



Kortlagning aftakavinda á Suðvesturlandi – fyrstu skref

Guðrún Nína Petersen
Hálf dán Ágústsson
Ólafur Rögnvaldsson

Forsíðumynd: Skemmd á malbiki á Þjóðveginum sunnan við Kvísker.
Ljósmynd: Sigurður Gunnarsson, Hnappavöllum.

Kortlagning aftakavinda á Suðvesturlandi – fyrstu skref

Guðrún Nína Petersen, Veðurstofu Íslands
Hálfván Ágústsson, Kjeller Vindteknikk
Ólafur Rögnvaldsson, Belgingi og Háskólanum í Bergen

Lykilsíða

Skýrsla nr. VÍ 2017-001	Dags. Mars 2017	ISSN 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Kortlagning aftakavinda á Suðvesturlandi – fyrstu skref		Upplag: 12 Fjöldi síðna: 32	
		Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Guðrún Nína Petersen, Hálfán Ágústsson og Ólafur Rognvaldsson		Verkefnisstjóri: Guðrún Nína Petersen	
		Verknúmer: 3361	
Gerð skýrslu/verkstig:		Málsnúmer: 2017-96	
Unnið fyrir: Vegagerðina			
Samvinnuaðilar: Kjeller Vindteknikk, Belgingur og Háskólinn í Bergen			
Útdráttur: Stigin eru fyrstu skref í kortlagningu aftakavinda á Íslandi. Kannað er hvort hægt sé að nýta lofthjúpsreikninga til að meta aftakavinda. Nýtt eru gögn fyrir Suðvesturland og er mat á tíðni og styrk aftakaatburða skoðað. Hámark-innan-tímabils aðferðinni er beitt á lofthjúpsgögnin og matið borið saman við niðurstöður þar sem þröskuldsaðferð er beitt á vindmælingar. Mun á mati á styrk aftakaburða má að miklu leyti skýra með mismunandi rúm- og tímaupplausn, takmarkaðri lengd sumra mæliraða, skekkjum í líkani og mismunandi aðferðarfræði við mat á aftakaatburðum. Af niðurstöðunum er þó ljóst að hægt er að nota niðurstöður lofthjúpsreikninga sem innlagsgögn við greiningu á aftakavindum og búa til heilsteypt kort af t.d. 50 ára vindstyrk fyrir allt Ísland. Niðurstöðurnar eru bornar saman við niðurstöður aftakagreininga sem byggjast á mælingum. Bæði gagnasöfnin hafa sína kosti og galla. Kostir lofthjúpsreiknigagna umfram mælingar eru þeir að hægt er að skoða svæði í rúmi á hvaða tímabili sem er en veðurmælingar eru strjálar.			
Lykilorð: Lofthjúpsreikningar, sjálfvirkar vindmælingar, vindhraði, aftakaatburðir, öfgagreininga, þröskuldsaðferðin, hámark-innan-tímabils aðferðin, illviðri		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
		Undirskrift verkefnisstjóra: 	
		Yfirfarið af: SG	

Efnisyfirlit

1 Inngangur	7
2 Gögn	8
2.1 Sjálfvirkar mælingar.....	8
2.2 Lofthjúpsreikningar.....	11
3 Aftakagreining	12
4 Niðurstöður	15
4.1 Mælingar og þröskuldsaðferðin.....	15
4.2 Lofthjúpsreikningar og hámark innan tímabils aðferðin.....	17
4.3 Samanburður.....	20
5 Niðurlag	21
6 Heimildir	22
I Veðurstöðvar á Suðvesturlandi	24
II Lofthjúpsreikningar	26
III Dæmi um samanburð á mælingum og lofthjúpsreikningum	27
IV Dæmi um árshámarksvindhraða lofthjúpsreikninga	29

Myndaskrá

1	Skemmd á vegi.....	7
2	Lengd mæliraða.....	9
3	Veðurhæð Geldinganesi.....	10
4	Veðurhæð Reykjanesbraut.....	10
5	Dreifnirit mældra og reiknaðra tímaraða.....	12
6	Mæld og reiknuð vindrós.....	13
7	Þröskuldsgildi.....	15
8	Þröskuldslíkan Reykjanesbraut.....	16
9	Endurkomugildakort mælinga.....	18
10	Endurkomugildakort reikninga.....	19
11	Dreifnirit endurkomugilda: mælingar-líkan.....	19
12	Vindhraði samanburður tímaraða 1.....	27
13	Vindhraði samanburður tímaraða 2.....	28
14	Árshámarksvindhraði, leiðrétt lofthjúpsgögn: 1957–1960.....	29
15	Árshámarksvindhraði, leiðrétt lofthjúpsgögn: 1961–1964.....	30
16	Árshámarksvindhraði, leiðrétt lofthjúpsgögn: 2006–2009.....	31
17	Árshámarksvindhraði, leiðrétt lofthjúpsgögn: 2010–2013.....	32

Töfluskrá

1	Lofthjúpsreikningar.....	11
2	Stöðvar.....	25

1 Inngangur

Ísland er vindasamt land. Hvassviðri og stormar hamla oft samgöngum, einkum að vetrarlagi, og geta valdið skemmdum á mannvirkjum og jafnvel slysum, sjá mynd 1. Algengustu lokanir á þjóðvegum landsins verða þegar djúpar og krappar lægðir fara hjá landinu og óveður og vindstrengir myndast nærri fjöllum. Vegna þess hve flókið landslag er á Ísland er vindafar afar breytilegt, bæði milli landshluta og innan þeirra. Vindstrengir eru jafnan mjög staðbundnir og vegalokanirnar, þegar þeirra er þörf, því yfirleitt bundnar við stutta vegarkafila en í næsta nágrenni getur verið mun skaplegra veður. Við byggingu mannvirkja og notkun þeirra er nauðsynlegt að skilja tengsl aftakavinda við landslag, og hvað telst aftakaveðurhæð á hverjum stað.



Mynd 1. Skemmd á malbiki á hringveginum, rétt sunnan við Kvísker, horft til norðurs. Í forgrunni er malbikið fokið af veginum og liggur til hægri við hann, í því sem næst heilu lagi. Ljósmynd: Sigurður Gunnarsson, Hnappavöllum.

Greining á aftakaveðurhæð er tölfræðileg aðferð til að meta tíðni og vindstyrk fátíðra atburða. Með greiningunni er hægt að leggja mat á tíðni atburða sem hafa jafnvel ekki enn átt sér stað, þannig má með 10 ára gagnaröð meta endurkomugildi með 20 og jafnvel 50 ára endurkomutíma. Aftakagreiningar eru háðar því að innlagsgögnin séu byggð á vönduðum og löngum tímaröðum.

Aftakagreining hefur verið nýtt í mati á stórflóðum, snjóflóðum og aftakaúrkomu en á Íslandi hafa vindagögn ekki þótt nógu áreiðanleg fyrir slíka greiningu fyrr en á síðustu árum. Ástæðan er sú að þótt vindhraði hafi verið athugaður víða á landinu til tuga ára þá var hann í upphafi og framan af mat veðurathugunarmanns á veðurhæð, miðað við Beufort skalann. Sjálfvirkar vindmælingar henta mun betur til aftakagreiningar en mannaðar athuganir vegna þess að tíðni mælinga er meiri þó að tímaraðirnar séu, enn sem komið er, vissulega styttri.

Frá lokum síðustu aldar hafa Veðurstofa Íslands og Vegagerðin auk annarra stofnanna byggt

upp net sjálfvirka veðurstöðva. Flestar veðurstöðvar Vegagerðarinnar eru staðsettar þar sem þær lýsa vel aðstæðum m.t.t. umferðaröryggis, einkum þar sem veðurhæð getur orðið mjög mikil. Auk Vegagerðarinnar reka Veðurstofa Íslands, Landsvirkjun og fleiri stofnanir sjálfvirkar veðurstöðvar sem saman mynda nokkuð þétt net mælinga.

Frá árinu 2004 hafa verið framkvæmdir lofthjúpsreikningar í þéttriðnu neti fyrir Ísland. Með nýtingu niðurstaðna slíkra útreikninga við greiningu aftakavinda er hægt að kortleggja tíðni og styrk atburða, óháð mælineti.

Í þessu verkefni eru stigin fyrstu skref í slíkri kortlagningu. Tilgangurinn er að kanna hvort hægt sé að nýta lofthjúpsreikninga til að meta aftakavinda og þannig auka og bæta skilning á mögnun vinds og breytileika hans í flóknu landslagi. Að þessu sinni er svæðið takmarkað við suðvesturluta Íslands. Verkefnið leggur grunn að kortlagningu aftakavinda á Íslandi.

Verkefnið var styrkt af Rannsóknasjóð Vegagerðarinnar. Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

2 Gögn

Í verkefninu eru nýtt tvenns konar gögn: vindmælingar og lofthjúpsreikningar.

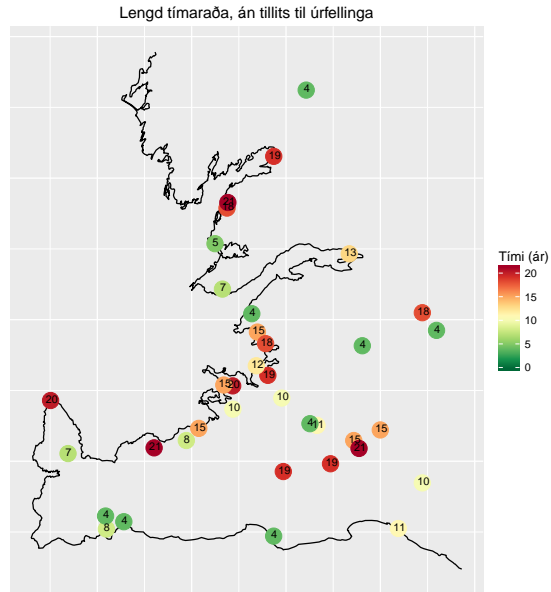
2.1 Sjálfvirkar mælingar

Segja má að uppbygging nets sjálfvirkra veðurstöðva á Íslandi hafi hafist árið 1987 og árið 2016 taldi það 254 stöðvar. Veðurstofa Íslands (VÍ) bjó þá yfir neti með 123 stöðvum (95 almennum veðurstöðvum og 28 tengdum ofanflóðavöktun) en veðurstöðvanet Vegagerðarinnar (VG) samanstóð af 100 stöðvum (89 vegastöðvum og 11 siglingastöðvum). Aðrir aðilar, s.s. Landsvirkjun, Landsnet og Orkubú Vestfjarða ráku mun færri veðurstöðvar. Flestar veðurstöðvar VÍ eru staðsettar á láglandi og þannig í landslaginu að mælingar séu dæmigerðar fyrir stærra svæði, m.ö.o. forðast er að staðsetja þær þannig að áhrif landlags í allra næsta nágrenni sé ráðandi. VG ber ábyrgð á vegakerfinu og því eru stöðvar hennar oft staðsettar þannig að þær mæli verstu veður á vegum. Það þýðir að staðsetningar eru oft valdar með það í huga að landslag í næsta nágrenni ráði miklu um vindafar og því má gera ráð fyrir að vindhraði mælist oft meiri á VG stöðvum en á stöðvum VÍ.

Þá er einnig nokkur munur á uppsetningu þessara tveggja neta. Í fyrsta lagi eru vindmælar á VG stöðvum iðulega lægri en á VÍ stöðvum, oft í um 6 m hæð meðan VÍ vindmælar eru að jafnaði í 10 m hæð. Til að gæta samræmis í samanburði við lofthjúpsútreikninga er vindhraði á VG stöðvum hér uppreiknaður í 10 m hæð með jöfnunni:

$$V(z) = V_M \left(\frac{z}{z_M} \right)^\alpha \quad (1)$$

þar sem V er vindhraði (m/s) í hæð z (m) og V_M samsvarandi vindhraði í hæð z_M , hér mælihæð. α er núningsstuðull, hér metin sem 1/7, sjá Jón Blöndal ofl. (2011). Í öðru lagi eru vindhviður skilgreindar sem mesti 3 sek vindhraði hjá VÍ en sem mesti 1 sek vindhraði hjá VG. Þetta þýðir að vindhviðumælingar eru ekki að öllu sambærilegar og líklegt að meiri vindhviður mælist í VG netinu en VÍ netinu. Í þessu verkefni eru þó vindhviðumælingar ekki nýttar.



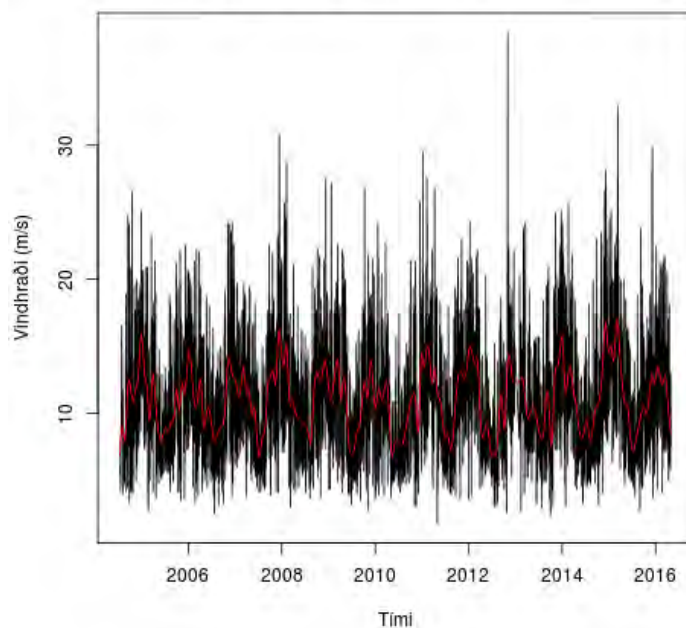
Mynd 2. Kort af mælistöðvum á suðvesturhorninu og lengd mæliraða á hverjum stað í árum.

Vindmælingarnar sem nýttar eru sem innlagsgögn eru frá nær öllum sjálfvirkum veðurstöðvum á suðvesturhorninu, sjá töflu 2 í viðauka I. Flestar stöðvanna eru enn virkar en fimm stöðvar hafa verið lagðar niður. Tímabil mælinga er frá upphafi mælinga til 30. apríl 2016, eða til loka mælinga í þeim tilvikum sem stöðvar eru ekki í rekstri lengur. Mæliraðirnar eru mjög mislangar, allt frá því að vera 21 ár niður í eingöngu 4 ár, sjá mynd 2.

Í verkefninu var notast við hámarksvindhraða hvers sólarhrings, þ.e. mesta 10 mínútna vindhraða sólarhringsins. Vindmælingar á hverri stöð voru skoðaðar og leitað að villum. Allar villur sem fundust voru fjarlægðar úr gagnagrunni Veðurstofu Íslands. Mynd 3 sýnir mælingar á hámarksvindhraða hvers sólarhrings á veðurstöðinni Geldinganesi. Árstíðasveiflur vindhraða koma skýrt fram og einnig breytileiki milli ára. Athygli vekur óhemjumikil veðurhæð þann 2. nóvember 2012, þar sem sólarhringshámarkið er 38.4 m/s. Þetta óveður gengur oft undir nafninu Höfðatorgsveðrið vegna mikilla vindrasta sem mynduðust við Höfðaborgarturninn í þessum norðan stormi.

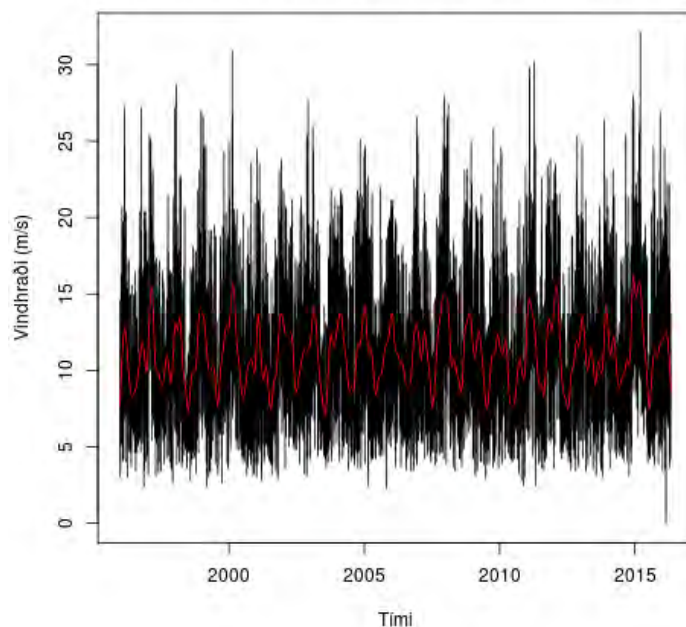
Mynd 4 sýnir tilsvarendi tímaröð frá veðurstöðinni á Reykjanesbrautinni í mælihæð, þ.e. óleiðrétt m.t.t. hæðar. Sú tímaröð spannar tímabilið 1995–2016 og er veðurstöðin ein af elstu veðurstöðvum VG. Á þessu tímabili hefur vindhraði farið yfir 30 m/s á þremur sólarhringum: 14. febrúar 2000 (30.9 m/s), 10. apríl 2011 (30.2 m/s) og 14. mars 2015 (32.1 m/s). Öll þessi veður ullu skaða: í fyrsta atburðinum fórst bátur vestur af Akranesi í mjög slæmu veðri (Skipverja saknað eftir sjóslys, 2000, 15. febrúar), þann 10. apríl 2011 rifnuðu málmplötur af flugskýli Icelandair á Keflavíkflugvelli og Borgarfjarðarbrúnni var lokað vegna grjóthríðar (Gat kom á flugskýlið, 2011, 11. apríl) og að morgni 14. mars 2015 gerði mikið illviðri, líklega það versta síðan árið 1991, sem olli töluverðu foktjóni auk vatnstjóns (Guðrún Nína Petersen, 2015). Þá sést vel hve hvasst var veturinn 2014–2015 miðað við aðra vetur. Lágmarksmælingin í febrúar 2016 er villa í mælingu sem var fjarlægð úr gagnagrunni.

Geldinganes 2004-2016 daggildi hámarksmeðalvindhraða



Mynd 3. Hámarksvindhraði (m/s) á veðurstöðinni Geldinganesi (stöðvarnúmer 1480), 2004–2016. Rauða línan er þriðja stigs hermifall (e. cubic spline) tímaraðarinnar.

Reykjanesbraut 1995-2016 daggildi hámarksmeðalvindhraða



Mynd 4. Hámarksvindhraði (m/s) á veðurstöðinni Reykjanesbraut (stöðvarnúmer 31363) í mæliháð, 1995–2016. Rauða línan er þriðja stigs hermifall (e. cubic spline) tímaraðarinnar.

2.2 Lofthjúpsreikningar

Nýttar eru niðurstöður hermireikninga með þremur ólíkum uppsetningum lofthjúpslíkansins fyrir mismörg tímabil og misstóra reiknimöskva (sjá töflu 1). Ítarlegri upplýsingar um lofthjúpsreikningana má finna í viðauka II.

Tafla 1. Þeir lofthjúpsreikningar sem voru aðgengilegir fyrir verkefnið.

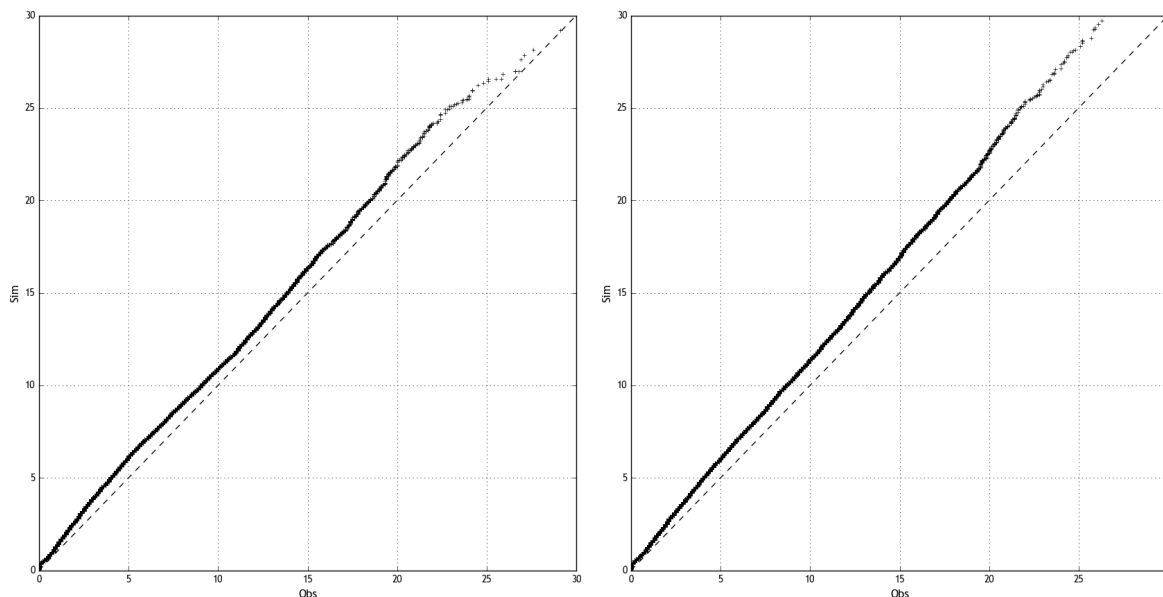
Heiti	Reiknað af	Möskastærð	Tímabil	Lengd
Fínasta	Belgingi	0.666 km	2008–2013	5 ár
Mið	Belgingi	3 km	1995–2014	20 ár
Grófast	Belgingi	9 km	1957–2014	57 ár

Landslag á Íslandi er nokkuð flókið, fjöll eru mörg brött og dalir og firðir djúpir. Það er því mikilvægt fyrir hermun vinds að lýsa réttilega áhrifum flókins landslags á loftstrauminn og því er þéttriðið reikninet mikilvægt. Slíkir útreikningar eru krefjandi, hvað varðar reiknitíma, og slíkar keyrslur jafnan stuttar. Þær lýsa því nokkuð vel breytileika í rúmi og einstökum veðrum en eru of stuttar til að lýsa vel vindafari til langs tíma, þ.e. tíðnidreifingu vindhraða. Í viðauka /refa:samnb, mynd 12 og 13 eru útreikningarnir bornir saman við mælingar á fjórum veðurstöðvum. Grófari loftlagskeyrslurnar spanna 20 og 57 ár og lýsa því nokkuð vel breytileika í tíma og vindafari en vegna möskastærða verr breytileika í rúmi. Hér verða eingöngu sýndar myndir byggðar á grófari lofthjúpsreikningunum.

Til eru allnokkrar aðferðir til að leiðrétta og lengja stuttar tímaraðir vinds svo þær endurspeglí rétt vindafar (sjá t.d. Liléo et al., 2013). Algengt er að nota langar mældar tímaraðir af vindi frá t.d. flugvöllum til að lengja og leiðrétta m.t.t. vindafars stuttar, mældar tímaraðir frá nálægum stöðum. Í þessu verkefni koma stuttu tímaraðirnar úr fínkvarða líkanreikningunum. Stuttu raðirnar eru svo leiðréttar með reiknuðum tímaröðum 50-100 m ofan yfirborðs úr nálægustu reiknipunktum í löngu líkankeyrslunum. Leiðréttingin er gerð í fjórum skrefum: Fyrst eru samtímagögn úr löngu og stuttu keyrslunum pörðuð, og meðalvindátt leiðrétt svo hún sé sú sama í báðum gagnasöfnunum. Næst er gögnunum skipt upp í 12 vindáttargeira sem innihalda því sem næst jafnmikið af gögnum, og samhengi vindátta milli safnanna fundið. Í þriðja skrefinu eru vindhraði innan hvers vindáttargeira leiðréttur og fundin vindáttar- og vindhraðaháð vörpun sem er að lokum beitt til að búa til langa tímaröð sem lýsir réttu vindafari og breytileika í rúmi (m.t.t. stuttu líkankeyrslunnar). Í viðauka III er árshámarks vindhraði langtíma leiðréttra 9 km lofthjúpsreikninga fyrir árin 1957–1964 og 2006–2013 (Myndir 14–17).

Dæmi um langar, leiðrétta tímaraðir, frá tveimur veðurstöðvum eru sýndar á mynd 5 og 6. Raðirnar eru sóttar úr nálægasta reiknipunkti í fínu keyrslunum (666 m) og hafa verið leiðréttar m.t.t. til ríkjandi veðurfars skv. grófu líkankeyrslunum. Gildum bæði mældra (í mælihæð) og reiknaðra tímaraða (með sömu tímaupplausn og fyrir sama tímabil) er raðað eftir stærð áður en þau eru teiknuð á dreifnirit (mynd 5). Á báðum stöðvum ofmeta líkanreikningarnar lítilega mældan vind, en þó síður á Geldinganesi heldur en á Reykjanesbraut. Hér er ofmátið heldur meira á síðarnefndu stöðina og tengist líklega í báðum tilfellum vanmáti á hrýfi í líkaninu, auk þess

að vindamælingar á Reykjanesbraut eru gerðar í ríflega 6 m hæð en ekki 10 m. Á Geldinganesi er stærðardreifing stærstu atburða mjög nærri réttu lagi en ofmatið er að jafnaði um 10% á Reykjanesbraut. Hætt er við að þessi villa endurspeglit í reiknuðum endurkomugildum. Frekari samanburður (mynd 6) sýnir að reiknuðu raðirnar endurspeгла að stærstu leyti mjög vel ríkjandi vindáttir á báðum veðurstöðvunum. Á Geldinganesi er austanáttin ofmetin á kostnað suðaustan og austnorðaustanátta, þ.e.a.s. vindáttardreifing austlægra átta virðist vanmetin. Á Reykjanesbraut tengist stærsta misræmið lítilsháttar hliðrun austsuðaustanáttar til suðaustlægrar áttar, og austnorðaustlægrar áttar til austanáttar. Myndir 12–13 í viðauka III sýna dæmi um mældan og reiknaðan vindhraða sem fall af tíma.



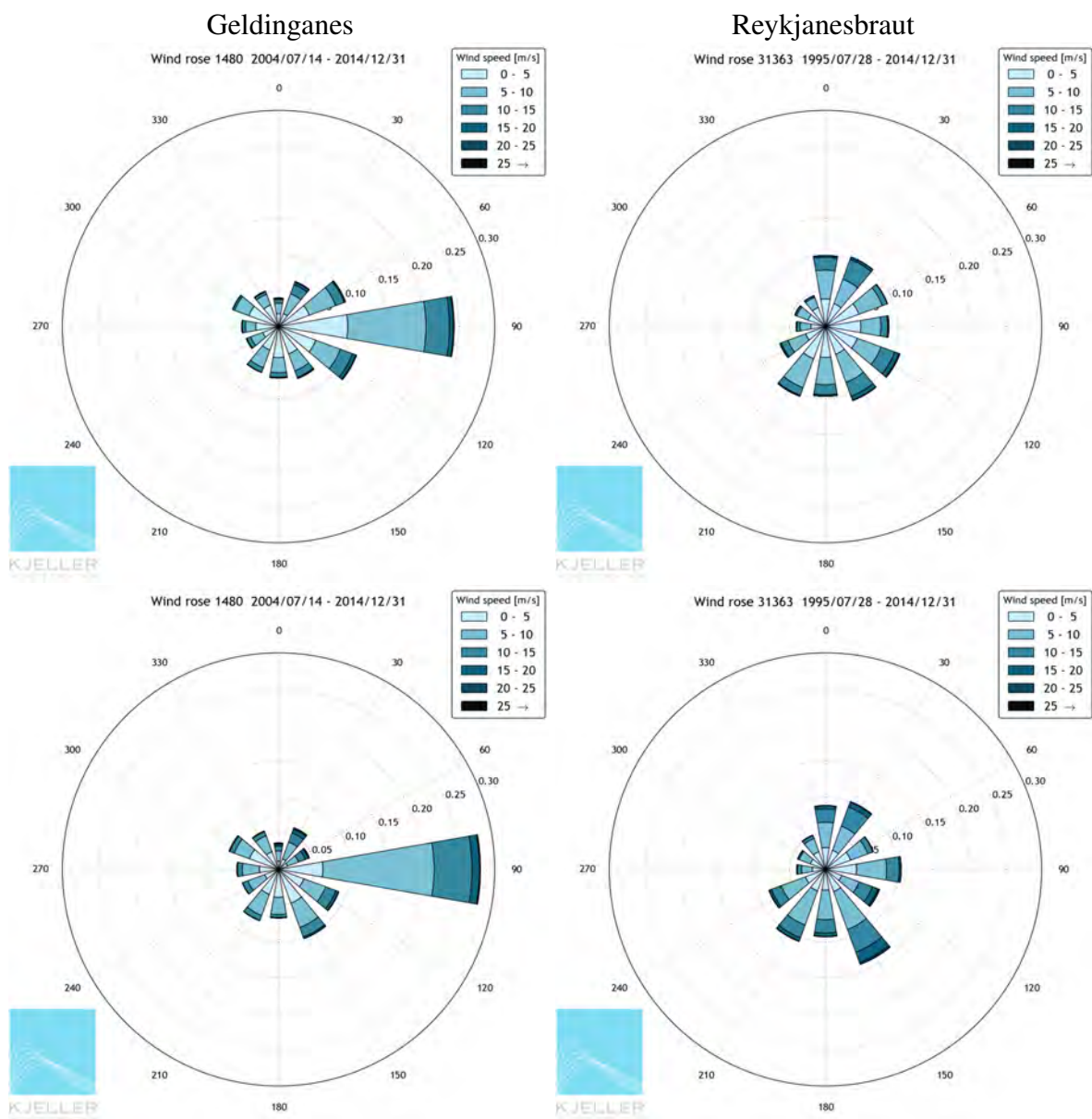
Mynd 5. Dreifnirit sem sýnir hlutfallsmark (því einnig nefnt QQ-rit) mældra mæliraða á láréttum ás mót hlutfallsmarki reiknaðra, leiðréttra, langtímaraða á lóðréttum ás fyrir Geldinganes (vinstri) og Reykjanesbraut (hægri). Ekki er tekið tillit til þess að mælingar á Reykjanesbraut eru í um 6 m hæð en útreikningar í 10 m hæð.

3 Aftakagreining

Aftakagreining (e. extreme value analysis) er aðferðafræði til að meta tíðni öfgakenndra atburða frá tímaröðum mælinga/útreikninga. Þessi tíðni er yfirleitt sett fram sem endurkomutími, fyrir gefið endurkomugildi.

Öfgagreiningar einkennast í flestum tilvikum af því að mælingar á öfgakenndum atburðum eru fáar en þó er oft nauðsynlegt að meta tíðni fátíðs atburðar, jafnvel atburðar sem aldrei hefur mælst. Við slíkt mat þarf því að framreikna frá þeim gögnum sem til staðar eru. Það er einmitt það sem öfgagreining gerir, þ.e. metur endurkomugildi jafnvel fyrir endurkomutíma sem er lengri en tímaröð gagna. Einnig eru oft reiknuð öryggisbil sem gefa til kynna óvissu í útreikningum.

Tvær algengustu öfgagreiningaraðferðirnar eru aðferðin hámark innan tímabils (e. block maxima) og þröskuldsgreining (e. Peak Over Threshold (POT)).



Mynd 6. Tíðni ólíkra vindáttá í mældum (uppi) tímaröðum og leiðréttum, reiknuðum röðum (niðri), á fyrir Geldinganes (vinstri) og Reykjanesbraut (hægri).

Hámark innan tímabils aðferðin gengur út á að gögnunum er skipt upp í svokallað blokkir af sömu lengd, t.d. eitt ár, og hin almenna útgildadreifing (e. General Extreme Value distribution (GEV)) er aðlöguð að gagnaröð sem samanstendur einungis af útgildum innan tímabila. Þar sem eingöngu eitt gildi úr hverju tímabili er nýtt við líkanagerðina skiptir val á stærð blokkar miklu máli. Aðferðin er oft gagnrýnd fyrir að vera eyðslusöm, þ.e. með því að nýta hámark innan hvers tímabils er einungis brot af gögnunum nýtt.

Við mat á endurkomutímum í lofthjúpsútreikningum er beitt aðferð Gumbel-Lieblein, sem gjarnan er notuð við mat á endurkomutíma aftakavinda, t.d. í Noregi (Harsveit & Jenssen, 2002 og Harsveit 2005). Aðferðin byggir á Gumbel (1958), með síðari endurbótum byggðum á Lieblein (1974) og Harris (1996) til að fella líkindamatið að mældum atburðum á sem bestan hátt. Aðferðin leggur minnst vægi á lægstu og hæstu mæligildin, og er þar af leiðandi minna háð útgildum (e. outliers) heldur en aðrar sambærilegar aðferðir (s.s. vægisáðferðin, aðferð minnstu ferninga og aðferð sennilegustu gilda (e. method of moments, least squares method, maximum likelihood method)). Hér er t.d. átt við villur í mælingum eða afar sjaldgæfa storma með endurkomutíma sem er mun hærri en lengd tímaráðarinnar, en aðrar aðferðir hafa tilhneigingu til að ofmeta endurkomugildin ef slíkir stormar eru í gagnaröðinni. Sýnt hefur verið fram á það að með a.m.k. 20 árshágildum má með aðferðinni meta endurkomugildi 50 ára atburðar með tilhlýðilegri nákvæmni.

Hér er notast við árshámörk, innan “vindaársins” (1. september – 31. ágúst) en með hefðbundinni skiptingu árs myndu stormar um áramót mögulega verða tvítaldir. Hægt er að auka gagnamagnið sem lagt er til grundvallar með því að velja fleiri storma á hverju ári en það er ekki gert hér. Aðferðin er hraðvirk og harðgerð (e. robust) og hentar vel til að meta endurkomutíma í stóru gagnasafni, s.s. líkanreikningum með tug- eða hundraðþúsunda reiknipunkta. Aðferðinni er hér beitt með python-hugbúnaðinum, með fyrirfram reiknuðum stikum í Lieblein-hlutanum til að flýta reikningunum.

Þröskuldsgreiningin metur öfgakennda eiginleika gagnanna út frá óháðum gildum yfir ákveðnum þröskuldi. Ef hægt er að gera ráð fyrir að þessi hágildi séu óháð, einsdreifð og tilviljanakennd má nálga dreifingu þeirra með almennu Pareto dreifingunni (e. Generalized Pareto Distribution (GPD)), sjá Coles (2001), kafla 4. Helsti galli þröskuldsgreiningarinnar er að það þarf að vanda valið á þröskuldi og einnig að gæta þess að þau hágildi sem nýtt eru í líkanagerðinni séu óháð.

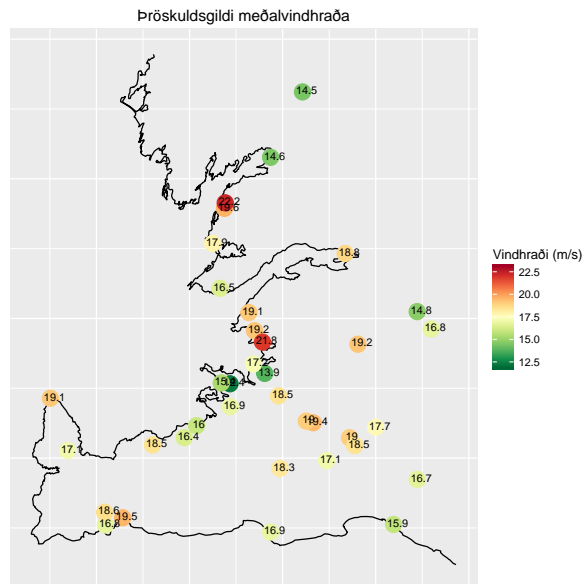
Guðrún Nína Petersen (2015) vann öfgagreiningu á 62 sjálfvirkum veðurstöðvum, þar sem hver fyrir hverja stöð var til a.m.k. 10 ára af gögnum. Þar var þröskuldsáðferðin nýtt til að meta öfgakennda veðurhæð og notast við hámarksvindhraða hvers sólarhrings. Niðurstöður rannsókna á sjálffyllgni urðu til þess að krafist var að það liðu a.m.k. 5 dagar á milli hágilda. Val á þröskuldi getur haft áhrif á gæði niðurstaða. Á annan bóginn, ef þröskuldurinn er of lágur eru of margir atburðir valdir, þar af sumir sem eru langt frá því að vera öfgakenndir. Á hinn bóginn ef þröskuldurinn er of hár eru of fáir atburðir valdir og þar af leiðandi getur líkanið orðið illa stagað og jafnvel gefið ranga mynd af öfgaveðurhæð. Þröskuldurinn þarf því að vera nógu hár til að vera við aðfellumörk dreifingarinnar en samt ekki of hár. Niðurstöður athugana á vali á þröskuldi leiddu til þess að notast var við 0.9 hlutfallsmarkið í greiningunni, sjá Guðrúnu Nínu Petersen (2015) fyrir rökstuðning fyrir valinu. Hér er stuðst við sama val á tímabili á milli hágilda og þröskuldi og í þeirri skýrslu. Allir útreikningar með þröskuldsáðferðinni eru hér gerðir með POT-pakkanum (Ribetet 2012) í hugbúnaðinum R (R Core Team 2014).

4 Niðurstöður

4.1 Mælingar og þröskuldsaðferðin

Öll líkönin sem nýtt eru í þessari skýrslu eru byggð á eins langri mæliröð og til er frá hverri veðurstöð fyrir sig, stýðstu raðirnar eru 4 ár og sú lengsta 21 ár. Líkönin er hægt að nýta til að meta líkur á atburðum sem jafnvel hafa aldrei mælst. Það er því auðvelt að færa rök fyrir því að þess lengri sem tímaröðin er því betur er líkanið stagað fyrir mat á endurkomu sjaldgæfra atburða. Niðurstöður útreikninga byggðum á 21 árs gagnaröð eru því mun áreiðanlegri en þeir sem byggðir eru á mun styttri röðum. Vafasamt er að treysta um of á greiningu byggða á eingöngu fjögurra ára mæliröð, en þar sem niðurstöður eru hér birtar á kortaformi var ákveðið að hafa þær með til samanburðar við lengri raðir í nágrenninu.

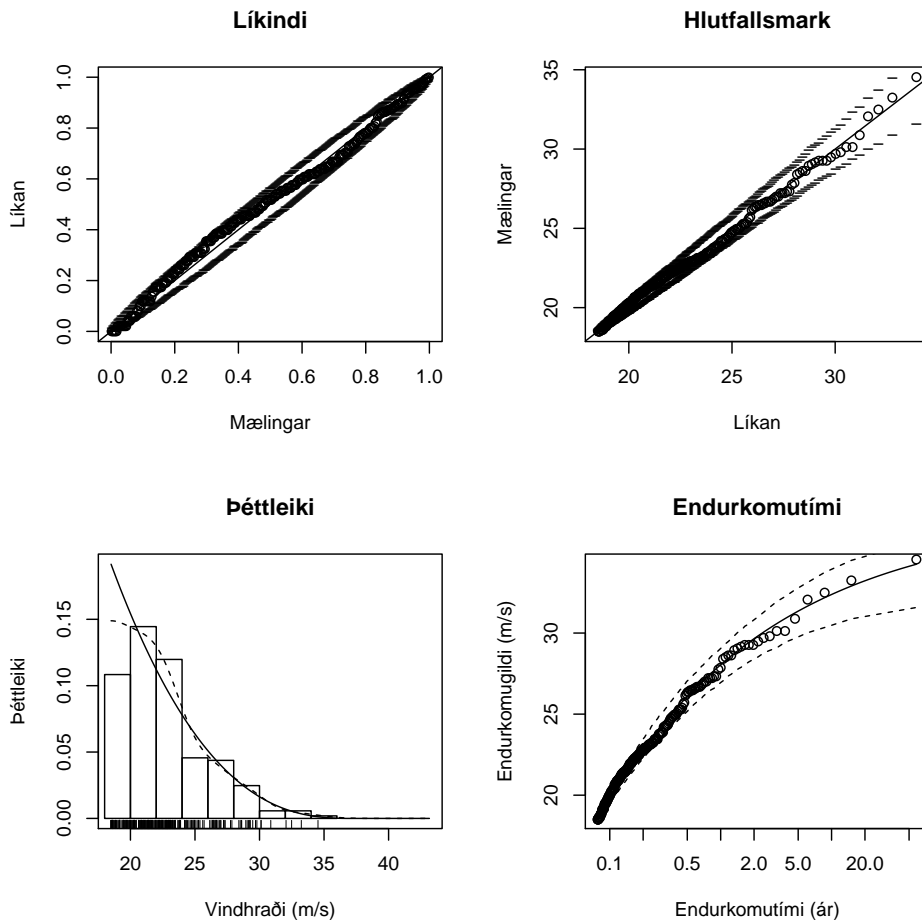
Mynd 7 sýnir þröskuldsgildin á hverri stöð, þ.e. 0.9 hlutfallsmark sólarhringshámarksvindhraða. Þröskuldurinn tekur gildi frá 12 m/s í Reykjavík að 22 m/s á Hafnarmelum. Flestar veðurstöðvar eru þó með þröskuldsgildi á bilinu 16–19 m/s.



Mynd 7. Þröskuldsgildi vindhraða, 0.9 hlutfallsmark hámarksvindhraða sólarhringsins (m/s), fyrir allar tímaraðir sem að nýttar eru í verkefninu.

Mynd 8 sýnir nokkur gröf, fyrir veðurstöðina Reykjanesbraut, sem nýtt eru til að meta sérhvert líkan. Ef líkanið er ásætlanlegt ættu punktarnir að falla sem næst hornlínunni á efri tveimur gröfunum, en þau innihalda sömu upplýsingar en á mismunandi kvarða sem draga fram mismundi þætti líkansins. Þéttleiki líkansins fellur vel að stöplariti mælinganna, einkum fyrir hærri vindgildi (niðri til vinstri). Athugið að breidd stöplana er fasti, af þeim völdum hefur þröskuldurinn (hér 18.2 m/s) áhrif á hæð fyrsta stöpluls og hann er því ekki sambærilegur þéttleika líkansins á þessu hraðabili. Sjálft líkanið er svo sýnt sem endurkomugildismynd, niðri til hægri, þar sem endurkomugildi er sýnt sem fall af endurkomutíma. Metinn endurkomutími mælinganna sem líkanið byggir á eru einnig merktur inn.

Þegar líkan hefur verið reiknað fyrir allar veðurstöðvar á svæðinu er hægt að birta á kortaformi



Mynd 8. Öfgaveðurhæðarlíkan fyrir vindhraða á Reykjanesbraut byggt á gögnum 1995–2016. Efri myndirnar eru líkindamynd og hlutfallsmarksmynd, þar sem punktarnir eiga að falla sem næst hornalínunni fyrir ásætthanlegt líkan. Niðri til vinstri er samanburður á þéttleika líkansins (heil lína) og stöplariti fyrir þéttleika mælinga. Niðri til hægri er svo sjálft líkanið (heil lína) sýnt sem endurkomugildi sem fall af endurkomutíma. Mat á endurkomutíma mælinganna er merkt inn með hringjum. 95% öryggismörk eru sýnd sem brotnar línur.

metið endurkomugildi t.d. 10, 20 og 50 ára vinds, sjá mynd 9. Þá sést vel breytileiki í rúmi, há gildi nálægt fjöllum (undir Hafnarfjalli, við Þyrl og á Kjalarnesi) en lægri þar sem yfirborðshrýfi er hátt s.s. innan höfuðborgarsvæðisins. Næsthæstu gildin er að finna á Hólmsheiði, en það svæði er þekkt fyrir að vindur nái sér vel upp. Stuttar gagnaraðir eru óreiðanlegar og geta bæði ofmetið og vanmetið endurkomugildi. Við Grindavík eru þrjár vindmælar, einn þeirra hefur mælt í átta ár, en hinir tveir í fjögur ár (mynd 2). Styttri raðirnar eru með endurkomugildi upp á 32–34 m/s meðan sú lengri er með 27 m/s. Hvort það kann að vera slíkur breytileiki í vindafari á svæðinu er erfitt að segja til um. Lengri mæliröðin er enn of stutt til að teljast áreiðanleg fyrir aftakagreiningu, sjá Guðrún Nína Petersen (2015), en er þó mun áreiðanlegri en hinar tvær. Þrjár af veðurstöðvunum eru ekki í rekstri lengur, Hvassahraun á Reykjanesi, Ás í Melasveit og Vífilstaðavegur. Veðurstöðin Sandskeið var flutt árið 2012 vegna vegavinnu. Á þessum stöðvum hafa síðustu vetur ekki verið mældir og þar af leiðandi eru nokkur þekkt illviðri ekki með í líkanagerð fyrir þessar stöðvar. Það gæti valdið vanmati á endurkomugildi.

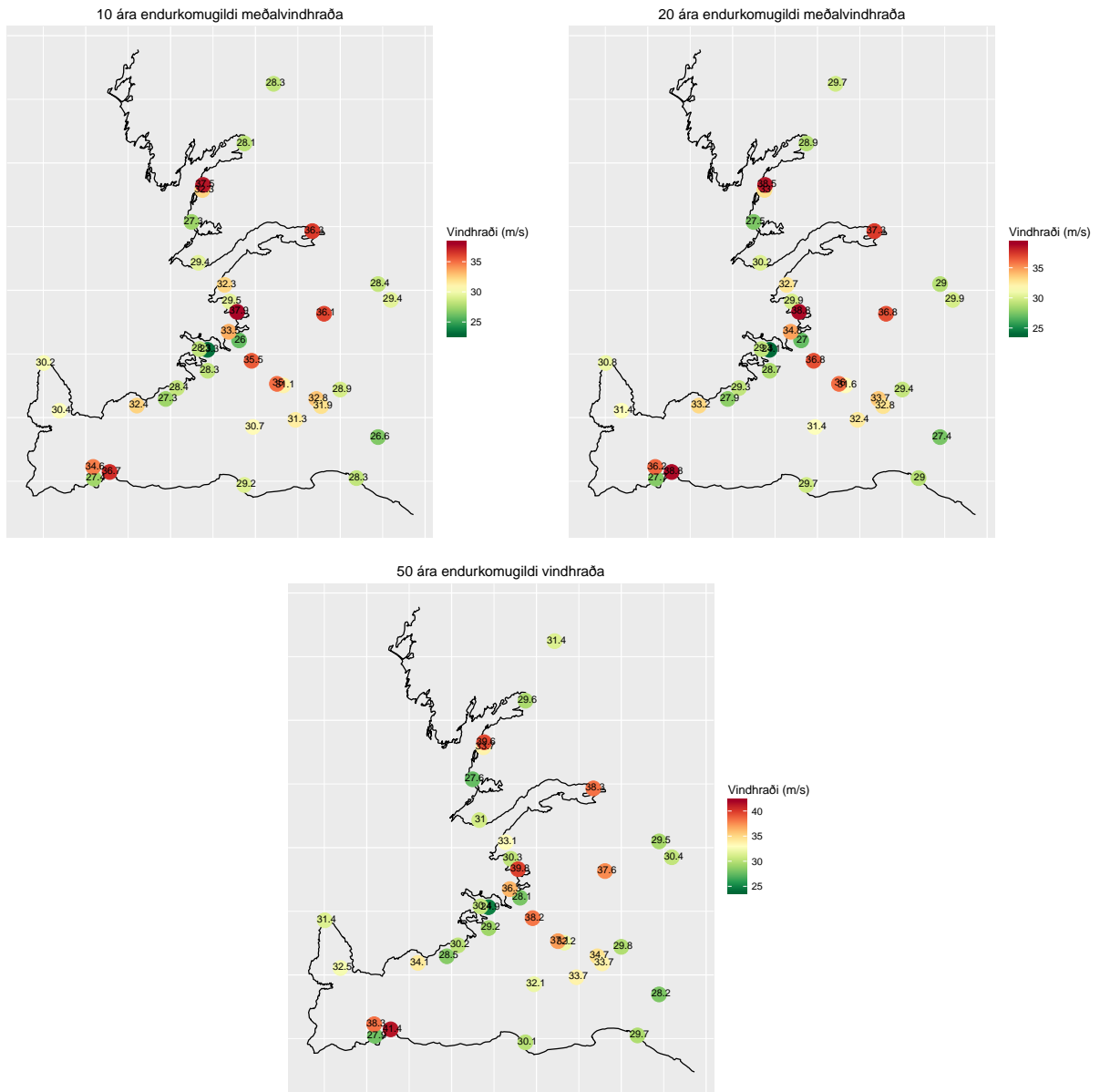
4.2 Lofthjúpsreikningar og hámark innan tímabils aðferðin

Niðurstöður lofthjúpsreikninga með þremur mismunandi líkanuppsetningum, misstórum reiknimöskvum og mislögum líkankeyrslum, voru notaðar til að kortleggja vinda að Borgarfirði í norðri og austur að Árborg. Búnar voru til langar, reiknaðar tímaraðir í reiknineti með 666 m víðum möskvum, tíðni aftakaveðra greind í sérhverjum reiknipunkti. Niðurstaða greiningarinnar eru vindakortin sem sýna 20 og 50-ára endurkomugildi vinds á svæði (mynd 10), en við teikningu kortanna er vindurinn síaður til að fjarlægja suð og slétta vindasviðið lítillaga.

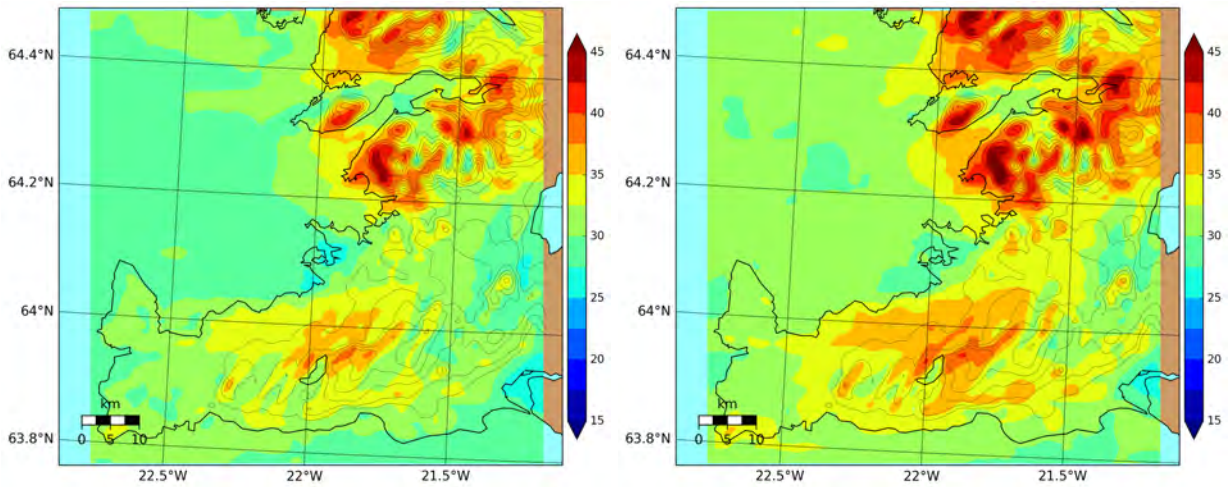
Eins og búist er við þá sýna vindakortin afar mikinn breytileika á aftakaatburðum, þar sem hæstu gildin verða næst fjöllum en lægstu gildin ýmist fjarri fjöllum eða í skjóli fjalla. Hér verða lægstu gildin á höfuðborgarsvæðinu, og sums staðar með ströndinni. Þekkt er að hrýfi í lofthjúpslíkaninu er allvíða ofmetið en á höfuðborgarsvæðinu er því öfugt farið og hrýfið líklega vanmetið, líkt og samanburður mælds og reiknaðs vinds gefur sums staðar til kynna, sjá mynd 12 í viðauka III.

Við ströndina er breytileikinn í vindasviðinu fremur lítill og enn minni er hann úti fyrir ströndinni, eins og vera ber. Mestur breytileiki er í vindasviðinu nærri fjöllum, og hæstu gildin verða einnig á fjallstoppum og í hlíðum fjalla sem vísa undan vindi. Slík vindahámark teygja sig niður á láglandi og áleiðis frá fjallsrótum. Samanburður líkanreikninga við mælingar á slíkum stöðum leiðir í ljós að í verstu óveðrunum þá hættir lofthjúpslíkaninu allvíða til að ofmeta vindstyrkinn og umfang óveðursins á láglandi. Ekki er nákvæmlega ljóst hvað veldur þessari skekkju, en það kann að vera vanmat á hrýfi, ónákvæmni í stikunum eða annar veikleiki í líkönunum. Augljósustu dæmin slíka staði á mynd 10 er vestur undan Esjunni, undir Akrafjalli og í Mela- og Leirársveit.

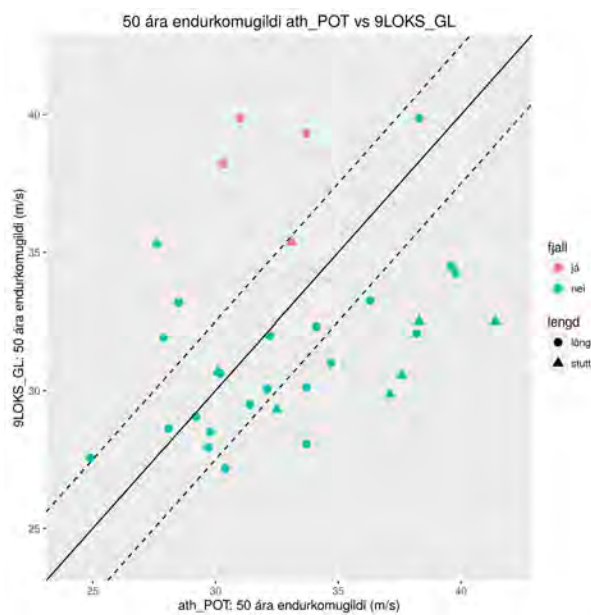
Skekkjur í reiknuðu tímaröðunum hafa auðvitað áhrif á mat á endurkomutímum aftakaatburða. Þar sem vindur er kerfisbundið of- eða vanmetinn, þar koma fram skekkjur í endurkomugildum og -tímum aftakaatburða. Einstaka skekkjur í styrk aftakaveðra hafa hins vegar fremur lítil áhrif á Gumbel-Lieblein aðferðina, og koma því ekki fram á kortunum (mynd 10).



Mynd 9. Endurkomugildakort byggð á mælingum: 10 ára, 20 ára og 50 ára vindur.



Mynd 10. Endurkomugildakort byggð á lofthjúpsreikningum: 20 ára (vinstri) og 50 ára (hægri) vindur.



Mynd 11. Dreifnirit af 20 ára endurkomugildi vindhraða. X-ás: mælingar og þróskuldsaðferðin, y-ás: Langtíma leiðréttir lofthjúpsreikningar og Gumpel-Lieblein aðferðin. Niðurstöður fyrir stöðvar við fjöll eru rauðar en aðrar stöðvar bláar. Þríhyrningar sýna í hvaða tilfellum gagnaraðir voru mjög stuttar.

4.3 Samanburður

Hér að ofan hafa verið kynntar til leiks tvær aftakagreiningar byggðar á ólíkum aðferðum og ólíkum gögnum. Báðar eru þær viðurkenndar aðferðir við mat á tíðni fátíðra atburða en líkt og gögnin (mælingar og lofthjúpsreikningar) hafa þær bæði kosti og galla. Mynd 11 sýnir samanburð á 20 ára endurkomugildi aftakagreiningana á mælistöðvum. Ef niðurstöður beggja aðferða væru þær sömu myndu allir punktarnir leggjast á miðlínuna.

Við fyrstu sýn virðist vera nokkuð mikill munur á aðferðunum og lítil regla. Það eru þó nokkur atriði sem ber að hafa í huga, tengd innlagsgögnunum.

- Lofthjúpsreikningarnir ofmeta tíðni og umfang illviðra við fjöll. Stöðvar þar sem þetta ofmat kemur fram eru Akrafjall, Skrauthólar, Blikdalsá og Hafnarmelar. Niðurstöður fyrir þessar stöðvar (rauðir punktar) eru staðsettar ofan miðlínu á dreifiritinu, þ.e. endurkomugildi byggt á lofthjúpsreikningum er hærra en það byggt á mælingum.
- Þrjár af mæliröðunum eru eldri raðir sem innihalda ekki síðastliðna vetur en bæði veturinn 2014–2015 sem og 2015–2016 voru illviðrasamir, sjá mynd 3 og 4. Að auki er einungis tvær raðanna undir 10 árum að lengd, og sú þriðja 10 ár, og því kann að vera að vindafari sé ekki lýst nógu vel í þessum mæliröðum. Líkön þessara þriggja mæliraða eru því fremur óáreiðanleg.
- Í þeim tilvikum sem mæliraðir eru mjög stuttar eru niðurstöðurnar óáreiðanlegar (þríhyrningar).
- Lofthjúpsreikningar vanmeta endurkomugildi á Hólmsheiði miðað við mælingar. Hér kann að skipta máli að lofthjúpsreikningar ná einungis til loka ársins 2014 og innihalda því ekki illviðri á tímabilinu 1. janúar 2015 til 30. apríl 2016. Veðurhæðin 14. mars 2015 var sú mesta sem mælst hefur á Hólmsheiði og þröskuldsaðferðin metur að hún hafi verið u.þ.b. 40 ára atburður. Þetta kann að hafa áhrif á mat, byggðu á lofthjúpsreikningum, á fleiri stöðvum.
- Lofthjúpsreikningar herma vindhraða mjög svipaðan á Reykjavíkflugvelli og í Reykjavík, þ.e. í Veðurstofureit. Raunin er sú að vindhraði er heldur meiri á flugvelli þar sem meira yfirborðshryfi er í kringum Veðurstofureitinn vegna borgarlandslagsins. Lofthjúpsreikningarnir virðast ekki taka tillit til þessa breytileika, enda stutt á milli þessara tveggja stöðva (sjá mynd 12 í viðauka III).
- Mælingarnar eru á 10 mínútna fresti, og hámarksvindhraði hvers dags nýttur, meðan lofthjúpsreikningar eru á þriggja klukkustundafresti og hámarksgildi hvers árs nýtt. Mat byggt á lofthjúpsútreikningum ætti því að vanmeta aftakaveðurhæð.

Ef að undanskildar eru “fjallastöðvarnar” fjórar og eldri mæliraðirnar þrjár, þá eru flestir punktarnir á dreifiritinu fyrir neðan miðlínu, þ.e. aftakagreining byggð á mælingum gefur öllu jafna hærri gildi en sú byggð á lofthjúpsreikningum. Þær niðurstöður eru eins og við er að búast, vegna mismunar í tímaupplausn á milli innlagsgagna. Þó það sé ekki gert hér þá væri hægt að uppreikna 3 klst líkanvind í 1 klst vind, t.d. með samanburði mismunandi meðalvinda í lengstu mældu röðunum. Best væri hins vegar að nýta nýrri lofthjúpsgögn sem nýlega hafa verið framleidd, og eru ekki sömu annmörkum háð og hluti reikninganna sem hér hefur verið nýttur.

Að auki eru margir þeirra punkta sem lengst eru frá línunni byggðir á stuttum mæliröðum og niðurstöður eins og áður sagði kunna að vera óáreiðanlegar.

5 Niðurlag

Við mat á aftakaatburðum má ýmist notast við mælingar á veðri eða líkanreikninga byggða á lofthjúpslíkönum. Bæði gagnasöfnin hafa sína galla og kosti.

Helstu kostir líkangagna umfram mælingar er að líkangögnin er hægt að búa til fyrir hvaða svæði sem er og fyrir hvaða tímabili sem er en veðurmælingar eru mjög strjálar, og jafnan ekki framkvæmdar þar sem verstu veðra er að vænta. Skekkjur og villur í líkanreikningum eru af ýmsum toga en með samanburði við áreiðanlegar veðurmælingar má leggja mat á villur og ofta kvarða líkönin eða leiðréttu. Skekkjur og villur er einnig að finna í mælingum, og tengjast þá einkum ágöllum sjálfra mælitækjanna eða áhrifa í nærlandslagi sem gera það að verkum að mælingar eru ekki lýsandi fyrir stærra svæði.

Hér hafa gagnasöfn af báðum toga verið notuð til að meta tíðni og styrk aftakaatburða á Suðvesturhorninu. Þröskuldsaðferðinni hefur verið beitt á allar aðgengilegar mælingar og hámark-innan-tímabils aðferðinni beitt á líkanreikninga fyrir sama svæði. Mikinn hluta munar á mati á styrk aftakatburða í gagnasöfnunum má útskýra með mismunandi rúm- og tímaupplausn, takmarkaðri lengd sumra mæliraða, skekkjum í líkani og mismunandi aðferðarfræði við mat á aftakaatburðum. Af niðurstöðunum er þó ljóst að hægt er, og vænlegt, að nota niðurstöður líkanreikninga sem innlagsgögn við greiningu á aftakavindum og þannig búa til heilsteypt kort af t.d. 50 ára vindstyrk fyrir allt Ísland. Slíkt kort myndi nýtast ýmsum aðilum og kynni að verða mikilvægt innlegg varðandi rekstur og viðhald vegakerfisins og við mat á vindálagi á mannvirki.

6 Heimildir

- Jón Blöndal, Teitur Birgisson, Halldór Björnsson, Kristján Jónasson og Guðrún Nína Petersen (2011). *Vindhraðamælingar og sambreytni vinds*. Skýrsla VÍ 2011-014, Veðurstofa Íslands, Reykjavík, Iceland.
- Coles, S. (2001). *An introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. London; Springer.
- Dee, D. P., S. M. Uppala, A. J. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M. A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A. C. M. Beljaars, L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, C. Delsol, R. Dragani, M. Fuentes, A. J. Geer, L. Haimberger, S. B. Healy, H. Hersbach, E. V. Hólm, L. Isaksen, P. Kållberg, M. Köhler, M. Matricardi, A. P. McNally, B. M. Monge-Sanz, J.-J. Morcrette, B.-K. Park, C. Peubey, P. de Rosnay, C. Tavolato, J.-N. Thépaut & F. Vitart (2011). *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. Q.J.R. Meteorol. Soc., **137**, 553–597. doi: 10.1002/qj.828
- Gumbel, E. (1958). *Statistics of extremes*. New York; Columbia University Press.
- Harris, R.I. (1996). *Gumbel re-visited - a new look at extreme value statistics applied to wind speeds*. Journal of Industrial Aerodynamics, **59**, 1–22.
- Harstveit, K & L. Jensen (2002). *Analyse av sammenhengen mellom sterk vind og flom*. Det norske meteorologiske institutt, rapport nr. 04/02, Norge.
- Harstveit, K. (2005). *Extreme value analysis of hindcast wind data from the maritime areas surrounding Norway*. Met.no report no. 17/2005 Climate, The Norwegian meteorological institute, Norway.
- Lieblein, J. (1974). *Efficient Methods of Extreme-Value Methodology*. National Bureau of Standards, NBSIR 74-602, Washington.
- Liléo, S., E. Berge, O. Undheim, R. Klinkert & R. E. Bredesen (2013). *Long-term correction of wind measurements - State-of-the-art, guidelines and future work*. Elforsk report 13:18, Stockholm.
- Gat kom á flugskýlið (2011, 11. apríl). *Morgunblaðið*, bls. 2. Sótt á timarit.is 7. desember 2016.
- Guðrún Nína Petersen (2014). *Greining á öfgaveðurhæð frá sjálfvirkum vindmælingum*. Skýrsla VÍ GNP/2015-04, Veðurstofa Íslands, Reykjavík, Iceland.
- Ólafur Rögnvaldsson, Hálf dán Ágústsson og Einar M. Einarsson (2015). *Samanburður á reiknuðu og mældu veðri á Suðvesturlandi ásamt kortlagningu á flugkviku. Unnið vegna mats á mögulegum flugvallarstæðum* Rit Belgings, Reykjavík, febrúar, 2015. Aðgengilegt á netinu - <ftp://ftp.betravedur.is/pub/publications/kortlagning-flugkviku.pdf>
- R Core Team (2014). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. url: <http://www.R-project.org>.
- Ribatet, M. (2012). POT: Generalized Pareto Distribution and Peaks Over Threshold. R package version 1.1-3. <http://CRAN.R-project.org/package=POT>.
- Skamrock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers (2005). *A description of the advanced research WRF version 2*. Tech. Rep. NCAR Tech. Note 468+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 88 pp.
- Skipverja saknað eftir sjóslýs (2000, 15. febrúar). *DV*, bls. 2. Sótt á timarit.is 7. desember 2016.
- Uppala, S. M., P. W. Kållberg, A. J. Simmons, U Andrae, V. D. C. Bechtold, M. Fiorino, J. K. Gibson, J. Haseler, A. Hernandez, G. A. Kelly, X. Li, K. Onogi, S. Saarinen, N. Sokka, R. P. Allan, E. Andersson, K. Arpe, M. A. Balmaseda, A. C. M. Beljaars, L. V. D. Berg, J. Bidlot, N. Bormann, S. Caires, F. Chevallier, A. Dethof, M. Dragosavac, M. Fisher, M. Fuentes, S. Hagemann, E. Hólm, B. J. Hoskins, L. Isaksen, P. A. E. M. Janssen, R. Jenne,

A. P. McNally, J. F. Mahfouf, J. J. Morcrette, N. A. Rayner, R. W. Saunders, P. Simon, A. Sterl, K. E. Trenberth, A. Untch, D. Vasiljevic, P. Viterbo & J. Woollen (2005). *The ERA-40 re-analysis*. Q.J.R. Meteorol. Soc., **131**, 2961–3012. doi:10.1256/qj.04.176

Viðaukar

I Veðurstöðvar á Suðvesturlandi

Aftakaveðurhæð var könnuð á Suðvesturlandi og svæðið afmarkað af Borgarfirði í norðri og Árborg í austri. Mælingar frá nær öllum sjálfvirkum veðurstöðvum í eigu Vegagerðarinnar og Veðurstofunnar á Suðvesturlandi voru nýttar í greiningunni. Undanskilar voru stöðvar með innan við fjögurra ára gagnaröð, með mjög brotna gagnaröð eða á fjöllum. Tafla 2 inniheldur lista yfir allar stöðvar sem voru nýttar.

Tafla 2. Stöðvar sem eru nýttar við aftakagreininguna með þröskuldsaðferðinni. Fyrir þær stöðvar sem voru reknar fram yfir 30. apríl 2016 er endir merktur með —.

Stöð	Heiti	Upphaf	Endir	Staðsetning	Hæð (m)
1350	Keflavíkurflugvöllur	2009-01-01	—	63.98°N; 22.60°V	50.9
1361	Grindavík	2008-11-06	—	63.84°N; 22.42°V	9.3
1370	Hvassahraun	2001-07-03	2009-07-26	64.02°N; 22.09°V	20.0
1395	Eyrbakkí	2005-10-07	—	63.87°N; 21.16°V	3.0
1453	Garðskagaviti	1996-01-01	—	64.08°N; 22.69°V	4.0
1473	Straumsvík	2001-07-14	—	64.04°N; 22.04°V	7.0
1475	Reykjavík	1996-07-18	—	64.13°N; 21.90°V	52.0
1477	Reykjavíkurflugvöllur	2001-03-06	—	64.13°N; 21.94°V	12.0
1479	Korpa	1997-08-25	—	64.15°N; 21.75°V	35.0
1480	Geldinganes	2004-04-15	—	64.17°N; 21.80°V	35.0
1481	Hólmsheiði	2006-01-11	—	64.11°N; 21.69°V	130.0
1486	Bláfjöll	1997-02-28	—	63.97°N; 21.67°V	530.0
1490	Hellisskarð	2001-01-18	—	64.03°N; 21.37°V	380.0
1493	Ölkelduháls	2001-01-17	—	64.06°N; 21.25°V	360.0
1578	Skrauthólar	2001-10-01	—	64.23°N; 21.80°V	20.0
1596	Þingvellir	1998-01-23	—	64.28°N; 21.09°V	110.0
1672	Ás í Melasveit	2001-02-02	2006-09-26	64.40°N; 22.01°V	40.0
1673	Hafnarmelar	1998-01-23	—	64.46°N; 21.96°V	20.0
1685	Þyrill	2003-08-07	—	64.39°N; 21.42°V	53.0
1779	Hvanneyri	1997-12-19	—	64.56°N; 21.76°V	12.4
31363	Reykjanesbraut	1995-07-29	—	64.00°N; 22.23°V	25.0
31364	Grindavíkurvegur	2012-01-01	—	63.87°N; 22.42°V	57.0
31365	Festarfjall	2012-05-16	—	63.86°N; 22.34°V	135.0
31380	Selvogur	2012-01-21	—	63.85°N; 21.70°V	20.0
31387	Þrengsli	1997-09-17	—	63.99°N; 21.46°V	260.0
31392	Hellisheiði	1995-07-28	—	64.02°N; 21.34°V	360.0
31399	Ingólfsfjall	2006-02-16	—	63.96°N; 21.06°V	51.0
31474	Vífilsstaðavegur	1998-01-20	2008-04-14	64.08°N; 21.90°V	48.0
31484	Sandskeið	1999-08-17	2012-10-31	64.06°N; 21.53°V	190.0
31488	Sandskeið	2012-08-31	—	64.06°N; 21.56°V	—
31572	Akrafjall	2009-01-29	—	64.31°N; 21.97°V	37.0
31577	Blikdalsá	2012-01-26	—	64.27°N; 21.83°V	46.0
31579	Kjalarnes	1998-07-11	—	64.21°N; 21.77°V	10.0
31591	Mosfellsheiði	2012-02-09	—	64.21°N; 21.34°V	270.0
31599	Gjábakki	2012-06-22	—	64.25°N; 21.02°V	—
31674	Hafnarfjall	1995-07-29	—	64.48°N; 21.96°V	25.0
31882	Kolás	2012-08-25	—	64.70°N; 21.64°V	66.0

II Lofthjúpsreikningar

Kortlagning á hermdum aftakaatburðum er byggð á innlagsgögnum sem búin eru til með hermi-reikningum á ástandi lofthjúpsins, gerðum í þéttriðnu reiknineti með aðstoð lofthjúpslíkans. Samanburður við aðgengilegar mælingar frá veðurstöðvum hefur áður verið notaðar til að sannreyna og leggja mat á gæði líkanreikningana.

Lofthjúpsreikningarnir sem hér hafa verið nýttir byggja á aflrænni (e. dynamic) niðurvörðun þar sem fínkvarða lofthjúpslíkan er þvingað með jaðarskilyrðum sem byggja á grófkvarða lofthjúpsgreiningu Reiknimiðstöðvar evrópskra veðurstofa (ECMWF). Sú lofthjúpsgreining er byggð á mælingum og veðurreikningum og lýsir hnattrænt hvað best ástandi lofthjúpsins á hverjum tíma. Bæði var notast við ERA40 greininguna (Uppala et al., 2005), en frá og með september 1999 var notast við hefðbundna lofthjúpsgreiningu (e. operational analysis). Upplausn gagnanna (stærð reiknimöskvanna) er þó ekki nægileg svo þau taki fullnægjandi tillit til landslags þar sem fjöll eru há og brött, líkt og á Íslandi.

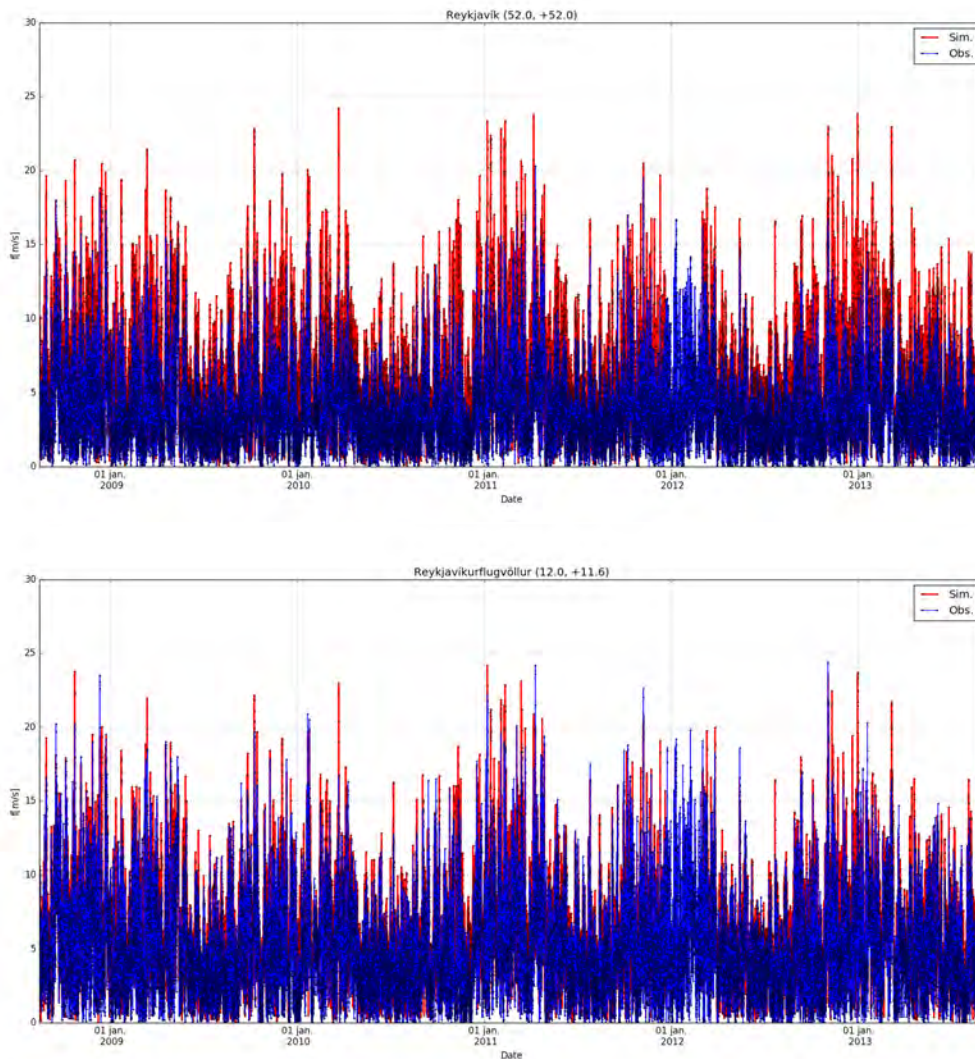
Með fyrrnefndri niðurvörðun var fínkvarða lofthjúpslíkaninu AR-WRF (útáfa 3.1.1., Skamarock et al., 2005) beitt til þess að endurreikna ástand lofthjúpsins yfir Íslandi í hærri upplausn svo landslagi sé betur lýst og þar af leiðandi einnig staðbundnu veðri í flóknu landslagi. Þetta er gert fyrir allt Ísland með láréttri reikniupplausn sem er 9 km (tímabilið september 1957 til og með ágúst 2014) og 3 km (tímabilið september 1995 til og með ágúst 2014), og með 55 reikni-flötum frá yfirborði og upp í hæð 50 hPa flatarins. Tímaupplausnin er 3 klukkustundir. Þessir reikningar voru unnir sem hluti af RÁV/LOKS verkefninu¹.

Ennfremur hefur fimm ára tímabil frá september 2008 til og með ágúst 2013 verið reiknað með 666 metra reikniupplausn og útgáfu 3.6 af sama líkani, og 65 lóðflötum, fyrir suðvesturhluta Íslands (Ólafur Rögnvaldsson o.fl., 2015). Þessir reikningar voru unnir upp úr ERA-Interim (Dee et al, 2011) lofthjúpsgreiningunni sem er töluverð bót frá fyrri innlagsgögnum sem voru notuð í lengri líkankeyrslurnar sem hér var líst að ofan. WRF-líkanið sjálft hefur einnig verið bætt frá fyrri útgáfum, m.a. með skilvirkari og nákvæmari stikunum á úrkomu og ferlum er tengjast vindi í neðstu lögum lofthjúpsins. Önnur innlagsgögn voru einnig bætt, þ.m.t. landgerð og landhæð lofthjúpslíkansins.

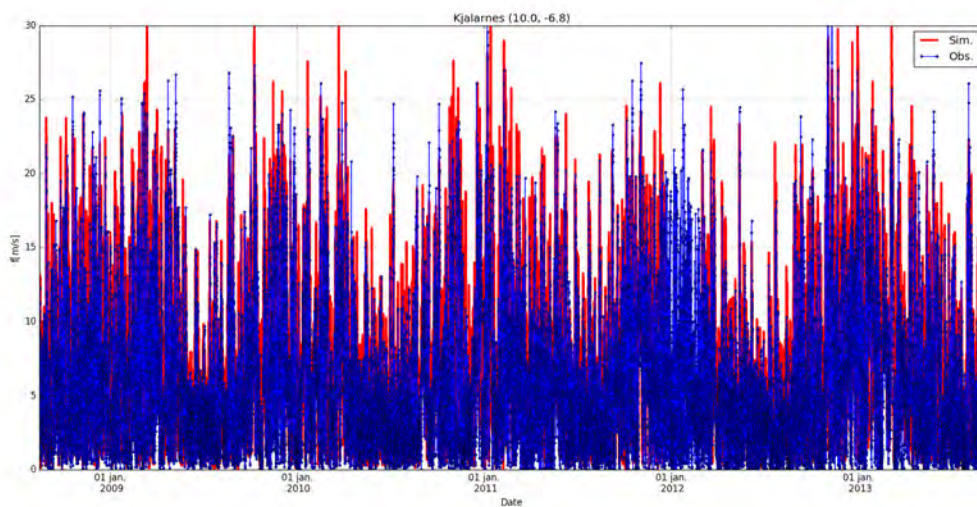
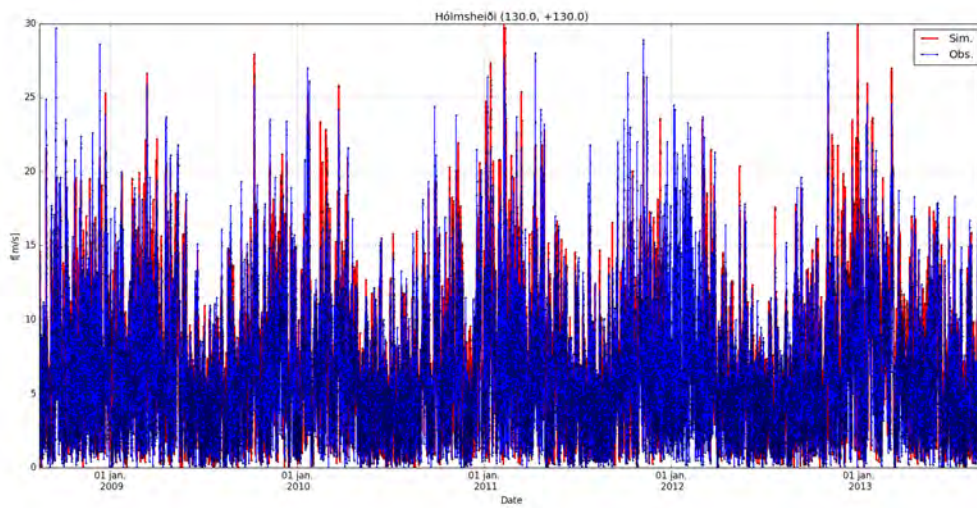
¹Meiri upplýsingar um LOKS verkefnið er að finna á heimasíðu verkefnisins: <http://www.vedur.is/loks>.

III Dæmi um samanburð á mælingum og lofthjúpsreikningum

Myndirnar 12–13 sýna samanburð á mældum og reiknuðum vindhraða sem fall af tíma fyrir fjórar veðurstöðvar. Á fyrri myndinni má sjá að meðan líkanið reiknar vindhraða svipaðan í Reykjavík (Veðurstofureitur) og á Reykjavíkurlflugvelli, þá er nokkur munur í mælingum. Hér hefur hrýfi borgarinnar líklega mest að segja við að draga úr vindhraða á veðurstöðinni Reykjavík. Á seinni myndinni má sjá að fínkvarða útreikningar lýsa vel vindafari á Hólmsheiði á þessu fimm ára tímabili, en aftur á móti er vindhraði ofmetin á Kjalarnesi.



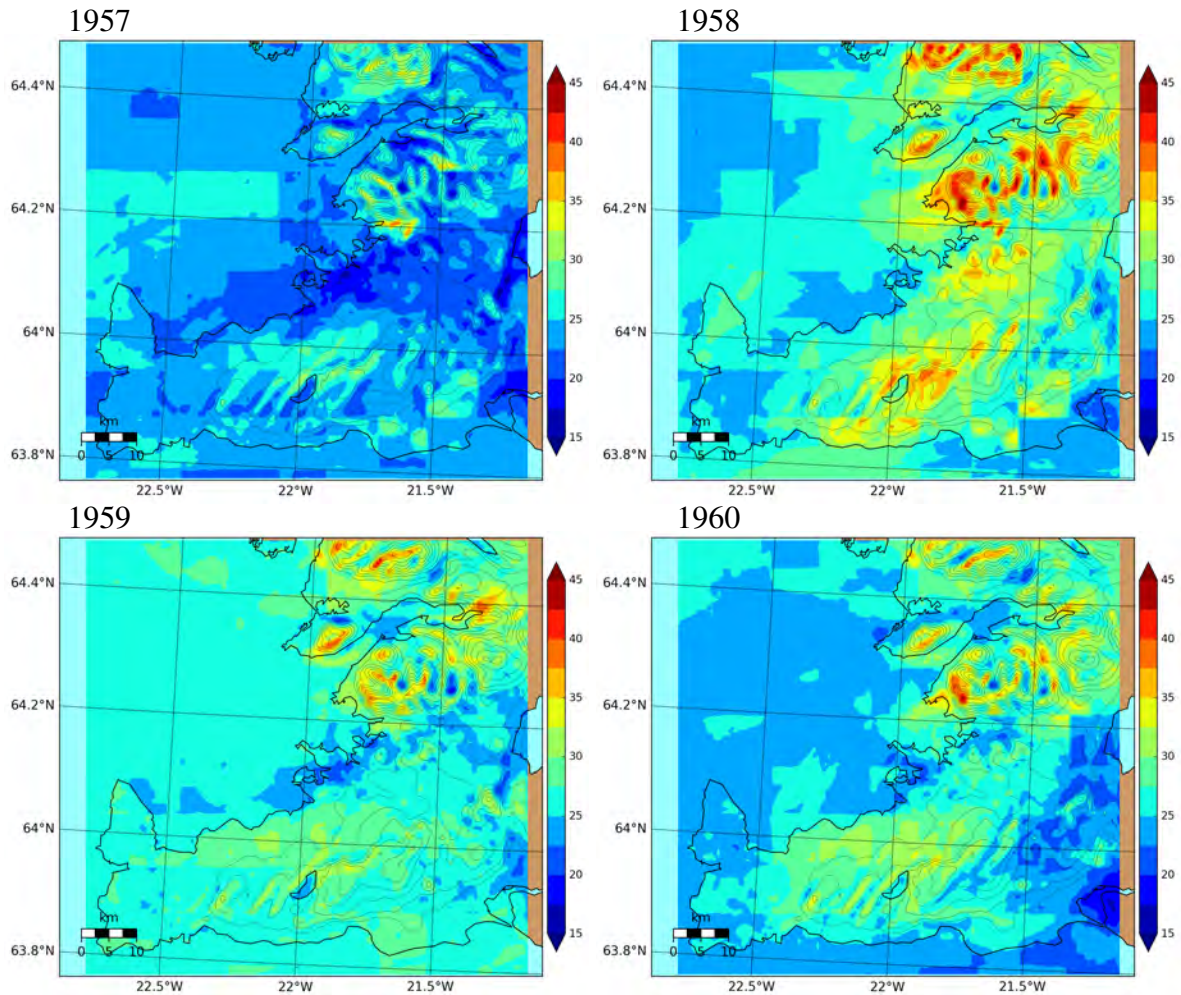
Mynd 12. Samanburður vindhraða mælinga (blá lína) og lofthjúpsreikninga í fínu neti (666 m möskvastærð, rauð lína) sem fall af tíma. Efri mynd: Reykjavík og neðri mynd: Reykjavíkurlflugvöllur.



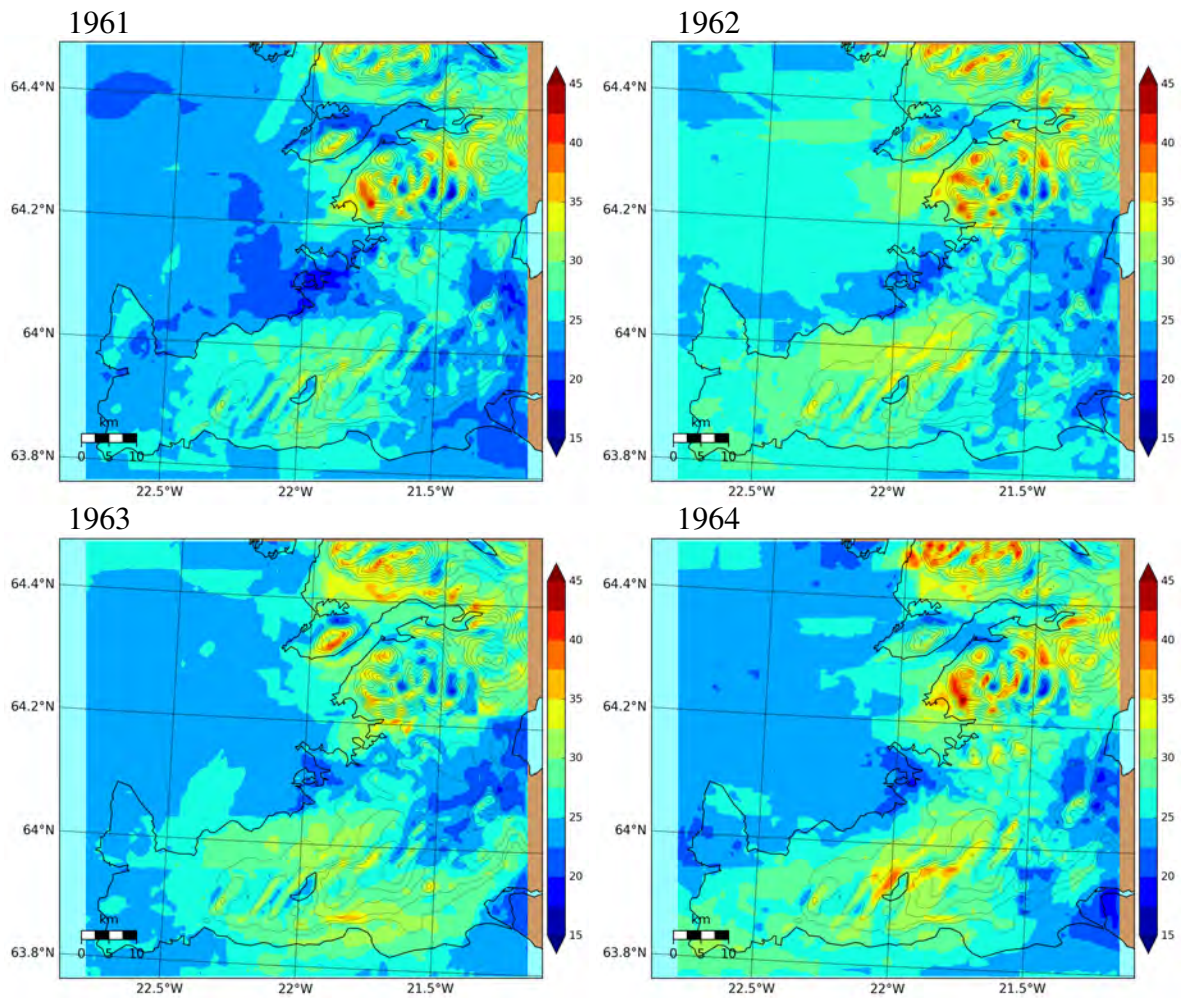
Mynd 13. Samanburður vindhraða mælinga (blá lína) og lofthjúpsreikninga í fínu neti (666 m möskvastærð, rauð lína) sem fall af tíma. Efri mynd: Hólmsheiði og neðri mynd: Kjalarnes.

IV Dæmi um árshámarksvindhraða lofthjúpsreikninga

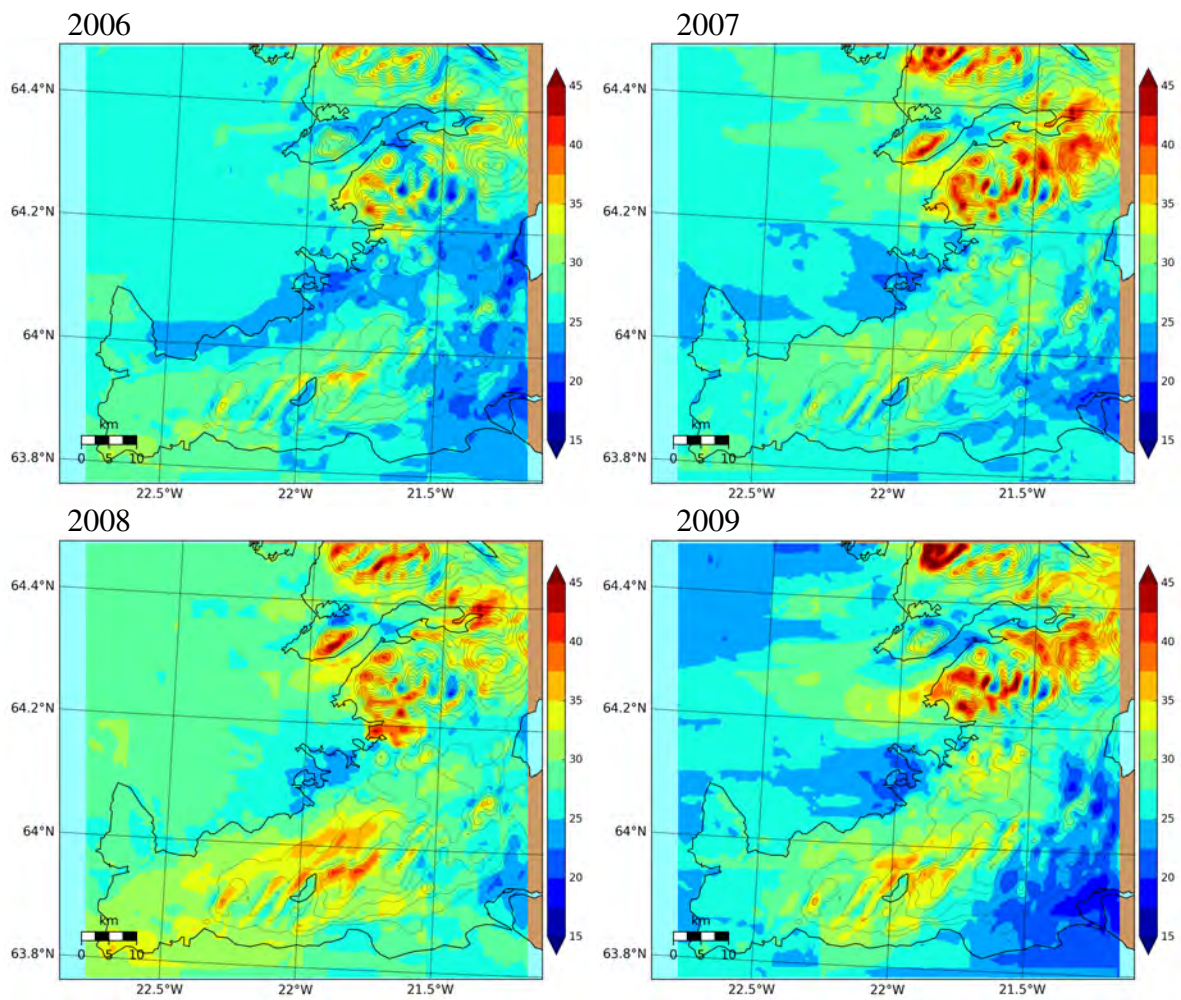
Hámarksvindhraði, líkt og aðrir veðurstikar, er breytilegur frá ári til árs. Þó má gera ráð fyrir að landfræðilegt munstur sé oft svipað, þ.e. útgildi hafi svipaða staðsetningu. Myndirnar 14–17 sýna árshámarksvindhraða frá langtíma leiðréttum gagnaröðum fyrir árin 1957–1964 og 2006–2013.



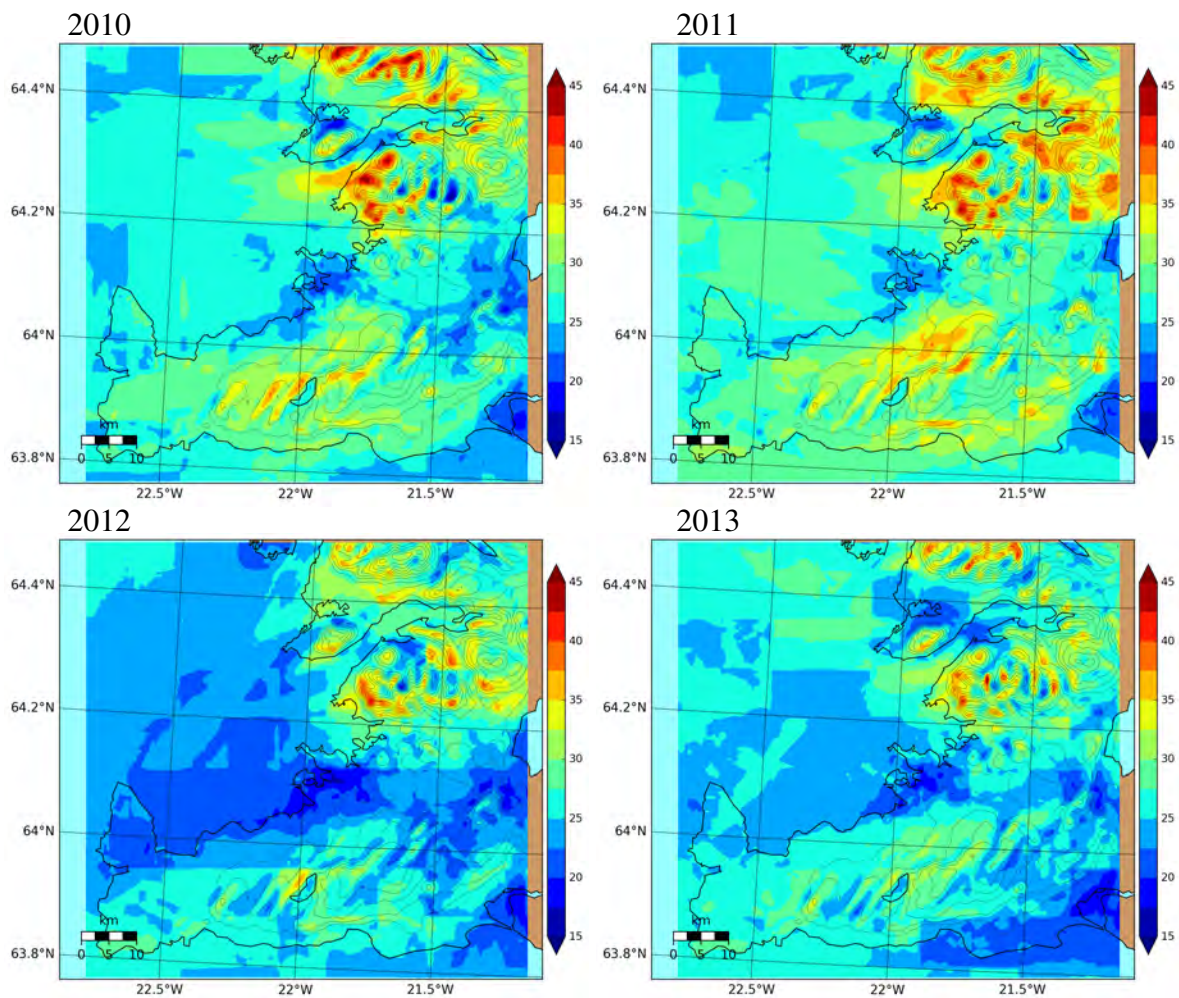
Mynd 14. Árshámarksvindhraði (m/s), leiðréttir 9 km lofthjúpsreikningar m.t.t. breytileika í rúmi: 1957–1960.



Mynd 15. Árshámarksvindhraði (m/s), langtíma leiðréttir lofthjúpsreikningar m.t.t. breytileika í rúmi: 1961–1964.



Mynd 16. Árshámarksvindhraði (m/s), langtíma leiðréttir lofthjúpsreikningar m.t.t. breytileika í rúmi: 2006–2009.



Mynd 17. Árshámarksvindhraði (m/s), langtíma leiðréttir lofthjúpsreikningar m.t.t. breytileika í rúmi: 2010–2013.