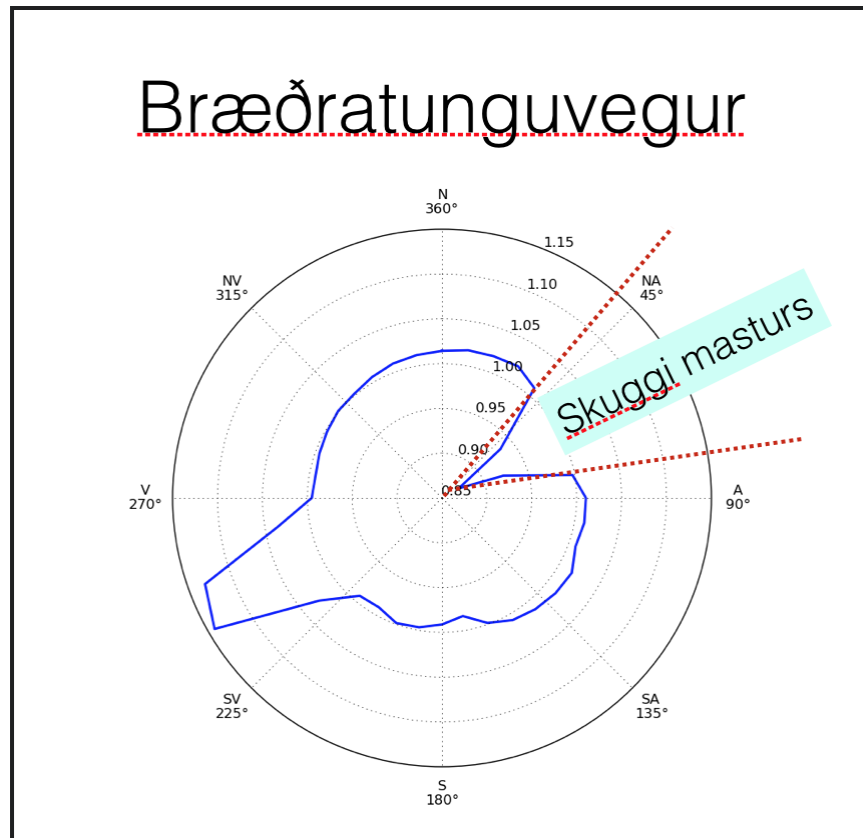




Rannsóknargreining á vindmælingum Vegagerðarinnar



26. október 2016

Titill: Rannsóknargreining á vindmælingum Vegagerðarinnar

Verkefnisstjóri: Nicolai Jónasson, Vegagerðinni.

Höfundar:

Einar Sveinbjörnsson, veðurfræðingur.

Sveinn Gauti Einarsson, umhverfisverkfræðingur

Veðurvaktin ehf.

Veðurvaktin ehf.

1. Inngangur

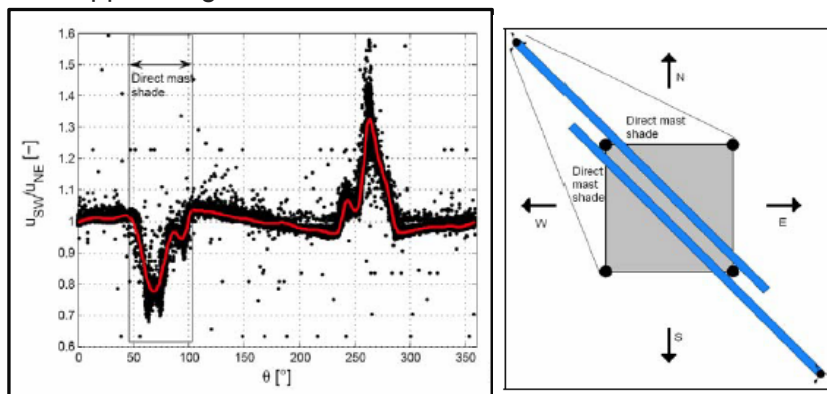
Með vefmyndavélavæðingu síðustu ára hefur áhersla Vegagerðarinnar við vindmælingar tekið breytingum. Í stað þess að setja vindnema í topp vindmasturs er honum í hagræðingaskyni komið fyrir á slá út frá mastri myndavélar á sama stað (mynd 1). Við það truflast vindmælingarnar í einhverjum mæli og er það háð vindáttinni á hverjum stað.

Mynd 1: Vindnemi á slá í myndavélamastri við Markarfljótsbrú, áður en öðrum mæli var bætt við Andspænis þeim fyrri.



Þetta er þekkt vandamál erlendis í vindmælingum, en þá eru gerðar einfaldar leiðréttingatöflur. Með því að setja annan vindnema andspænis (180°) þeim sem fyrir er má með samanburði afla upplýsinga um straumfræðileg árhif vindmastursins á mælingarnar með sama hætti og sýnt er á mynd 2.

Tilgangur skoðunar á áhrifum masturs á vindmælingar er að afla þekkingar til að bæta gæði mælinganna með mæliaðferð sem er bæði hagkvæm og hentug. Tímabundnar samanburðarmælingar hafa víða skírskotun og flokkast til grunnrannsóknna á vindmælingatækni þar sem kerfisbundnar skekkjur eru metnar og hvernig megi koma í veg fyrir þær í upphafi með rétttri uppsetningu vindmæla.



Mynd 2. Athugun á áhrifum fjögurra hliða grindarmasturs á vindmælingar. Úr tilraun Risö-R-1506, 12 MW Horns Rev Experiment. (Vindrafstöðvar úti fyrir Jótlandi) [1].

2. Veðurstöðvar til skoðunar

Tafla 1: Veðurstöðvar til skoðunar

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

Tafla 1 sýnir þær veðurstöðvar sem teknar voru til skoðunar. Allar stöðvarnar eru í eigu Vegagerðarinnar og með vindmæli í 6 metra hæð. Aukamælir var til reiðu á mælitímbilinu sem og frá aðalmæli. Upplausn mæligilda vindhraða 1 Hz (1 sek).

3. Aðferð

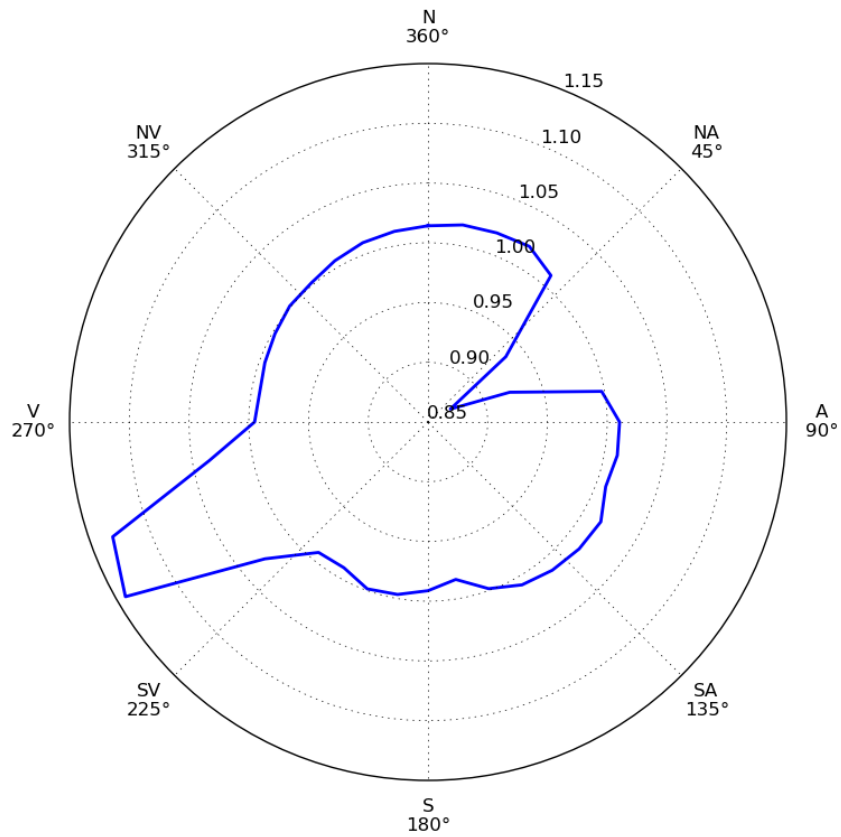
Hlutfall á milli vindhraða á aðalmæli og aukamæli er reiknað alltaf þegar vindur mældist 5 m/s eða meiri á aðalmæli. Þetta hlutfall er hér eftir kallað d_x . Þessu er hægt að lýsa með eftirfarandi formúlu:

$$d_x = f_{\text{auka}}/f_{\text{adal}}$$

Þar sem f stendur fyrir vindhraða. Ef d_x er stærra en 1 er vindhraðinn hærri á aðalmælinum en á aukamælinum. Ef d_x er minna en 1 er vindhraðinn hærri á aukamælinum en aðalmælinum. d_x var í öllum tilvikum reiknað eftir vindáttum.

4.1 Bræðratunguvegur

Á stöðinni við Bræðratunguveg snýr stöng með aðalmælinum á móti SV en stöng með aukamæli í NA. Niðurstaða samanburðar og útreikings á d_x fyrir allar mælingar með meðalvind yfir 5 m/s og eftir vindáttum á sjá á mynd 3.

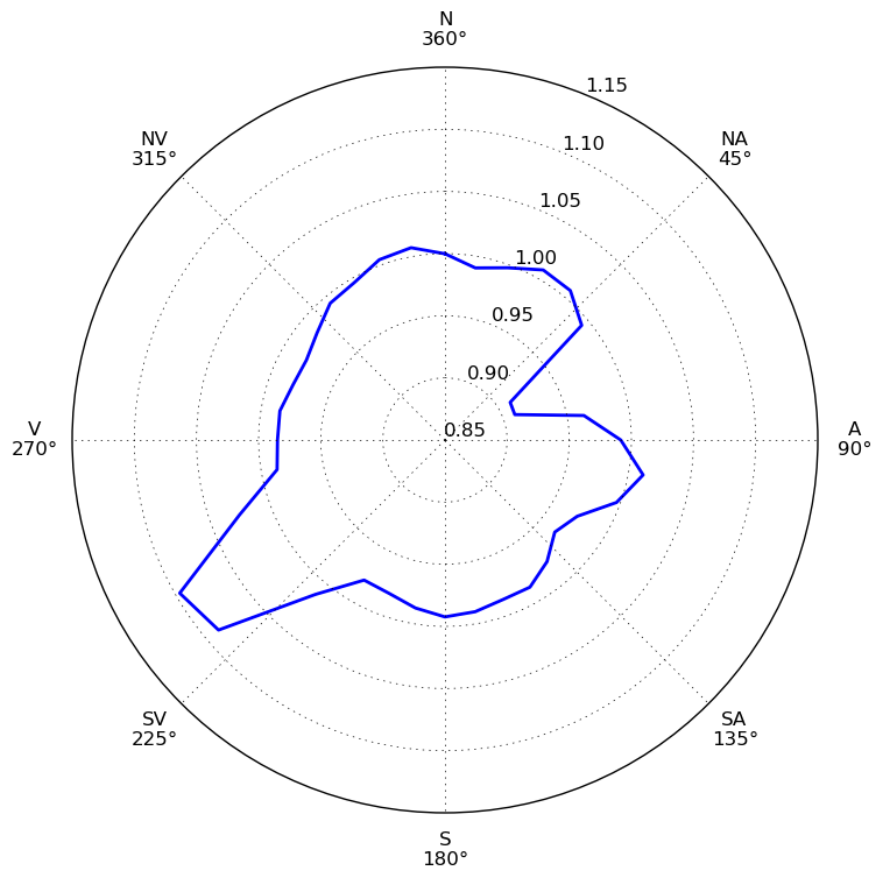


Mynd 3: Vindhraði í aðalmæli á móti vindhraða í aukamæli við Bræðratunguveg

d_x er hæst, þ.e. meiri vindur á aðalmæli í SV átt en þá er aukavindmælirinn í skjóli frá mastrinu. Í NA-átt er d_x lægst en þá er aðalmælirinn í skjóli frá mastrinu. Þegar vindurinn blæs úr öðrum áttum er hlutfallið d_x u.þ.b. 1 og því lítil munur á mælingum mælanna tveggja. Rétt er að hafa í huga að sú niðurstaða gefur einnig vísbendingu um að mælarnir séu réttir og mismunurinn í SV og NA áttum stafi eingöngu af skjóli vegna mastursins. Kannað var hvort áhrif mastursins væru önnur í miklum vindi. Í ljós kom að vindhraði hefur ekki teljandi áhrif, hlutfall á milli aðal- og aukamælis eru sambærileg.

4.2 Festarfjall

Aðalmælirinn á stöðinni við Festarfjall er á stöng sem snýr á móti SV en aukamælirinn er á stöng sem snýr í NA. Líkt og við Bræðratunguveg voru allar mælingar þar sem vindur var minni en 5 m/s teknar frá og meðaltal d_x reiknað eftir vindáttum. Niðurstaðan sést á mynd 4.

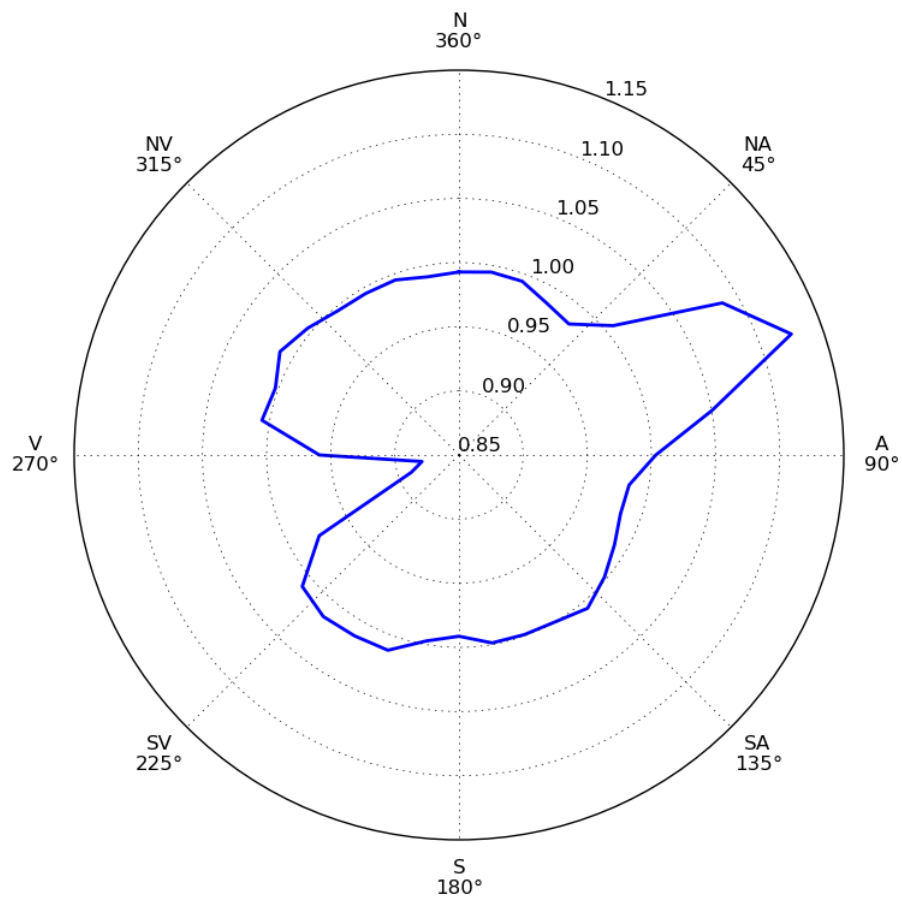


Mynd 4: Vindhraði í aðalmæli á móti vindhraða í aukamæli við Festarfjall

Myndinni svipar mjög til myndarinnar fyrir Bræðraunguveg. Mælarnir snúa nær því eins og þar Matrið hefur því svipuð áhrif á mælana, d_x er hátt í SV átt en lágt í NA átt og nálægt 1 fyrir allar aðrar áttir. Það bendir til þess að mælarnir mæli réttan vind og munurinn stafi eingöngu vegna skjóls frá mastrinu.

4.3 Markarfljót

Við Markarfljót er snýr aðalmælirinn á móti NA, en aukamælirinn snýr í SV. Mynd 5 sýnir d_x eftir vindáttum við Markarfljót á sama hátt og fyrir hinar tvær stöðvarnar.



Mynd 5: Vindhraði í aðalmæli á móti vindhraða í aukamæli við Markarfljót.

Myndin er nánast eins og spegilmynd af fyrri myndunum tveimur. Það stafar af því að aðalmælirinn við Markarfljót snýr til NA en á móti SV á hinum stöðvunum. En fram kemur sama mynstrið, d_x er í kringum 1 í öllum vindáttum nema SV og NA þegar mastrið skýlir öðrum mælanna.

5. Leiðrétting vindhraða

Greinilegt er að mastrið hefur áhrif á vindmælingar á öllum þremur stöðvunum sem skoðaðar voru. Þó gæti áhrifana mismikið, minnst eru áhrifin við Festarfjall en mest við Bræðratunguveg. Móstur Vegagerðarinnar eru þríhyrningslaga víramöstur. Dæmi um svona mastur má sjá á mynd 6.



Mynd 6: Mastur Vegagerðarinnar við Festarfjall

William Lubitz hefur sett fram líkan sem lýsir áhrifa masturs á vindhraða. [2] Því er lýst í jöfnu 1.

$$u_w = \frac{A}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2s^2}} \quad (1)$$

Þar sem u_w er áhrif mastursins á vindinn, y er vegalengs frá miðpunkti masturs á y ás, það er þvert á mastrið og A og s eru stuðlar sem reiknaðir eru út með formúlum 2 og 3.

$$A = \frac{1}{2} C_d U_\infty d \quad (2)$$

$$s = 0.173\sqrt{C_D dx} \quad (3)$$

Þar sem C_d er viðnámsstuðull (e. drag coefficient) mastursins, U_∞ er réttur vindhraði, þ.e. Vindhraði án áhrifa masturs, d er þvermál mastursins og x er lengd frá mastri á x ás.

Til að nota líkan Lubitz þarf að vita viðnámsstuðulinn C_d . Georgakis, et al. [3] hafa fundið C_d fyrir þríhyrningslaga möstur líkt og Vegagerðin notar. Þeir komust að þeirri niðurstöðu að C_d er mjög breytilegt eftir vindhraða og því hvernig mælirinn er staðsettur í samanburði við mastrið, þ.e. hversu stór hluti mastursins skyggir á mælinn. Dæmi um niðurstöður þeirra má sjá á mynd 7.

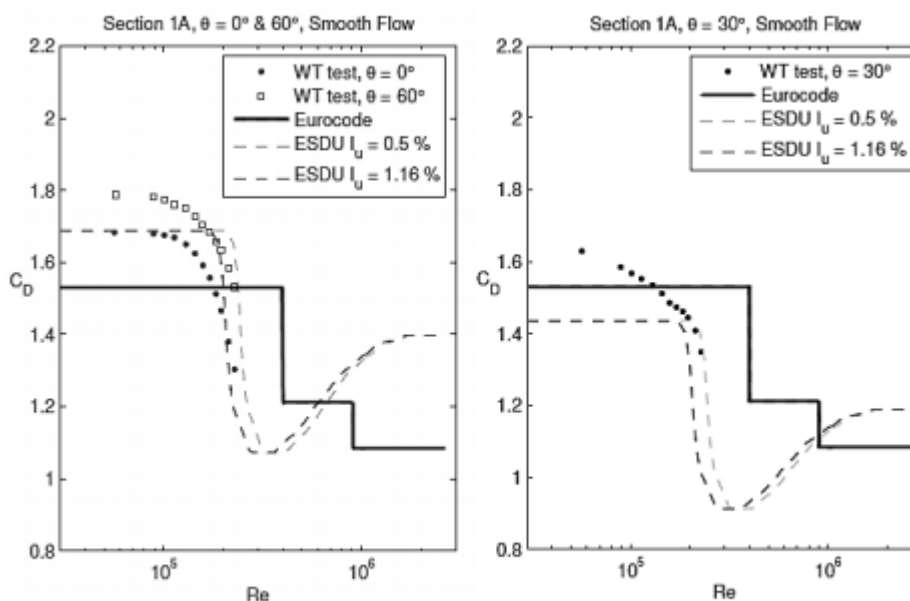


Figure 6: Reynolds-dependent drag coefficients in smooth flow for configuration 1A, 0 and 60 degrees angle of attack (left) and 30 degrees (right).

Mynd 7: C_d sem hlutfall af Reynoldstölu, Re . (Sjá skýringar í texta)

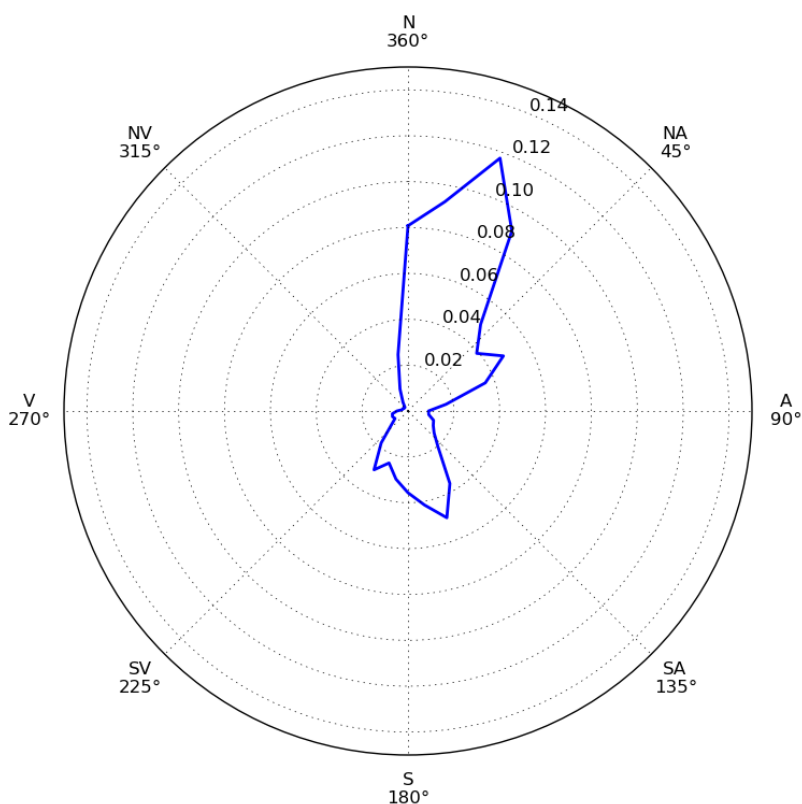
Myndin sýnir C_d eftir Reynoldstölu þegar vindurinn blæs þvert í gegnum mastrið. Reynoldstalan er einingalaus og lýsir hlutfalli tregðukrafta og seygjukrafta í loftflæði. Eftir því sem iða í straumi verður meiri, því hærri er Reynoldstalan, þ.e. hún hækkar þegar flæði loftsins truflast af mastriinu. Vinstri myndin sýnir C_d eftir vindhraða þegar vindur blæs úr 0° og 60° (N og ANA) en hægri myndin sýnir C_d þegar vindur blæs úr 30° (NNA). Sjá má að töluverður munur er á C_d eftir því úr hvaða átt vindurinn blæs. Það þýðir að töluverður munur er á C_d eftir því hvernig mastrið snýr með tilliti til vindmælisins.

Til að leiðrétta vindinn með aðferðinni hér að ofan er nauðsynlegt að vita hvernig mastrið snýr miðað við vindmælinn á öllum stöðvum sem leiðrétta á. Auk þess þarf að mæla ótruflaðan vindhraða fyrir allar útfærslur (hvernig mastrið snýr miðað við vindhraða). Það er tæknilega mjög flókið en þó eina leiðin til að vita með fullri vissu hversu mikil áhrif mastrið hefur. Vegna

flækjustigsins verður það ekki gert hér. Í staðinn verður hentugasta uppsetning vindmæla áætluð út frá vindrós, þá er hægt að staðsetja vindmælinn þannig að mastrið hafi sem minnst áhrif á hann.

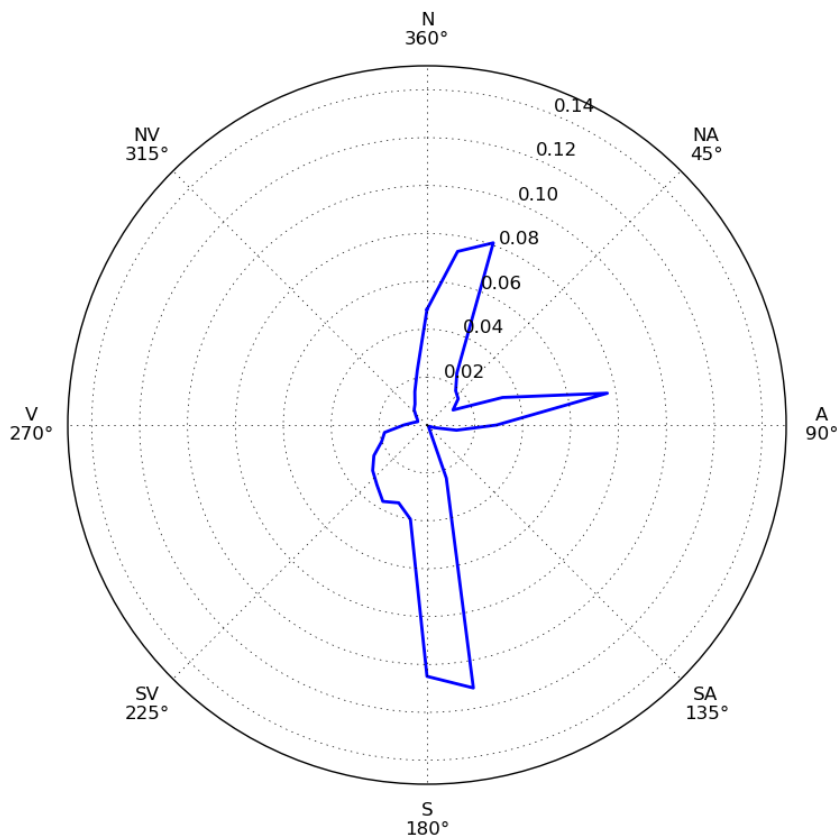
6. Hentugasta uppsetning vindmæla

Þegar vindmælir er settur upp er nauðsynlegt að hafa áhrif mastursins í huga. Í því skyni er gott að nota vindrós til að finna hentugustu uppsetninguna. Yfirleitt blæs vindur ekki jafnt úr öllum áttum. Til þess að mastrið skyggi sem minnst á mælinn er heppilegast að mastrið skyggi á mælinn í þeirri vindátt sem óalgengust er. Eins að að “skuggaáhrif” vegna masturs séu ekki til staðar í ríkjandi vindátt eða vindáttum. Landslag veldur því að mjög víða er tvíátta þar sem því sem næst 180° eru á milli vindáttanna. T.d. inn og út dalinn o.s.frv.



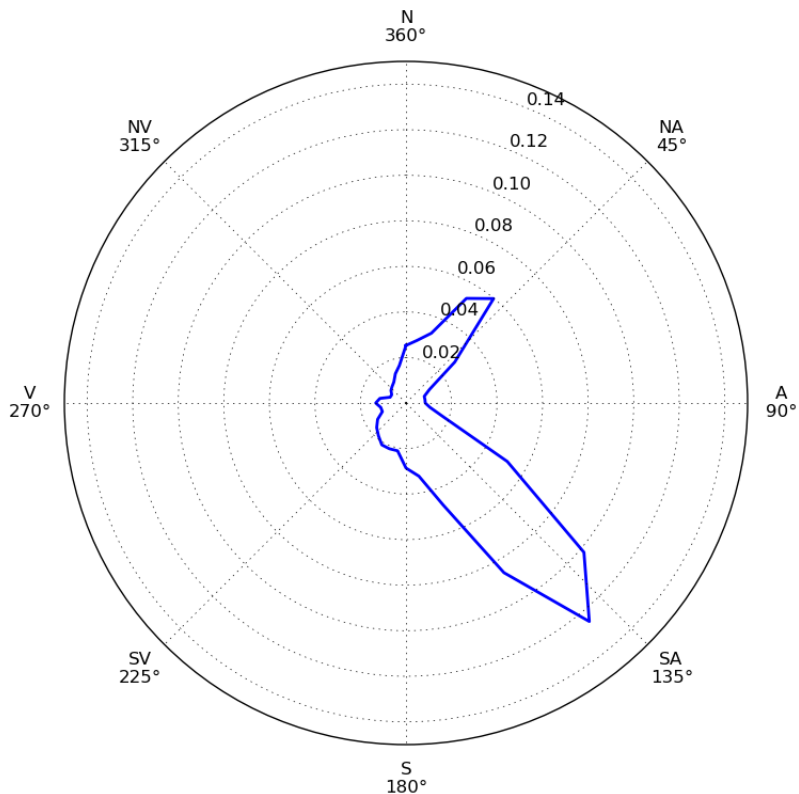
Mynd 8: Vindrós fyrir Bræðratunguveg, $f > 3$ m/s.

Mynd 8 sýnir vindrós fyrir allar mælingar þar sem vindhraði er meiri en 3 m/s við Bræðratunguveg. Vindrósin er tvíátta, algengustu vindáttir N- og S-átt. Vestanátt er sjaldgæfust og því best að hafa vindmælinn austan við mastrið. Þá hefur mastrið eingöngu áhrif í vestanáttum.



Mynd 9: Vindrós fyrir Festarfjall, $f > 3$ m/s.

Mynd 9 sýnir vindrós fyrir Festarfjall. Vindrósinn sýnir þrjár ríkjandi vindáttir, S-, A- og N (NNA)-átt eru algengar, en vindur mælist nær aldrei úr öðrum áttum. Vindur mælist þó stöku sinnum úr SV-áttum. Afstaða mælistanga til höfuðátta og eins til sjálfs mastursins getur í slíkum tilvikum verið erfiðari viðfangs. Þó má glöggjt sjá af vindrósinni að heppiegast væri að hafa mælinn suðaustan við mastrið, í skjóli fyrir NV-átt sem nánast kemur ekki fyrir.



Mynd 10: Vindrós fyrir Markarfljót, $f > 3$ m/s.

Mynd 10 sýnir vindrós fyrir Markarfljót. Þar blæs vindur oftast úr NA eða SA. Aðrar áttir eru svo gott sem óþekktar. Best væri að hafa mælinn austan við mastrið þannig það skyggði á hann í V áttum, þær eru tiltölulega sjaldgæfar. Skjól er frá Eyjafjöllum þegar það er A-átt.

5. Samantekt

Settir voru upp vindmælar á þremur stöðum andspænis þeim sem fyrir voru. Tilgangur þess var að afla gagna og leggja mat á áhrif mastursins sjálfs á vindhraða. Stöðvarnar sem um ræðir eru: Festarfjall, Bræðratunguvegur og Markarfljót. Unnið var úr gögnum u.þ.b. tveggja ára (2014-2015) og aðeins litið á mælingar í ákveðinni golu. Sá þröskuldur var valinn 5 m/s.

Niðurstöðurnar eru óvirkar og mjög óþekktar fyrir alla þrjár veðurstöðvarnar. Vindmastur truflar og hægir á vindi sem nemur um 10-12%. Vindáttargeiri truflaðs vinds nær um 40-50° og mest er truflunin á afmörkuðu vindáttabili sem næst samsíða stefnu mælisstangarinnar. Niðurstaðan sem hér fæst er í samræmi við svipaðar tilraunir vindmælinga sem gerðar hafa verið erlendis.

Rétt er að geta þess að athugun þessi náði ekki til eldri gerðar mælimastra þar sem vindmælir situr á toppi þess. Þar er ekki gert ráð fyrir að mælímastrið hafi áhrif á mælingarnar, í það minnsta ekki eftir vindáttum. Með nýrri gerðinni þar sem vindmælum er komið fyrir í sama mastri og myndavél

er brýnt að huga vel að stefnu mælistangar út frá mastrinu þannig að vindur truflist ekki í algengum eða ríkjandi vindáttum.

Samanburður með vindrósum við afstöðu vindmælis m.t.t. masturs getur á einfaldan hátt gefið mynd af því hvort vindmælingar á viðkomandi stað séu að mestu óbjagaðar af þessum völdum. Þá er við uppsetningu á nýjum veðurstöðvum sem komið er fyrir í myndavélamastri mikilvægt að taka tillit til þessara vitneskju sem rannsókn þessi hefur aflað.

6. Heimildir

[1] Hasager, C. B., Peña, A., Mikkelsen, T., Courtney, M. S., Antoniou, I., Gryning, S. E., ... & Sørensen, P. B. (2007). *12MW Horns Rev Experiment*. Risø National Laboratory.

[2] Lubitz, W. D. (2009, June). Effects of tower shadowing on anemometer data. In *Proceedings of the 11th Americas Conference on Wind Engineering*.

[3] Pezo, M. L., & Bakić, V. V. (2014). Numerical determination of drag coefficient for guyed mast exposed to wind action. *Engineering Structures*, 62, 98-104.