



Samanburður á vindhviðum mældum í 1 sek og 3 sek.



Unnið fyrir þjónustudeild
með styrk frá Rannsóknasjóði
Vegagerðarinnar

30. júní 2016
Einar Sveinbjörnsson
Sveinn Gauti Einarsson

Titill: Samanburður á hviðum mældum í 1 sek og 3 sek.

Verkefnisstjóri: Nicolai Jónasson, Vegagerðinni.

Höfundar:

Einar Sveinbjörnsson, veðurfræðingur.

Sveinn Gauti Einarsson, umhverfisverkfræðingur.

Veðurvaktin ehf.

Veðurvaktin ehf.

1. Inngangur

Þeir vindmælar sem Vegagerðin rekur geta mælt vindhraða og vindátt með hárrí tíðni. Hún er 4 Hz þ.e. upplausnin getur verið allt að 0,25 sekúndur. Mælarnir eru Young Skrufumælar og eru þeir forritaðir af Vegagerðinni fyrir 1 sek. gildi sem skilgreind vindhviða. 10 mínútna meðalvindur er þar af leiðandi meðaltal 600 slíkra gilda. Staðall WMO (Alþjóða Veðurfræðistofnunarinnar), Guide to Meteorological Instruments, Methods and Observation kveður á um það að vindhviða sé augnabliksvindur sem varir í 3 sekúndur. Vindmælar Veðurstofunnar sem flestir eru af sömu gerð og mælar Vegagerðarinnar eru stilltir á 3 sek vindhviðu. Þarna gætir augljóslega nokkurs misræmis. Notendur þjónustunnar hafa hins vegar vanist gildum hviðunnar í framsetningu Vegagerðarinnar. Hér er skoðað hverju munar á 1 sek hviðu og 3 sek hviðu í sömu mælingu. Í því skyni voru settir upp aukamælar á þremur nýlegum veðurstöðum og öllum gögnum safnað með upplausninni 1 Hz (1 sek.) í stað þeirrar aðferðar í daglegum rekstri að velja úr hæsta vindgildi á hverjum 10 mínútum og henda öðrum gögnum til að spara gagnamagn í sendingu og geymslu.

Á grundvelli þessarar athugunar er rétt að Vegagerðin skoði hvort ástæða sé til að breyta birtingu gilda vindhviðunnar til samræmis við staðal WMO. Áður en slík ákvörðun er tekin þarf einnig að horfa til þátta eins og reynslu og tilfinninga vegfarenda fyrir hættulegum vindgildum á þekktum hviðustöðum, þar sem Vegagerðin hefur í yfir 20 ár birt vindhviðu með samræmdum hætti. Allar breytingar á reikningi vinds þarf að kynna vel fyrir notendum þjónustunnar.

2. Veðurstöðvar til skoðunar

Tafla 1: Veðurstöðvar sem notaðar voru

Veðurstöð	Tímabil
Bræðratunguvegur (93)	13.03.2014 - 15.02.2016
Festarfjall (101)	22.01.2014 - 15.02.2016
Markarfljótsbrú (74)	22.01.2014 - 15.02.2016
Hafnarfjall/Hafnarmelar (1673)	01.01.2002 - 04.03.2016

Tafla 1 sýnir veðurstöðvarnar sem skoðaðar voru í þessari athugun. Bræðratunguvegur, Festarfjall og Markarfljótsbrú eru veðurstöðvar í eigu Vegagerðarinnar með vindmæli í 6 metra

hæð. Allar mæla þær á tímabilinu 1 sek, 2 sek og 3 sek vindhviður. Hafnarfjall er einnig í eigu Vegagerðarinnar og með vindmæli í 6 metra hæð, en hún mælir eingöngu 1 sek hviðu. Hafnarmelar er veðurstöð í eigu Veðurstofunnar. Þar er vindmælir í 10 metra hæð sem mælir aðeins 3 sek hviðu.

Fyrir þá þrjá mæla þar sem bæði 1 sek hviða og 3 sek hviða eru mældar voru hviðurnar bornar saman, til að sjá hversu miklu munar á þeim. Tengsl hviðanna voru skoðuð fyrir mismunandi vindhraða og vindáttir.

Þar sem stöðvarnar þrjár með aukamælunum eru ekki á stöðum, þar sem sterkar vindhviður eru áberandi, var ákveðið að skoða mælana við Hafnarfjall og á Hafnarmelum en þar er sviptivindasamt eins og kunugt er.

Auk hæðarmismunarins eru nokkur hundruð metrar á milli veðurathugunarstöðvanna við Hafnarfjall. Leiðréttu þarf þennan mismun. Til þess er formúla til að uppreikna vind (e. Wind profile power law) notuð. Formúluna má sjá hér að neðan. Í þessu tilfelli er u vindhraði við Hafnarfjall, u_r er vindhraði á Hafnarmelum, z er hæð vindmælis við Hafnarfjall (6 metrar), z_r er hæð vindmælis á Hafnarmelum (10 metrar) og α er stuðull sem lýsir breytingu á vindhraða með hæð.

$$u = u_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha$$

Allar mælingar þar sem vindhraði var meiri en 5 m/s við Hafnarmela voru notaðar til að reikna út réttan α á milli Hafnarfjalls og Hafnarmela. α reyndist vera 0,136 að meðaltali, og var það gildi notað til að áætla vindhraði í 6 metra hæð á Hafnarmelum.

Hviðustuðull verður mikið notaður hér á eftir til að bera saman 1 sek og 3 sek vindhviður. Hviðustuðull er hlutfallið á milli mestu 3 sek hviðu og hæsta meðalvinds á gefnu tímabili. Því hærri sem hviðustuðullinn er þeim mun meiri er munurinn á meðalvindhraða og vindhviðum.

2.1 Festarfjall

Veðurstöðin við Festarfjall var sett upp árið 2012. Auka vindmælir var settur upp árið 2014. Kort sem sýnir staðsetningu stöðvarinnar má sjá á mynd 1.



Mynd 1: Veðurstöðin við Festarfjall

Veðurstöðin er merkt inn sem ljósblár punktur. Vindurinn blæs ótruflaður úr öllum áttum nema SA-átt þar sem Festarfjall gæti haft áhrif á vindinn.

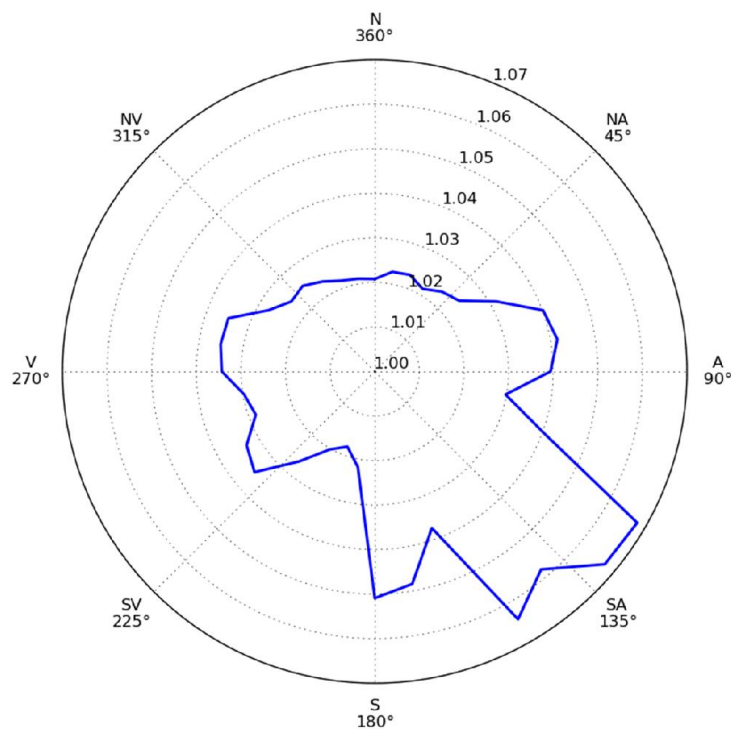
Tafla 2: Vindhraðabil og hviðuhlutfall á Festarfjalli

Vindhraði	Hviðuhlutfall 1s/3s	Staðalfrávik	Hviðustuðull	Tíðni
0-5	1.0274	0.0327	1.8667	36.56%
5-10	1.0312	0.0254	1.5151	41.44%
10-15	1.0352	0.0278	1.4254	16.94%
15-20	1.0370	0.0276	1.3799	4.56%
20-25	1.0376	0.0302	1.3641	0.38%
25-30	1.0305	0.0234	1.3431	0.10%
30+	1.0296	0.0204	1.3311	0.02%

1 sek hviða er að meðaltali 2,7% - 3,8% hærri en 3 sek hviða á Festarfjalli. Minnstur munur er á styrk hviðanna þegar vindur er hægur eða mjög mikill. Munurinn er mestur þegar vindhraðinn er

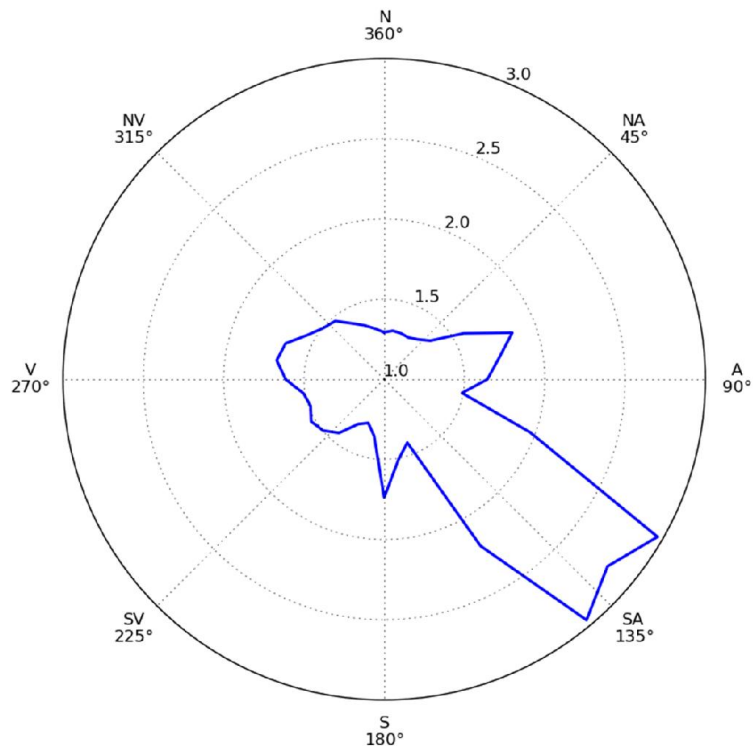
á bilinu 15 - 25 m/s. Mjög fá tilvik falla undir flokkana 20 - 25, 25 - 30 og 30+ m/s og er munurinn á milli þeira flokka og 15 - 20 m/s ekki marktækur. Af þessu er hægt að draga þá ályktun að munurinn á 1 sek og 3 sek vindhviðum aukist með hækkandi vindhraða. Hviðustuðullinn, þ.e. 1 sek/meðalvindhraða minnkar mjög greinilega með hækkandi vindhraða.

Hviðuhlutfall og hviðustuðull voru einnig skoðaðir eftir vindáttum við Festarfjall. Mynd 2 sýnir hviðuhlutfallið eftir vindáttum.



Mynd 2: 1 sek hviða sem hlutfall af 3 sek hviðu eftir vindáttum við Festarfjall

Hlutfallið er undir 1,05 í öllum áttum nema suðaustlægum áttum, þar fer hlutfallið upp í tæplega 1.07. Munurinn á 1 sek hviðu og 3 sek hviðu er því mestur í SA-átt. Hviðustuðullinn við Festarfjall má sjá á mynd 3.



Mynd 3: Hviðustuðull eftir vindáttum við Festarfjall

Það er svipað mynstur í hviðustuðlinum og í hviðuhlutfallinu. Hviðustuðullin er hæstur í suðaustlægum áttum, tæplega 3 en á milli 1,5 og 2 í öðrum áttum. Þessi mikli munur stafar líklega af því að Festarfjall í suðaustri truflar vindinn og truflar eðlilegt flæði hans sem aftur veldur auknum vindhviðum.

2.2 Bræðratunguvegur

Veðurstöðin við Bræðratunguveg var sett upp árið 2012. Auka vindmælir var settur upp árið 2014. Kort sem sýnir staðsetningu stöðvarinnar má sjá á mynd 4.



Mynd 4: Veðurstöðin við Bræðratunguveg

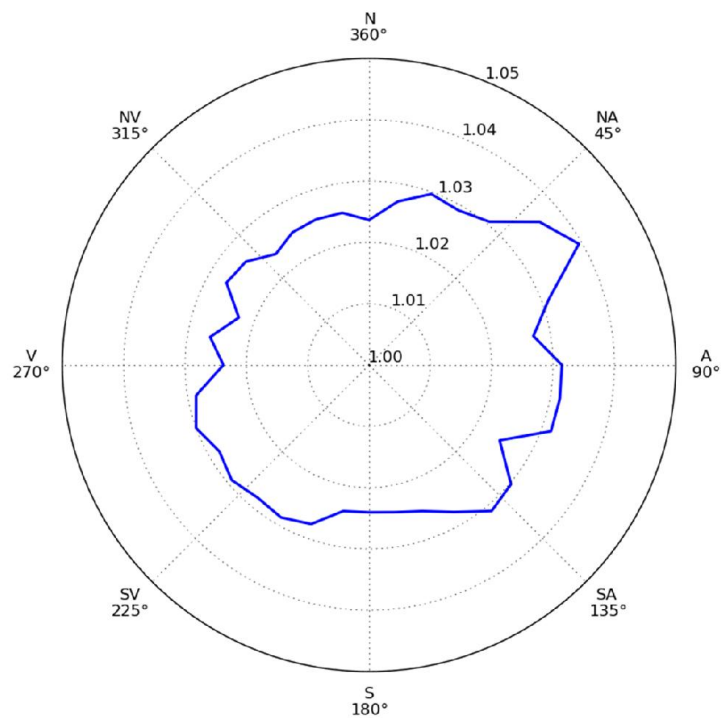
Landslagið í kringum veðurstöðina við Bræðratunguveg er einsleitt, flatt og vel gróið. Í næsta nágrenni eru engin fjöll eða hæðir sem gætu haft áhrif á vindhraða við veginn.

Tafla 3: Vindhraðabil og hviðuhlutfall við Bræðratunguveg

Vindhraði	Hviðuhlutfall 1s/3s	Staðalfrávik	Hviðustuðull	Tíðni
0-5	1.0240	0.0359	1.7533	55.93%
5-10	1.0277	0.0171	1.4413	35.45%
10-15	1.0324	0.0181	1.4226	7.70%
15-20	1.0355	0.0189	1.4148	0.81%
20-25	1.0400	0.0198	1.4243	0.09%
25-30	1.0329	0.0102	1.4255	0.01%
30+	0	0	0	0.00%

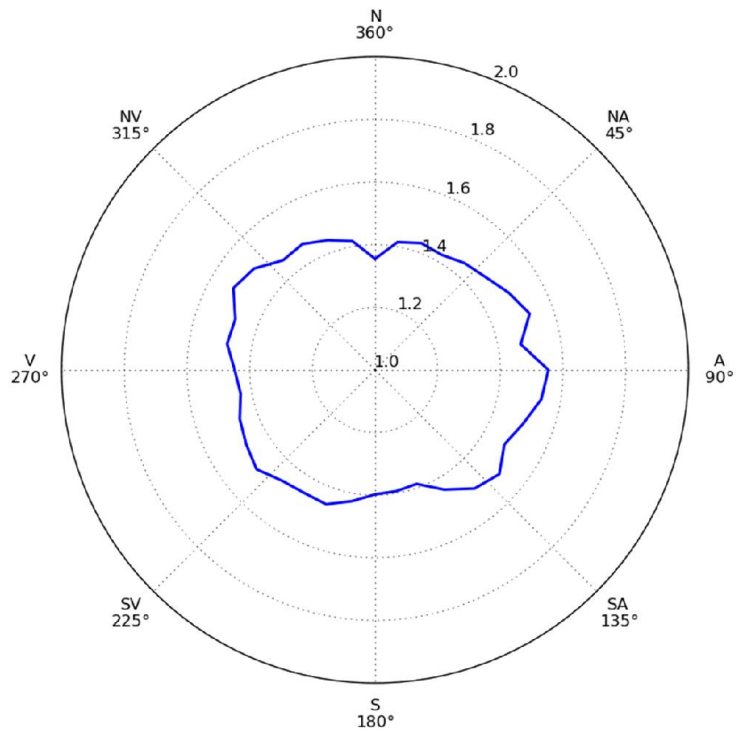
Hviðuhlutfallið er að meðaltali 1.02 - 1.04 og eykst með auknum vindhraða. Hár vindhraði mælist sjaldan við Bræðratunguveg og vindhraði yfir 30 m/s mældist aldrei á tímabilinu. Þetta sýnir svipaða niðurstöðu og við Festarfjall, það er að hlutfallsmunur á 1 sek og 3 sek vindhviðu eykst með auknum vindhraða. Fyrir vind 5 m/s eða meiri helst stuðullinn frekar stöðugur í kringum 1,42 - 1,44.

Næst var hviðuhlutfallið og hviðustuðullinn skoðaður eftir mismunandi vindáttum. Mynd 5 sýnir hviðuhlutfallið eftir vindáttum.



Mynd 5: 1 sek hviða sem hlutfall af 3 sek hviðu eftir vindáttum við Bræðratunguveg

Hviðuhlutfallið er svipað í öllum vindáttum, í kringum 1.03. Hið einsleita landslag í kringum stöðina veldur því að hviðustuðullinn er mjög svipaður í öllum áttum. Á mynd 6 má sjá hviðustuðulinn við Bræðratunguveg.



Mynd 6: Hviðustuðull eftir vindáttum við Bræðratunguveg

Hviðustuðullinn er líkt og hviðuhlutfallið nánast sá sami í öllum vindáttum. Greinilegt er að það skiptir litlu sem engu máli hvaðan vindurinn blæs við Bræðratunguveg, hann hagar sér alltaf á sama hátt.

2.3 Markarfljót

Veðurstöðin við Markarfljót var sett upp árið 2010. Auka vindmælir var settur upp árið 2014. Kort sem sýnir staðsetningu stöðvarinnar má sjá á mynd 7.



Mynd 7: Veðurstöðin við Markarfljót

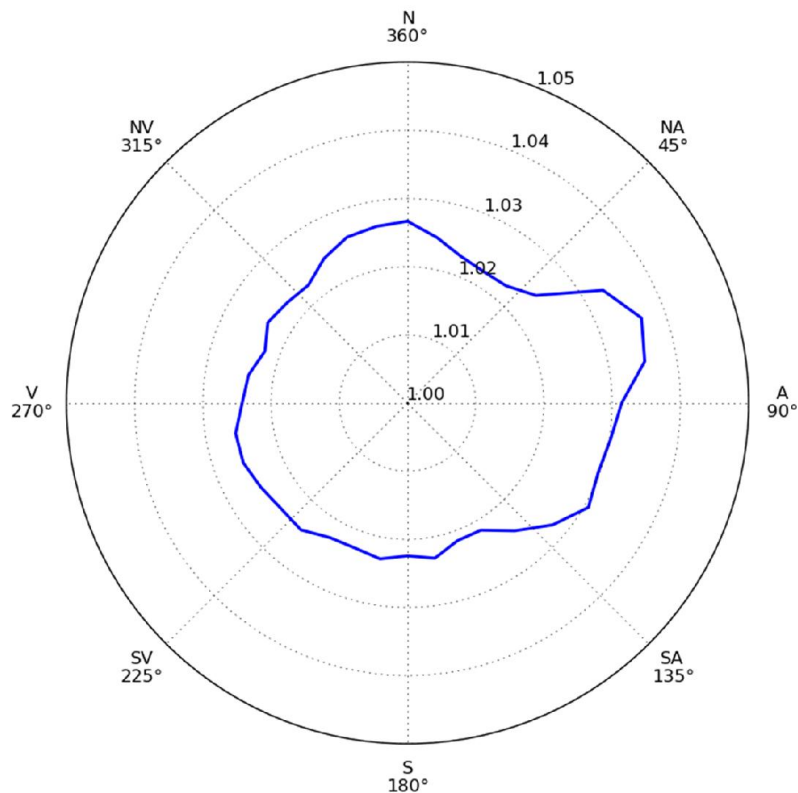
Rétt eins og við Bræðratunguveg er landslagið í nágrenni veðurstöðvarinnar við Markarfljót einsleitt, flatt og gróið. Engin hæð eða fjall eru í næsta nágrenni stöðvarinnar, en Eyjafjöll gnæfa yfir í fjarska í norðaustri.

Tafla 4: Vindhraðabil og hviðuhlutfall við Markarfljót

Vindhraði	Hviðuhlutfall 1s/3s	Staðalfrávik	Hviðustuðull	Tíðni
0-5	1.0197	0.0227	1.7388	48.98%
5-10	1.0233	0.0144	1.3973	35.51%
10-15	1.0284	0.0160	1.3995	12.05%
15-20	1.0328	0.0174	1.4112	2.71%
20-25	1.0352	0.0202	1.4156	0.63%
25-30	1.0377	0.0192	1.4013	0.10%
30+	1.0495	0.0147	1.4444	0.01%

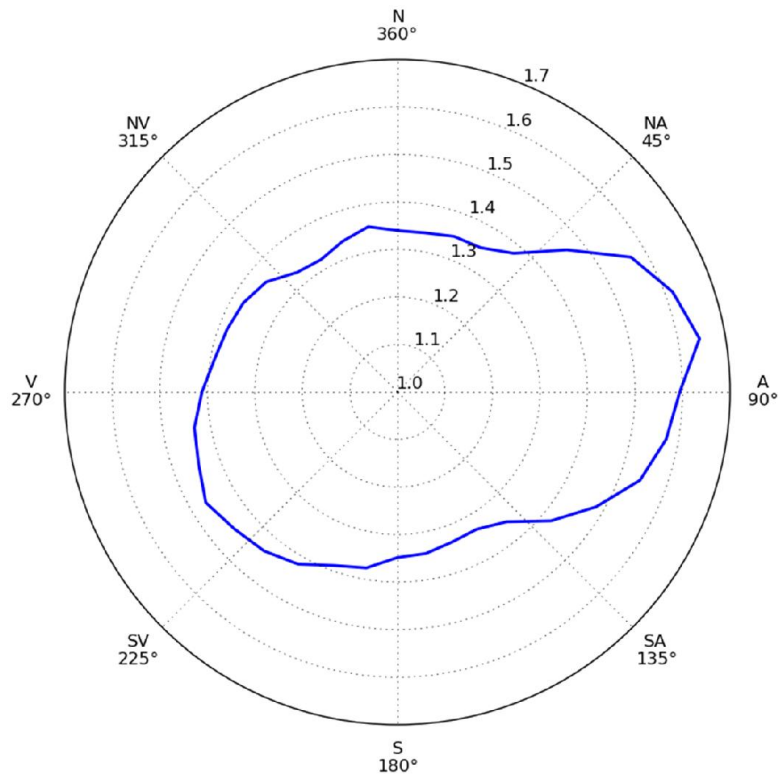
Hviðuhlutfallið við Markarfljót er á bilinu 1.02 - 1.05 og eykst með auknum vindi. Tilvik þar sem vindur er yfir 25 m/s eru fá, og ekki er hægt að segja með tölfræðilegri vissu að hviðuhlutfallið hækki þegar vindur er meiri en 25 m/s þó tölurnar bendi til þess. Hviðustuðullinn er nokkurnveginn sá sami fyrir mismunandi vindhraðabil, fyrir utan flokkinn með lágum vindi. Hviðustuðullinn virðist hæstur þegar vindur er yfir 30 m/s en munurinn á því vindhraðabili og öðrum bilum er ekki marktækur.

Næst var hviðuhlutfallið og hviðustuðullinn skoðaður eftir mismunandi vindáttum. Mynd 8 sýnir hviðuhlutfallið eftir vindáttum.



Mynd 8: 1 sek hviða sem hlutfall af 3 sek hviðu eftir vindáttum við Markarfljót

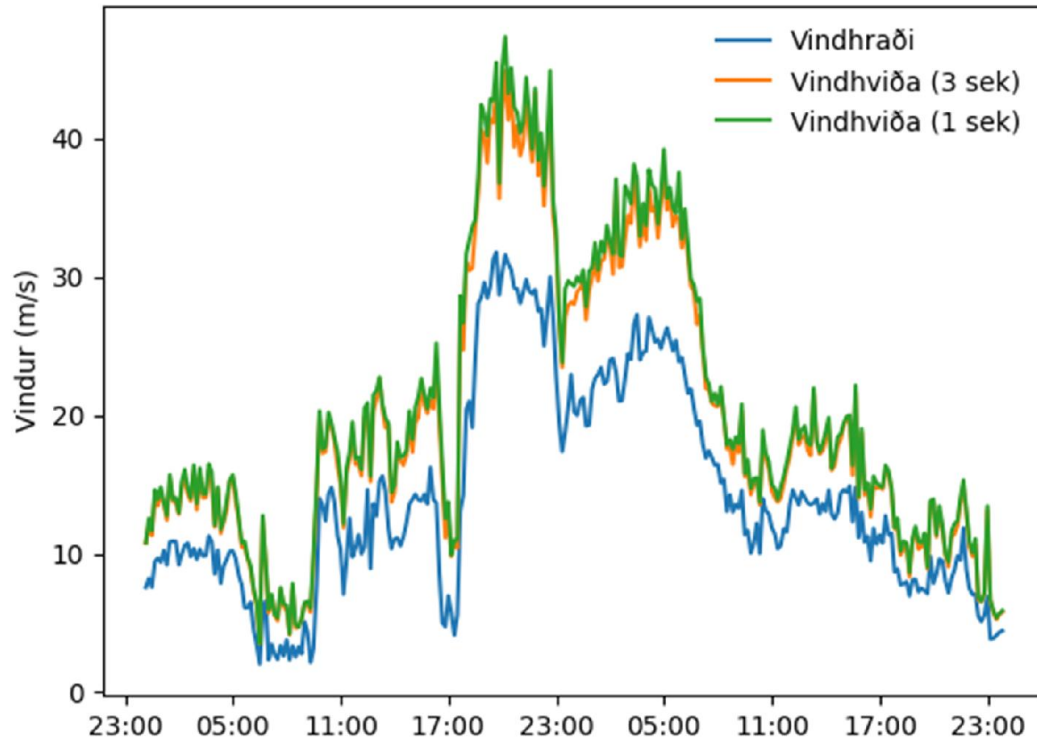
Hviðuhlutfallið breytist ekki með vindátt. Það er í kringum 1.03 fyrir allar vindáttir. Eyjafjöllin virðast ekki hafa áhrif, en með góðum vilja má þó sjá að hviðuhlutfallið er ívið lægra í NA-átt en öðrum vindáttum. Á mynd 9 má sjá hviðustuðulinn við Markarfljót.



Mynd 9: Hviðustuðull eftir vindáttum við Markarfljót

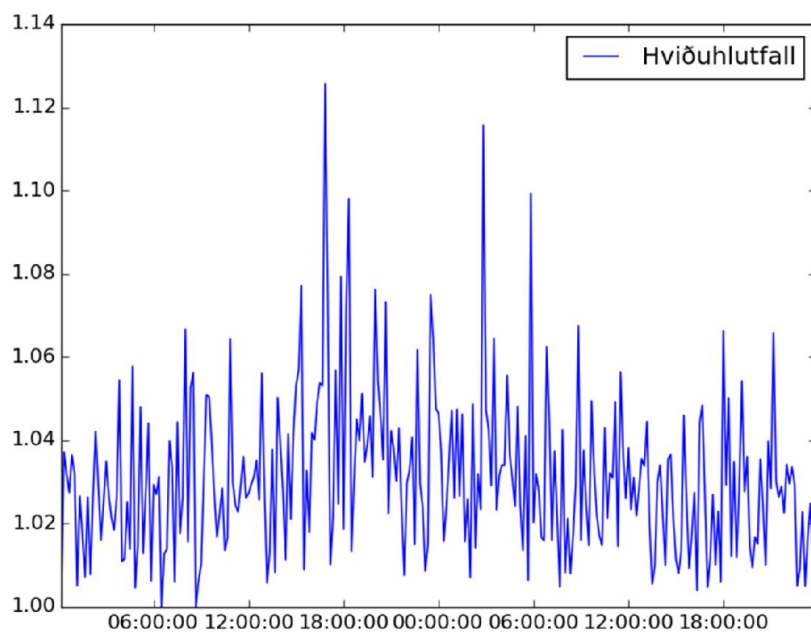
Hviðustuðullinn er mishár eftir vindáttum við Markarfljót. Hann er hæstur í A-áttum, allt að 1,65 og í suðvestlægum áttum, allt að 1,45. Þegar vindur blæs úr norðri eða suðri þá er hviðustuðullinn lægri.

Misvindi í A-áttum er vel þekkt undir Eyjafjöllum. Áhrifa þeirra gætir ennþá við Markarfljót, einkum þegar hvasst er af austri. Tilvik þar sem mikill vindur af austri mældist var skoðað sérstaklega. Vindhraða á tímabilinu 7. - 8. desember 2015 má sjá á mynd 10.

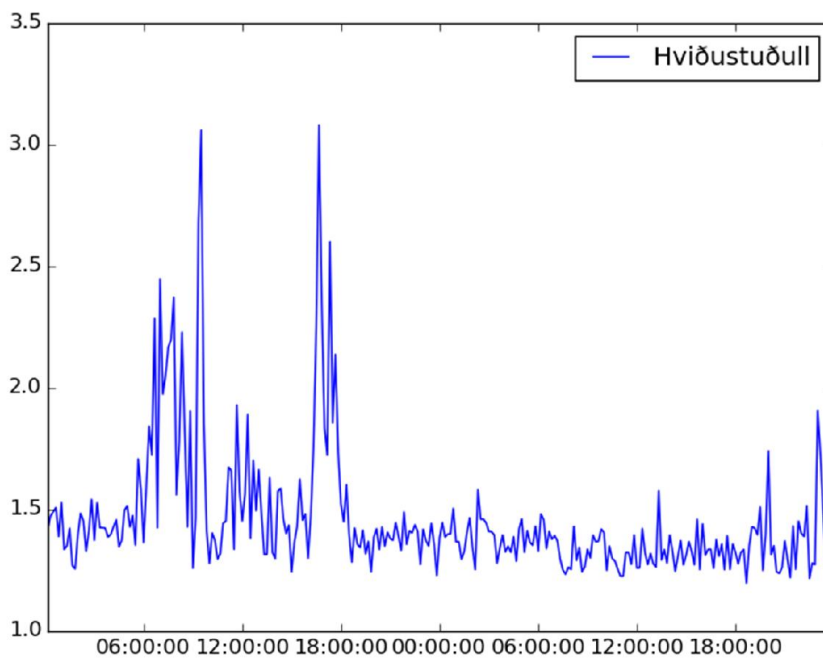


Mynd 10: Vindhraði og hviður við Markarfljót 7. - 8. des 2015

Vindur mældist hæstur rétt yfir 30 m/s rétt fyrir miðnætti þann 8. Á sama tíma mældist 3 sek hviða um 45 m/s. Þegar vindhraðinn er svo mikill þá verður bæði hviðuhlutfallið og hviðustuðullinn hærri. Það má sjá á myndum 11 og 12.



Mynd 11: Hviðuhlutfall við Markarfljót 7. - 8. des 2015



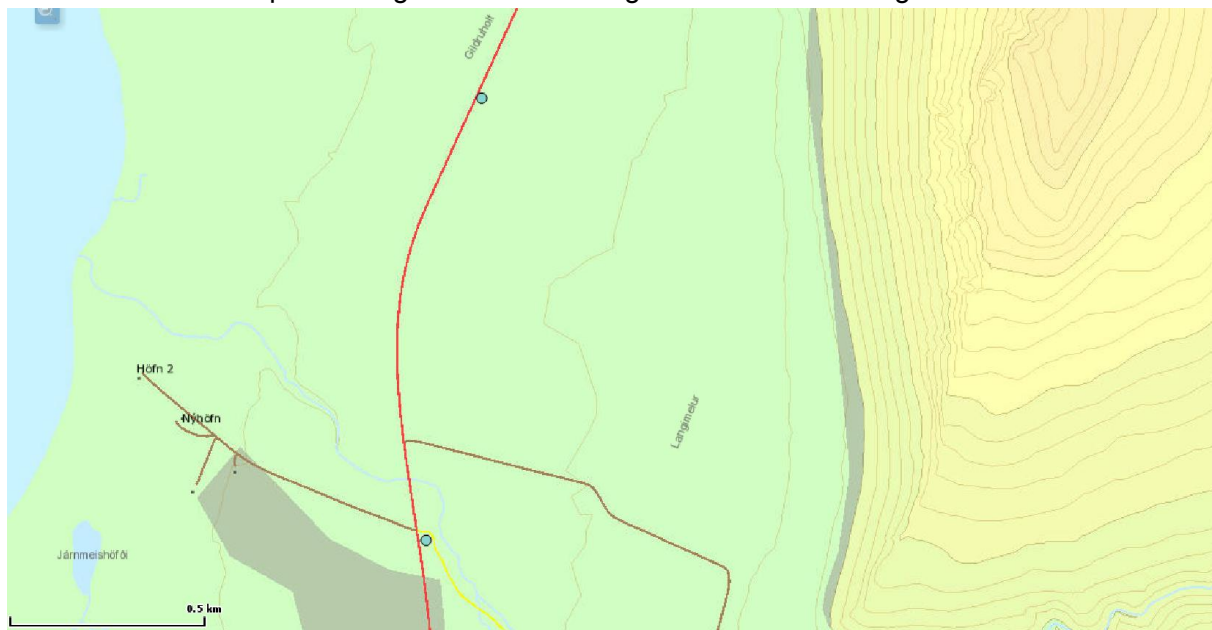
Mynd 12: Hviðustuðull við Markarfljót 7. - 8. des 2015

Bæði hviðustuðullinn og hviðuhlutfallið hækka umtalsvert þegar vindurinn er mestur. Leiða má líkur að þegar vindur er svo mikill, að skjóls frá Eyjafjöllum njóti ekki lengur, þá hegði vindurinn sér öðruvísi en alla jafna.

3 Hafnarfjall

Þar sem stöðvarnar sem mæla bæði 1 sek hviðu og 3 sek hviðu eru ekki þekktar fyrir miklar hviður var ákveðið að skoða stöð þar sem hviður yfir 30 m/s eru algengar og varð Hafnarfjall fyrir valinu. Undir Hafnarfjalli eru tvær veðurstöðvar, ein í eigu Vegagerðinnar sem mælir 1 sek vindhviðu og önnur í eigu Veðurstofunnar sem mælir 3 sek hviðu. Mælingar úr mæli Veðurstofunnar voru niðurreiknaðar úr 10 metrum í 6 til að þær væru jafnar mæli Vegagerðarinnar með aðferð sem lýst er í fyrri kafla. Hér eftir verður talað um athuganir á Hafnarfjalli eins og um væri að ræða mælingar úr einum mæli.

Við Hafnarfjall var notast við mælingar úr báðum mælum frá árinu 2002. Lega mælanna sést á mynd 13. Um 1000 metrar eru á milli þeirra. Hafa þarf í huga að fjarlægðin kann að skýra einhvern mun á milli þeirra. Engu að síður er áhugavert að bera mælingar saman.



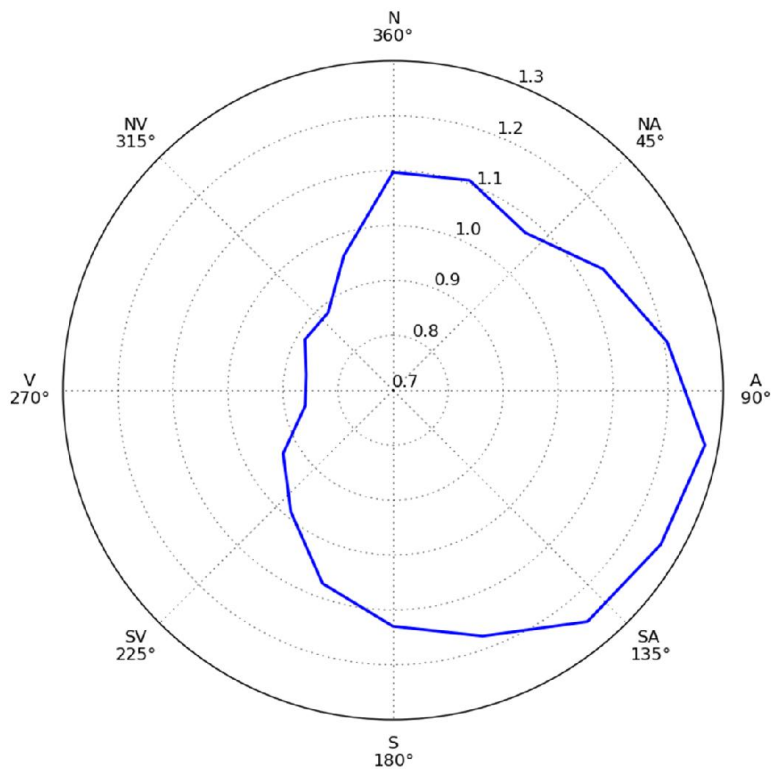
Mynd 13: Veðurstöðvarnar við Hafnarfjall. Hafnarmelar er sunnar en Hafnarfjall norðar.

Vestan mælanna við Hafnarfjall er flatlendi og svo tekur sjórinn við. Norðan og sunnan þeirra er landið einnig flatt. Um það bil 1 km austan við mælana stendur Hafnarfjall, en það hefur töluverð áhrif á flæði vindsins.

Tafla 5: Vindhraðabil og hviðuhlutfall við Hafnarfjall

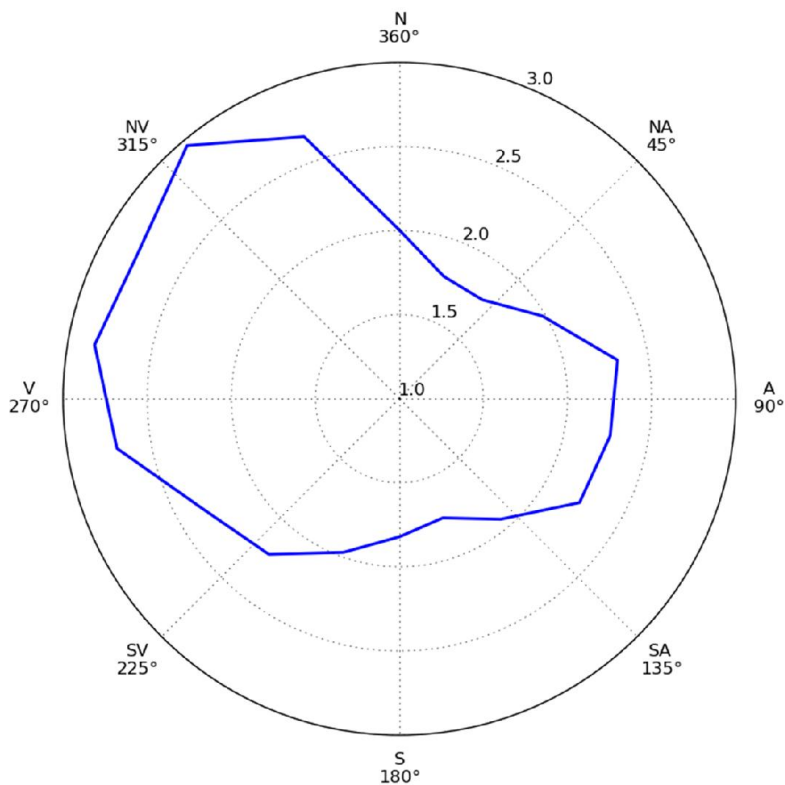
Vindhraði	Hviðuhlutfall 1s/3s	Staðalfrávik	Hviðustuðull	Tíðni
0-5	1.061	0.376	3.102	45.22%
5-10	1.205	0.215	1.885	32.81%
10-15	1.214	0.210	1.714	15.52%
15-20	1.165	0.209	1.598	5.25%
20-25	1.188	0.217	1.562	1.07%
25-30	1.351	0.198	1.650	0.12%
30+	1.401	0.232	1.599	0.01%

Tafla 5 er mjög ólík töflunum fyrir hinar stöðvarnar. Hviðuhlutfallið, staðalfrávik og hviðustuðullinn er hærri en á hinum stöðvunum. Það stafar líklega aðallega af því að hér er um tvær stöðvar að ræða en ekki eina eins og í hinum tilfellunum. Hviðuhlutfallið er lægst þegar vindur er lágur en mest þegar vindur er mikill. Áhugavert er að sjá að hviðuhlutfallið er 1,35 - 1,40 fyrir hvassasta vindinn. Það þýðir að 1 sek hviða er 35 - 40% hvassari en 3 sek hviðan. Hviðustuðullinn er mjög breytilegur eftir vindhraða þó ívið lægri þegar vindur er mikill en þegar vindur er lífill.



Mynd 14: 1 sek hviða sem hlutfall af 3 sek hviðu eftir vindáttum við Hafnarfjall

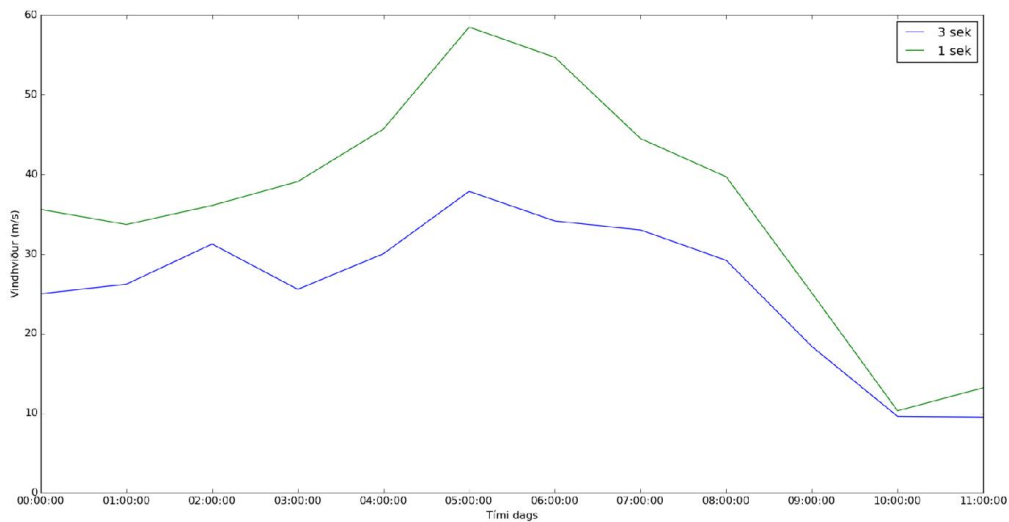
Mynd 14 sýnir hviðuhlutfallið á Hafnarfjalli. Hviðuhlutfallið er hæst í austanáttum, á milli 1,2 og 1,3 en lægst í vestanáttum eða allt niður í 0,9. Ef notast væri við einn mæli, en ekki tvo á mismunandi stöðum þá ætti hviðuhlutfallið aldrei að fara niður fyrir 1. Það að hlutfallið fer niður fyrir 1 segir okkur að vindurinn hagar sér ekki eins á Hafnarmelum og við Hafnarfjall.



Mynd 15: Hviðustuðull eftir vindáttum við Hafnarfjall

Mynd 15 sýnir hviðustuðulinn við Hafnarfjall. Hann er hæstur í V- og NV-áttum en einnig hár í A-áttum. Það er einfaldlega vegna þess að NV- og V-áttir eru hægar að jafnaði.

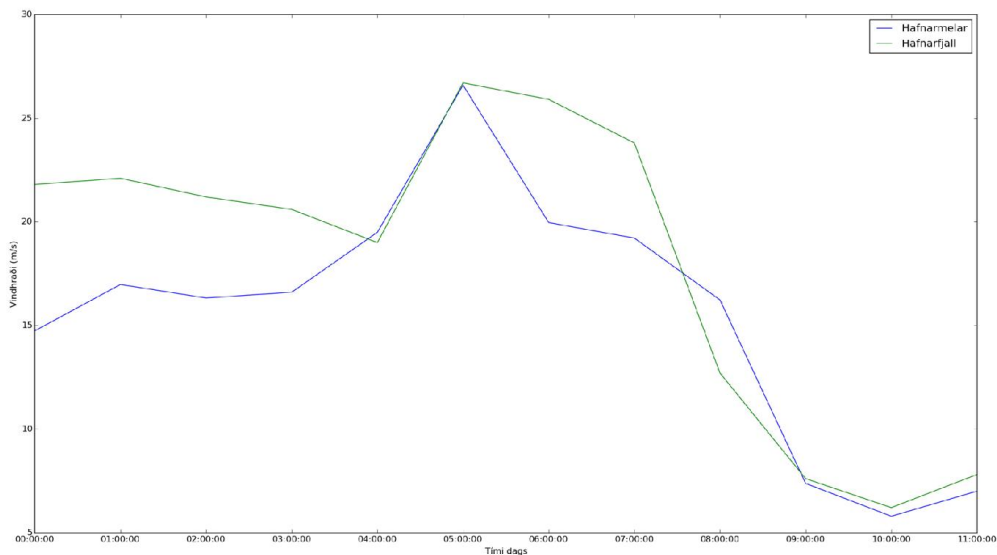
Munur á vindi við Hafnarfjall og Hafnarmela er of mikill til að hægt sé að nota þessa tvo mæla til að meta mun á 1 sek og 3 sek vindhviðum. Til þess að hægt sé að meta muninn þarf að mæla hviðurnar í sama mæli, eða allavega í sömu hæð. Engu að síður er athyglisvert að sjá hversu mikið hviðuhlutfallið hækkar í óveður þegar vindur stendur af Hafnarfjalli. Á mynd 16 má sjá dæmi um slíkt óveður sem varð 3.12.2002. Þá blés vindur úr SA á undan skilum djúprar vetrarlægðar og mældust vindhviður á Hafnarfjalli yfir 55 m/s þegar verst lét.



Mynd 16: Samanburður á 1 sek og 3 sek hviðum frá 3.12.2002

Þegar vindurinn er mestur kl 5 er 1 sek hviðan 58,5 m/s en 3 sek hviðan 37,9 m/s. Það þýðir að hviðuhlutfallið var 1.544, það hæsta þann daginn. Það rennur stoðum undir það að hviðustuðullinn sé hærri í miklum óveðrum.

Til að kanna áreiðanleika þessarar greiningar voru áætlaðar 6 metra mælingar við Hafnarfjall bornar saman við 6 metra mælingar á Hafnarmelum. Niðurstöðuna má sjá á mynd 17.



Mynd 17: Samanburður á 6 metra vindi frá 3.12.2002

Í upphafi tímabilsins var vindurinn töluvert meiri við Hafnarfjall en á Hafnarmelum. Í lok tímabilsins var vindhraðinn nærri sá sami. Þegar vindhraðinn var í hámarki var 6 metra vindurinn sá sami á báðum stöðvum.

4. Niðurstöður

Munur á 1 sek vindhviðum og 3 sek vindhviðum virðist vera lítil þegar vindur blæs yfir flatt og einsleitt svæði. Mælingar úr öllum þremur veðurathugunarstöðvunum þar sem hvoru tveggja hefur verið mælt gefur það til kynna. Hlutfallið á milli 1 sek og 3 sek hviðu er á bilinu 1,02 - 1,04 í þesskonar landslagi. Ef landslag hefur hingsveggar áhrif á streymi vindsins þá hagar hviðustuðullinn sér ekki eins. Við Festarfjall var hviðustuðullinn hærri í SA-áttum en öðrum áttum en vindur er truflaður af fjalli suðaustan við veðurstöðina.

Líklega er erfitt að áætla hviðustuðulinn á stöðvum þar sem fjöll hafa áhrif á vindinn og er því eina leiðin til að áætla hviðustuðulinn að mæla bæði 1 sek og 3 sek hviður. Á stöðvum á flatlendi ætti að vera hægt að áætla að 1 sek hviða sé um 3% sterkari en samsvarandi 3 sek hviða. Í stormum þar sem nálæg fjöll hafa áhrif gæti munurinn verið allt að 6-10% eins og mælingar við Markarfljót gefa til kynna.

Samanburður undir Hafnarfjalli gefur þó tilefni til að áætla að þegar iðuköst standa af fjöllum á vel þekktum hviðustöðum og þegar hvað hvassast verður, megi ætla að 1 sek. hviðan sé umtalsvert meiri en 3 sek. hviða. Mögulega allt að 30-40% meiri fyrir meðalvindhraða 25 m/s eða meiri. Til þess að fá úr því skorið þyrfti með sama hætti, og gert var á viðmiðunarstöðunum þremur sem hér hafa verið skoðaðar, að taka út sekúndugögn frá Hafnarfjalli í stað þess að bera saman tvær stöðvar þar sem fjarlægð á milli þeirra kann að skýra þennan mun a.m.k. að hluta.

Meginniðurstöður eru þó þær að við allar venjulegar aðstæður langflestira vindmæla Vegagerðarinnar er munur á milli 1 og 3 sek hviða það lítil og hefði ekki áhrif á framsetningu vindhraða eða mestu hviðu í mælum Vegagerðarinnar. Hins vegar þegar mest liggur við, í verstu illviðrum o.s.frv. kann munur að verða áþreifanlegur, en misjafn eftir aðstæðum á hverjum stað fyrir sig.

Næstu skref væru að færa auka vindmælana og flytja upp í 10 metra hæð, líkt og Veðurstofan hefur sína mæla. Þá er hægt að sjá hver munurinn er á hviðu, og vindhraða í 6 og 10 metra hæð.