

Hálfván Ágústsson
Haraldur Ólafsson

Hviðustuðlar

Útdráttur

Gögn frá 36 sjálfvirkum veðurstöðvum voru notuð til að greina hviðustuðla þegar 10-mínútna meðalvindhraði var meiri en 10 m/s. Samkvæmt gagnasafninu virðist meðalhviðustuðullinn óháður stöðugleika andrúmsloftsins, en sterklega háður vindhraða, hæð stöðvar yfir sjó og nálægu landslagi. Stuðullinn minnkar jafnt með auknum vindhraða og aukinni hæð yfir sjó. Samkvæmt gögnunum geta hviður orðið miklar nærri háum fjöllum, og einkum hlémegin þeirra. Í stöðugu lofti getur meðalhviðustuðull orðið hærri en 1,7 ef veðurstöð er í innan við 8 km fjarlægð, hlémegin við að lágmarki 600 m hátt fjall.

1 Inngangur

Þekkt er að vindhviður eru mun meiri á ákveðnum stöðum heldur en á öðrum, og ekki er alltaf ljóst hvað því veldur. Aukin þekking á því hvað veldur sterkum hviðum er mikilvæg, til dæmis við hönnun mannvirkja.

Á landinu er töluverður fjöldi sjálfvirkra stöðva sem mæla bæði vindhraða og vindátt. Margar stöðvanna hafa mælt í 3 ár eða lengur, og nú þegar eru því til miklar upplýsingar um vindafar á þessum stöðum. Allflestar stöðvanna eru á láglandi eða nærri ströndinni, en þó eru allnokkrar á hálendi.

Í þessari samanburðarrannsókn eru gögn frá nokkrum sjálfvirkum stöðvum (mynd 1) notuð til greiningar á hviðustuðlum, sem eru hlutfall vindhviðu og meðalvindhraða. Meðalhviðustuðlar eru reiknaðir og athuguð áhrif á þá vegna stöðugleika loftmassans, vindhraða, stöðvarhæðar og nálægra fjalla.

2 Gögn

Í rannsókninni voru notuð gögn frá 36 sjálfvirkum veðurstöðvum, en staðsetningar þeirra sjást á mynd 1. Flestar stöðvarnar safna gögnum á 10-mínútna fresti, en aðrar á klukkustundar fresti. Áhugavert hefdi verið að nota gögn frá fleiri stöðvum. Því miður hentuðu margar stöðvar ekki, t.d. vegna þess að vindmælir var ekki í 10 m hæð eða hindrun nærri mælinum.

Notaðar voru mælingar frá þriggja ára tímabili, 1999-2000. Fyrir árið 2001 voru notuð 10-mínútna gögn þar sem þau voru til. Fyrir aðrar stöðvar og árin 1999 og 2000, voru notuð klukkustundargögn. Notaðar voru mælingar á tíu mínútna meðalvindhraða, f , mestu 3-sekúndna hviðu, f_g , og vindátt, d . Til að minnka gagnasafnið voru aðeins notaðar mælingar þar sem $f \geq 10$ m/s, en yfirleitt eru upplýsingar um hviðustuðla ekki eins áhugaverðar fyrir lægri vindhraða.

Í gagnasafninu eru 158275 gagnapunktur eða að jafnaði um 4400 punktar frá hverri stöð. Flestir gagnapunktur fengust frá sjálfvirkum stöðvunum í Bláfjöllum og á Gufuskálum, eða rúmlega 11.000. Fæstir voru punkturnir tæplega 1.300 talsins frá stöðinni á Végeirs-



Mynd 1: *Veðurstöðvar sem notaðar voru í rannsókninni.*

stöðum í Fnjóskadal¹. Engar kerfisbundnar skekkjur eða villur fundust í gögnunum. Ekki var leitað að einstaka röngum gagnapunktum, t.d. vegna vindnagla, en tölfræðileg áhrif þeirra eru væntanlega hverfandi.

Mælingar frá háloftastöðinni á Keflavíkurflugvelli voru notaðar til að meta stöðugleika loftsins yfir landinu, en þar er mælt á 12 klukkustunda fresti. Stöðugleikinn var metinn með mismuni lofthita í 850 hPa, T_{850} , og 925 hPa hæð, T_{925} . Mörk milli stöðugs og óstöðugs lofts voru dregin við 4 K þannig að ef $T_{850} - T_{925} \geq -4$ K þá taldist loftið stöðugt. Þessi hitamunur jafngildir nokkurn veginn votu innrænu hitabreytingunni² og aðskilur mjög óstöðugt og nær-hlutlaust loft frá stöðugu lofti. Í hægum vindi er einna ólíklegast að mælingar í Keflavík lýsi vel ástandi loftsins fjarri Keflavík, t.d. yfir norður- og austurlandi. Tæplega helmingur stöðvanna sem notaðar eru í rannsókninni eru á norður- og austurlandi, en hinsvegar eru ekki notaðar mælingar þegar vindur var hægur.

Fyrir utan samanburð á hviðustuðlum og stöðugleika lofts, (kafli 3.1), þá eru í rannsókninni einungis notuð gögn sem safnað er í stöðugu lofti. Þá eru aðeins notaðar mælingar frá 12 klukkustunda tímabili sem hefst 6 klukkustundum fyrir athugun í Keflavík sem sýnir stöðugt loft milli 850 hPa og 925 hPa flatanna.

Ljósmyndir og kort voru notuð til að finna stefnur, d_m , á nálæg fjöll og hæðir. Hæð

¹Reyndar hefur aðeins verið mælt þar frá ágúst 2001.

²e. wet adiabatic lapse rate

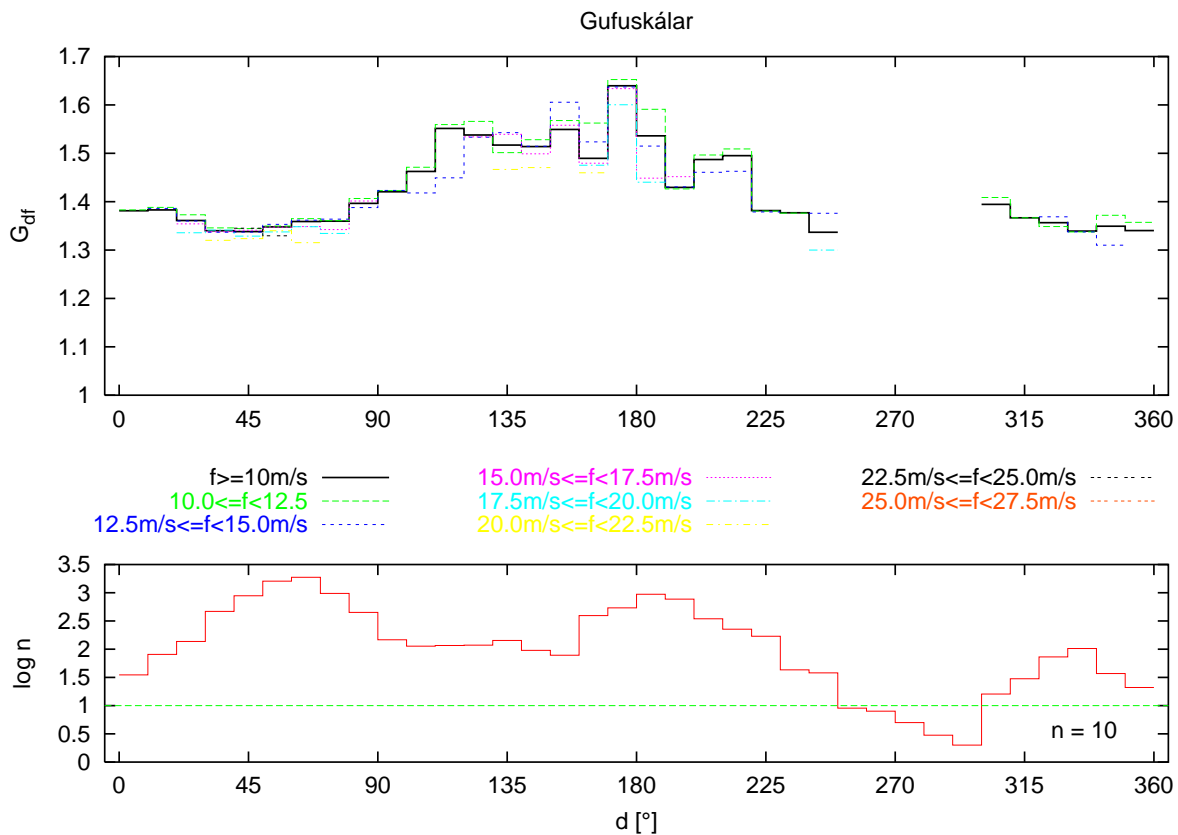
fjalla yfir stöð, H , og fjarlægð milli stöðvar og fjalla, D , voru metin fyrir fjöll innan við 20 km frá sérhverri stöð. Fyrir flestar stöðvarnar fengust allnokkur gildi á d_m , H og D , en fyrir aðrar aðeins 1-2.

3 Reikningar á hviðustuðlum

Nær allir reikningar voru framkvæmdir með aðstoð tölvu. Skrifaðir voru stuttir forritsbútar og skeljarstefjur sem sáu um útreikningana.

Hviðustuðull G er skilgreindur sem $G = f_g/f$. Þegar notuð voru klukkustundargögn þá eru f og f_g mesti 10-mínútna meðalvindur og mesta 3-sekúndna hviða á síðustu klukkustund fyrir athugun. Þegar notuð voru 10-mínútna gögn þá er f meðalvindur á athugunartímanum og f_g mesta hviða á sama tíma.

Fyrir allar sjálfvirku stöðvarnar og $f \geq 10$ m/s var meðalhviðustuðullinn G_{avg} reiknaður. Stuðullinn G_f var reiknaður fyrir 2,5 m/s bil í vindhraða. Einnig var reiknaður stuðullinn G_d fyrir 10° bil í vindátt, d , en honum var líka skipt í 2,5 m/s vindhraðabil og kallast G_{df} . Ekkert þessara meðaltala var reiknað fyrir færri mælingar en 10. Mynd 2 sýnir dæmi um niðurstöður fyrrnefndra reikninga.



Mynd 2: Gögn frá sjálfvirkri veðurstöð á Gufuskálum, G_{df} á 10° bili í d .

Mynd 2 sýnir G_{af} á 10° bili í vindátt, en n er fjöldi mælinga á hverju bili. Gögnin eru frá sjálfvirku veðurstöðinni á Gufuskálum og var safnað þegar loft yfir landinu var stöðugt. Greinilegt er að meðalhviðustudullinn er háður vindátt, en ekki er eins greinilegt að hann er einnig háður vindhraða. Lægstur er studullinn í norðaustanátt og þá nær óháður meðalvindhraðanum. Í sunnanáttum er hviðustudullinn hæstur og breytilegur með vindhraða.

Mynd 3 sýnir nánasta umhverfi veðurstöðvarinnar að Gufuskálum. Í vestlægum og norðlægum áttum kemur vindur af opnu hafi, en í sunnanáttum stendur vindur af Snæfellsjökli, sem rís um 1400 m yfir stöðina.

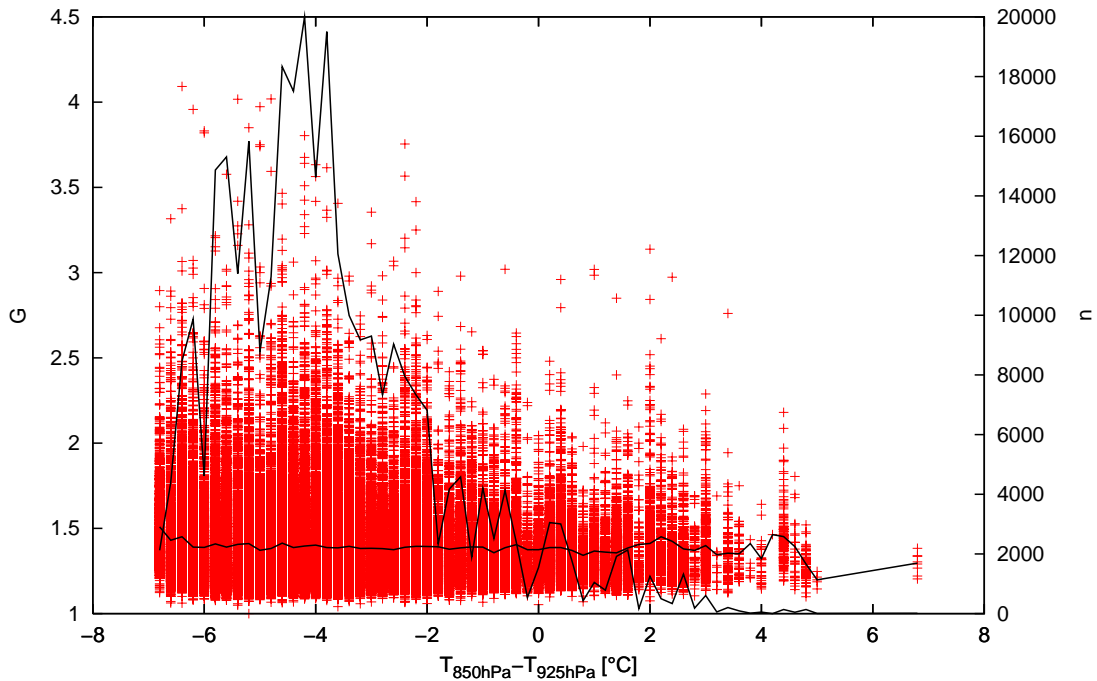


Mynd 3: *Sjálfvirka veðurstöðin á Gufuskálum og nánasta umhverfi hennar séð úr vestri. Stöðin er í vinstri hluta myndarinnar og merkt með rauðum ferningi. Sunnan við stöðina er Snæfellsjökull, (1446 m.y.s.).*

3.1 Hviðustuðlar og stöðugleiki lofts

Mynd 4 sýnir hviðustuðla sem fall af stöðugleika loftsins, $T_{850} - T_{925}$. Notað er allt gagnasafnið, en hvert merki á grafinu jafngildir einni mælingu á G á einhverri af veðurstöðvunum 36. Hlykkjótta línan sýnir fjölda mælinga í hverju $0,2^\circ\text{C}$ bili, n , en sú neðri meðalhviðustudullinn. Mögulega eru gallar í gögnunum því nokkrar mælingar sýna $G > 3$. Þessir punktar eru þó það fáir að þeir hafa afar lítil áhrif á meðalhviðustudulinn. Af myndinni sést að meðalhviðustudullinn virðist nær óháður stöðugleika loftsins, en hann helst nærri 1,4 fyrir óstöðugt sem og mjög stöðugt loft.

Mynd 4 sýnir gögn frá öllum stöðvunum en til samanburðar er einnig teiknuð mynd 5. Myndin sýnir mældan hviðustuðul á einni stöð, sjálfvirku veðurstöðinni í Afstapa-



Mynd 4: Merkin sýna einstakar mælingar á hviðustuðli, G , hlykkjótta línan fjölda mælinga, n , og neðri línan meðdaltal G , allt sem fall af stöðugleika loftins, $T_{850} - T_{925}$.

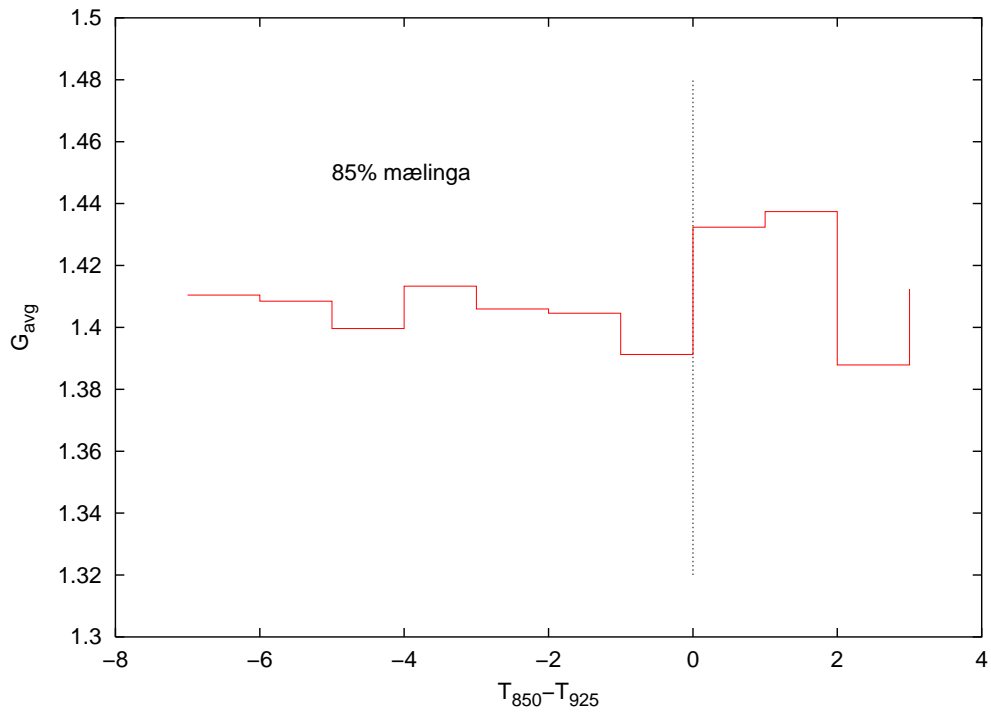
hrauni, sem fall af stöðugleika. Stöðin er innan við 40 km frá háloftastöðinni í Keflavík og umhverfi hennar tiltölulega slétt og langt í fjöll hærri en 200 m. Áhrif fjalla á vind sem mælist á stöðinni eru því hverfandi, en skv. mynd 5 virðist hviðustuðullinn lækka ögn með stöðugra lofti. Fáar mælingar eru til í mjög stöðugu lofti og því koma fram óreglur fyrir $T_{850} - T_{925} > 0$.

3.2 Hviðustuðlar og vindhraði

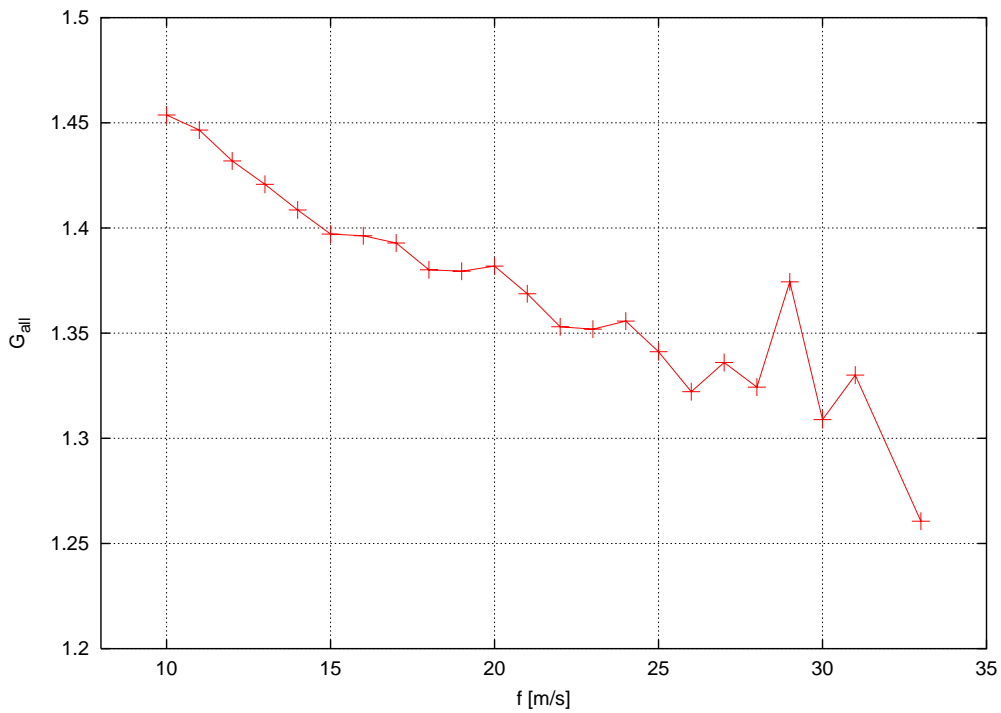
Stuðullinn G_{all} var reiknaður sem meðdaltal af G_f fyrir allar stöðvarnar. Mynd 6 sýnir G_{all} sem fall af vindhraða, f , en greinilegt er að hviðustuðullinn minnkar með auknum vindhraða. Fyrir vindhraða hærri 25 m/s koma fram óreglur á G_{all} sem stafa líklega af fáum gagnapunktum með $f > 25$.

3.3 Hviðustuðlar og stöðvarhæð

Mynd 7 sýnir meðalhviðustuðul, G_{avg} , á hverri stöð sem fall af hæð stöðvarinnar yfir sjávarmáli, h . Eingöngu eru notaðar mælingar þar sem meðalvindhraði er undir 15 m/s. Langflestar stöðvarnar eru í minna en 100 m hæð yfir sjávarmáli, en þó eru allnokkrar staðsettar hærra. Fyrir $h < 100$ m virðist G_{avg} vera óháð h , en fyrir stöðvar í 100-700 m

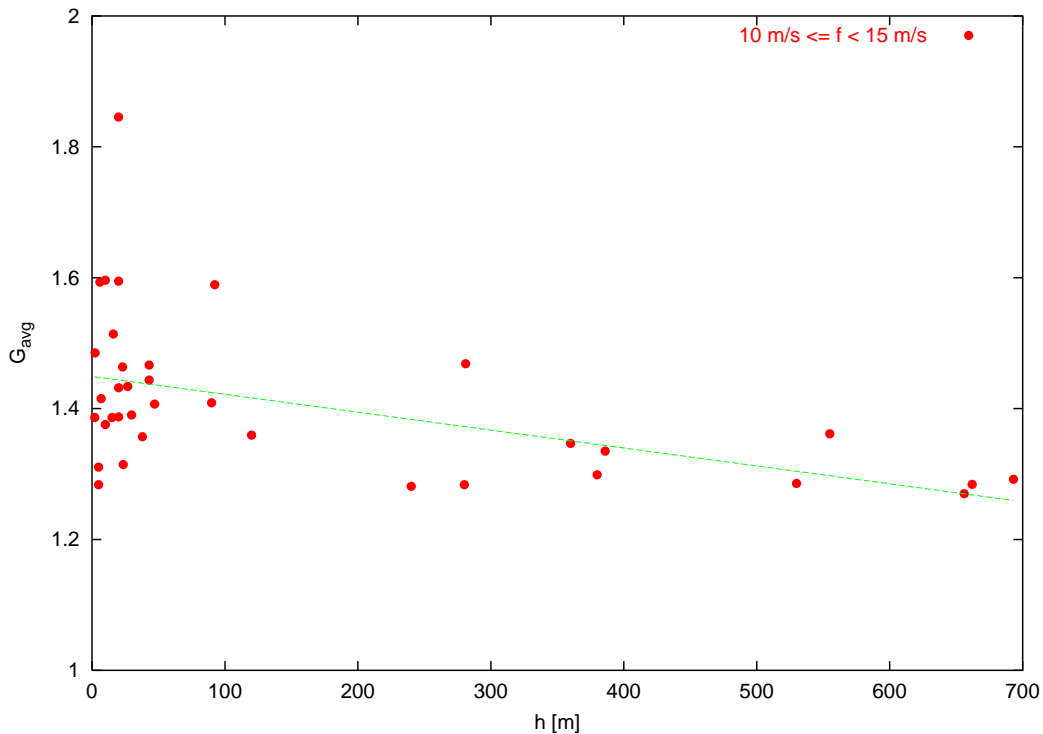


Mynd 5: Meðalhviðustuðull, G_{avg} , í Afstapahrauni sem fall af stöðugleika, $T_{850} - T_{925}$. Merkt er hvar flestar mælingarnar liggja.



Mynd 6: Meðalhviðustuðull fyrir allar stöðvarnar, G_{all} , sem fall af meðalvindhraða, f .

hæð virðist G_{avg} minnka með vaxandi h . Mun meiri dreifing virðist vera í G_{avg} fyrir stöðvar í láglandi heldur en í hálendi, en ekki er alveg ljóst af hverju það stafar.



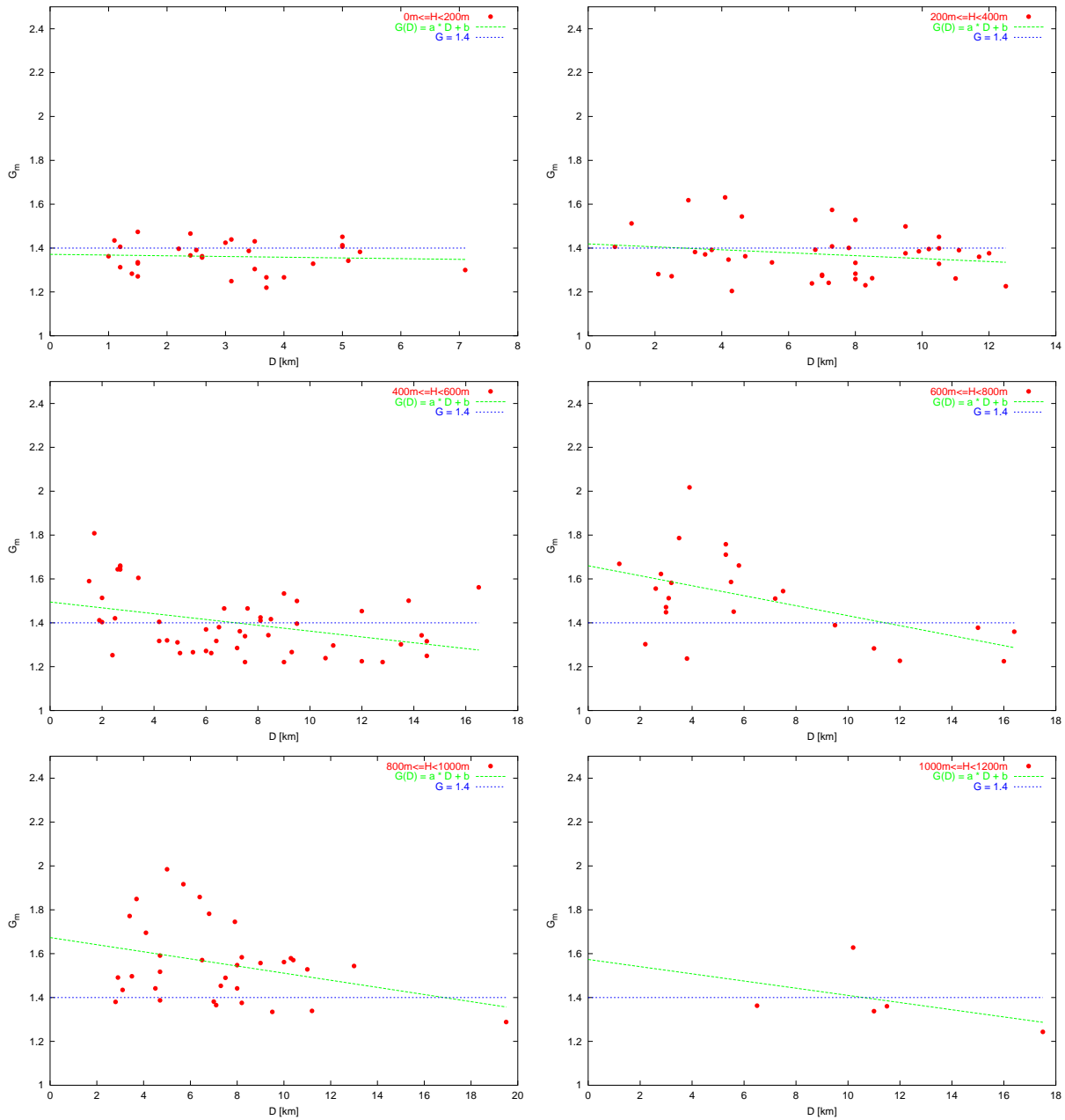
Mynd 7: Meðalhviðustuðull, G_{avg} , sem fall af hæð stöðvar yfir sjó, h , (meðalvindhraði, f , minni en 15 m/s).

3.4 Hviðustuðlar og nánasta umhverfi stöðvar

Reiknaður var hviðustuðullinn G_m fyrir vind sem kemur af nálægu fjalli. Stefna á fjallið er d_m , en G_m er jafnt G_d fyrir það 10° vindáttarbil sem inniheldur d_m . Það er þó ekki öruggt að vindurinn blási raunverulega af fjallinu þó vindátt á veðurstöðinni gefi það til kynna.

Mynd 8 sýnir hvernig G_m er háð fjarlægð milli stöðvar og fjalls, D , fyrir mismunandi hæðir fjalls, H . Sérhver punktur á gröfunum jafngildir vindi sem kemur úr stefnu á ákveðið fjall. Á hvert graf eru teiknaðar tvær beinar línur, en sú lárétta jafngildir $G_m = 1,4$. Hallandi línan er besta aðhvarfslína að gögnunum, m.v. aðferð minnstu kvaðrata, en þó er ólíklegt að bein lína sé réttu formið til að lýsa sambandi G_m og D . Línurnar gefa því aðeins hugmynd um hegðun G_m með D , en varast ber að líta á þær sem nákvæma lýsingu á fyrirnefndri hegðun.

Greinilegt er af öllum gröfunum í mynd 8 að G_m minnkar með vaxandi D . Fyrir fjöll undir 200 m hæð er þó halli línunnar nánast enginn, og lítill fyrir 200-400 m há fjöll. Fyrir hærri fjöll er halli línunnar meiri og því breytingar á G_m með D ákveðnari. Ef G er um 1,4 fyrir loftstraum sem ekki hefur orðið fyrir áhrifum fjalla, þá má áætla áhrifasvæði

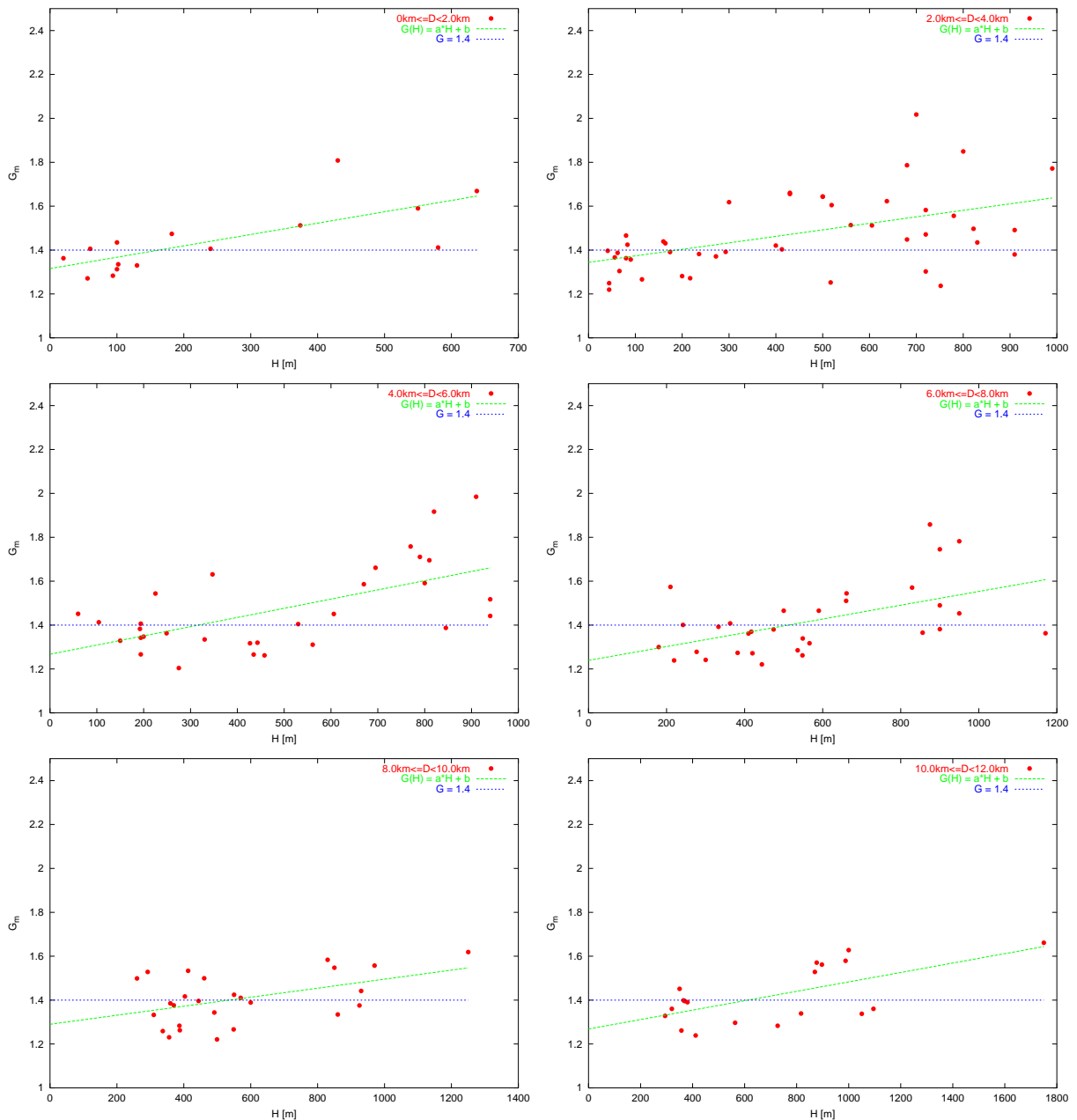


Mynd 8: Meðalhviðustuðull, G_m , sem fall af fjarlægð frá fjalli, D , fyrir mismunandi hæðir fjalla, H .

fjallanna með því að athuga fyrir hvaða D , G_m er hærra en 1,4. Miðað við mynd 8 sést að áhrifa fjalla gætir fjær þeim eftir því sem þau eru hærri. Fjöll sem eru 600-800 m há virðast hafa áhrif á G_m í allt að 8-10 km fjarlægð. Áhrifa frá 800-1000 m háum fjöllum gætir enn fjær fjöllum eða 10-12 km frá þeim.

Mynd 9 er sambærileg við mynd 8, en skipt hefur verið á hæð fjalls, H , og fjarlægð frá fjalli, D . Öll gröfin í mynd 9 sýna G_m sem fall af H , fyrir ákveðin bil í D . Líkt og í mynd 8 eru teiknaðar tvær beinar línur inn á sérhvert graf. Lárétta línan jafngildir $G_m = 1,4$ og sú hallandi er besta aðhvarfslína að gögnunum, m.v. aðferð minnstu kvaðrata. Eins og í

mynd 8 þá sést að G_m vex með hærra H , en þetta er þó greinilegra þegar D er minna eða jafnt 8 km heldur en ef D er stærra.

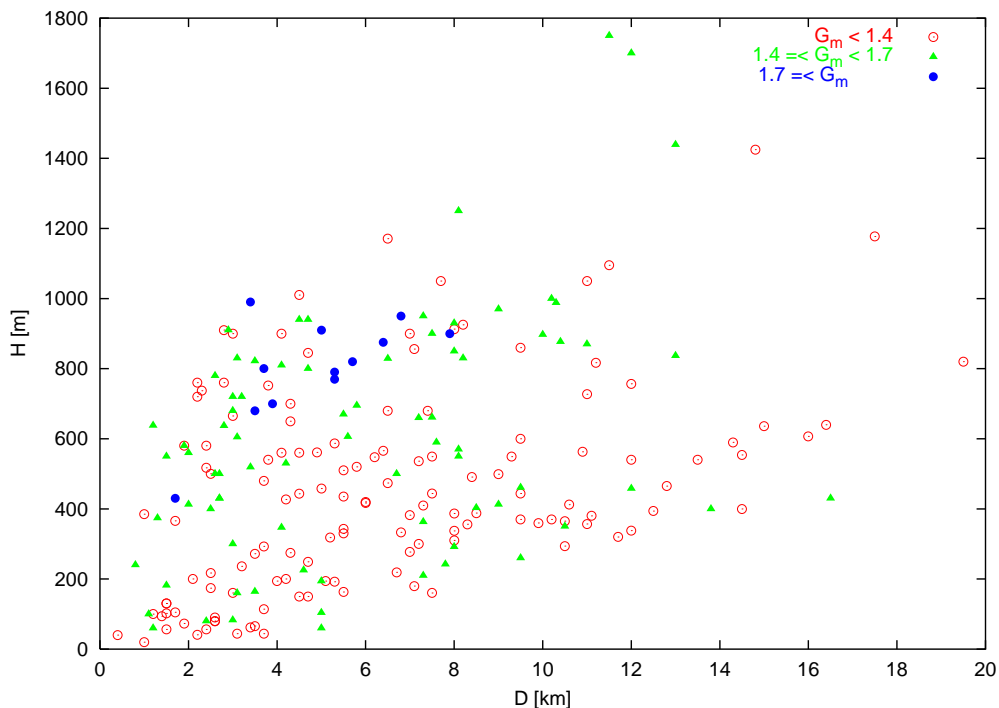


Mynd 9: Meðalhviðustuðull, G_m sem fall af hæð fjalls, H , fyrir mismunandi fjarlægðir frá fjalli, D .

Af gröfunum má draga þá ályktun að fjall í 6-8 km fjarlægð frá vedurstöð þurfi að vera að lágmarki 600 m hátt til að hafa áhrif á mælda hviðustuðla á stöðinni. Nær stöðinni geta lægri fjöll haft mikil áhrif á flæðið, en áhrif fjalla undir 200 m hæð eru þó hverfandi.

Einskonar samantekt á áhrifum landslags sést í mynd 10. Teiknað er graf af hviðustuðlum sem fall af fjarlægð frá fjalli, D , og hæð fjalls, H . Það þarf ekki að koma á óvart að hviðustuðlar sem eru hærri en 1,7 dreifast um efri, vinstri, hluta grafsins. Allir

punktanna, utan einn, eru í innan við 8 km fjarlægð frá herra en 600 m háu fjalli. Lægri hviðustuðlar dreifast um allt grafið, en þó virðist þéttleiki þeirra vera meiri í neðri hluta grafsins.



Mynd 10: Hviðustuðlar sem fall af hæð fjalls, H , og fjarlægð frá fjalli, D .

4 Niðurlag

Sköðað hefur verið stórt gagnasafn mælinga frá sjálfvirkum veðurstöðvum. Reynt hefur verið að greina hviðustuðla og atriði í loftstraumnum sem hafa áhrif á stuðlana. Aðeins hafa verið notuð gögn þar sem meðalvindhraði er meiri en 10 m/s. Reiknaður meðalhviðustuðull er nærri 1,4 og virðist óháður stöðugleika loftsins. Meðalhviðustuðull er hinsvegar sterklega háður meðalvindhraða. Fyrir 10 mínútna meðalvindhraða á bilinu 10-25 m/s þá lækkar hviðustuðullinn um u.þ.b. 0,04 fyrir hverja 5 m/s aukningu í meðalvindhraða. Ástæður hviðumyndunar, annarsvegar í óstöðugu lofti og hinsvegar stöðugu lofti, eru líklega afar ólíkar. Í óstöðugum loftmassa getur loftkvika valdið hviðum. Í stöðugu lofti er minni kvika nema þar sem landslag hefur áhrif á loftflæðið, en þar geta sterkar hviður myndast og þá sérstaklega hlémegin fjalla. Gögnin sem notuð voru í þessari rannsókn benda til að hviðumyndun vegna áhrifa landslags á stöðugan loftstraum sé álíka og hviðumyndun í óstöðugu lofti. Reynt var að meta áhrif hæðar fjalls og fjarlægðar frá veðurstöð á stöðugan loftstraum. Miðað við gögnin sem notuð voru í rannsókninni þá þarf að lágmarki 600 m hátt fjall í mest 8 km fjarlægð frá veðurstöð svo hviðustuðull á stöðinni mælist hærri en 1,7.