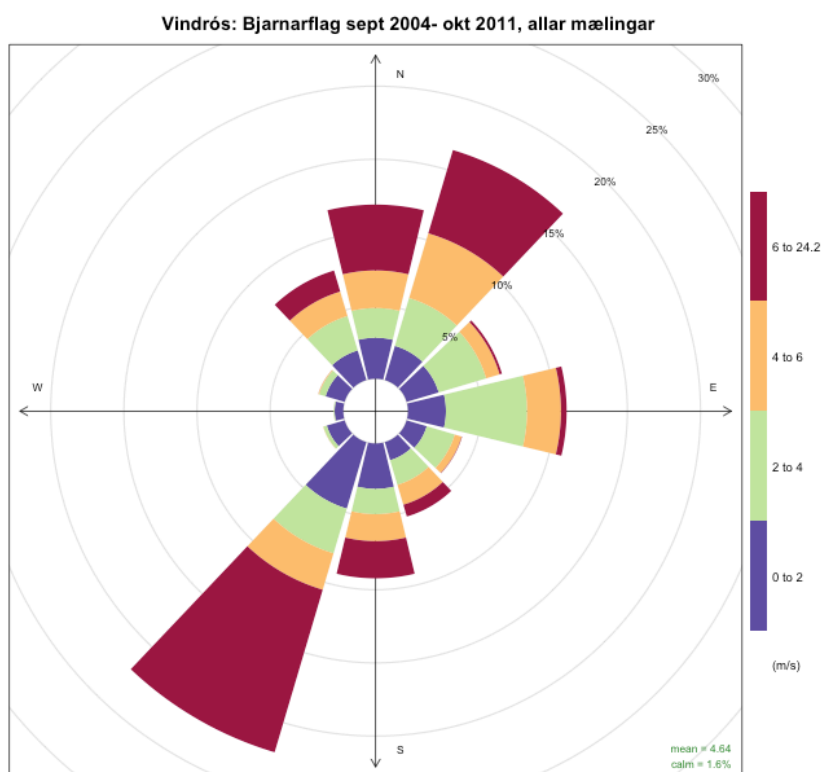
Þessi samantekt felur í sér greiningu á veðurmælingum við Bjarnarflag. Út frá hitafalli með hæð eru skilgreindir stöðugleikaflokkar lofts sem segja aftur til um getu til blöndunar og þynningar. Mengunarmælingar gefa til kynna við hvaða veðuraðstæður brennisteinsvetni, frá núverandi virkjun og opnum jarðhitasvæðum, leggur yfir byggð. Slík tilvik eru greind og lagt mat á tíðni þeirra m.a. með samanburði við veðurmælingar sem hefur verið haldið úti um árabíl s.s. stöð VÍ á Neslandatanga og eldri mælingar LV í Bjarnarflagi. Þá eru í lokin viðraðar hugmyndir að mótvægisáðgerðum eins og hvernig hægt sé að auka á þynningu brennisteinsvetnis með mögulegum flutningi útrásarops frá sjálfu stöðvarhúsinu.

2.0 Stutt lýsing á staðháttum og vindafari

Í september 2004 kom Veðurstofan upp að beiðni Landsvirkjunar veðurathugunarstöð af hefðbundinni gerð nálægt þeim stað sem stöðvarhúsi væntanlegrar virkjunar er ætlað að rísa. Mælingum lauk í október 2012 þegar jarðvegi á stöðvarhúslóðinni var rutt burt. Mælingarnar eru samfelldar og gefa ágæta mynd af staðháttum og vindafari við Bjarnarflag. Ágætt er líka að hafa mælingar Veðurstofunnar á Neslandatanga við Mývatn til hliðsjónar frá 1996.

Landshættir, bæði nærri Kröflu og við Bjarnarflag eru með þeim hætti að fjallshryggir myndaðir af eldvirkni liggja allir því sem næst í stefnuna NNA – SSV eða í 10 ° til 30°. Á milli hryggjanna eru síðan dalir eða sigdældir. Ríkjandi vindáttir eru tvær, þ.e. það blæs meðfram hryggjunum og landslagið hefur þannig veruleg áhrif.

Vindrós fyrir Bjarnaflag (mynd 1) gefur vel til kynna að höfuðáttirnar eru tvær; NNA og SSV. NV-átt kemur fyrir, en hún er oftast mjög hæg og bundin við sumartímann að mestu. Vindur af A þekkest einnig, en A-áttin hæg og næstum alltaf hægari en 6 m/s. Það er hins vegar SSV-áttin sem eitthvað kveður að. Að meðaltali blæs hún af styrk sem er ríflega 8 m/s að vetrarlagi (nóv-mars). NNA-áttin er markvert hægari að jafnaði. Athygli vekur í Bjarnarflagi hvað stormar ($f > 20$ m/s) eru fátíðir og til samanburðar er tíðni þeirra aðeins um þriðjungur þess sem er á Neslandatanga. Þar er helsta illviðráttin sú sama, þ.e. SSV og vond veður af NNA koma mun sjaldnar fyrir. Hægviðrasamt er í Bjarnaflagi og aðeins í um fjórðungi allra mælinga að vetrinum er vindhraðinn 8 m/s eða meiri.



Mynd 1. Vindrós upp úr eldri mælingum í Bjarnarflagi. Frá upphafi 2004 til loka 2012.

Tafla 1 sýnir meðalvindhraða í Bjarnarflagi þau árin sem þar var mælt samanborið við nokkrar nálægar veðurstöðvar.

Tafla 1. Meðalvindhraði nokkrum stöðvum

2004-2012 [m/s]		
	Vetur okt-apríl	Sumar maí-sept
Bjarnarflag	5,1	3,8
Neslandstangi	5,7	4,5
Hólasandur	6,3	5,0
Mývatnsheiði	6,1	4,8

Miklu munar hversu hægviðrasamara er í Bjarnarflagi, en á hinum stöðvunum þremur sem reyndar eru allar á bersvæði. Nærlandslagið veitir því markvert skjól í Bjarnarflagi. Í byggð gæti óvída meiri meginlandsloftslags en nærri Mývatni. Áhrif sjávarhitans eru takmörkuð og stillur eru tíðar. Einkenni hitafars verða tilgreindar betur síðar.

3.0 Veðurathuganir og gagnaskil

Komið var fyrir hefðbundnum veðurmæli á Námafjalli í 403 m hæð (65.63098,-16.83038). Vindur var mældur í 10 m hæð og hiti og raki í tveggja metra hæð yfir jörðu. Mælingar hófust 8. maí 2013, en svo óheppilega vildi til að mastrið fauk í óveðri 8. janúar 2015 og það var ekki endurreist. Nokkru fyrir eða 29. nóvember fraus vindmælirinn fastur. Frekari ísing hlóðst á þar til til stöðin féll. Hitamælir í 2 m hæð reyndist trúverðugur allan tímann, en auk hans var komið fyrir hitamæli í 10 metra hæð. Sá hitanemi sýndi augljóslega röng gildi frá fyrsta degi.

Komið var fyrir 30 metra mastri á dálitilli hæð skammt austan við Jarðböðin í 340 m hæð (65.63178 - 16.83894). Mælingar hófust 10. júlí 2013, en mastrið var tekið niður 3. júlí 2015. Reksturinn stóð því yfir í tæplega 2 ár. Gagnaskil voru með ágætum og skil inn í sameiginlega gagnatöflu allra mælinga námu 97,4%. Vandræði voru með gagnaskil á þremur aðgreindum tímabilum (tafla 2) og þau má mjög líklega rekja til straumleysis stöðvarinnar.

Tafla 2. Yfirlit yfir gagnavöntun

Gagnavöntun í 30m mastri
10. nóv - 21. nóv 2014
18. - 19. des 2014
12. - 20. jan 2015

Mæld var vindátt, vindhraði, hiti og raki í nokkrum hæðum eins og sjá má í töflu 3. Gögnum var safnað saman á 10 mínútna fresti. Gagnataflan inniheldur því rétt rúmlega 100 þúsund færslur.

Tafla 3. Yfirlit viðfanga mælinga

Mælingar í 30 m mastri	2 m	10 m	20 m	30 m
Vindátt [d]	X	X		X
Vindhraði [f]	X	X		X
Hiti [t]	X	X	X	X
Raki [rh]	X	X		X

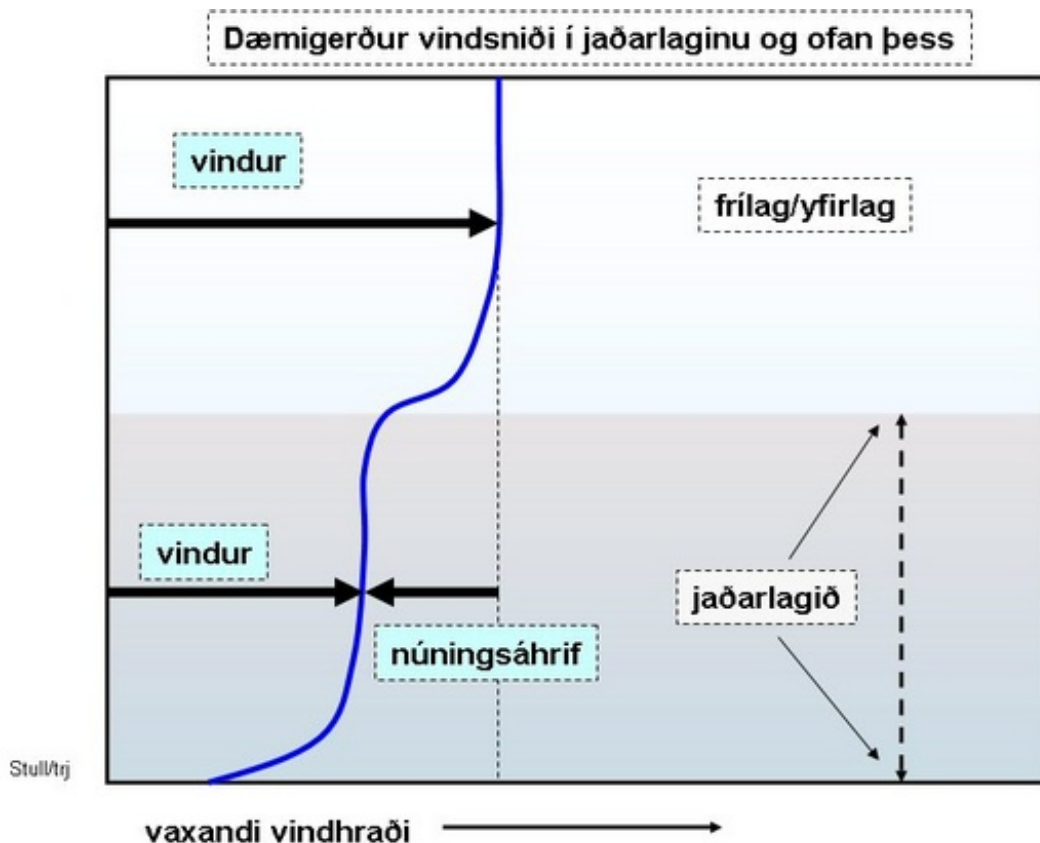
3.1 Mælingar í 30 metra mastri

Hita- og vindmælingar í mastri hafa einkum tvíþættan tilgang: Að greina það hvernig yfirborð- og yfirborðsgerð mótar vind í lægstu lögum, bæði breytingar á vindhraða og vindátt með hæð. Hitt meginmarkmiðið er að fá upplýsingar um stöðugleika neðstu loftlaga, þ.e. hitafall með hæð.

4.0 Hitafallandi með hæð og stöðugleikagreining

4.1 Stöðugleiki lofts við Mývatns, jaðarlag og hitahvörf

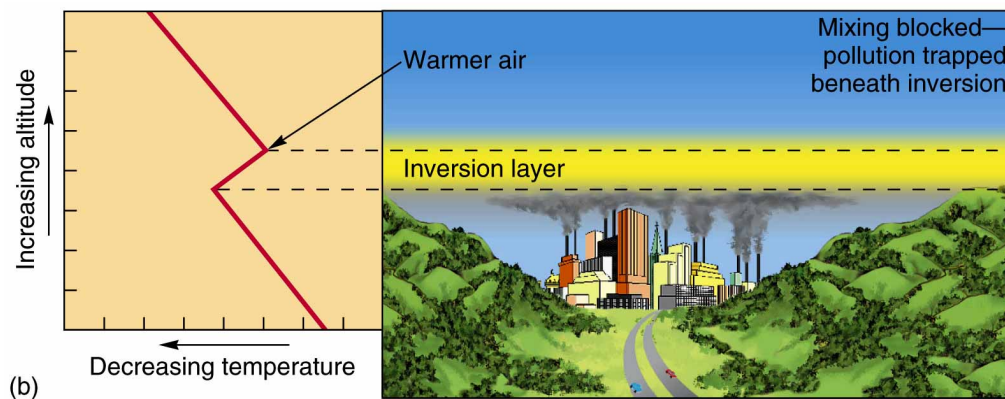
Sá hluti lofthjúpsins sem er undir áhrifum yfirborðsins er skilgreindur sem jaðarlag lofthjúps. Jaðarlagið nær gjarnan upp í um 1.000 metra hæð, en því er skipt þrjú undirlög og stundum fleiri. Mynd 2 sem fengin er úr smíðju Trausta Jónssonar¹ sýnir á einfaldaðan hátt hvernig vindhraði vex með hæð í jaðarlaginu. Núningsáhrifin eru mest neðst og þar eykst vindur hraðast. Í neðstu 50-200 m fellur hiti að jafnaði með 0,6 – 1,0 °C /100 m. Kvika loftsins (e. turbulence) ræðst af vind- og hitabreytingum með hæð í þessu neðsta lagi jaðarlagsins. Hitafall með hæð er nærri 1,0°C/100 m í vel blönduðu eða kviku lofti. Loftagnir berast þá með tilviljunarkenndum hætti og eru síbreytilegar í öllum þremur stefnuþáttum hreyfingar. Loftið er með öðrum orðum óstöðugt þar sem gas eins og H₂S blandast með kvikum lofthreyfingum í umhverfinu. Þynning styrks á brennisteinsvetni gengur þá hratt fyrir sig skammt frá losunaropi. Annað sem hefur áhrif á kvikuhreyfingar er núningur vinds við yfirborð þar sem kvikan eykst með vaxandi vindhraða og auknu yfirborðshrýfi. Þriðji áhrifaþáttur á kviku í lofti er varmastraumur frá yfirborði og þekkt er hvernig upphitun sólar veldur uppstreymi og iðu .



Mynd 2. Endurgerð myndar úr fræðibók um jaðarlag lofthjúps (Stull, R.B. 1999).

¹ <http://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1892>

Á hinn bóginn dregur mjög úr kviku í stöðugu lofti. Blöndun loftlaga verður því lítil. Einkenni á stöðugu lofti er lítið hitafall með hæð jafnvel öfugt hitafall þar sem hiti hækkar með hæð. Stöðugt loftlag getur líka leynst á milli tveggja óstöðugra. Þannig að það er eins og ósýnilegt lok sé yfir þar sem tekur að mestu fyrir lóðrétt loftskipti eins og sýnt er á mynd 3. *Inversion layer* er oftast kallað hitahvarf í hæð eða “lokið” sem kemur í veg fyrir loftskipti. Þegar svo háttar til verður blöndun með svælingu² undir hitahvarfinu og mengunarefni leita auðveldlega aftur til yfirborðs þó þeim sé blásið út í gegnum reykháfa.



Mynd 3. Hitahvarf í hæð (e. inversion) kemur í veg fyrir loftblöndun. Erlend mynd, en á svæðum þar sem meginlandsloftslag ríkir er hitahvarf í hæð ríkjandi veðurástand að vetrarlagi, þegar yfirborðið kólnar í sífellu vegna útgeislunar.

Horfa þarf bæði til hitahvarfa við jörðu sem myndast vegna dægursveiflu hitans s.s. að haustlagi eða á vorin (og fram á sumar). Eins hitahvarfanna í hæð að vetrarlagi þegar stillur verða langvarandi og frostið í Mývatnssveit verður meira en 5 til 8 stig. Mælingar í Mývatnssveit gefa til kynna að hitafall er lítið í svælingarlaginu við þær aðstæður ólíkt því sem mynd 2 sýnir. Sjá má hitahvarfið í lofti og hvernig gufan dreifist undir “lokinu” á mynd 4. Þarna er hitahvarfið sennilega í um 40 m ofan yfirborðs. Úrvinnsla hitamælinganna í mastrinu og á Námafjalli eiga m.a. að leiða í ljós einhverja hugmynd um algenga hæð hitahvarfanna og þá dýpt svælingarlagsins.

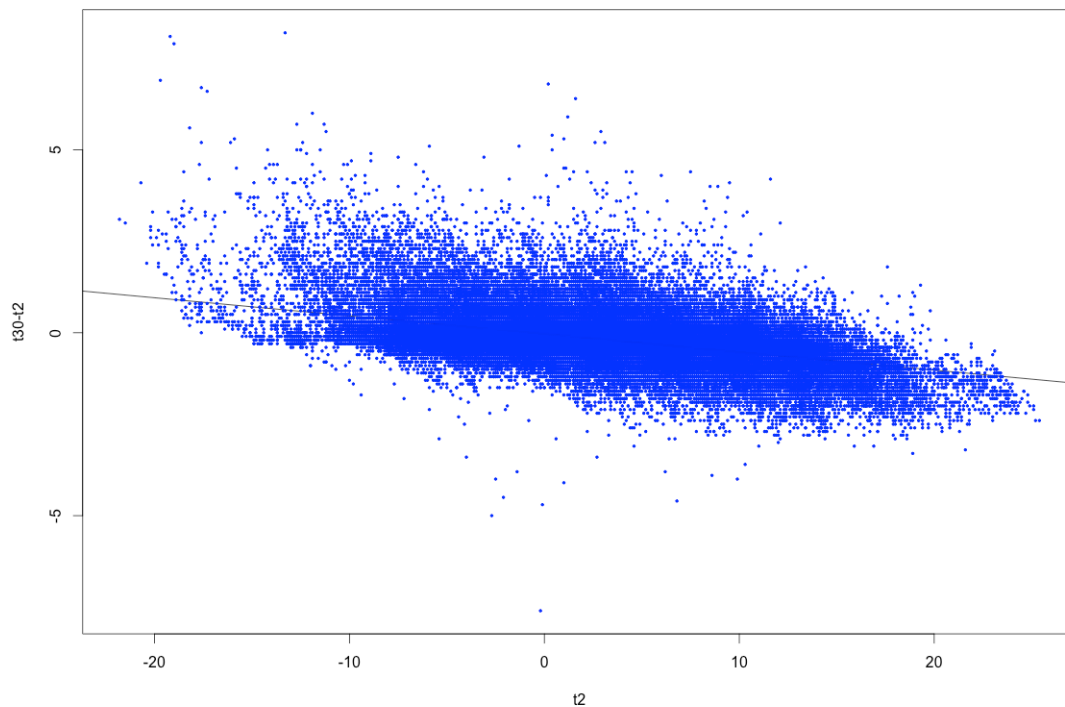
² Svæling (e. Fumigation) kallast sú dreifing mengunarefnar þegar hitahvarf í lofti lokar fyrir lóðréttu blöndun.



Mynd 4. Hitahvarf sennilega í 30-40 metra hæð, þarsem rauða línan sýnir.
Ljós: Landsvirkjun, Sigurður Markússon.

Hitamælingar í sniði í mastri Bjarnarflags gera kleyft að skoða hitafall frá 2 metra hæð upp í 30 metra hæð. Mælingarnar eru samstilltar í tíma. Meðaltala hitafalls ($t_{30} - t_2$) fyrir allt tímabilið er $-0,57^\circ\text{C}/100\text{ m}$, en frávik eru mikil. Á mynd 4 eru sýnd mæligildi annars vegar í 2 m (t_2) hæð móti hitafallinu með hæð. Mestur þéttleiki mælinganna er um beina línu með hallatölu $-0,13^\circ\text{C}$. Frávikin ofan meganklasans eða línunnar gefa til kynna stöðugt loft og frávikin eru stærri eftir því sem kaldara verður í 2 metra hæð. Það eru hitahvörf við jörðu sem þarna koma fram.

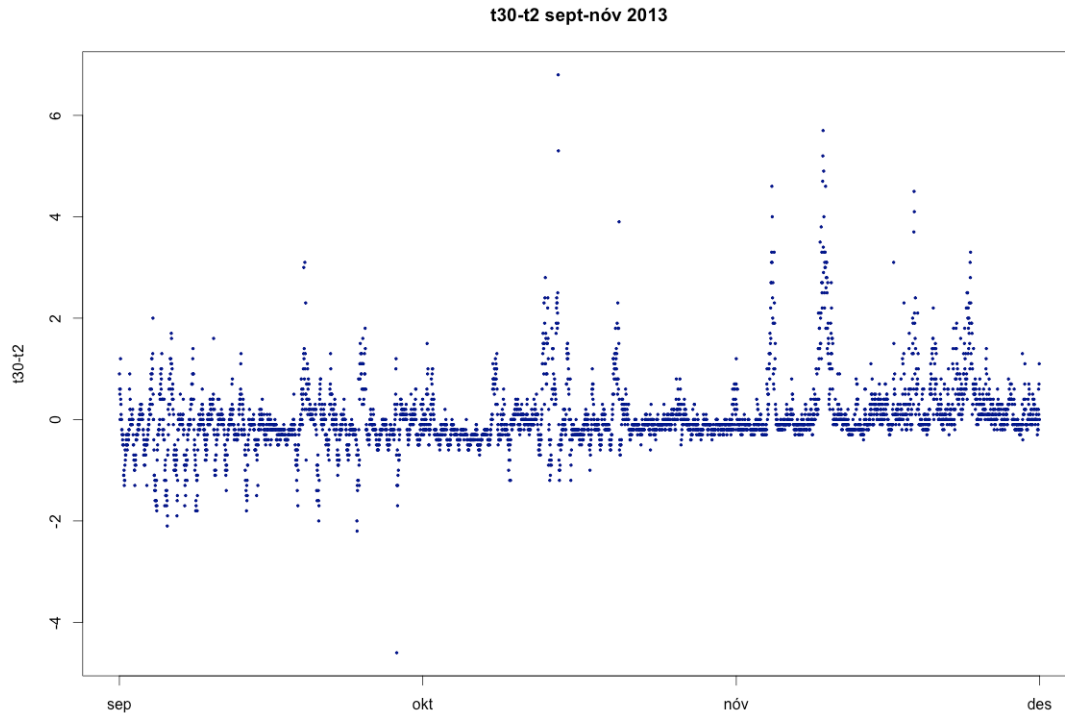
Bjarnarflag:Hiti í 2 m hæð á móti hitafalli með hæð



Mynd 5. Hiti í 2 metra hæð á móti hitafalli t30-t2. Fylgni(R^2)= - 0.421. Hallatala samsvarar $-0,13^\circ\text{C}/100\text{m}$

Fyrir allra stöðugasta loftið (efst til vinstri á mynd 5) var $8,2^\circ\text{C}$ hlýrra í 2 m en í 30 m hæð (9. nóv 2013 kl. 13:40). Frostið í 2 m var þá rúmlega 13 stig. Á hinum endanum finnum við tilvik frá 2. apríl 2015. Kalt hafði verið um nóttina, en upp úr kl. 10 að morgni náði sólin að verma yfirborðið. Hiti var $-0,2^\circ\text{C}$ í 2m , en á sama tíma $-7,6^\circ\text{C}$ í 30 m hæð. Þetta er mælipunkturinn neðst fyrir miðri mynd. Sennilega hefur verið orðið snjólaust, að öðrum kosti nær yfirborðið ekki hitna.

Mynd 6 sýnir hitafall með hæð sem fall af tíma. Um er að ræða fyrstu þrjá mánuðina, september til nóvember 2013. Framan af er einkennandi dægursveifla í hitafallinu. Með lækkandi sólarhæð hverfur dægursveiflan að mestu upp úr miðjum október. Stögugleiki eykst þá smámsaman og greinileg eru fjögur skemmri tímabil í nóvember þar sem loft hefur verið mjög stöðugt. Sambærileg gröf fyrir allt mælitímabilið eru í viðauka.



Mynd 6. Hitafall í mastri í Bjarnarflagi frá 2 m í 30 m frá 1. september til 30. nóvember 2013. Jákvæð gildi eru til marks um stöðugt loft.

4.2 Pasquill stöðugleikagreining

Enn í dag er stuðst við einfalda greiningaaðferð stöðugleika lofts með aðferð Pasquill, en hún var fyrst sett fram árið 1961. Hann skilgreindi sex stöðugleikaflokka lofts fyrir neðstu 100 metra lofthjúpsins: A,B,C,D,E og F þar sem flokkur A lýsir óstöðugustu loftinu þar sem iðuhreyfingar á smáum kvarða eru ríkjandi. Seinna var bætt við flokki G fyrir allra stöðugasta loftið þar sem hiti eykst um 4°C eða meira í neðstu 100 metrunum. Sú aðferð að meta stöðugleikann eingöngu út frá hitafalli er ákveðin einföldun þar sem vindsníði (breyting vinds með hæð) kemur einnig við sögu. Pasquill skilgreindi einnig sömu stöðugleikaflokka út frá tölu Richardson (Ri). Hún mælir hitafallið með hæð deilt með vindbreytingu með hæð í öðru veldi³. Tala Richardson er illreiknanleg nema með fjölda vindmæla í mun hærra mastri en sett var upp í Bjarnarflagi. Því er stuðst við nálgun hitafallsins eingöngu, enda gefur það ágæta raun á þessu svæði þar sem stöðugt loft verður helst í hægvirði og vindbreyting með hæð oft tilviljankennð og þar fyrir utan því sem næst engin í neðstu loftlögunum. Tafla 4 sýnir hitafall eftir flokkum út frá skilgreiningum Pasquill og í töflu 5 er búið að aðlaga flokkunina að mastrinu í Bjarnarflagi. Þar er reiknuð hitabreyting á 28 metrum. Lítil munur er á óstöðugu flokkunum A og B og til einföldunar eru þeir sameinaðir. Það kemur ekki að sök hér þar sem sjónir manna beinast einkum að hinum enda kvarðans.

³ Sjá td. http://glossary.ametsoc.org/wiki/Bulk_richardson_number

Tafla 4. Pasquill stöðugleikaflokkar skilgreindir út frá hitafalli í neðstu 100 m.

Pasquill Söðugleikaflokkur	Skilgreining stöðugleika	$\Delta T/\Delta z$ (°C/100 m)
A	Mjög óstöðugt	$\Delta T/\Delta z < -1.9$
B	Mjög óstöðugt	$-1.9 \leq \Delta T/\Delta z < -1.7$
C	Óstöðugt	$-1.7 \leq \Delta T/\Delta z < -1.5$
D	Hlutlaust	$-1.5 \leq \Delta T/\Delta z < -0.5$
E	Heldur stöðugt	$-0.5 \leq \Delta T/\Delta z < +1.5$
F	Stöðugt	$+1.5 \leq \Delta T/\Delta z < +4.0$
G	Mjög Stöðugt	$+4.0 \leq \Delta T/\Delta z$

Tafla 5. Pasquill stöðugleikaflokkar aðlagðir að 30 m veðurmastri í Bjarnarflagi. Til einföldunar eru flokkar A og B eru sameinaðir.

Pasquill Söðugleikaflokkur	Skilgreining stöðugleika	$\Delta T/\Delta z$ (°C/28 m)
A/B	Mjög óstöðugt	$\Delta T/\Delta z < -0.5$
C	Óstöðugt	$-0.5 \leq \Delta T/\Delta z \leq -0.4$
D	Hlutlaust	$-0.4 \leq \Delta T/\Delta z < -0.1$
E	Heldur stöðugt	$-0.1 \leq \Delta T/\Delta z \leq +0.4$
F	Stöðugt	$+0.4 < \Delta T/\Delta z < +1.1$
G	Mjög Stöðugt	$+1.1 \leq \Delta T/\Delta z$

Tafla 6 sýnir hlutfall eftir flokkum. Vetur:(des-mars), vor(apríl-maí), sumar: (júní-ágúst), haust:(sept-nóv)

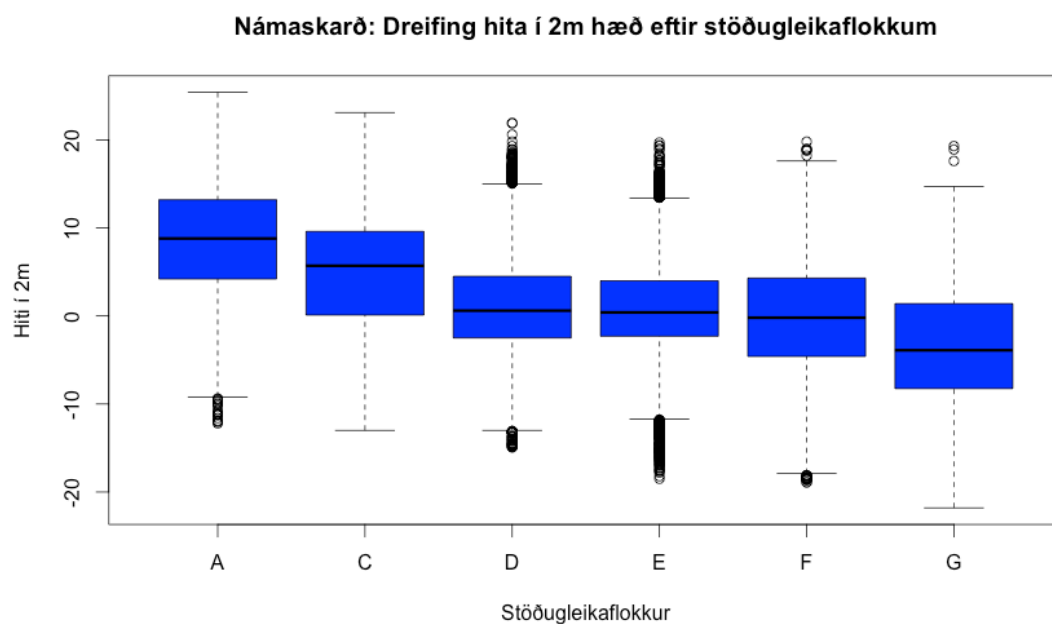
Hlutfall stöðugleikaflokka eftir árstíðum (%)					
	Vetur	Vor	Sumar	Haust	Árið
A	3	36	41	8	19
C	3	12	14	5	8
D	39	30	27	37	34
E	38	14	13	35	27
F	11	5	4	9	8
G	6	3	2	5	4

Tafla 7 sýnir dreifingu stöðugleikaflokka eftir árstíðum

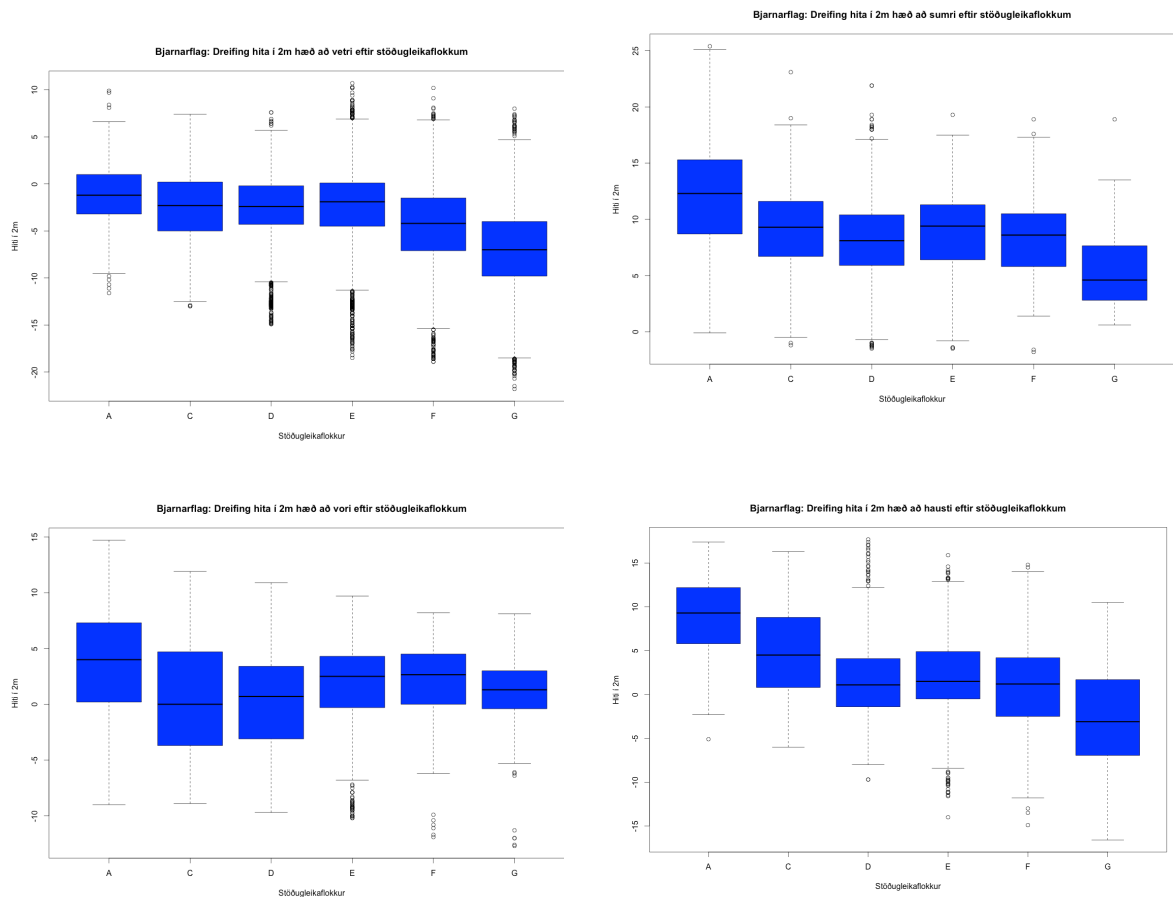
Dægursveifla stöðugleikaflokka (%)								
	00-02	03-05	06-08	09-11	12-14	15-17	18-20	21-23
A	0	0	9	34	47	41	20	2
C	3	3	11	10	9	9	11	6
D	41	41	34	28	25	26	34	44
E	39	37	30	18	13	16	26	36
F	12	12	10	5	4	4	6	8
G	4	6	6	4	2	4	3	4

Í töflum 6 og 7 hefur verið greind tíðni stöðugleikaflokkanna. Vel sést að óstöðugt loft kemur helst fyrir að degi til að sumarlagi. Það er ríkjandi ástand á sumrin og að degi til þar sem inngeislun sólar og upphitun yfirborðs veldur óstöðugleikanum. Á haustin og veturna eykst stöðugleiki loftsins um leið og hitafall minnkar með hæð. Dægursveifla er lítil þegar sólargangur er stystur og stöðugleiki loftins ræðst af vindi og skýjafari sem aftur hefur áhrif á útgeislun og kólnun loftlaga næst yfirborði. Á haustin kemur stöðugt eða mjög stöðugt loft fyrir í um 14% tilvika og í 17% allra mælinga á veturna. Þessum tilvikum fækkar síðan mikið með hækkandi sól þegar kemur fram á vorið. Dægursveifla er þá nokkur og stöðugleiki í flokkum F og G kemur fyrir á nóttunni og snemma morguns. Snjóalög fram á vorið ráða þarna miklu, því snjófirningar valda endurkasti og að auki fer geislun sólar í að bræða ís og klaka í stað upphitunar langt fram eftir vori. Allt slíkt eykur á stöðugleika loftsins og tíðni hitahvarfa frá því síðla vetrar og fram undir sumar.

Áhugavert er skoða hitadreifingu eftir stöðugleikaflokkum. Það er gert á mynd 7. Á sama hátt og lesa má úr mynd 5 lækkar hiti að jafnaði í 2 metra hæð eftir því sem stöðugleikinn eykst. Hitt kemur meira á óvart að bæði í frostum á veturna og sumarhita getur loftið ýmist verið stöðugt eða óstöðugt eftir atvikum.



Mynd 7. Kassarit sem sýnir dreifingu hita eftir stöðugleikaflokkum fyrir allt mælitímabilið í Bjarnarflagi.



Mynd 8. Kassarit fyrir hverja árstíð. Vetur efst t.v, sumar efst t.h, vor neðst t.h og haust neðst t.v..

Mynd 8 sýnir sambærileg kassarit (e.boxplot) eftir árstíðum. Að jafnaði er kaldara þegar loft er stöðugt, heldur en óstöðugt á öllum árstímum nema að vori þar sem lítið samband er á milli stöðugleikaflokka og hita í 2 m. Hafa verður í huga að stöðugt og mjög stöðugt loft (F og G) mælist stjaldan að vori. En einnig rugla, mögulegar snjófirningar og mikil dægursveifla hitans, samband hita nærri yfirborði og stöðugleika loftins.

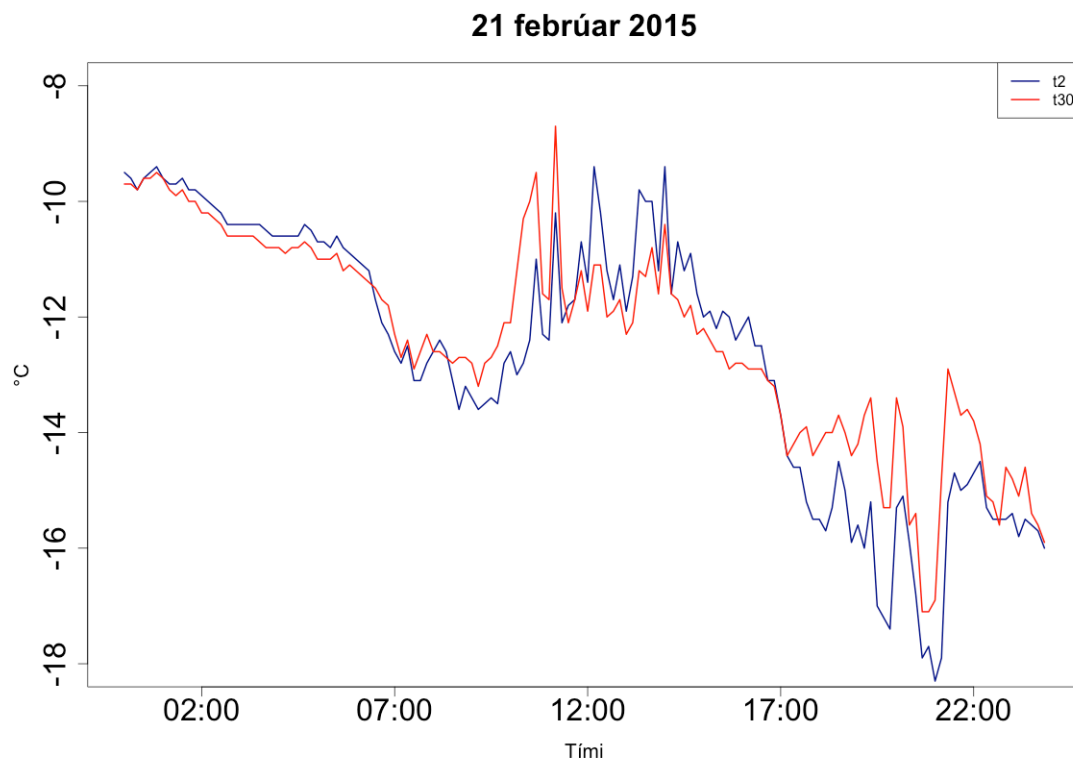
Skoðuð verða betur tvö tilvik sem ríma illa við meginlínur þessa sambands hita og stöðugleika. Annars vegar þegar er kalt í veðri en jafnframt óstöðugt loft. Hins vegar þegar var hlýtt, en jafnframt stöðugt loft.

- i) Kalt, en óstöðugt – 21. febrúar 2015
- ii) Hlýtt, en stöðugt – 29. desember 2014

4.2.1 21. febrúar 2015

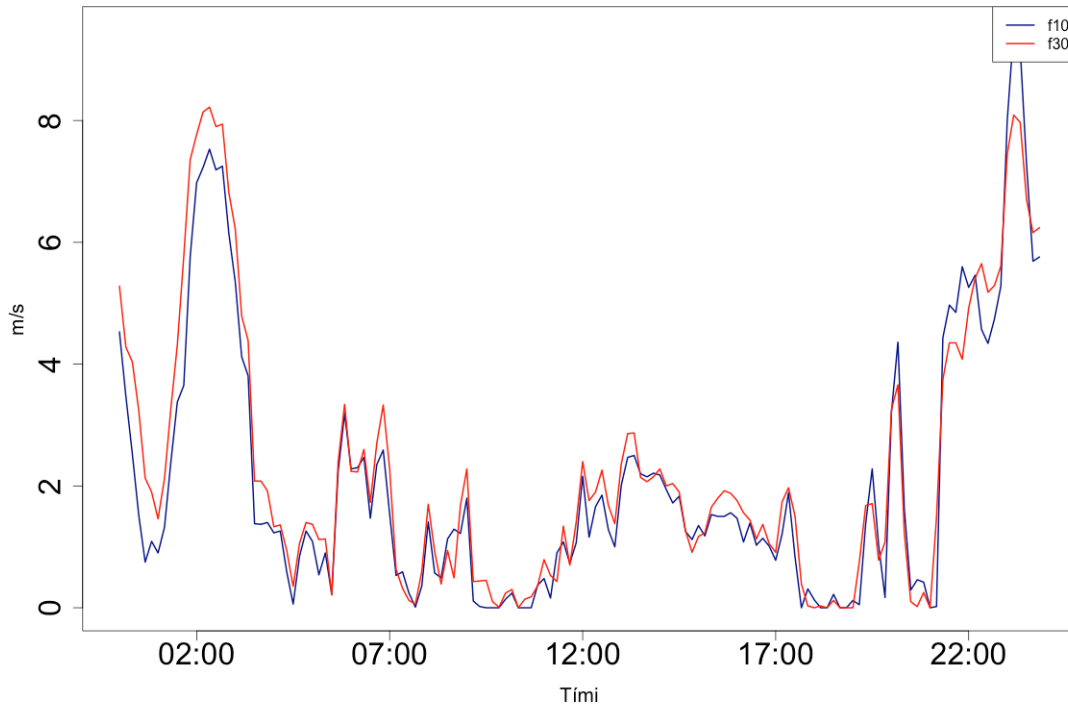
Fremur kalt var í Mývatnssveit þennan vetrardag og kólnaði enn þegar frá leið. 2m hitihæð varð markvert hærri en í 30 m. hæð laust fyrir kl. 12 eins og sjá má á mynd 9. Um það leyti dró aðeins úr frostinu frá því um morguninn. Þegar litið er

á vind (mynd 10) og vindátt (ekki sýnd) í þessum hæðum sést að hægviðri og nánast logn hafði verið um morguninn. Í bæði í 10 m og 30 m gerði SV andvara (2-3 m/s) um hádegisbil. Við það varð dálítill blöndun og vegna viðnáms frá yfirborði verður hún ívið meiri í lægri lögum en ofar. Því dregur hraðar úr frostinu niðri heldur en uppi í 30 m hæð. Smágola getur með þessu móti eytt hitahvarfi við jörð á skömmum tíma, sérstaklega ef það er grunnt. Þetta sést oft í frostköldum dögum við Mývatn þegar aðeins smá hreyfing vinds dregur úr frostinu til muna. Staðbundnar aðstæður geta verið ráðandi og alls ekki víst að gola með þessum hætti verði almennt á stóru svæði. Þetta tiltekna dæmi er til marks um aukinn óstöðugleika og blöndun neðstu loftlaga þegar hreyfir vind. En eftir sem áður er í flestum tilvikum kaldara ofar, þ.e. hitahvarf og "lok" sem kemur í veg fyrir loftskipti ofan 30-50 metra hæðar. Síðdegis varð aftur hægviðri þennan dag og yfirborðið kólnaði. Loftið varð stöðugt og kaldara aftur í 2 m hæð samanborið við 30 m hæð.



Mynd 9. Hiti í 2 m hæð (blá lína) og í 30 m hæð 21. febrúar 2015.

21 febrúar 2015 - vindhraði í 10 og 30 m hæðum

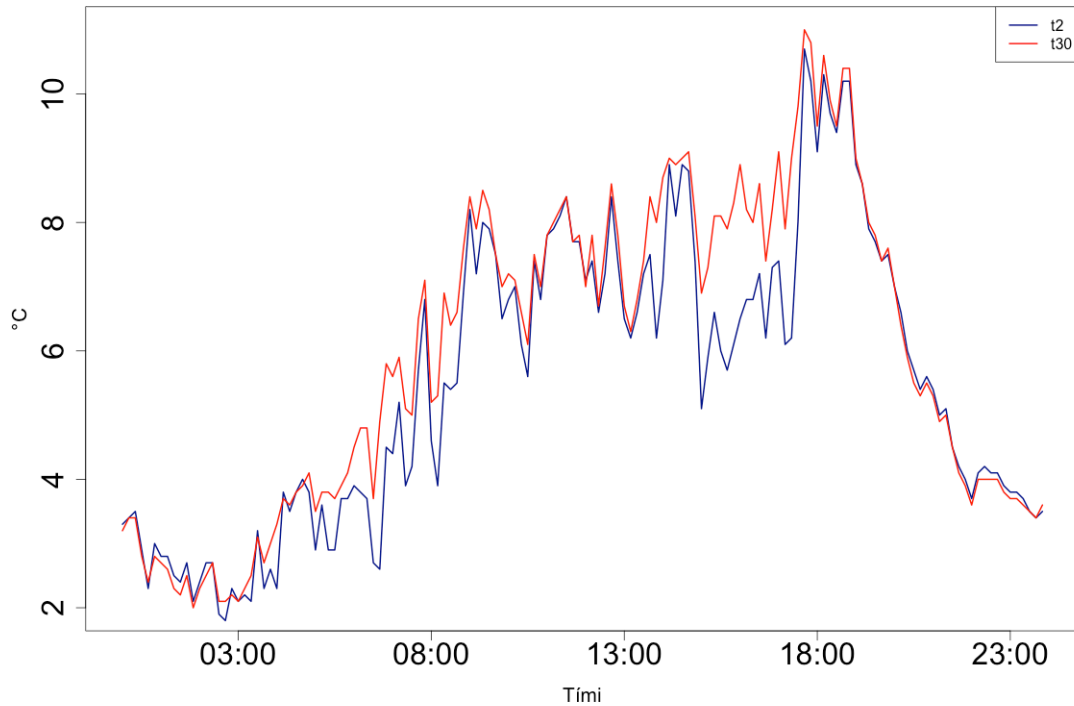


Mynd 10. Vindhraði í 10m (blá) og 30m (rauð) hæðum. Einkum er horft á afleiðingar andvarans um og upp úr kl. 12:00.

4.2.2 29. desember 2015

Pennan tiltekna dag í svartasta skammdeginu var hláka og strekkings S-átt. Fremur hægur vindur var fyrst um morguninn, en síðan 8-12 m/s í bæði 10 og 30 metra hæð. Við það varð góð blöndun og því um 6 til 8°C fram undir kl. 14. Þá snöggkólnar í 2 m, eins og sést á hitalínuritum á mynd 10. Bæði lægir aðeins og eins er afar sennilegt að létt hafi til með aukinni útgeislun yfirborðs. Við það kólnaði nærri jörðu og hlýrra loft streymdi að ofan. Í raun var aðeins um grunnt hitahvarf við jörð að ræða og meiri blöndun var ofar. Enda sést þegar herti á S-áttinni skömmu fyrir kl. 18 varð hitamunur hverfandi á milli 2 og 30 m hæðar. Almennt séð má segja að stöðugt loft, samfara hlýindum, sé langoftast skammvinnt og tengist nær alltaf grunnu hitahvarfi við jörðu. Síðla sumars geta áþekk tilvik komið upp í 1 til 2 klst síðla nætur eða við sólarupprás, þegar yfirborðið hefur náð að kólna eftir útgeislun næturinnar.

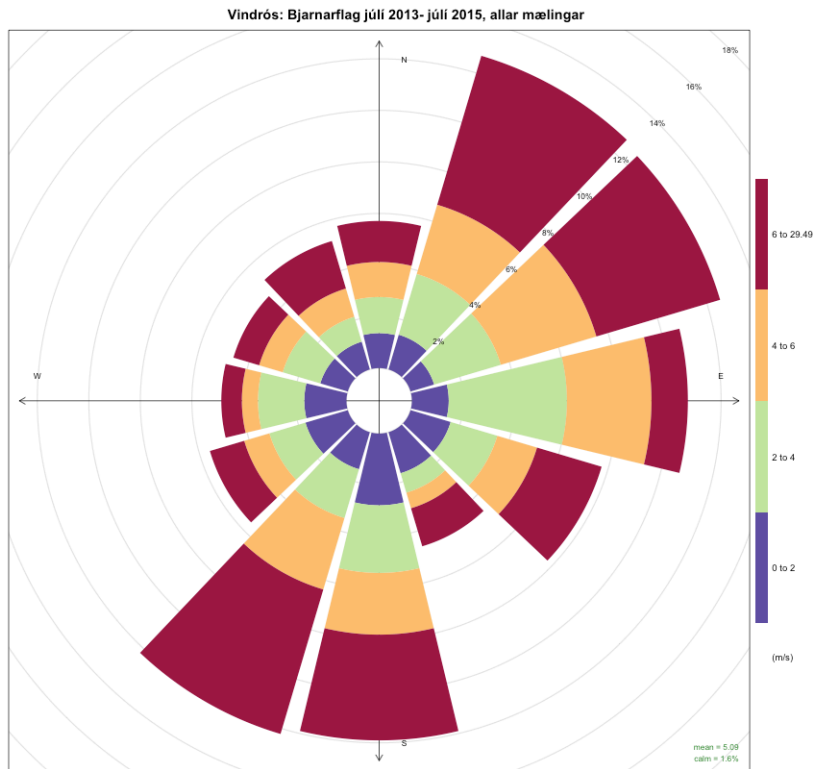
29 desember 2014



Mynd 11. Hiti í 2 m hæð (blá lína) og í 30 m hæð 29. desember 2014.

4.3 Stöðugleiki eftir vindáttum

Vindrósinn á mynd 12 sýnir dreifingu vindátta í 10 metra hæð í mastri Bjarnarflags og við höfum til hliðsjónar fyrri vindrós á gamla mælistaðnum (mynd 1). S-átt og NA-átt er tíðari greinilega í mastrinu en á fyrri mælistað. Líklega eru þau staðbundin landslagsáhrif sem þar koma við sögu, en hafa verður í huga að mælitímabilið er stutt fyrir mastrið.

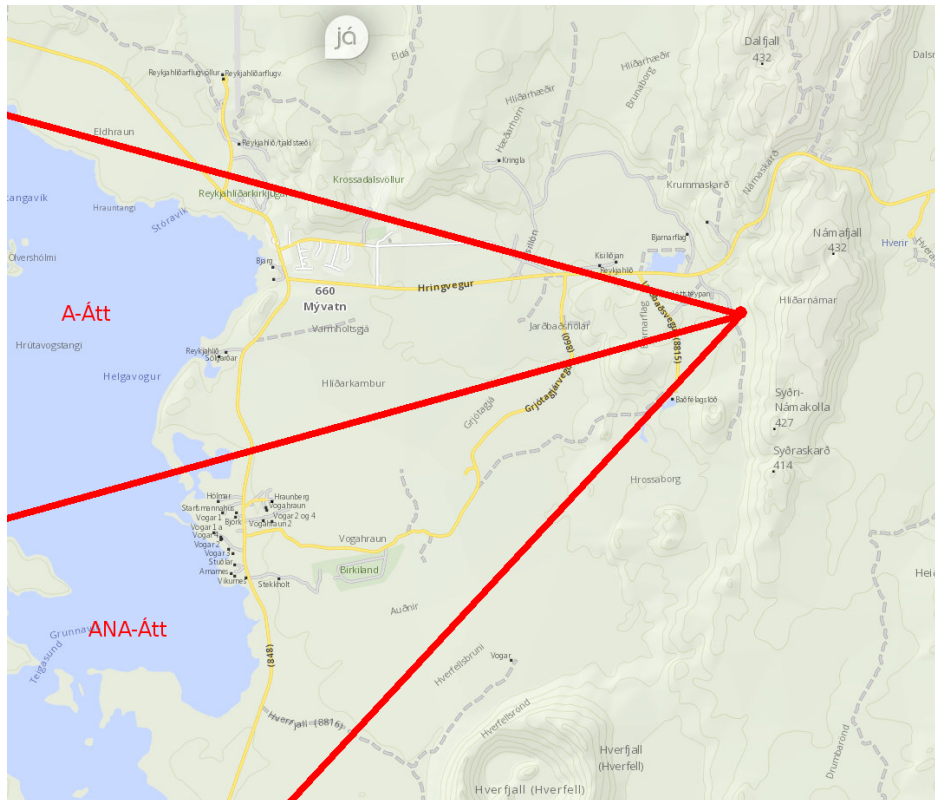


Mynd 12. Vindrós, allar mælingar í Bjarnarflagi júlí 2013 til júlí 2015.

Sjónir manna beinast einkum að tveimur vindgeirum. Í fyrsta lagi A-átt (75° til 105°), en í þeirri vindátt berst gufa frá Bjarnarflagi og yfir byggðina í Reykjahlíð. Í öðru lagi í ANA-átt (45° til 75°), en þá má ætla að gufu leggi yfir byggðina við Voga og Geiteyjarströnd. Þessir helstu gearar dreifingar frá útrás við Bjarnarflag eru sýndir á mynd 13.

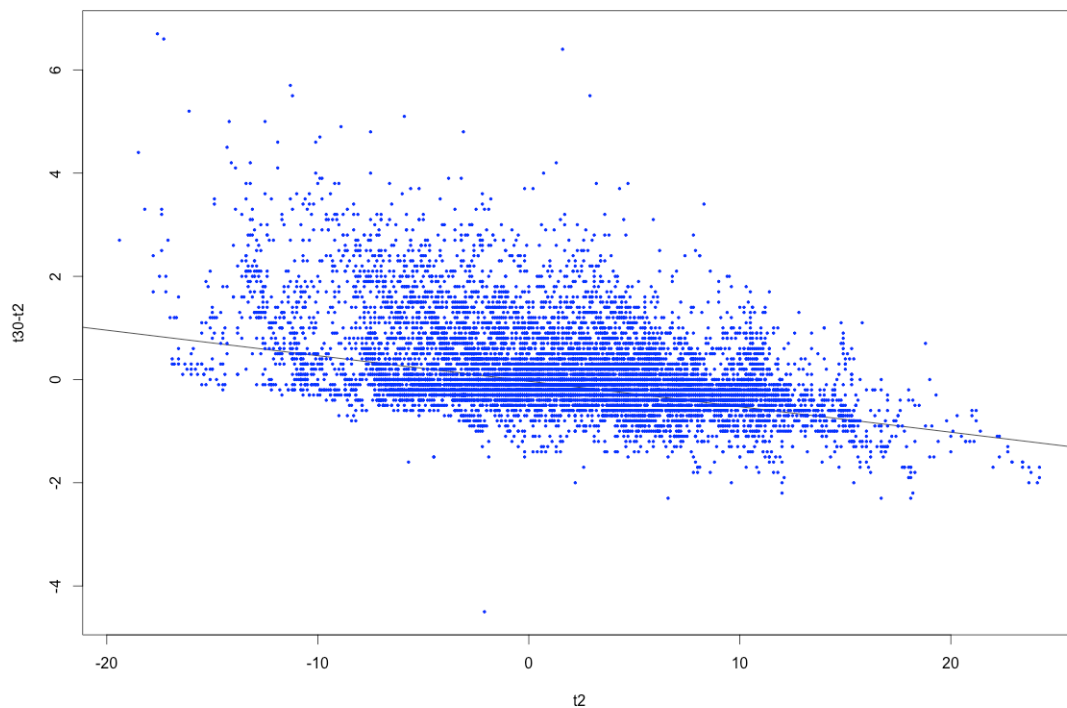
A-átt mælist í á tímabilinu í rúmlega 12% tilvika. Meðaltala hitafalls ($t_{30} - t_2$) í A-átt er $+0.13^\circ\text{C}$ samanborðið við -0.57°C fyrir allt gagnasafnið. Á myndum 14 og 15 sést hversu algengt stöðugt loft er samfara A-átt og þá sérstaklega þegar kalt er. Rétt er því að gefa þessum tilvikum frekari gaum.

ANA-átt mælist á tímabilinu í 13% tilvika. Loftið er ekki eins stöðugt og í A-átt og meðaltala hitafalls er -0.13°C . Rétt er að hafa í huga að á meðan ANA-átt er algeng í mastrinu, að þá virðist vera mun betra skjól á fyrri mælistað þar sem ætlað er að stöðvarhús virkjunarinnar muni rísa. Val að staðsetningu útrásar virðist því hafa talsvert að segja um líkindi þess hvort gufa berist í áttina að byggðinni við Voga á meðan samanburður vindáttamælinga bendir frekar til þess að það skipti minna máli fyrir dreifingu yfir Reykjahlíð.

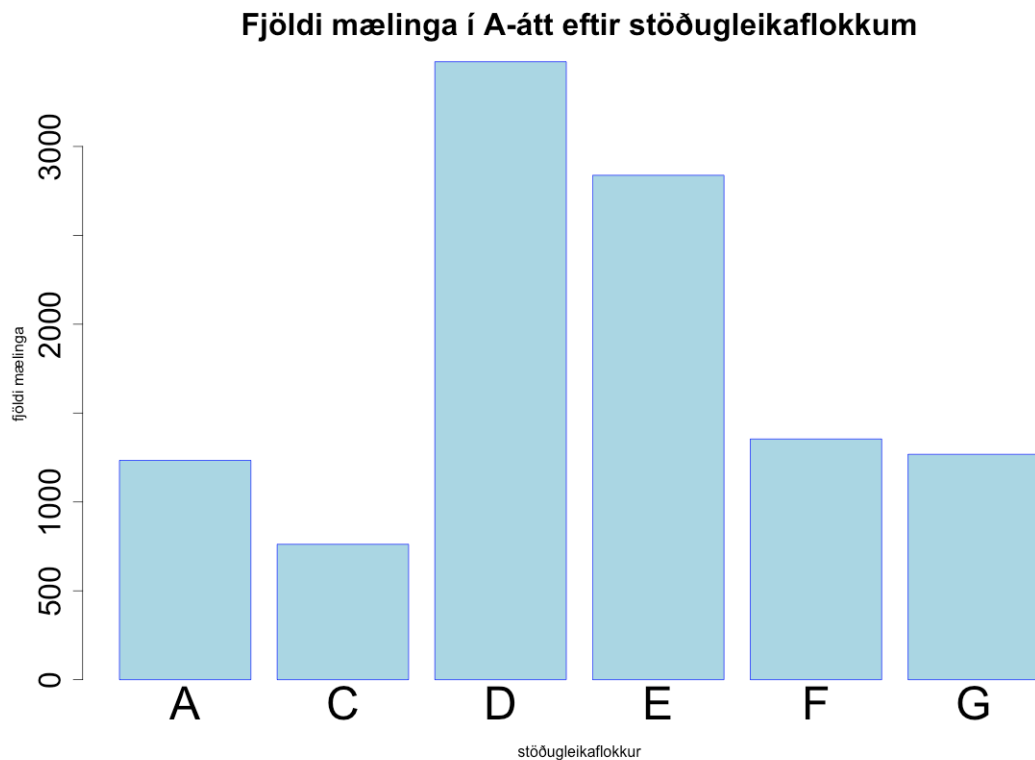


Mynd 13. Áætlaðir dreifingargeirar í A-átt yfir þéttbýlið í Reykjavíki og í ANA-átt yfir Voga og Geiteyjarströnd. Gert er ráð fyrir losunarstað við fyrirhugað stöðvarhús.

Bjarnarflag:Hiti í 2 m hæð á móti hitafalli með hæð. A-átt



Mynd 14. Hér má sjá hvernig stöðugleikinn eykst í A-átt eftir því sem kólnar (sbr mynd 5).



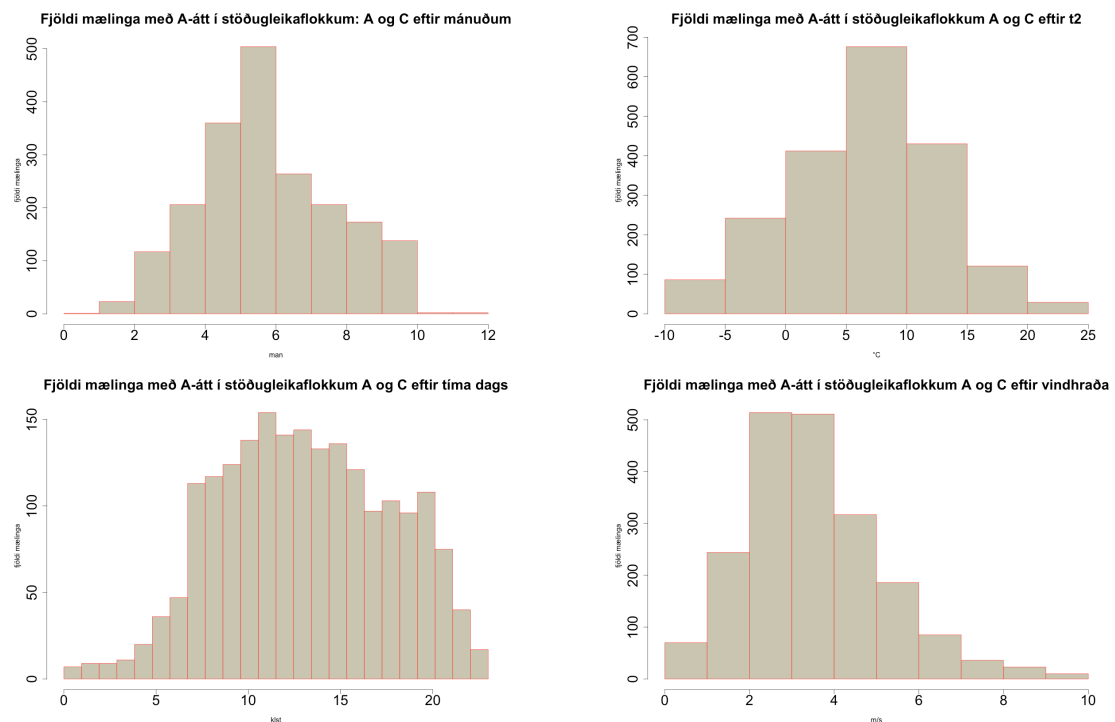
Mynd 15. A-átt, fjöldi mælinga eftir stöðugleikaflokkum. Hlutfall F og G um tvöfalt hærra en fyrir allt safnið (24% fyrir A-átt, en 12% fyrir heild)

4.3.1 Nánar um A-átt

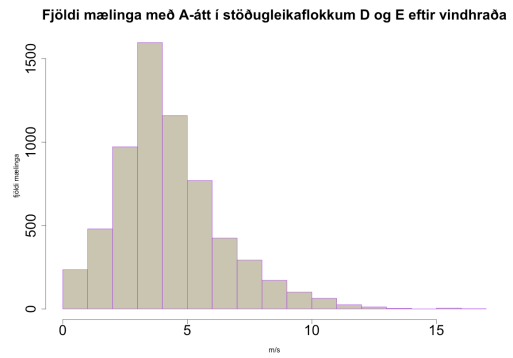
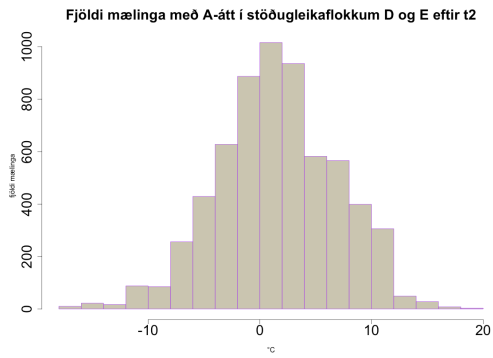
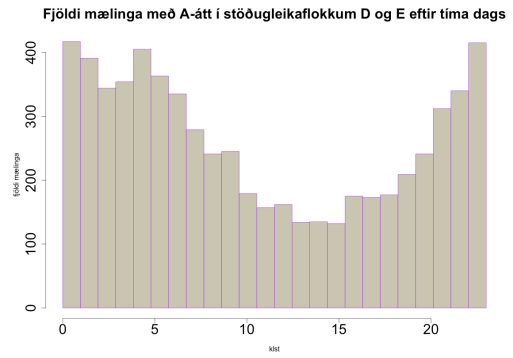
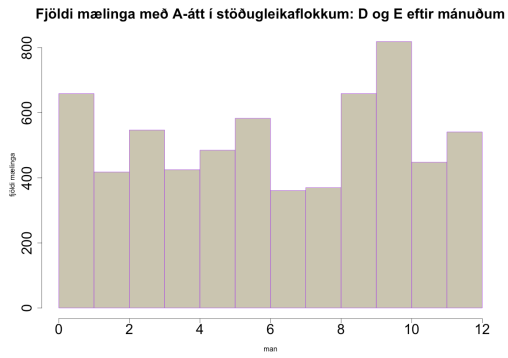
Myndir 16, 17 og 18 sýna hvernig A-áttar mælingar dreifast á mánuði, tíma daga og hita í 2 m hæð. Stöðugt loft samfara A-átt er algengara yfir vetrarhelming ársins, en að sumarlagi. Eins á nóttunni og morgnana en öðrum tímum dagsins. Það er þrennt til viðbótar sem rétt er að gefa gaum: Í fyrsta lagi að óstöðugt loft samfara A-átt kemur varla fyrir á veturna, enda eins og fyrr er nefnt fylgifiskur upphitunar sólar. Í öðru lagi er millistöðugt loft algengt á öllum árstímum, en frekar á nóttunni en að deginum (á sumrin). Algengast er að vindhraði sé á bilinu 3-5 m/s fyrir þetta millistöðuga loft og yfirleitt hvorki hlýtt né heldur kalt miðað við árstíma hverju sinni. Í þriðja lagi er greinilegt að samfara stöðugasta loftinu er A-vindurinn oftast hægur, enda liggur það í hlutarins eðli að strekkingsvindur leiðir til blöndunar loftlaga, hitahvörf eyðast og dregur úr stöðugleika.

Áhugavert er að velta því fyrir sér hvernig gufan berst í mjög hægum en jafnframt greinilegum A-vindi, t.d. í 1-2 m/s. Gufan stígur vitanlega til himins í hægum vindi og dreifingin er meira lóðrétt en lárétt. Menn gætu í fyrstu ætlað að í slíkum aðstæðum skipti hægur andvarinn litlu, gufan og brennsteinsvetnið væri hvort eð er meira og minna í tiltekinni hæð yfir jörðu. Rannsóknir Snjólaugar Ólafsdóttur á dreifingu brennisteinsvetnis frá Nesjavöllum og Hellisheiðarvirkjun gáfu til kynna að jafnvel í mjög hægum, en þó mælanlegum vindi, að þá kemur fram aukinn styrkur brennisteinsvetnis langt frá upptökum.

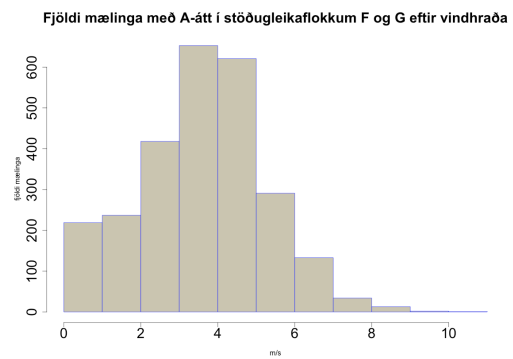
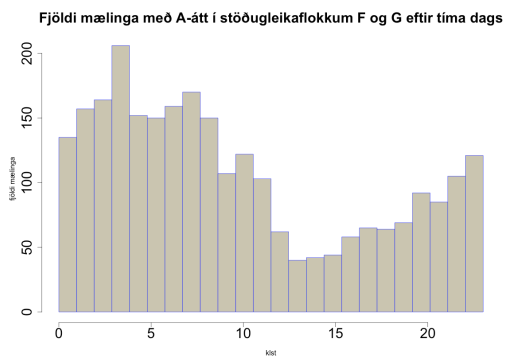
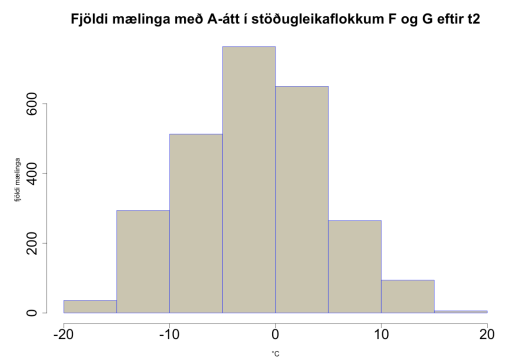
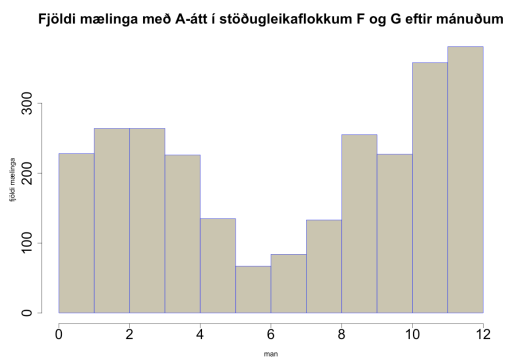
Lagskipting loftins á þarna sök, þ.e. mikil stöðugleiki og mjög takmörkuð lóðrétt blöndun. Í hægum vindi með engri lagskiptingu (þ.e. í óstöðugu lofti) verður lóðrétt þynningin hins vegar ör og án hindrana. Það er mikilvægt að greina þarna á milli og á meðan gufan berst um stöðuga lagið, sem nær í köldu og stilltu veðri í mögulega allt að 150 metra hæð, á þynningin sér stað í svælingarlaginu þar undir og allt niður til yfirborðs.



Mynd 16. Fjöldi mælinga í A-átt ($75^\circ \leq d_{10} \leq 105^\circ$) fyrir óstöðugt loft, þ.e. stöðugleikaflokkar A(B) og C. Dreifing eftir mánuðum eftst tv., eftir tíma dags neðst tv.. Efst th. er dreifing eftir hitabilum og neðst th. er fjöldi eftir vindhraða



Mynd 17. Sama og mynd 11, en fyrir hlutlaust og frekar stöðugt loft í stöðugleikaflokkum D og E.



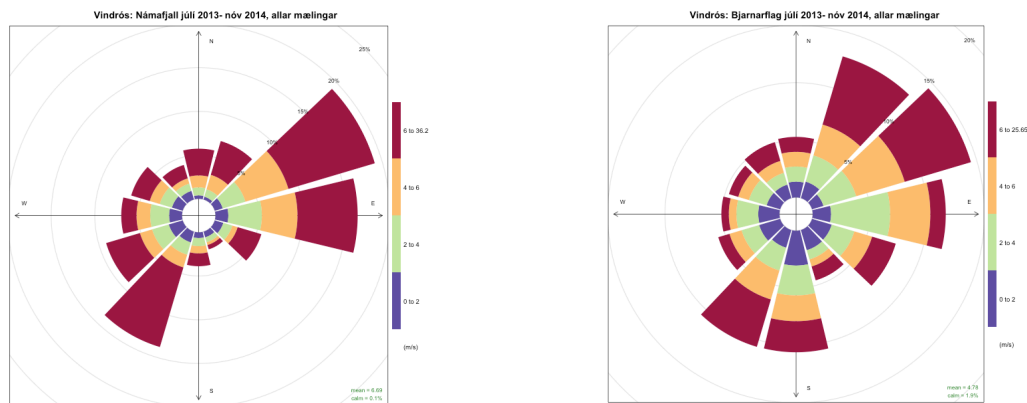
Mynd 18. Sama og mynd 11, en fyrir stöðugt og mjög stöðugt loft í stöðugleikaflokkum F og G.

4.4 Brennisteinsvetni með A-átt yfir Reykjahlíð og nágrenni

Farnar voru tvær mæliferðir í Bjarnarflag með helúmfulltan loftbelg við valin veður- og vindskilyrði. Tilgangur þeirra mælinga var að sannreyna kenningu um bylgjumyndun í A – og ANA-átt frá Námafjalli. Fjallabylgjur beina þannig brennisteinsvetnigufunni aftur til jarðar á líkan hátt og raunin er undir Reykjafelli þar sem Hellisheiðarvirkjun er staðsett. Skemmst er frá því að segja að loftbelgurinn sýndi greinilegar fjallabylgjur þegar vindur stóð af Námafjalli og nánar er gert grein fyrir þeim mælingum í viðauka 1.

5.0 Mælingar á Námafjalli og samanburður við Bjarnarflag

Gagnaröð Námafjalls er styttri, vegna ísingarvandamála. Mælingar hófust í maí 2013 og lauk þegar mastrið féll í vindi í janúar 2015. Bornar voru saman saman mælingar Námafjalls og Bjarnarflags frá 12. júlí 2013 til 28. nóv 2014 í 10 m hæð í báðum tilvikum. Samtals eru tæplega 12 þúsund mælipör í sameiginlegri skrá. Samanburður vindrósa (mynd 19) sýnir nokkurn mun, þ.e. vindur í Bjarnarflagi er mun frekar langslagsstýrður heldur en á Námafjalli. NNA-vindur er þannig algengari í Bjarnarflagi og eins S-átt. Á Námafjalli er A-átt algengari og þá frekar sem strekkingur á meðan skjól er ágætt fyrir A-átt í Bjarnarflagi.



Mynd 19: Vindrós fyrir Námafjall (tv) og Bjarnarflag fyrir sama tímabil (th). Í báðum tilvikum eru vindmælingar í 10 metra hæð.

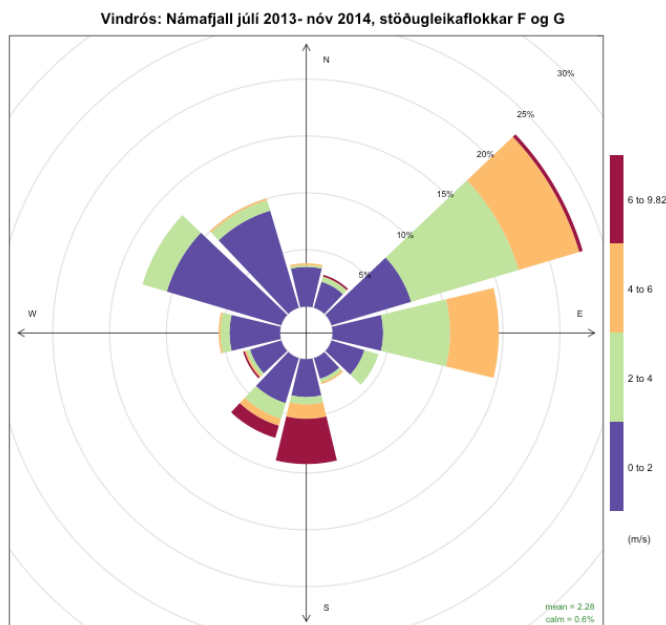
Meðalvindur í Bjarnarflagi þennan tíma var 6,7 m/s samanborið við 4,7 m/s. Munurinn er verulegur. Fyrir A-áttina er munurinn enn meiri, 6,3 m/s á miðað við 3,9 m/s í Bjarnarflagi. Áhugavert er bera saman stöðugleika með aðferð Pasquill annars vegar í mastrið í Bjarnarflagi og hins vegar stöðugleikann á milli masturs og mælis uppi á Námaskarði. Tafla 8 sýnir samanburð stöðugleikaflokka. Lárétta röðin er stöðugleikaflokkar á milli Bjarnarflags og Námafjalls á meðan sú lóðrétta er stöðugleiki úr mastrið. Hlutlaust loft (D) er algengast, en það er heldur stöðugra (E) í mastrið. Það er eðlilegt, enda hitahvarf algengara í láglandisbollum en uppi á fjöllum. Vakin er athygli á tilvikum þar sem loft er óstöðugt (A) á milli Bjarnarflags og Námafjalls á meðan það er stöðugt (G) í mastri. Neðsta línan í töflunni leiðir þetta í ljós. Þýðir í raun að í 80-90% tilvika stöðugleika í Bjarnarflagi er um grunnt hitahvarf að ræða og millistöðugt eða óstöðugt loft þar fyrir ofan. Auðvelt er blása gufu upp úr slíkum hitahvörfum og vindáttin þar fyrir ofan ræður því dreifingunni.

Tafla 8. Tíðni stöðugleikapara á mælakvarða

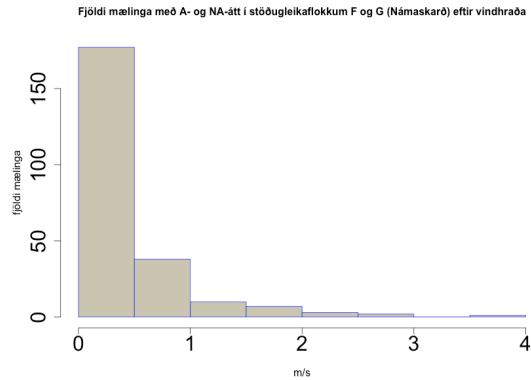
mastursins (lóðrétt) og hitafalls Bjarnarflags og Námafjalls (lárétt)

	A	C	D	E	F	G
A	5.6	2.7	9.8	0.7	0.0	0.0
C	0.4	0.4	6.6	0.2	0.0	0.0
D	0.5	0.7	30.9	1.8	0.0	0.0
E	0.8	0.9	20.3	5.1	0.1	0.0
F	0.5	0.3	3.0	3.8	0.2	0.0
G	0.6	0.3	1.1	1.7	0.7	0.2

En það er líka áhugavert að greina stöðugasta loftið þegar svæling getur átt sér stað, þ.e. flokka G og F. Í 0,2% tilvika er mjög stöðugt loft á báða mælikvarða og í 0,7% tilvika mjög stöðugt (G) í mastrinu, en stöðugt (F) á milli mælistaðana. Skoðuð voru öll þessi tilvik í því skyni að finna svipuð einkenni að öðru leyti. Í ljós kemur að þetta stöðuga loft kemur fyrir nær eingöngu að vetrarlagi, oft þegar mjög kalt er. Nánast alltaf er þá hægviðri, með þeirri undantekningu að stundum er S-gola í stutta stund, gjarnan þegar loftskipti eru að eiga sér stað við aðsteymi af mildara lofti. A- og ANA-áttir koma líka fyrir eins og meðfylgjandi vindrós sýnir (mynd 20). Þegar blæs á Námafjalli úr þeim áttum af styrk 2-6 m/s að þá er nær undatekningalaust hægviðri, allt að því logn í Bjarnarflagi. Miðgildi vindhraða fyrir stöðugleikaflokka F og G í Bjarnarflagi er 0,2 m/s (mynd 21). Útblástur í Bjarnarflagi þegar loft er hvað stöðugast og svæling gufu á sér stað, gjarnan þegar stillt og mjög kalt er í Mývatnssveit, berst ekki langt vegna hægviðris en styrkur mundi mælast hár við jörðu næst útblástursstað.



Mynd 20. Vindrós fyrir aðeins þau tilvik mælinga á Námafjalli þegar svæling er líklega. Þ.e. þegar loft er mjög stöðugt (G) í Bjarnarflagi og jafnframt stöðugt (F) eða einnig mjög stöðugt (G) á Námafjalli. Kemur fyrir í tæplega 5% allra mælinga.



Mynd 21. Fjöldi mælinga með A- og ANA-átt í stöðugleikaflokkum F og G eftir vindhraða í Bjarnarflagi.

Brennisteinsrík gufa berst því alla jafna ekki, og líklega aðeins í undantekningartilvikum yfir Reyjahlíð og Voga þegar loft er hvað stöðugast. Það er vegna þess að þá er því sem næst logn í langflestum tilvikum í Bjarnarflagi. Þessi undantekningartilvik væru helst þegar vindur er A-lægur í hæð Námafjalls og myndi hann bera gufuna undir hitahvarfi í 60-80 metra hæð til vesturs á svipaðan hátt og sýnt er á mynd 4. Á tímabilinu finnast þrjú slík tilvik, öll í 1 til 2 klst. í senn (9. nóv 2013, 18. feb 2004 og 29. okt 2014). Þá verður þynning niður á við og aukinn styrkur kæmi fram á mælum, jafnvel nokkuð hár í ljósi þess hve fjarlægðin til upptaka lítil.

6.0 Nokkrar ályktanir

Stöðugleikagreining hitamælinga í mastrinu í Bjarnarflagi auk mælinga á Námafjalli og tilraunir með loftbelginn gefa til kynna að það er einkum við tvennskona veðuraðstæður þar sem ætla má að brennisteinsvetni berist frá svæðinu yfir byggðina í Reykjahlíð og næsta nágrenni:

1. Gufa berst með hægum A-vindi yfir vetrarmánuðina (okt – apríl) þegar loft flokkast sem stöðugt eða mjög stöðugt (stöðugleikaflokkar F og G).
2. Gufa berst með A- golu (3-6 m/s) í hlutlausu eða heldur stöðugu lofti (D og E), einkum yfir vetrarmánuðina (okt-apríl) og bylgjuhreyfingar frá Námafjalli knýja brennisteinsvetni niður til yfirborðs.

Þessu til viðbótar berst brennisteinsvetni með A-átt til vesturs að vor, sumar- og haustlagi en aðstæður tengjast dægusveiflu í hita og stöðugleika loftsins. Grunnt hitahvarf myndast við jörðu að næturlagi snemma morguns og stöðugleiki loftsins eykst þá jafnframt. Brennisteinsvetni mældist þá að líkindum í skamma stund eða þar til sólin hitar yfirborð, stöðugleiki minnkar og lóðrétt blöndun á sér stað óhindrað. Það er helst í A-golu í millistöðugu lofti, þar sem ætla má að styrkur brennisteinsvetnis mælist yfir mörkum í einhverja stund. Einkum þá yfir nóttina að vor- og haustlagi, sbr. algengi á þeim tímum dags og sjá má á mynd 17.

6.1 A-gola í hlutlausu og millistöðugu lofti

Eins og rakið er hér á undan, þá berst gufa með A- golu (3-6 m/s) í hlutlausu eða heldur stöðugu lofti (D og E), einkum yfir vetrarmánuðina (okt-apríl). Þá eru það bylgjuhreyfingar frá Námafjalli sem knýja brennisteinsvetni niður að yfirborði.

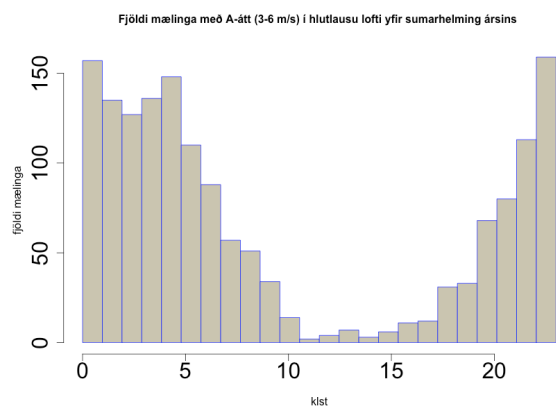
Tafla 9 sýnir hlutfall eftir stöðugleikaflokkum og sama hátt og í töflu 8, nema eingöngu fyrir A-átt. Tæplega 80% allra slíkra tilvika (skyggðu reitirnir) flokkast sem hlutlaust (D) loft miðað við Bjarnarflag/Námafjall. Að jafnaði er heldur stöðugra í mastrinu þó svo að loft sé hlutlaust í loftlaginu á milli Bjarnarflags og Námafjalls.

Tafla 9. Sama og tafla 8, en eingöngu í A-átt

	A	C	D	E	F	G
A	1.1	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0
C	0.3	0.4	3.9	0.1	0.0	0.0
D	0.5	0.8	43.4	0.5	0.1	0.0
E	0.9	0.9	28.6	2.3	0.0	0.0
F	0.6	0.5	5.4	1.5	0.1	0.0
G	1.2	0.6	2.9	1.5	0.7	0.5

Greining þessara hlutlausu tilvika, þegar þess er helst að vænta að saman fari niðurdráttur með bylgjum og blástur yfir Reykjahlíð, leiðir eftirfarandi í ljós:

- Yfir vetrarhelming ársins (okt-apríl) er vindhraði 3-6 m/s í um 37% tilvika A-áttar. Yfir sumarhelming ársins er þessu svipað farið, en þá er A-átt heldur tíðari.
- Að vetrinum eru þessi skilyrði til staðar þar sem er A-átt í lofti, 3-6 m/s og stöðugleikinn hlutlaus í um 4% alls tímans að vetrarlagi
- Að sumrinu er þetta hlutfall einnig 4% en kemur því sem næst ekki fyrir að deginum þegar sólin nær að verma yfirborðið (mynd 22.)



Mynd 22. Dreifing tilvika eftir klst. A-átt 3-6 m/s og hlutlaust (D) loft.

Við áþekk skilyrði þegar vindátt er aðeins norðan við austur, þ.e. ANA-átt, berst brennisteinsríkt loft fremur yfir yfir Voga en Reykjahlíð. Sambærileg greining fyrir ANA-átt og gerð var hér á undan fyrir A-átt leiðir í ljós að slík tilvik eru heldur algengari yfir vetrarhelming ársins og 6% af heild á meðan þau eru færri að sumarlagi, þ.e. 2-3% af heild. Yfir vetrarhelming ársins má ætla út frá mælingunum að tíðni brennisteinsvetnis yfir Reykjahlíð sé um 4% og um 6% yfir Vogahverfið samfara ANA-átt. Samtals má ætla að tíðni dreifingar yfir byggðina að vetrarlagi sé um 10%. Að sumarlagi er tíðnin á saman hátt metin um 1-2% og þá langoftast í skamma stund í einu, gjarnan að næturlagi eða snemma morguns.

7.0 Samantekt og umræður

Þó A og ANA-áttir séu ekki ríkjandi vindáttir, á Mývatnssvæðinu koma þær all oft fyrir. Í ljós kemur þegar svo háttar til að yfirgnæfandi hluti mælinga sýna að loftið er hvorki stöðugt né óstöðugt, heldur hlutlaust eða lítið eitt stöðugt (Pasquillflokkar D og E). Við hægan A-lægan vind nær gufan að rísa til lofts og í strekkingi verður ör þynning með iðustraumum. Þarna á milli, einkum þegar vindur er af styrknum 3 til 10 m/s eru líkur til þess að brennisteinsríkt loft fylgi yfirborði undan vindin.

Athuganir við Helligheiðarvirkjun hafa sýnt að fjallabylgjur sem beina brennisteinsvetninu aftur niður til yfirborðs ná sér einkum vel upp þegar loft er hlutlaust og jafnframt dálítill gola í lofti. Í þau tvö skipti sem gerðar voru athuganir í Bjarnarflagi með helíumloftbelg kom fram mikil bylgjuvirkni frá Námafjalli í A-átt á svipaðan hátt og við Helligheiðarvirkjun, enda áþekkar landslagsaðstæður. Hér er því miðað við að fjallabylgjur séu ráðandi þegar vindur mælist 3-6 m/s í Bjarnarflagi. Mörkin eru kannski í lægri kantinum, en horft er þá til þess að vindhraði er ívið meiri á Námafjalli sem nemur 2 til 3 m/s. Rétt er að miða við vind á Námafjalli frekar en í Bjarnarflagi, því að þar er greinilegt skjól í A-átt, en síður þó í NA-átt.

Ætla má að brennisteinsríkt loft berist yfir Reykjahlíð í um 4% alls tímans. Á veturna á öllum tímum dagsins, en yfir sumarhelming ársins þegar sólin vermir yfirborðið einkum á kvöldin, nóttinni og snemma morguns.

Vindur sem er aðeins norðan við austur er algengari. Þá berst brennisteinsvetni frá Bjarnarflagi frekar yfir Voga. Að vetrinum er tíðnin um 6%, en minna er um ANA-átt af styrknum 3-6 m/s á sumrin.

Hér eru ekki tekin með í reikninginn tilvik í hæglátu en mjög köldu veðri, sem koma fyrir í innan við 1% tilvika (0,2%). Þó svæling brennisteins í gufunni niður til yfirborðs eigi sér stað í slíku veðurlagi er ekki ástæða til að hafa áhyggjur af slíkum atvikum í samanburði við algengi A- og ANA-áttanna. Mögulega er þó stutt mælitímabilið ekki heppilegt, og hugsanlega var minna um mjög kalda vetrardaga í Mývatnssveit þá en gerist að jafnaði. Hér er heldur ekki horft til annarra skammvinnra mælitoppa sem gætu komið fram við aðrar mögulegar og ónefndar óhagstæðar veðuraðstæður.

Rétt er því að gera ráð fyrir ívið hærri tíðni en algengi A- og ANA-átta segir til um. Því er áætluð tíðni hárra mæligilda brennisteinsvetnis allt að 5% í Reykjahlíð og 7% í Vogahverfi yfir vetrarmánuðina frá október og fram í apríl. Samanlagt má því gera ráð fyrir því að aukinn styrkur brennisteinsvetnis gæti komið fram annað hvort í þéttbýlinu í Reykjahlíð eða við Voga í um 12% alls tíma að vetrinum. Væntanlega er um eitthvað ofmat að ræða þar sem einstakir mælar nema oft aukin styrk í púlsum og dettur niður á milli. Engu að síður má segja að tíðni atburða með hækkuðum styrk við norðausturbakka Mývatns sé þessi.

Að sumarlagi er tíðni metin um 1-2%, gjarnan að næturlagi eða snemma morguns, og þá langoftast í skamma stund hverju sinni áður en sól tekur að verma yfirborðið.

Rétt er að geta þess að hér hefur engin tilraun verið gerð til þess að leggja mat á hugsanlegan styrk H_2S í mælingum. Ýmsir þættir hafa áhrif á hann. Svo sem magn í útblæstri, fjarlægð frá útrás og síðan allir þeir veðurþættir sem hér er fjallað um.

Ein helsta niðurstaðan sem hér hefur fengist, með úrvinnslu þeirra veðurmælinga sem ráðist var í, er sú að hefðbundin útrás brennisteinsvetnis frá stöðvarhúsi í Bjarnarflagi leiðir til þess að yfir vetrartímann mun í fleiri daga en áviðundandi kann að þykja koma fram aukinn styrkur H_2S í byggðinni til vesturs og suðvestur af Bjarnarflagi.

Til að draga úr mengunarálagi af völdum brennisteinsvetnis kann að vera heppilegast að leiða gasið um langa leið, t.d. til norðausturs í grennd við Kröflu og sleppa því þar sem aðstæður til þynningar eru taldar góðar og fjallabylgjur knýja ekki eðlisþungt gasið aftur til yfirborðs.

Viðaukar

Viðauki 1. Lýsing tveggja mælingaferða með helíumloftbelg

Um mælingar með helíumloftbelg

Blaðra, eins þeirri sem notuð m.a. við daglegar háloftamælingar á Keflavíkurflugvelli, er fyllt af helíumgasi. Neðan í hana er hengdur plastkassi með mælibúnaði. Á kassunum eru göt og leikur um hann loft. Mældur er hiti og raki, en einnig er staðsetningarbúnaður sem gefur nákvæmar upplýsingar um hæð belgsins á hverjum tíma. Mæligildi eru skráð á 2 sek. fresti.

Blaðran er tengd við línu úr girni. Línan er 200 m, en lyftingin verður æfinlega lægri þegar belgurinn leggst undan vindi. Alla jafna nær belgurinn ákveðinni hæð og helst stöðugur þar. Þegar svo háttar til að verulegt lóðstreymi er í lofti s.s. vegna fjallabylgna hnígur belgurinn og rís á víxl. Með þeim hætti má kanna með þessari aðferð hvort greinilegir lóðvindar séu á ferðinni. Slíkir vindar sem mark er á takandi myndast einkum fyrir áhrif frá landslagi eða öðrum ójöfnum á yfirborði ásamt því að staðbundið lóðstreymi getur verið umtalsvert við skúra- eða éljaklakka.

Fyrri mælingaferð 30. október 2014

Farið var að haustlagi eftir að beðið hafði verið hentugra veðurskilyrða. Fyrir valinu varð 30. október 2014. Þann dag var spáð austangolu og líklega vel blönduðu lofti. Þarna sýndust vera kjörskilyrði fyrir bylgjumyndun af Námafjalli í vesturátt. Komið var í Bjarnarflag þegar degi var tekið að halla laust upp úr kl. 16 (mynd 1). Eftir undirbúning með aðstoð starfsmanns Landsvirkjunar var belgnum sleppt á syðra borplani um kl. 16:40. (sjá myndir 2 og 3). Belgurinn lagðist undan vindi, en reis jafnframt ákveðið. Hvað eftir annað lenti hann í niðurstreymi (sjá mynd 4).

Í Bjarnarflagi (mælimastur) var vindur um 5-6 m/s í 10 m hæð á meðan á sleppingunni stóð og vindáttin var 80°. Á Námafjalli var sama vindátt, en á milli 7-8 m/s. Hiti var -3,7°C í Bjarnarflagi, en -4,5°C á Námafjalli. Hitafallið bendir til þess að loftið hafi verið vel blandað og hvorki stöðugt né óstöðugt. Breytingar á hita og vindi voru óverulegar á meðan á mælingunum stóð.



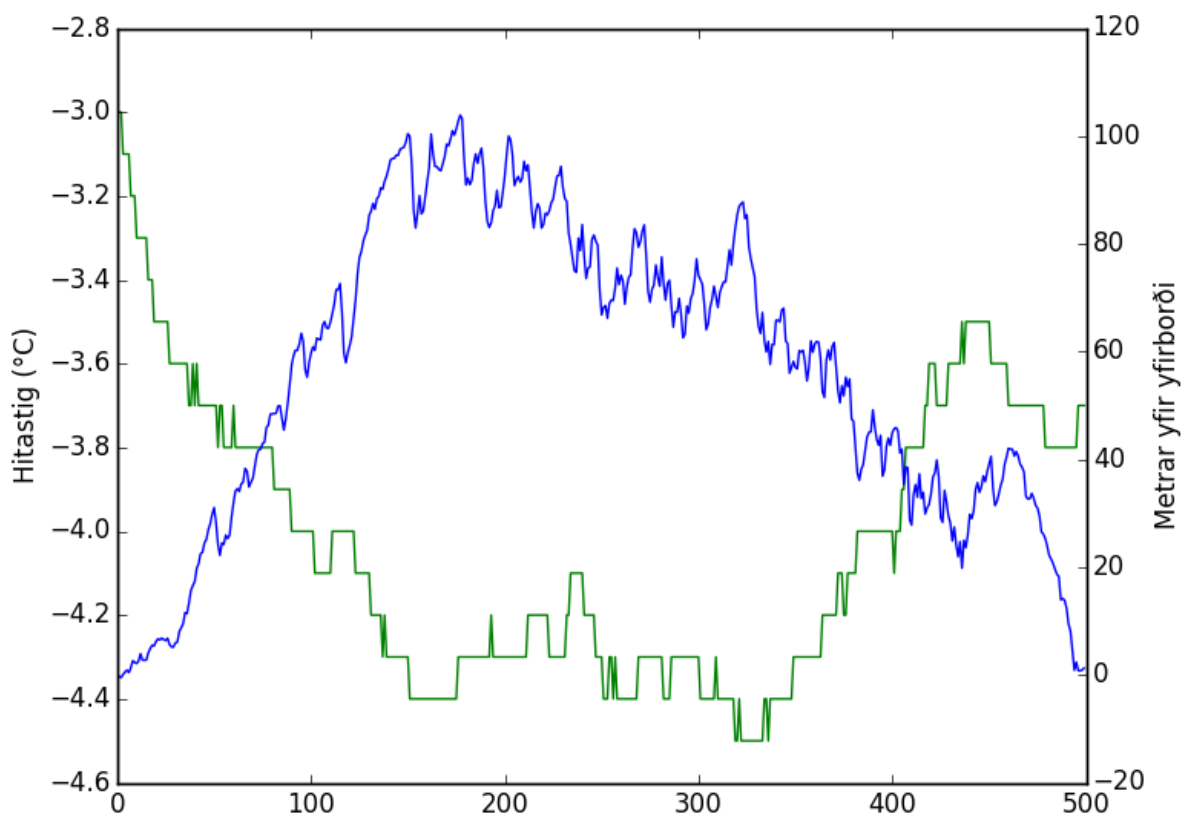
Mynd 1. Staðsetning mælinga með loftbelg. (Af já.is)



Mynd 2. Loftbelgurinn ásamt línuhjóli.



Mynd 3. Belgurinn rís og neðan í honum er mælíbúnaðurinn.



Mynd 4. Blái ferillinn sýnir hæð frá yfirborði og sá græni mældan hita. Tími er gefinn upp í sek á láréttum ás. Belgurinn ris og hnígur á víxl gjarnan um 15-20 m vegna bylgjuhreyfinga í lofti. Hann fór hæst í 100 m og þá var öll línan úti. Smámsaman lækkaði hæðin og eftir um 8 mín á lofti í um 40 m hæð var línan dregin inn.

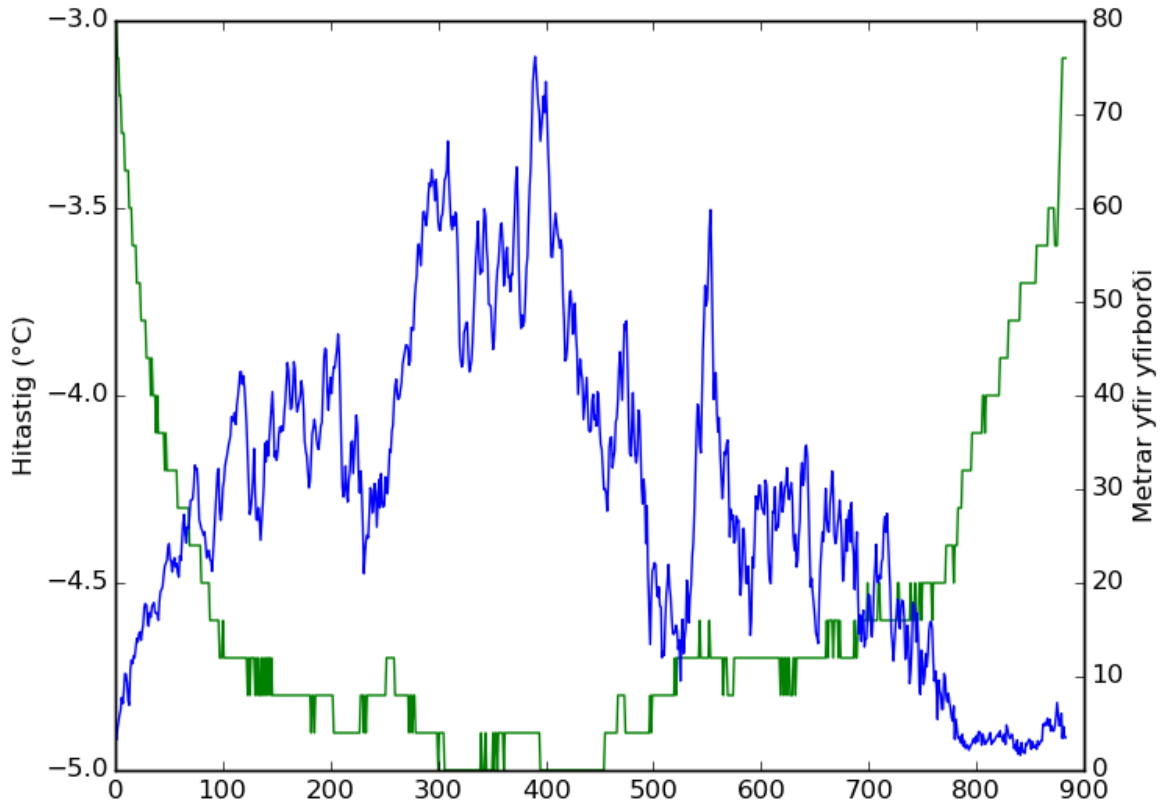
Síðari mælingaferð, 29. mars 2015

Komið var að Námafjalli kl 13:00 þann 29.mars. Þá var austanátt á Mývatni, 105° og 6 m/s. Hitinn var -3,0°C. Mælistöðin á Námafjalli var fallin þegar þarna var komið við sögu. Hins vegar voru samtímamælingar hita í 30 m hæð í mastrinu um 0,6 til 0,8°C lægri en í 2 m. hæð. Það hitafall bendir til þess að loft hafi verið óstöðugt.

Belgnum var sleppt á borholuplani neðan við fjallið á sama stað og í fyrri ferð. Vart varð við bylgjuhreyfingar nánast um leið og belgnum var sleppt. Belgurinn reis ekki stöðugt. Niðurstreymi keyrði belginn hratt niður, jafnvel 50 - 60 metra á fáum sekúndum.

Mælingar úr belgnum sjást á mynd 5, þar sem bláa lína sýnir líkt og áður hæð yfir yfirborði en græna línan sýnir hitastig og x ásinn sýnir tíma í sekúndum frá sleppingu. Hitastigið lækkar greinilega með aukinni hæð, fer úr -3,0 °C við yfirborð niður í -5.0 °C í 50 - 70 metra hæð yfir yfirborði. Mælingarnar benda ekki til þess að hitahvörf séu til staðar í neðstu 70 metrunum.

Hæð belgsins er mjög breytileg. Hann reis nokkuð jafnt til að byrja með en síðan lyftsit hann og lækkaði hratt til skiptis, til samræmis við fjallabylgjurnar. Vegna þess hversu sterkar fjallabylgjurnar voru, var ekki hægt að koma belgnum hærra upp. Eftir um 700 sekúndur var línan dregin inn.



Mynd 5. 29. mars 2015 kl. 13. Blái ferillinn sýnir hæð frá yfirborði og sá græni mældan hita eins og áður. Mikið lóðstreymi kemur skýrt fram á hæðarferlinum.

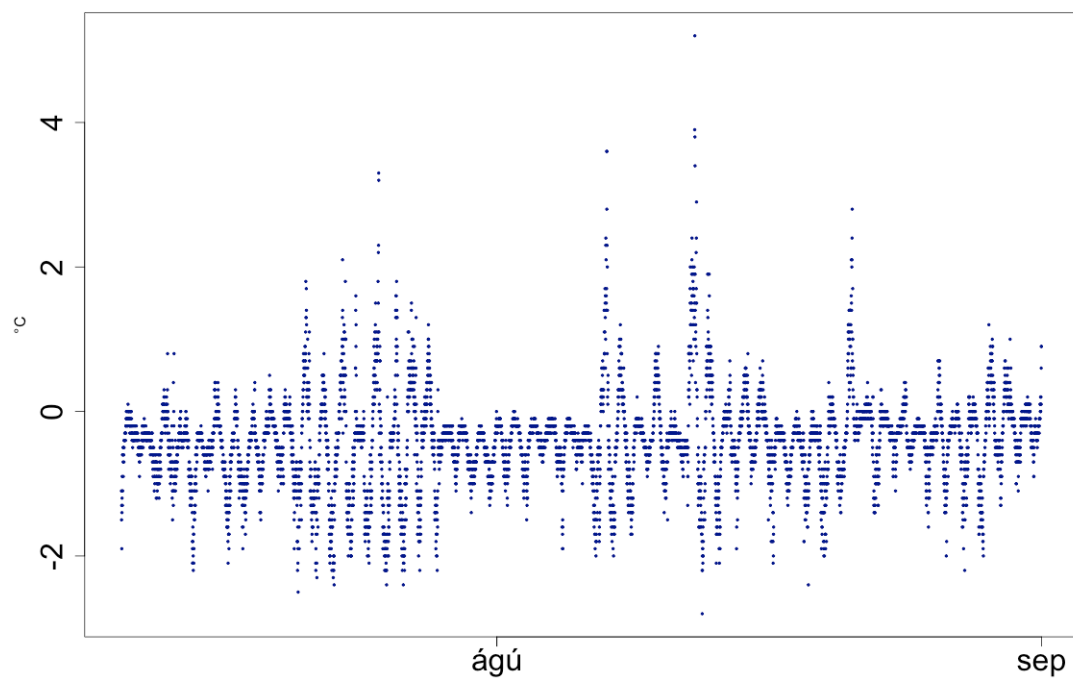
Belgnum var aftur sleppt á sama stað kl 13:30. Þá var svipað mynstur sjáanlegt en þó virtust fjallabylgjurnar vera öflugri. Fjallabylgjurnar voru nógu öflugar til að keyra belginn alveg niður í jörð og skemma með því seinna settið af mælíbúnaði, en fyrra settið hafði farið í sundur vegna mikils hristings skömmu áður. Vegna þessa eru mælingar úr seinni sleppingunni ekki til skráðar.

Næst var haldið upp á Námafjall þar sem belgnum var sleppt kl 14:15. Þar uppi var vindhraði meiri og stöðugri. Þar sem mælíbúnaður var bilaður voru engar mælingar á hitastigi og hæð gerðar uppi á fjallinu. En greinilegt var að engar bylgjur voru þarna á fjallinu, belgurinn reis jafnt og þétt upp í á að giska 120 metra yfir fjallinu og hélst þar stöðugur undan vindinum.

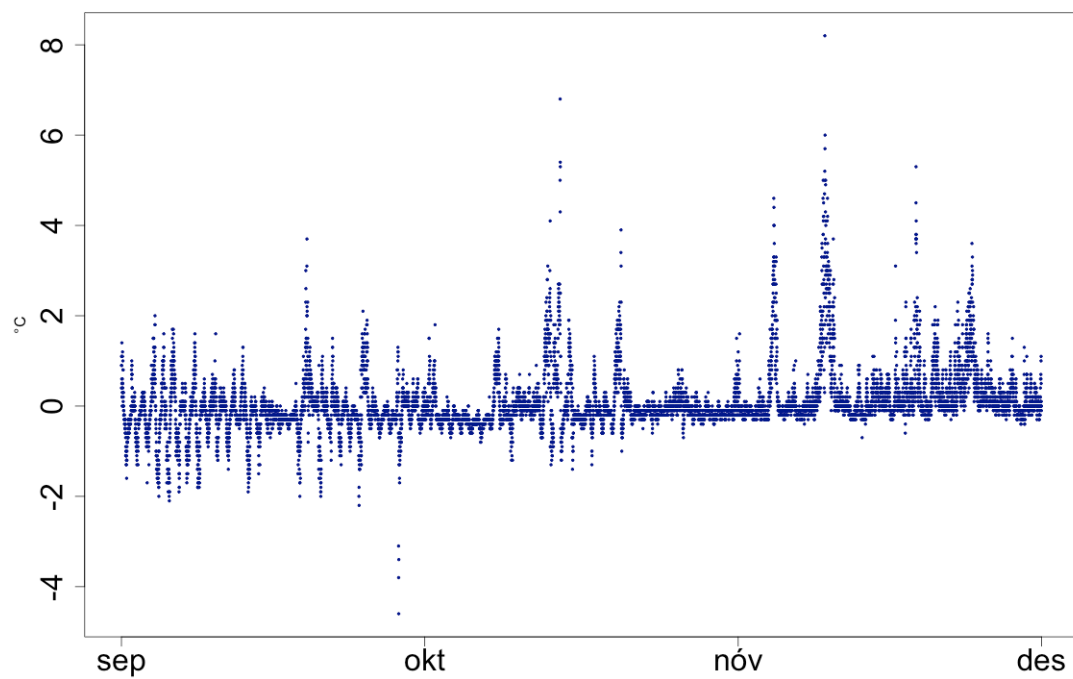
Að lokum var belgnum sleppt á Námafjalli og hann látinn svífa laus við línunana. Þá sveif belgurinn líkt og áður jafnt og þétt upp allt þar til hann hvarf sjónum.

Viðauki 2. Mælingar í mastri Bjarnarflags frá júlí 2013 – júlí 2015.

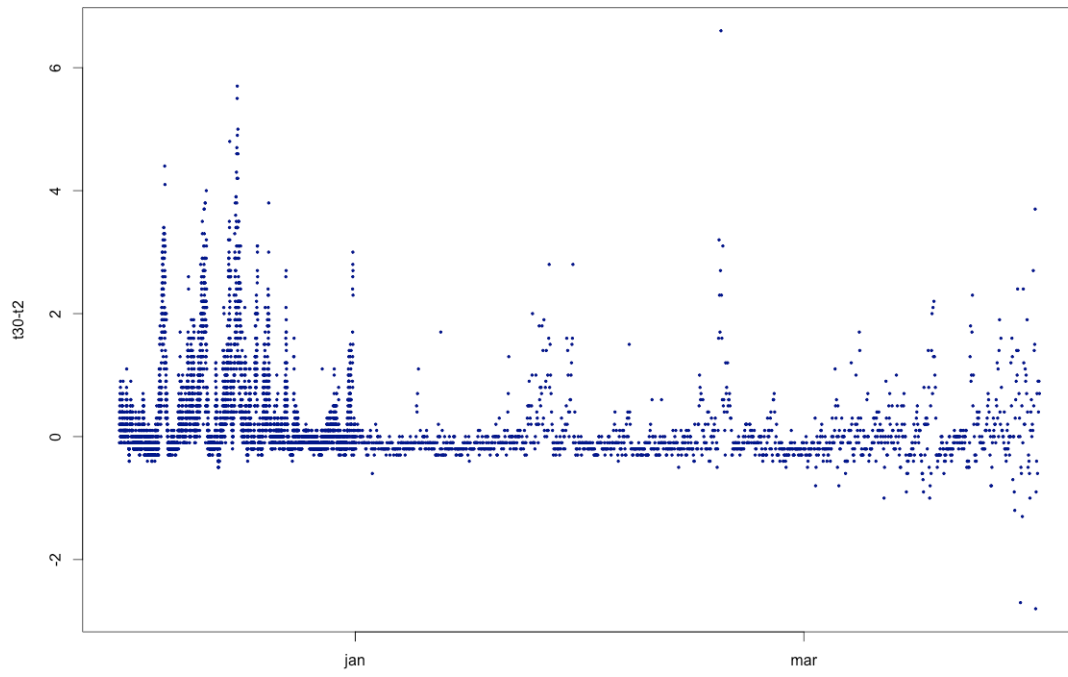
t30-t2, júlí og ágúst 2013



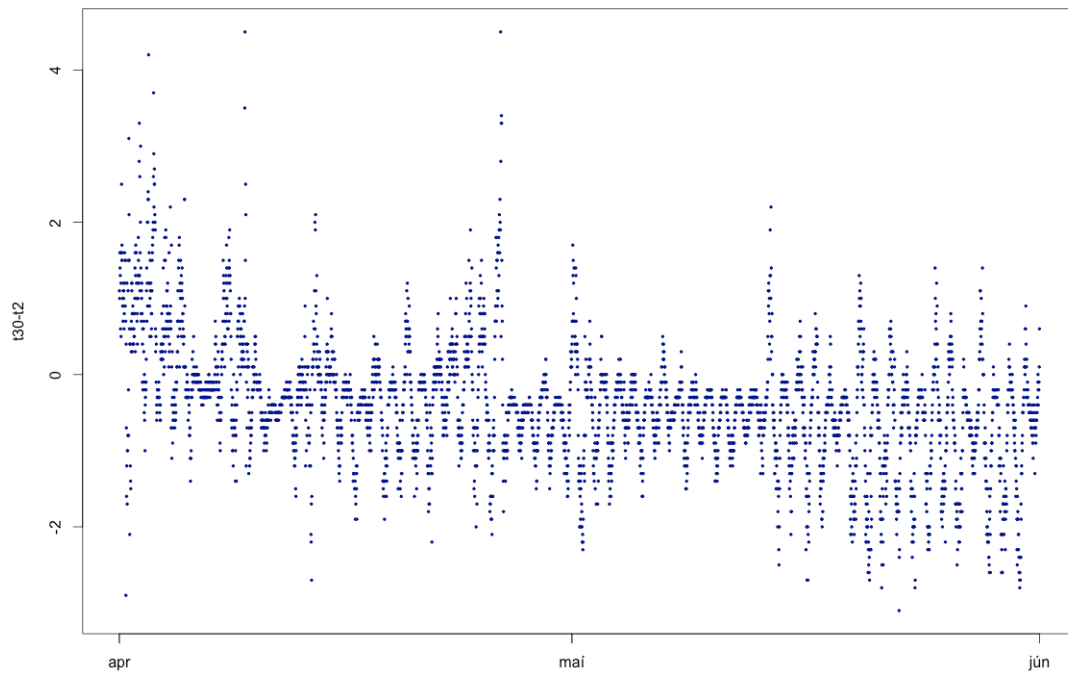
t30-t2, sept-nóv 2013



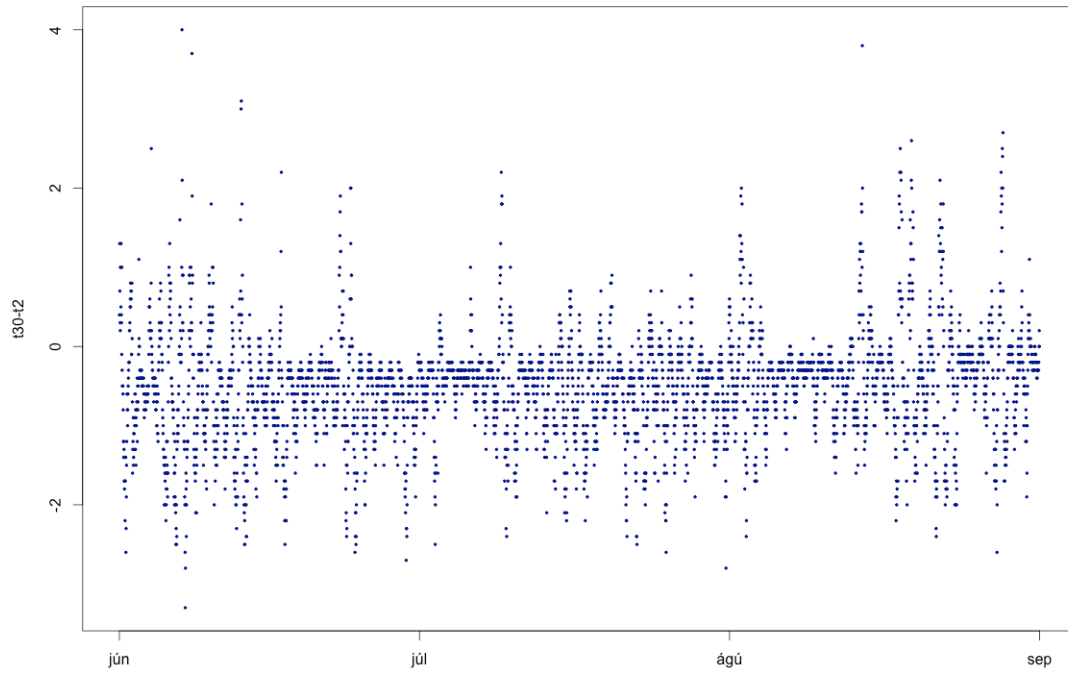
t30-t2 des2013-mars 2014



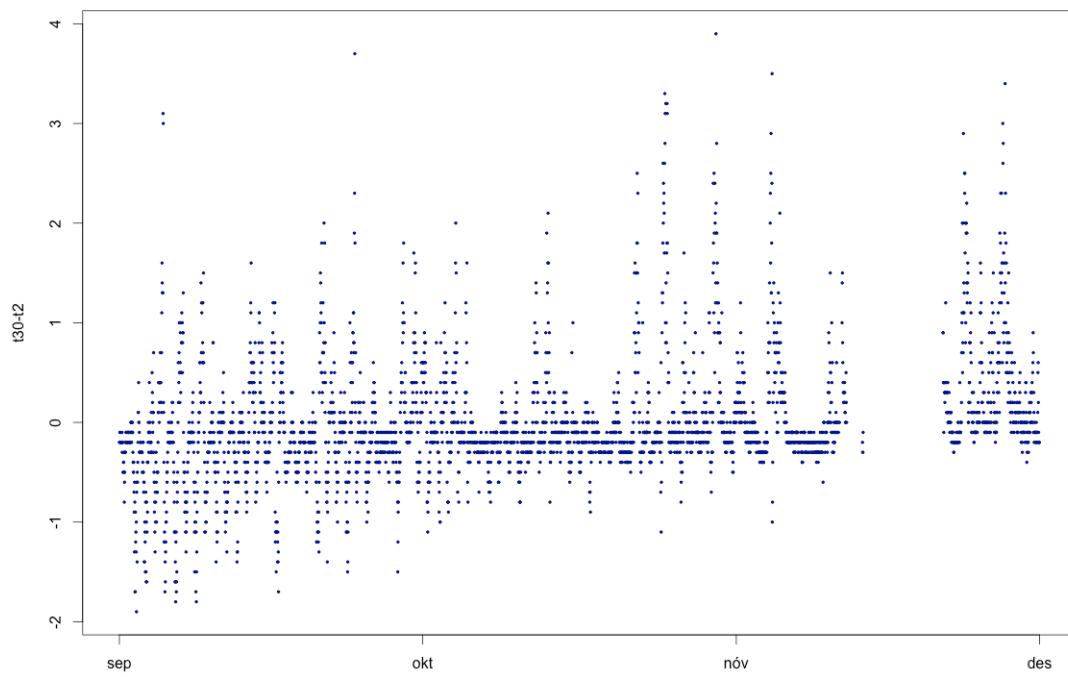
t30-t2 april og maí 2014



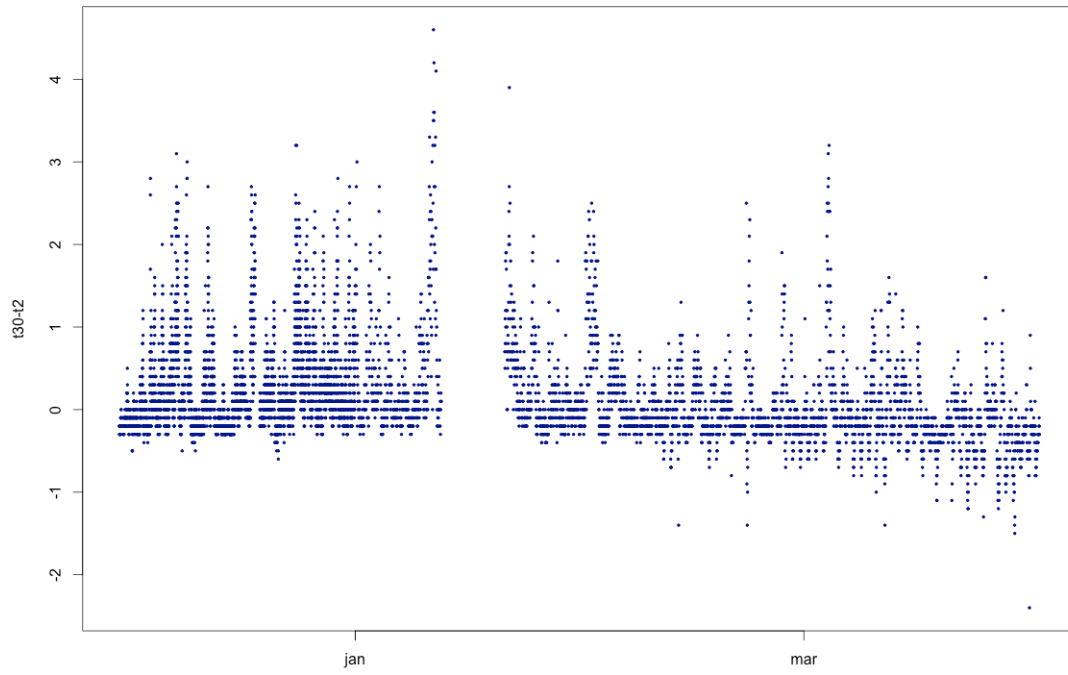
t30-t2 júni-ágúst 2014



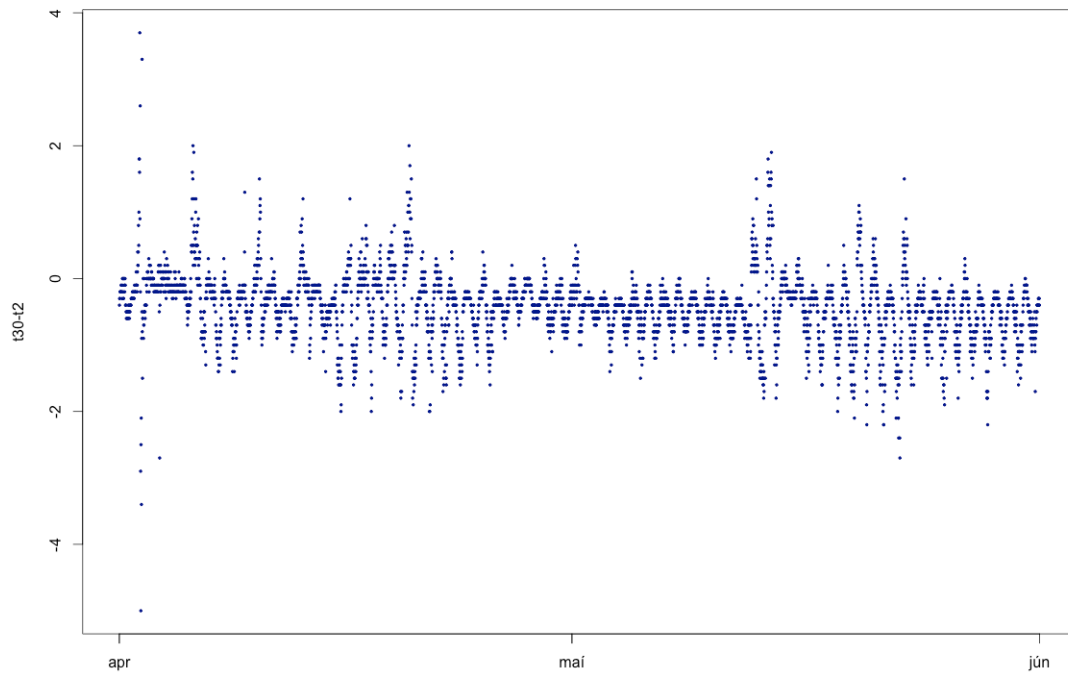
t30-t2 sept-nóv 2014



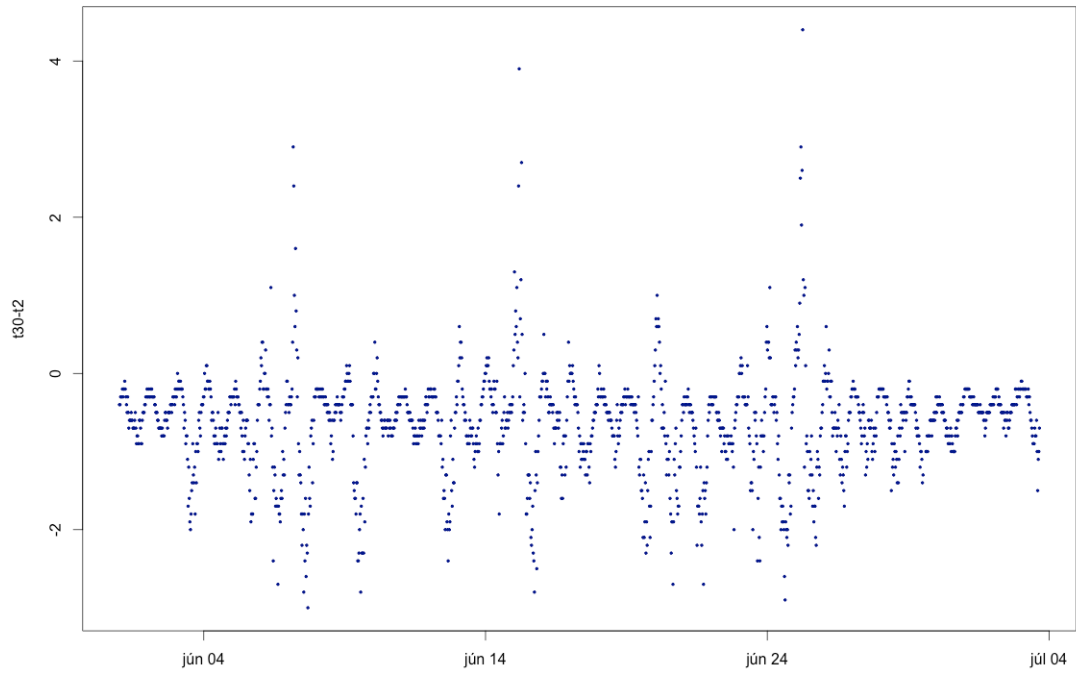
t30-t2 des2014-mars 2015



t30-t2 april og mai 2015



t30-t2 júní og júlí 2015





Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

