

# Aftakagreining vinds á íslensku endurgreiningunni

Katrín Agla Tómasdóttir

# Aftakagreining vinds á íslensku endurgreiningunni

Katrín Agla Tómasdóttir

## LYKILSÍÐA

<b>Skýrsla nr.</b> 2022-008	<b>Dags.</b> Nóvember 2022	<b>ISSN</b> 1670-8261	<b>Dreifing:</b> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
			<b>Skilmálar:</b>
<b>Heiti skýrslu:</b> Aftakagreining vinds á íslensku endurgreiningunni			<b>Upplag:</b> Rafræn útgáfa <b>Fjöldi síðna:</b> 25
			<b>Framkvæmdastjóri sviðs:</b> Ingvar Kristinsson
<b>Höfundar:</b> Katrín Agla Tómasdóttir			<b>Verkefnisstjóri:</b> Elín Björk Jónasdóttir
			<b>Verknúmer:</b> 5550-0-0021
<b>Gerð skýrslu/verkstig:</b> Lokaskýrsla			<b>Málsnúmer:</b> 2022-0134
<b>Unnið fyrir:</b> Verkefni styrkt af Nýsköpunarsjóði námsmanna			
<b>Samvinnuaðilar:</b>			
<b>Útdráttur:</b> Aftakagreiningu er beitt á reiknaðan vindhraða úr íslensku endurgreiningunni (ICRA) til að reikna endurkomugildi (e. return value) vindhraða fyrir ákveðinn endurkomutíma (e. return period). Þröskuldsgreining (e. Peak Over Threshold) er beitt á alla reiknipunkta ICRA netsins. Með henni er almenn Pareto dreifing fundin fyrir hvern punkt, sem líkir best eftir reiknuðum gildum yfir ákveðnum þröskuldi, sem var valinn sem 0.9 hlutfallsmarkið. Til að tryggja að gildin séu óháð er þess krafist að 5 dagar líði á milli gilda sem eru hærri en þröskuldsmarkið. Niðurstöður aftakagreiningarinnar eru birtar á kortum þar sem endurkomugildi vindhraða fyrir 5, 10, 20, 50 og 100 ára endurkomutíma eru sýnd. Niðurstöður aftakagreiningarinnar eru nýttar til að greina nýleg illviðri og sjá hversu öfgakennd þau voru, með aftakalíkaninu er hægt að greina endurkomutíma vindhraðans. Vinnan í þessu verkefni getur svo verið notuð til að bæta viðvaranakerfi Veðurstofu Íslands.			
<b>Lykilorð:</b> Aftakagreining, ICRA, Öfgaveður		<b>Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:</b>	
		<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>	
		<b>Yfirfarið af:</b> SG, EBJ, GNP	

## Efnisyfirlit

1	Inngangur .....	4
2	Aftakagreining .....	5
3	Niðurstöður .....	7
4	Greining á þekktum illviðrum.....	12
4.1	Norðanóveður 10. desember 2019 .....	12
4.2	Illviðrið 14. febrúar 2020 .....	13
4.3	Óveðrið 7. febrúar 2022 .....	15
4.4	Illviðrið 21. febrúar 2022 .....	16
5	Niðurlag .....	18
	Heimildir .....	19
	Viðauki I. Stærri myndir .....	20
	Viðauki II. Gögn .....	25

## Myndaskrá

Mynd 1.	Sjálffylgni staðlaðrar tímaraðar vindhraða í punkti [91,93] í reikninetinu .....	6
Mynd 2.	Myndir sem nýtast við ákvörðun á þröskuldi .....	7
Mynd 3.	Öfgaveðurhæðarlíkan fyrir vindhraða í punkti [91,93] (Perney).....	8
Mynd 4.	Þröskuldsgildi vindhraða fyrir alla punkta ICRA endurgreiningar.....	9
Mynd 5.	Reiknaðir skölunarstikar og lögunarstikar fyrir alla punkta ICRA endurgreiningar .....	9
Mynd 6.	Reiknuð 5, 10, 20, 50, og 100 ára endurkomugildi vindhraða.....	11
Mynd 7.	Spáður vindhraði 10. desember 2019 og metinn endurkomutími í árum .....	12
Mynd 8.	Spáður vindhraði 10. desember 2019 yfir 10 ára endurkomugildi vindhraða .....	13
Mynd 9.	Spáður vindhraði 14. febrúar 2020 og metinn endurkomutími í árum .....	14
Mynd 10.	Spáður vindhraði 14. febrúar 2020 yfir 10 ára endurkomugildi vindhraða .....	14
Mynd 11.	Spáður vindhraði 7. febrúar 2022 og metinn endurkomutími í árum .....	15
Mynd 12.	Spáður vindhraði 7. febrúar 2022 yfir 10 ára endurkomugildi vindhraða .....	16
Mynd 13.	Spáður vindhraði 21. febrúar 2022 og metinn endurkomutími í árum .....	17
Mynd 14.	Spáður vindhraði 21. febrúar 2022 yfir 10 ára endurkomugildi vindhraða .....	17

# 1 Inngangur

Vindhraði á Íslandi getur orðið mikill. Vindafarið stjórnast bæði af þeim veðrakerfum sem eiga leið nærri landinu sem og landinu sjálfu, en landslag og aðrir þættir svo sem hæð yfir sjávarmáli hafa áhrif á vindhraða og vindátt. Öfgaveðurhæð er skilgreind sem mesta aftakaveðurhæð þar sem vindhraði er óvenjulega mikill miðað við almenna veðurhæð, þar með eru auknar líkur á skemmdum og slysum við slíkar aðstæður. Öfgar í veðurfari eða óvenjulegt veður veldur jafnan meira tjóni en algengara veður og því er mikilvægt að geta miðlað til almennings og hagsmunaaðila hvers eðlis veðrið sem varað er við er.

Þegar rætt er um tíðni öfga í veðri eru hugtökin endurkomutími og endurkomugildi atburðar jafnan notuð. Endurkomutími segir til um tíðni ákveðins gildis, þ.e. hversu sjaldgæfur atburður er, en endurkomugildi gefur til kynna hversu stór versti atburður getur orðið á tilteknu tölfræðilegu tímabili. Við aftakagreiningu er verið að meta líkur á sjaldgæfum atburðum, sem jafnvel hafa 100 ára endurkomutíma. Til að meta langan endurkomutíma þarf langar tímaraðir athugana en þær eru í flestum tilvikum stuttar í samanburði við hversu sjaldgæfir atburðir eru. Því eru jafnan útbúin líkön sem falla að tiltækum gögnum sem má svo beita til að greina sjaldgæfa atburði, jafnvel utan marka gagnanna.

Í þessu verkefni er leitast við að þróa aftakalíkön til að meta öfgar í spáðum (reiknuðum) vindhraða. Íslenska endurgreiningin (e. Icelandic reanalysis (ICRA)) gagnasafnið er notað til að meta endurkomutíma hámarksvindhraða í þétu neti yfir Ísland (Nawri *ofl.*, 2017). ICRA byggir á HARMONIE-AROME spálíkaninu (Bengtsson *ofl.*, 2017), það var notað til að endurgreina lofthjúpskilyrði yfir Íslandi frá september 1979 til ágúst 2018. Útreikningar eru gerðir í 2,5 x 2,5 km neti og niðurstöðum skilað á einnar klukkustundar fresti. Í Nawri *ofl.* (2017) má nálgast frekari upplýsingar um uppsetningu og gæði líkansins. Í þessu verkefni var daglegur hámarksvindhraði ICRA sóttur í sérhvern punkt netsins frá 1. janúar 1980 til 31. desember 2017. Því er þetta 66.181 tímaröð af vindgögnum yfir Íslandi.

Þann 1. nóvember 2017 tók Veðurstofa Íslands (VÍ) upp nýtt viðvörunarkerfi fyrir veður (e. Common Alerting Protocol (CAP)). CAP er sniðmát Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar (e. World Meteorological Organization (WMO)) fyrir viðvaranir við náttúruvá (World Meteorological Organization, 2013). Viðvörunarkerfið er byggt á áhrifafylki þar sem áhrif veðurs á samfélag er metið ásamt líkum á því að spáin gangi eftir. Eldra kerfi sem byggði á stökum veðurfarsþröskuldum (s.s. 20 m/s fyrir storm) féllu því úr gildi. Meira tillit er tekið til aðstæðna hverju sinni og horft til árstíðar, undangengins veðurs og samfélagslegra áhrifa sem veðrið getur haft.

Viðvaranir eru svæðisskiptar og gefnar út allt að 5 daga fram í tímann í litum, gulum, appelsínugulum og rauðum í samræmi við alvarleika og líkum vænts veðurs. Gul viðvörun er gefin út um veður sem koma fyrir oft á ári en geta haft áhrif á samgöngur og innviði í stutta stund, þröskuldur á vindhraða til viðmiðunar er 18–25 m/s að vetri til, en hún er einnig gefin út um áhrifarík veður 3–5 daga fram í tímann (Haukur Hauksson, 2020). Appelsínugular viðvaranir eiga við um veður sem miklar líkur eru á að gangi eftir og samfélagsleg áhrif, svo sem takmarkaðar samgöngur, tjón og hættulegar aðstæður, eru talin líkleg. Þröskuldur til viðmiðunar á vindhraða fyrir þær er 25–29 m/s. Rautt á við um veður sem er víðtækt og hefur mjög mikil samfélagsleg áhrif, t.d. víðtækar samgöngutruflanir, mikið tjón af völdum veðursins er talið líklegt og veðrið er hættulegt mönnum og dýrum. Rauðar viðvaranir eru gefnar út í samráði við almannavarnir, þröskuldur til viðmiðunar er ef vindhraði á láglendi er meiri en 30 m/s.

Vindaviðvaranir eru því í dag gefnar út eftir þröskuldsgildum sem eru breytileg eftir árstíðum en svipuð á milli landshluta, ásamt huglægu mati veðurfræðings á samfélagslegum áhrifum

veðursins. Viðmiðunarþröskuldarnir eru því einnig háðir aðstæðum í samfélaginu. Sem dæmi má nefna að um verslunarmannahelgi 2020 var gefin út appelsínugul viðvörðun á Suðurlandi vegna vindhraða sem spáð var 18–20 m/s. Þetta er alls ekki óvenjulegur vindhraði á svæðinu en hafði mun meiri samfélagsleg áhrif um verslunarmannahelgi en aðrar helgar vegna fjölda fólks í tjöldum í Herjólfssdal.

Með því að greina endurkomutíma vindhraða í hverjum punkti reikninetsins má auka nákvæmni viðvarana, bæði með því að draga úr óþarfa viðvörðunum ef tiltekinn vindhraði er algengur á viðkomandi svæði og ekki líklegur til að valda tjóni og eins gefa út viðvaranir fyrir lægri vindhraða þar sem skjólríkara er og tjónnæmi þar með meira. Þar sem ICRA byggir á sama líkani, þó í annarri uppsetningu, og notað er til að reikna háupplausnaveðurspár fyrir Ísland má nýta niðurstöðurnar beint til að meta endurkomutíma spáðs vindhraða.

Áður hefur öfgaveðurhæð verið metin á Íslandi fyrir vindmælingar frá sjálfvirkum veðurstöðvum. Guðrún Nína Petersen (2015) greindi hana fyrst fyrir 62 veðurstöðvar um landið sem höfðu að minnsta kosti tíu vetur með heilstæðum athugunum. Sú vinna var útvíkkuð af Negar Ekrami (2020) og öfgaveðurhæð fyrir 171 veðurstöðvar var metin. Hún gefur gott mat á að hversu óvenjuleg mæld veðurhæð er en ekki er hægt að nýta hana til að meta beint hvort niðurstöður veðurspálíkansins séu óvenjulegar.

Hér eru niðurstöður öfgaveðurhæðargreiningar fyrir spáðan vindhraða kynntar. Aftakalíkön eru gerð fyrir hvern punkt reikninetsins og endurkomugildin fyrir 5, 10, 20, 50 og 100 ár reiknuð. Þær niðurstöður eru svo notaðar til að greina þekkt óveður og athuga hversu sjaldgæfur spáður vindhraði var.

## 2 Aftakagreining

Aftakagreining (e. Extreme value analysis) er aðferðafræði beitt til að greina líkur á öfgakenndum atburðum. Með aftakagreiningu er hægt að meta líkur á atburðum sem eru öfgakenndari en hefur jafnvel verið mælt áður. Aftakagreining metur endurkomutíma fyrir gefið endurkomugildi gagna, og framreiknar frá þeim gögnum sem eru til staðar. Fræðin sem eru sett hér fram eru fengin frá Coles (2001).

Þröskuldsgreining (e. Peak-over-Threshold (POT)) er ein tegund aftakagreiningar. Hún felst í því að velja þau óháðu gildi tímaraðar sem eru yfir ákveðnum þröskuldi. Þau gildi eru svo löguð að almennu Pareto dreifingunni (e. Generalized Pareto Distribution (GPD)). Dreififall almennu Pareto dreifingunnar má rita

$$H(x) = 1 - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - u}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \quad (1)$$

Hér er  $x$  gildi yfir valda þröskuldnum  $u$ ,  $\sigma$  er skölunarstiki og  $\xi$  lögunarstiki. Ef  $\xi < 0$ , þá er hámark dreifingarinnar afmarkað en ef  $\xi > 0$  þá hefur dreifingin engin efri mörk. Þegar  $\xi = 0$  verður dreifingin að veldisdreifingu og því óafmörkuð.

Endurkomugildið  $x_m$  er skilgreint sem það gildi sem er náð einu sinni að meðaltali í  $m$  athugunum. Ef  $\xi \neq 0$  þá er  $x_m$  reiknað með

$$x_m = u + \frac{\sigma}{\xi} \left[ (m\zeta_u)^\xi - 1 \right] \quad (2)$$

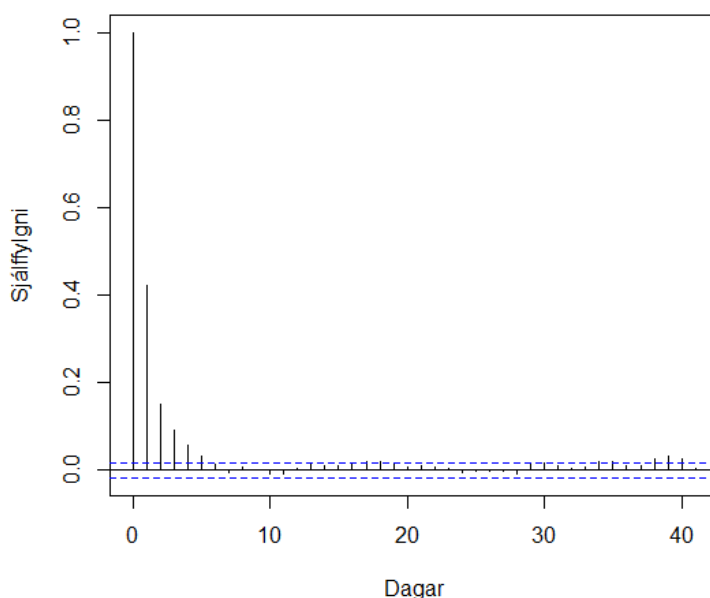
Hér er  $m = Nn_y$ , þar sem  $N$  er endurkomutíminn og  $n_y$  heildarfjöldi gilda í tímaröðinni, og  $\zeta_u$  eru líkur á að gildið sé stærra en  $u$ . Þegar  $\zeta = 0$  þá fæst fyrir  $x_m$ :

$$x_m = u + \sigma \log(m\zeta_u) \quad (3)$$

Við mat á stikunum  $\zeta$  og  $\sigma$  er notast við sennileikamat (e. Maximum likelihood estimate (MLE)).

Þröskuldsgreining gerir ráð fyrir að gildi yfir þröskuldnum séu óháð innbyrðis, en fyrir vindhraða eru hágildi oft tengd þar sem mikill vindhraði er yfirleitt afleiðing stærri eða minni veðrakerfa með líftíma frá klukkustundum að dögum. Til að komast hjá háðum gildum í gögnunum er sett skilyrði hve stuttur tími má líða milli útgilda. Eftir standa þá útgildi yfir þröskuldinum sem gera má ráð fyrir að séu óháð. Mynd 1 sýnir sjálffylgni staðlaðrar tímaraðar í einum punkti reikninetnsins. Með því að krefjast að tímabilið á milli útgilda yfir þröskuldnum séu amk fimm dagar þá má gera ráð fyrir að gildin séu að mestu leyti óháð, en eftir 5 daga þá er sjálffylgnin lægri en 0,05. Í þröskuldsgreiningu á mældum vindhraða yfir Íslandi voru 5 dagar einnig valdir sem tímabilið milli útgilda (Guðrún Nína Petersen, 2015).

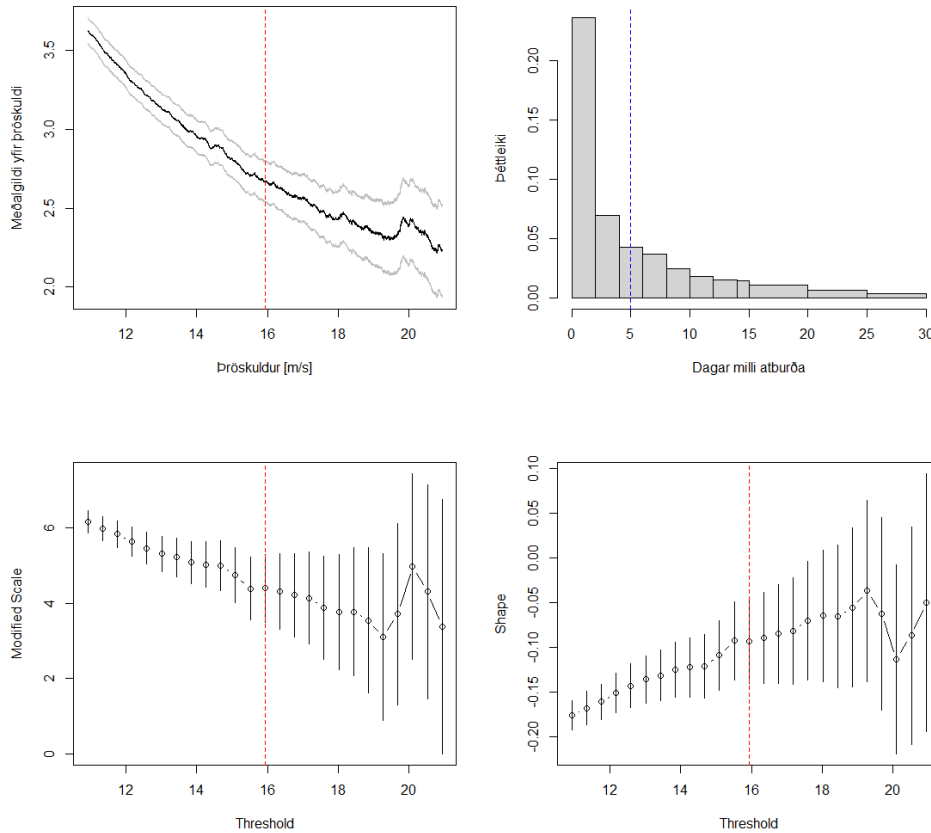
**Sjálffylgni hámarksmeðalvindhraða í punkti [91,93]**



*Mynd 1. Sjálffylgni staðlaðrar tímaraðar vindhraða í punkti [91,93] í reikninetinu sem er staðsettur yfir Perney í Kollafirði. Tímaröðin er stöðluð með miðgildi hvers mánaðar fyrir hvern almanaksmánuð.*

Vanda þarf val á þröskuldinum  $u$  þegar aftakagreiningu er beitt. Ef  $u$  er of lágur þá eru of margir atburðir valdir og þar af sumir sem eru ekki öfgakenndir. Ef  $u$  er of hár eru of fáir atburðir valdir sem veldur því að líkanið hefur of mikla dreifni. Líkt og hjá Guðrónu Nínu Petersen (2015) var ákveðið að nota 0.9 hlutfallsmark vindhraða, svo í hverjum punkti netsins eru 10% atburða yfir þröskuldi. Til að meta hvort þröskuldur sé rétt valinn voru ýmis próf gerð fyrir úrtak af tímaröðunum. Mynd 2 sýnir þau fyrir einn punkt reikninetnsins. Ef þröskuldurinn er rétt valinn á að vera hægt að draga beina línu, innan óvissumarka, í gegnum öll gildi yfir þröskuldi á mynd efst til vinstri. Sömuleiðis á að vera hægt að draga lárétta línu í gegnum aðlagða skölunarstikann og lögunarstikann fyrir gildi yfir þröskuldi (neðstu myndir). Við sjáum af mynd að 0.9 hlutfallsmarkið uppfyllir þessi skilyrði.

Aftakagreiningin á tímaröðunum er gerð í reikniforritinu R (R Core Team, 2014) með POT-pakkanum (Ribatet, 2012).



Mynd 2. Myndir sem nýtast við ákvörðun á þröskuldi. Efst til vinstri eru meðalgildi hágilda yfir þröskuldi (e. mean residual life plot), efst til hægri fjöldi daga á milli mælinga þegar vindhraði er yfir þröskuldi. Neðst til vinstri er aðlagður skölunarstiki og neðst til hægri er lögunarstiki sem fall af þröskuldsgildum. Rauðu línurnar er 0.9 hlutfallsmarkið í reiknipunkti [91,93] sem er 15.9 m/s og bláa línán sýnir val á lengd þyrpingar, 5 dagar.

### 3 Niðurstöður

Mynd 3 sýnir dæmi um niðurstöður aftakalíkansins fyrir einn punkt sem staðsettur er í Þerney í Kollafirði. Þær myndir sem koma á eftir henni taka saman kort af niðurstöðum fyrir alla punkta. Í þessum punkti var þröskuldsgildið 15.9 m/s. Líkindamyndin sýnir grafið af

$$\{(i/(k+1), H(y_{(i)})); i = 1, \dots, k\} \quad (4)$$

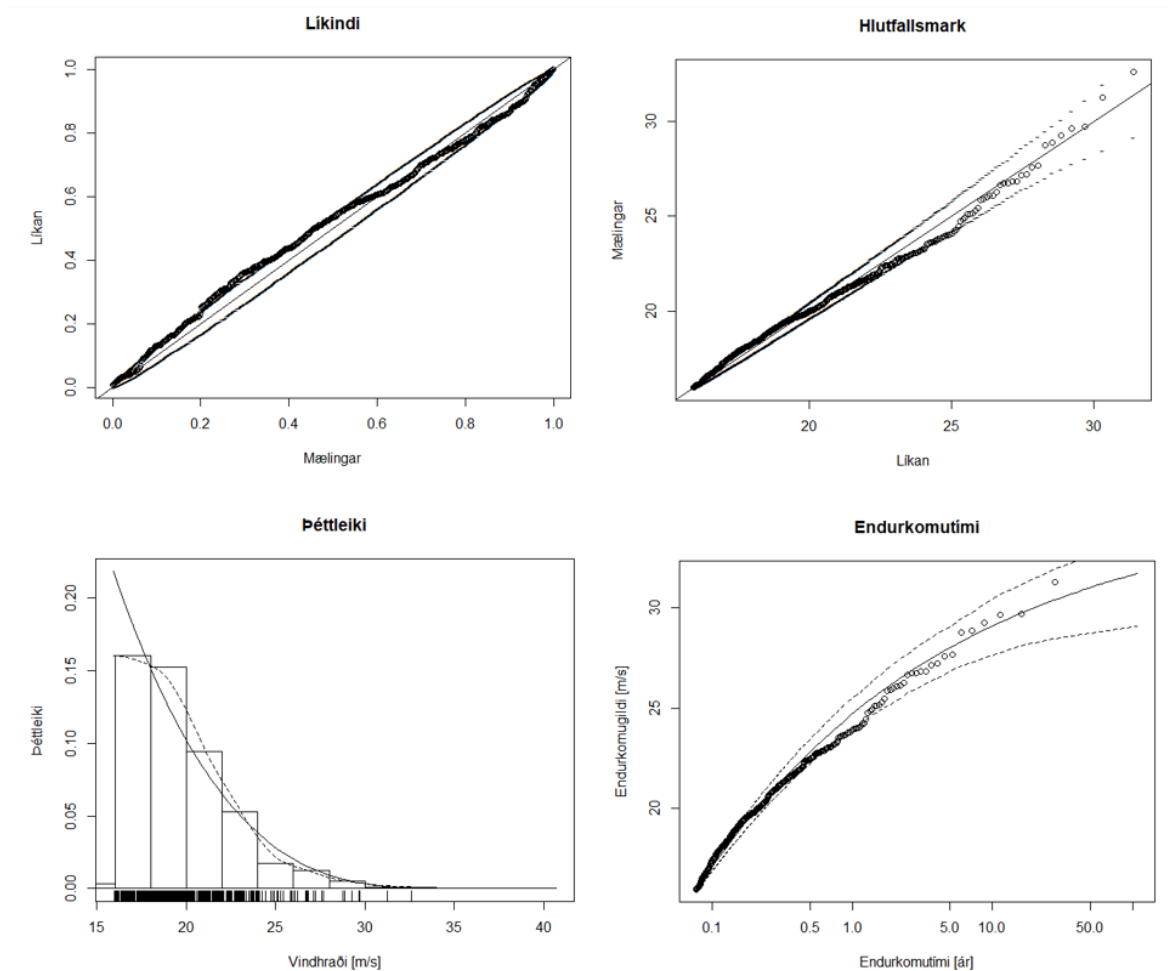
þar sem  $H$  er líkanið,  $k$  fjöldi athugana hærra en þröskuldsgildið og  $y$  þær athuganir. Hlutfallsmarksmyndin sýnir grafið

$$\{(H^{-1}(i/(k+1)), y_{(i)}), i = 1, \dots, k\} \quad (5)$$

Ef almenna Pareto dreifingin sem notuð var til að gera líkan af gildum hærra en þröskuldsgildið er ásættanleg þá eiga líkinda- og hlutfallsmarksmyndirnar að vera línulegar og leggjast á



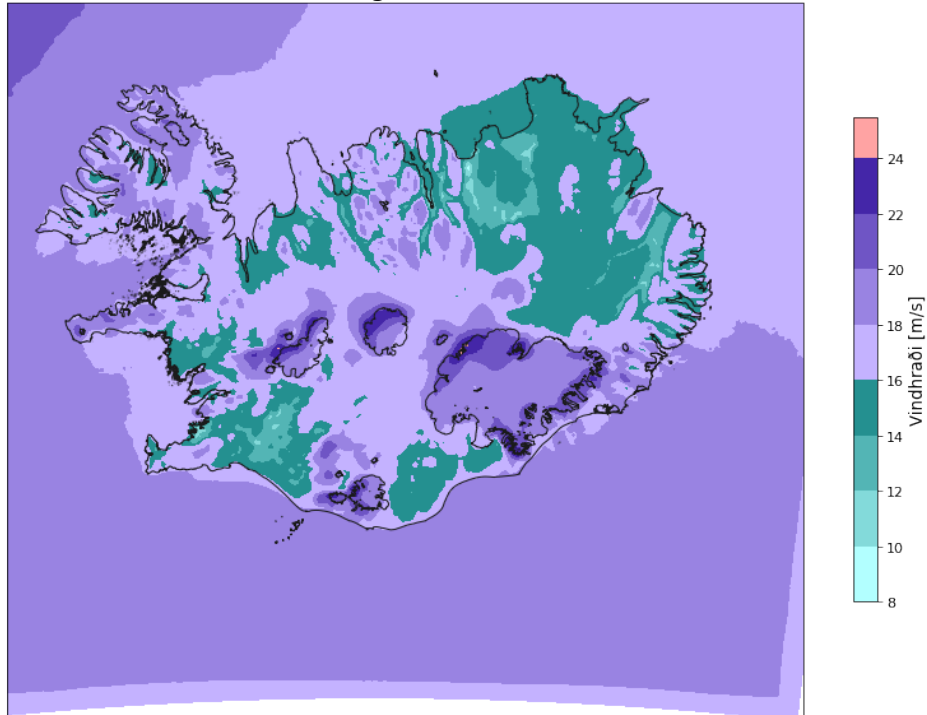
hornalínuna. Ásamt gröfunum eru 95% öryggisbil og hornalína teiknuð inná myndirnar, sjá má að punktarirnir falla nokkuð vel að hornalínu en á líkindamyndinni fara þeir aðeins út fyrir 95% öryggisbilið. Þéttleiki líkansins er einnig sýnt á myndinni, og sjá má að það fellur vel að stöplariti athugana hærri en þröskuldsgildið. Að lokum er líkanið sjálft sýnt sem endurkomugildi sem fall af endurkomutíma (heil lína). Inn á þá mynd eru einnig merkt inn metnir endurkomutímar útreikninga sem líkanið byggir á.



Mynd 3. Niðurstöður öfgaveðurhæðarlíkans fyrir vindhraða í punkti [91,93] (Þerney). Þröskuldur er 15.9 m/s. Efri myndir eru líkinda- og hlutfallsmarksmynd, þar sem líkan er talið ásættanlegt ef punktar falla að hornalínu. Mynd neðst til vinstri sýnir samanburð á þéttleika líkans (heil lína) og þéttleika gagna (stöplariti). Neðst til hægri er líkanið sjálft, endurkomugildi sem fall af endurkomutíma. Reiknaður endurkomutími gagna er merkt inn með hringjum. 95% öryggisbil er sýnt sem brotnar línur.

Mynd 4 sýnir kort af 0.9 hlutfallsmarki vindhraða sem er notaður í aftakagreiningu. Hæsta gildið er 24.1 m/s norður af Bárðarbungu í Vatnajökli en lægsta er 9.1 m/s nálægt Húsavík. Mikil veðurhæð er greinilega algengari á miðhálandinu og hæstu gildi eru í námunda við jökla og fjöll. Lægstu gildin eru í láglandi inn til landsins og inn í fjörðum.

Þröskuldsgildi vindhraða

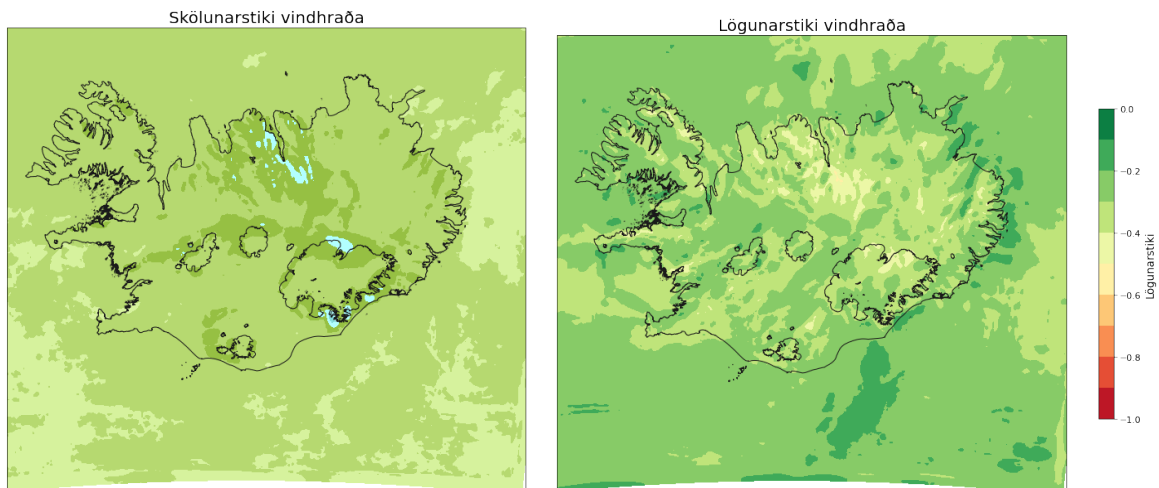


Mynd 4. Þröskuldsgildi vindhraða fyrir alla punkta ICRA endurgreiningar, valið var 0.9 hlutfallsmark vindhraða.

Mynd 5 sýnir reiknaða skölunar- og lögunarstika almennu Pareto dreifingarinnar fyrir allar tímaráðirnar. Skölunarstikinn er á bilinu 3.1–10.8 m/s. Lögunarstikinn er alltaf neikvæður, sem þýðir að í öllum tilvikum er hámark dreifingarinnar afmarkað.

(a)

(b)

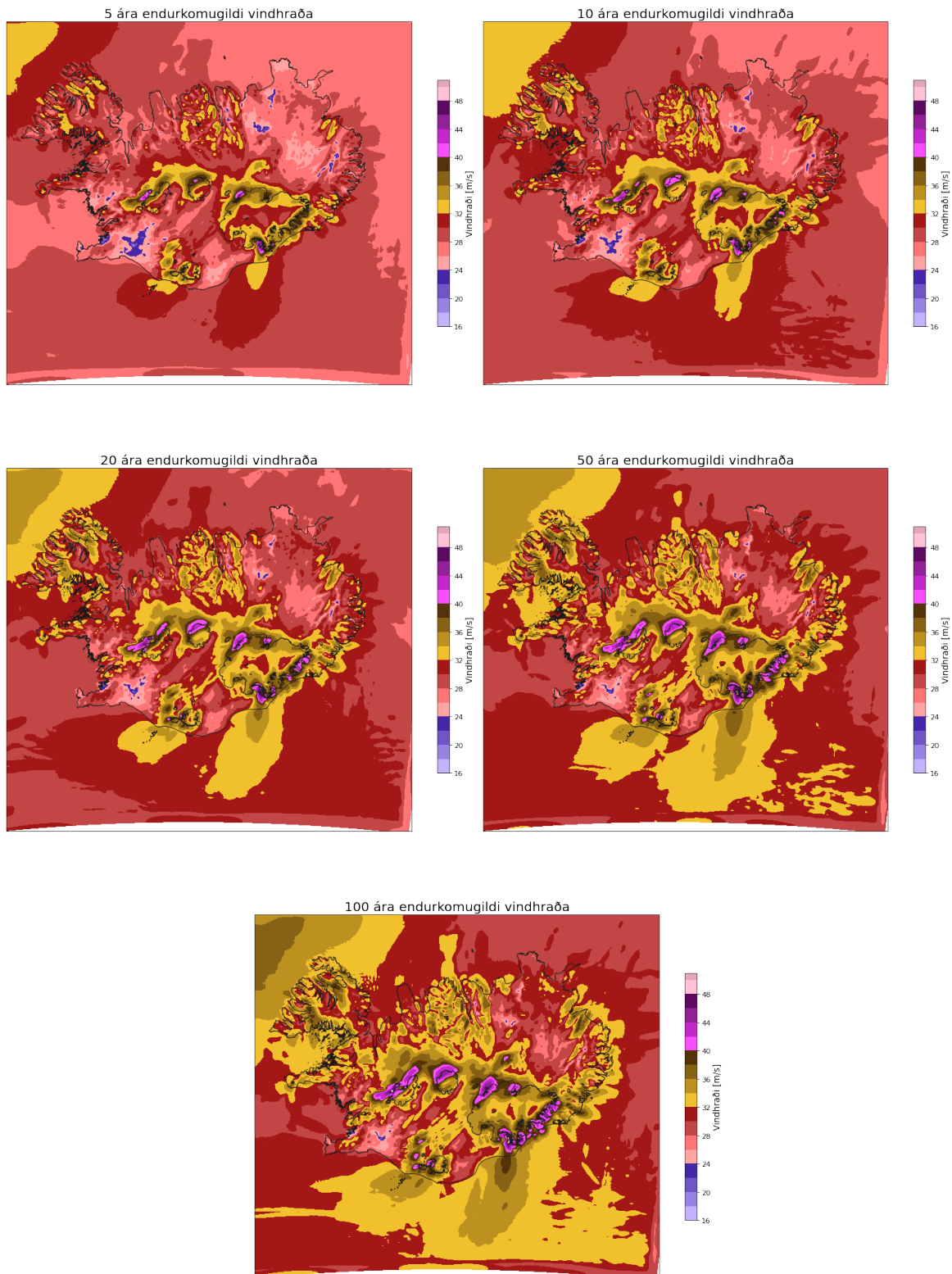


Mynd 5. Reiknaðir (a) skölunarstikar og (b) lögunarstikar fyrir alla punkta ICRA endurgreiningar.

- Þegar skölunar- og lögunarstíkar vindhraða almennu Pareto dreifingar hafa verið fundnir er hægt að reikna endurkomutíma aftakavinda. Mynd 6 sýnir endurkomugildi vindhraða til 5, 10, 20, 50 og 100 ára. Sjá má að endurkomugildið eykst að jafnaði með hæð yfir sjávarmáli. Landslag getur einnig magnað vindinn upp, svo sem undan fjöllum líkt og á Snæfellsnesi og við Hafnarfjall. Lægstu gildin eru að finna í láglandi þar sem yfirborðshryfi er mikið, svo sem á höfuðborgarsvæðinu.
- Atburðir með hærri endurkomutíma eru sjaldgæfari. Því er veðurhæð með 20 ára endurkomutíma mjög sjaldgæfur atburður, og með 50 og 100 ára endurkomutíma enn sjaldgæfari. Rétt er þó að nefna að þetta er tölfræðilegur endurkomutími, þ.e. atburður með 50 ára endurkomutíma getur mögulega orðið tvö ár í röð. Þegar endurkomutíminn hækkar þá eykst vindhraðinn, en við sjáum að mynstrið helst eins. Oft er lítill munur á t.d. 5 og 10 ára endurkomugildum. Það er vegna þess að því hærri sem gildin eru því sjaldgæfari eru þau og við efri mörkin er þessi munur hvað mestur, sjá Mynd 3.
- Reiknuðu endurkomugildin fyrir 5, 10, 20, 50 og 100 ára endurkomutíma spanna um það bil 9 til 12 vindstig á Beaufort kvarðanum, sjá Tafla 1. Lægri vindgildin sem sjást á Mynd 6 teljast vera stormur. Ef við skoðum 10 ára endurkomugildin, þá er reiknaður vindhraði víða á landinu af stiginu rok eða ofsaveður. Á miðhálandinu er víðast hvar fárviðri. Einnig er áhugavert að bera saman styrk endurkomugildanna við styrk fellibylja. 1. stigs fellibylur er með vindhraða á bilinu 33 til 42 m/s, sjá má að þau endurkomugildi eru algeng yfir landinu við 100 ára endurkomutíma. Á miðhálandinu reiknast einnig endurkomugildi sem eru af sama styrk og 2. stigs fellibylur, 43 til 49 m/s en 100 ára veður nær ekki upp í 3. stigs fellibyl (50–58 m/s).

Tafla 1. Vindstig á Beaufort kvarða sem reiknuð endurkomugildi spanna.

Stig	Heiti	m/s
9	Stormur	20.8–24.4
10	Rok	24.5–28.4
11	Ofsaveður	28.5–32.6
12	Fárviðri	>=32.7



Mynd 6. Reiknuð 5, 10, 20, 50, og 100 ára endurkomugildi vindhraða.

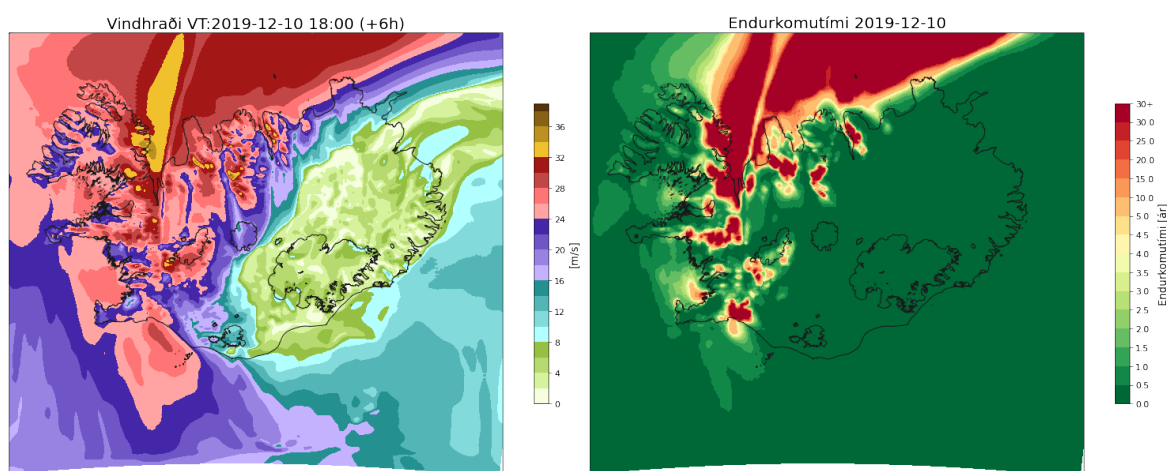
## 4 Greining á þekktum illviðrum

Þegar búið er að finna aftakalíkanið er unnt að beita því á nokkur spád illviðri og reikna endurkomutíma vindhraðans í árum og sjá hversu sjaldgæfir atburðir þessi illviðri voru.

### 4.1 Norðanóveður 10. desember 2019

Aftakaveður geisaði á landinu 10.–11. desember 2019. Veðrið tók að versna með norðurströndinni og á norðvestanverðu landinu snemma þann 10. desember, ásamt vaxandi vindhraða var mikil ofankoma. Hitastig var nálægt frostmarki við ströndina nær allan daginn sem olli mjög víðtækri ísingu á raflinum á öllu norðanverðu landinu. Vindhraði var viðvarandi yfir 25 m/s á landinu. Rauðar veðurviðvaranir voru gefnar út í fyrsta sinn síðan litakóðað viðvörðunarkerfi Veðurstofunnar var tekið upp 1. nóvember 2017. Eignatjón vegna veðursins hljóp á hundruðum milljóna, sérstaklega í raforku og fjarskiptakerfinu ásamt miklu foktjóni. Víðtækt rafmagnsleysi varð á Norðurlandi vestra og Norðurlandi eystra, og lengst varði það í þrjú daga samfellt (Daníel Þorláksson o.fl., 2020).

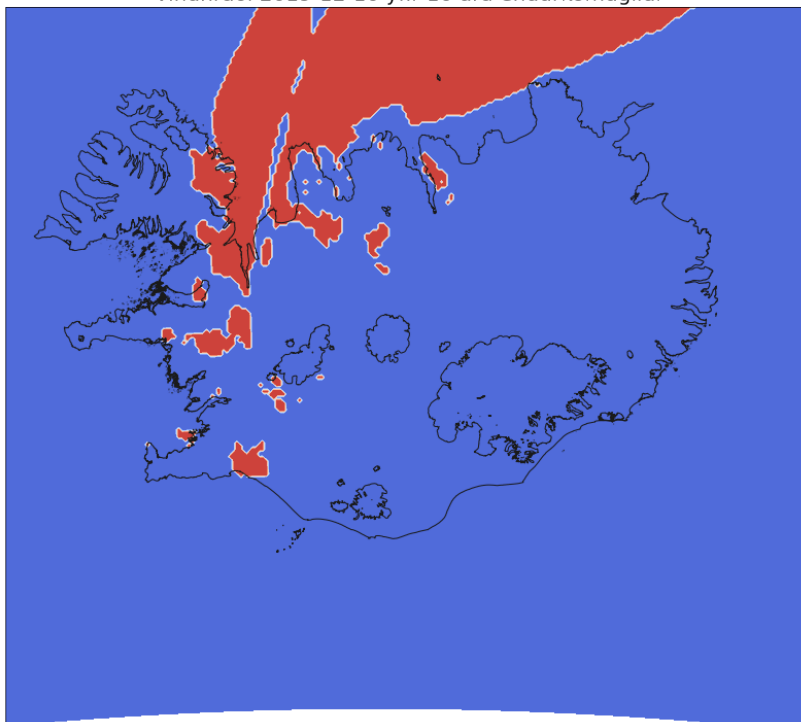
Á Mynd 7 má sjá spáðan vindhraða, 6 klst spá í gildi kl 18, 10. desember 2019. Veðurhæð var mikil á norðan- og vestanverðu landinu en á Austurlandi var hægviðri. Með reiknuðum stikum úr aftakalíkaninu er hægt að meta endurkomutíma vindhraðans sem einnig er á mynd 5. Spáð veðurhæð var mjög sjaldgæf norður af landinu, yfir Húnaflóa og í Skaga- og Eyjafirði en þar telst hún hafa yfir 30 ára endurkomutíma.



Mynd 7. Spáður vindhraði, 6 klst spá, í gildi kl 18:00 10. desember 2019 og metinn endurkomutími í árum samkvæmt aftakalíkani.

Til að staðsetja betur sjaldgæfari veðurhæðir í óveðrinu voru staðsetningar þar sem vindhraði var meiri en 10 ára endurkomugildi teiknaðar inn (Mynd 7). Sjá má að ásamt Norðurlandi var vindhraði óvenju mikill á vestanverðu landinu (Norðurárdalur), á höfuðborgarsvæðinu og í Ölfusi.

Vindhraði 2019-12-10 yfir 10 ára endurkomugildi

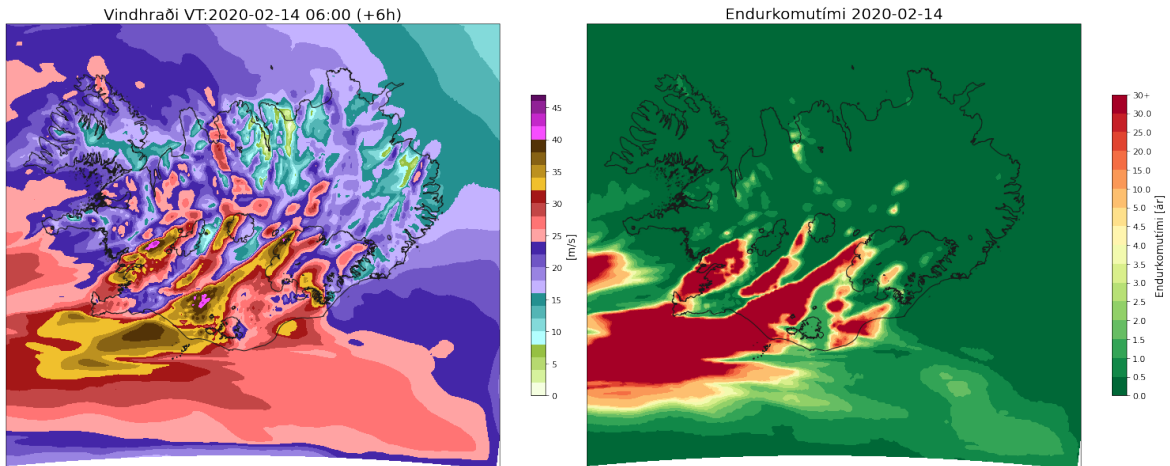


Mynd 8. Kort sem sýnir hvar 6 klst spáður vindhraði var meiri en 10 ára endurkomugildi í illviðrinu kl 18, 10. desember 2019.

## 4.2 Illviðrið 14. febrúar 2020

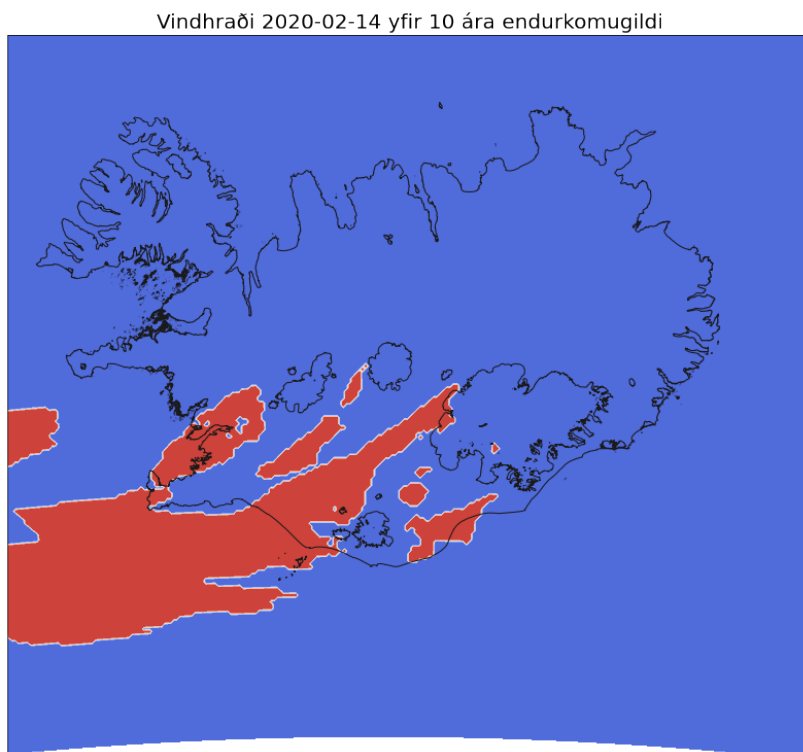
Mikið óveður gekk yfir landið föstudaginn 14. febrúar 2020 og náði veðurhæð víða fávíðrisstyrk á sunnan og suðvestanverðu landinu. Í aðdraganda óveðursins voru rauðar veðurviðvaranir gefnar út fyrir Suðausturland, Suðurland, Faxaflóa og Höfuðborgarsvæðið og reyndust samfélagsleg áhrif veðursins mikil. Samgöngur lögðust af, skólahaldi var víða frestað og vindálag hafði áhrif á raflínur. Einnig varð foktjón víða og mikil sjávarflóð urðu á Suðurnesjum (Elín Björk Jónasdóttir & Daníel Þorláksson, 2021).

Á Mynd 9 er sýndur 6 klst vindaspá í gildi kl 12, 14. febrúar 2020 ásamt reiknuðum endurkomutíma fyrir þennan vindhraða. Vindhraði er mikill yfir sunnan- og vestanverðu landinu og endurkomutími vindhraðans er meiri en 30 ár víðsvegar á þeim slóðum.



Mynd 9. Spáður vindhraði kl 06:00 14. febrúar 2020 og metinn endurkomutími í árum samkvæmt aftakalíkani.

Mynd 10 sýnir hvar spáði vindhraðinn náði mjög sjaldgæfum styrk, yfir 10 ára endurkomugildi. Þar má sjá að slíkum styrk var spáð á Suðurlandi og yfir höfuðborgarsvæðinu.

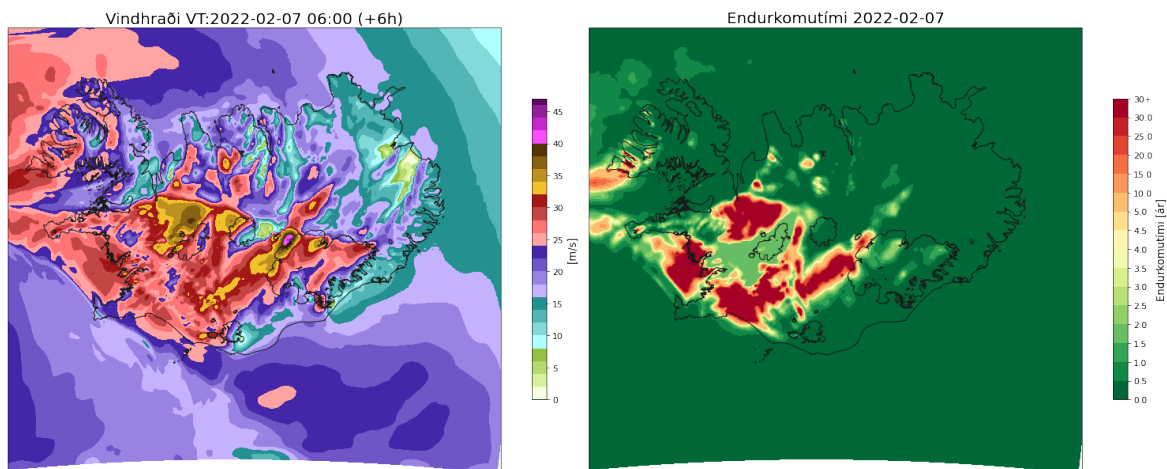


Mynd 10. Kort sem sýnir hvar 6 klst spáður vindhraði var meiri en 10 ára endurkomugildi í illviðrinu kl 12, 14. febrúar 2020.

### 4.3 Óveðrið 7. febrúar 2022

Þann 7. febrúar 2022 gekk suðaustanóveður yfir landið. Í aðdraganda þess voru gefnar út rauðar veðurviðvaranir fyrir höfuðborgarsvæðið, Faxaflóa og Suðurland og hættustigi Almannavarna var lýst yfir. Óveðrið varð til þess að rafmagnslaust varð víða á höfuðborgarsvæðinu um stund yfir nóttina og skólum var lokað um morguninn. Vindhraði náði fárviðrisstyrk í Geldinganesi og á Hólmsheiði, óveðrið náði hámarki um 6 leytið en tók svo að ganga niður. Spáð var mikilli úrkomu á höfuðborgarsvæðinu sem hefði spillt færð, en snjó festi ekki nema lítilega í óveðrinu sem varð til að ekki varð ófært (Veðurstofa Íslands, 2022a).

Mynd 11 sýnir 6 klst vindaspá í gildi kl 06, 7. febrúar 2022 og reiknaðan endurkomutíma fyrir þann vindhraða. Sjá má að spáð veðurhæð í óveðrinu náði sjaldgæfum hæðum, og var metinn endurkomutími yfir 30 árum víðsvegar á Suðvesturlandi og á miðhálandinu.

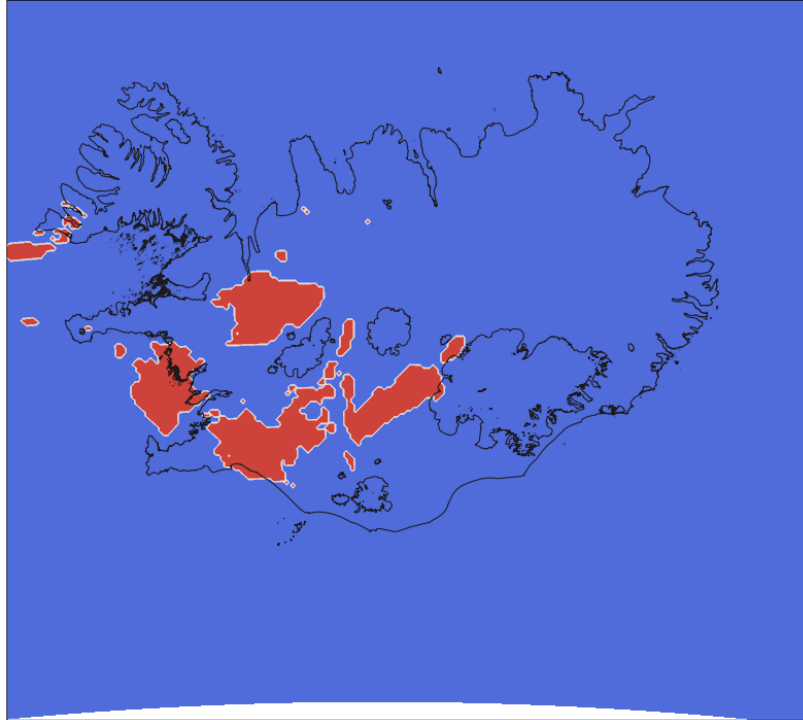


Mynd 11. Spáður vindhraði kl 06:00 7. febrúar 2022 og metinn endurkomutími í árum samkvæmt aftakalíkani.

Þrátt fyrir að mest tjón hafi orðið á höfuðborgarsvæðinu má sjá af Mynd 12 að vindhraðinn hafði yfirleitt endurkomutíma undir 10 árum þar. Hér spila mögulega inn samfélagsleg áhrif. Þéttari byggð er líklegri til að verða fyrir miklum samfélagslegum áhrifum en strjálbýlli svæði og því líklegt að viðvaranir verði gefnar út fyrir lægri þröskulda eða styttri endurkomutíma þar.



Vindhraði 2022-02-07 yfir 10 ára endurkomugildi

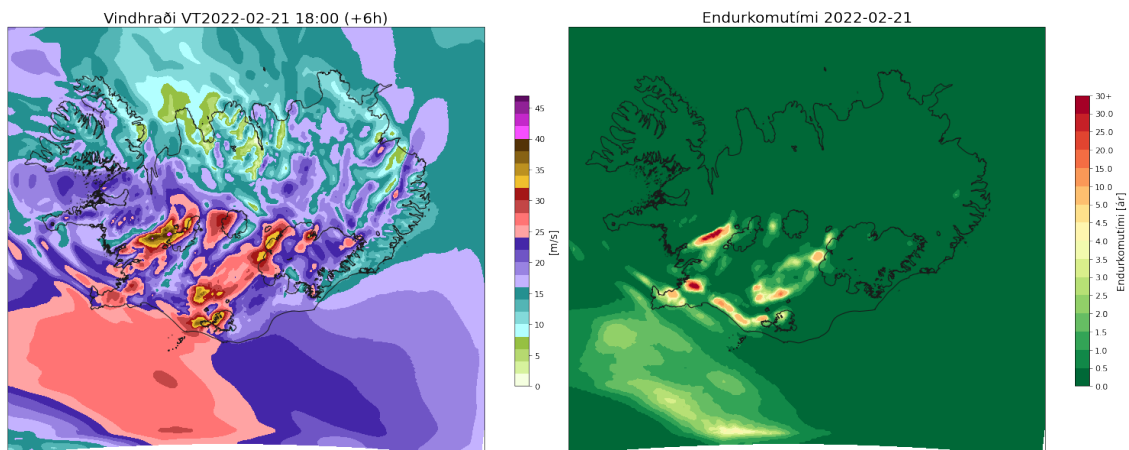


Mynd 12. Kort sem sýnir hvar 6 klst spáður vindhraði var meiri en 10 ára endurkomugildi í illviðrinu kl 06, 7. febrúar 2022.

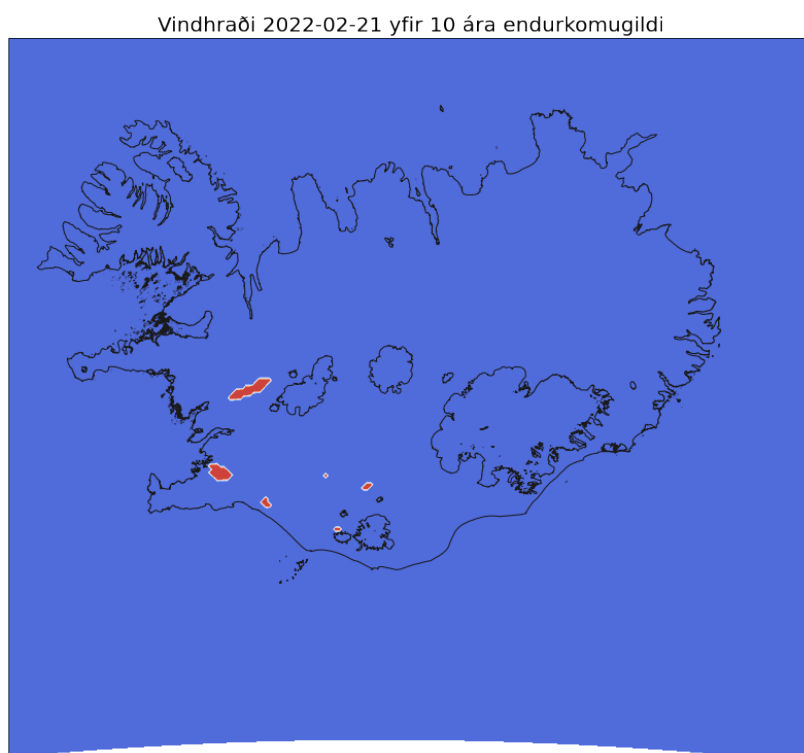
#### 4.4 Illviðrið 21. febrúar 2022

Þann 21. febrúar 2022 nálgast lægð í miklum vexti landið úr suðvestri. Síðdegis þann dag var spáð ört versnandi veðri á suðurhelmingi landsins sem gengi svo til norðurs yfir vestanvert landið. Vegna þessarar spár voru gefnar út rauðar veðurviðvaranir fyrir höfuðborgarsvæðið, Suðurland og Faxaflóa fyrir kvöldið og gular og appelsínugular veðurviðvaranir víðsvegar um landið. Óvissustigi almannavarna var lýst yfir. Óveðrið reyndist vera í samræmi við veðurspár, og hafði það áhrif á raforkukerfið, straumrof og rafmagnstruflanir urðu á Snæfellsnesi, Vestfjörðum, Suðurlandi og víðar. Mikið álag var á viðbragðsaðila á Suðurlandi, á Hellisheiði að Þrengslum sátu tugi bílar fastir og urðu hundruð ferðalanga strandaglópar. Einnig voru íbúðahús rýmd á Patreksfirði vegna snjóflóðahættu. Truflanir urðu á flug- og vegasamgöngum milli landshluta (Veðurstofa Íslands, 2022b).

6 klst vindaspá í gildi 21. febrúar 2022 kl 18 ásamt metnum endurkomutíma vindhraðans er sýnt á Mynd 13. Hæstu endurkomutímarnir sjást á suðvestanverðu landinu og inn af Borgarfirði. Mynd 14 sýnir hvar óalgengustu veðurhæðirnar eru, við sjáum að þrátt fyrir mikið tjón þá var veðurhæðin ekki sérlega sjaldgæf. Hins vegar sést að spáður vindhraði var yfir 10 ára endurkomugildi á Hellisheiði, þar sem margir ökumenn lentu í vandræðum.



Mynd 13. Spáður vindhraði kl 18:00 21. febrúar 2022 og metinn endurkomutími í árum samkvæmt aftakalíkani.



Mynd 14. Kort sem sýnir hvar 6 klst spáður vindhraði var meiri en 10 ára endurkomugildi í illviðrinu kl 18, 21. febrúar 2022.

## 5 Niðurlag

Í þessu verkefni var aftakagreiningu beitt á spáðan vindhraða úr ICRA endurgreiningunni. Í hverjum punkti reikninsins, 66.181 punktar í heildina með gögnum frá 1. janúar 1980 til 31. desember 2017, var aftakalíkan fundið til að meta endurkomutíma sjaldgæfra veðurhæða. Til að finna líkönin var gerð þröskuldargreining, einungis óháð gildi yfir ákveðnum þröskuldi voru notuð. Þröskuldurinn var valinn sem 0.9 hlutfallsmark og til að tryggja að allir atburðir yfir þröskuldnnum væru óháðir var gerð krafa um að 5 dagar þyrftu að líða á milli atburða. Líkönin voru svo fundin með því að laga gögnin að almennu Pareto dreifingunni og þá var hægt að reikna endurkomugildi og endurkomutíma fyrir hvern punkt.

Sett voru fram kort af endurkomugildum fyrir 5, 10, 20, 50 og 100 ára endurkomutíma svo hægt væri að greina mynstur í vindhraðanum. Til dæmis fyrir 20 ára endurkomutíma má greinilega sjá að vindhraði eykst með hæð yfir sjávarmáli, auk þess sem landslag getur haft áhrif. Svæði undan fjöllum eru með hærri vindhraða, hæsta gildið er 48.2 m/s undan Svínafellsjökli. Lægri vindhraðagildin sjást svo í innsveitum í láglandi, lágsta gildið er 18.6 m/s vel innan marka höfuðborgarsvæðisins. Vert er að taka fram að endurkomugildin eru reiknuð með greiningu á gögnum frá spálíkani, ekki mælingum. Spálíkön ná vel utan um lægri vindhraða en eiga það til að missa marks þegar vindar ná öfgahæðum. Því er algengt að það mælist hærri vindur en er spáð. Niðurstöður þessa verkefnis nýtast því ekki til samanburðar við mælingar á vindhraða heldur einungis spáðum vindhraða.

Aftakalíkönin voru svo notuð til að greina nokkur þekkt illviðri sem hafa gengið yfir landið á síðustu árum. Sú greining leiddi í ljós að fyrir flest illviðrin höfðu 6 klst vindaspár háan endurkomutíma á þeim svæðum þar sem tjón var hvað mest. Aftakagreining getur verið nýtsamlegt tól við útgáfu veðurviðvarana. Þegar miklum vindhraða er spáð á ákveðnum svæðum er hægt að skoða endurkomutíma vindhraðans á því svæði og sjá hvort þetta sé sjaldgæf veðurhæð. Hér eru niðurstöður sýndar fyrir stuttar spár, 6 klst. Meiri not væru þó af kerfi sem nýtti lengri spátíma, t.d. 48 og 24 klst, sem þá væri hægt að nýta við gerð viðvarana. Í tveimur illviðranna voru mikil samfélagsleg áhrif á höfuðborgarsvæðinu þrátt fyrir að veðurhæðin hafi haft undir 10 ára endurkomutíma. Því getur verið að vindhraði með styttri endurkomutíma hafi meiri áhrif þar en annars staðar. Einnig mætti skoða betur áhrif vals á þröskuldi á endurkomutímamann. Þess ber þó að geta að líkönin taka ekki tillit til hversu lengi óveðrin vara, en það getur haft áhrif á umfang tjóna.

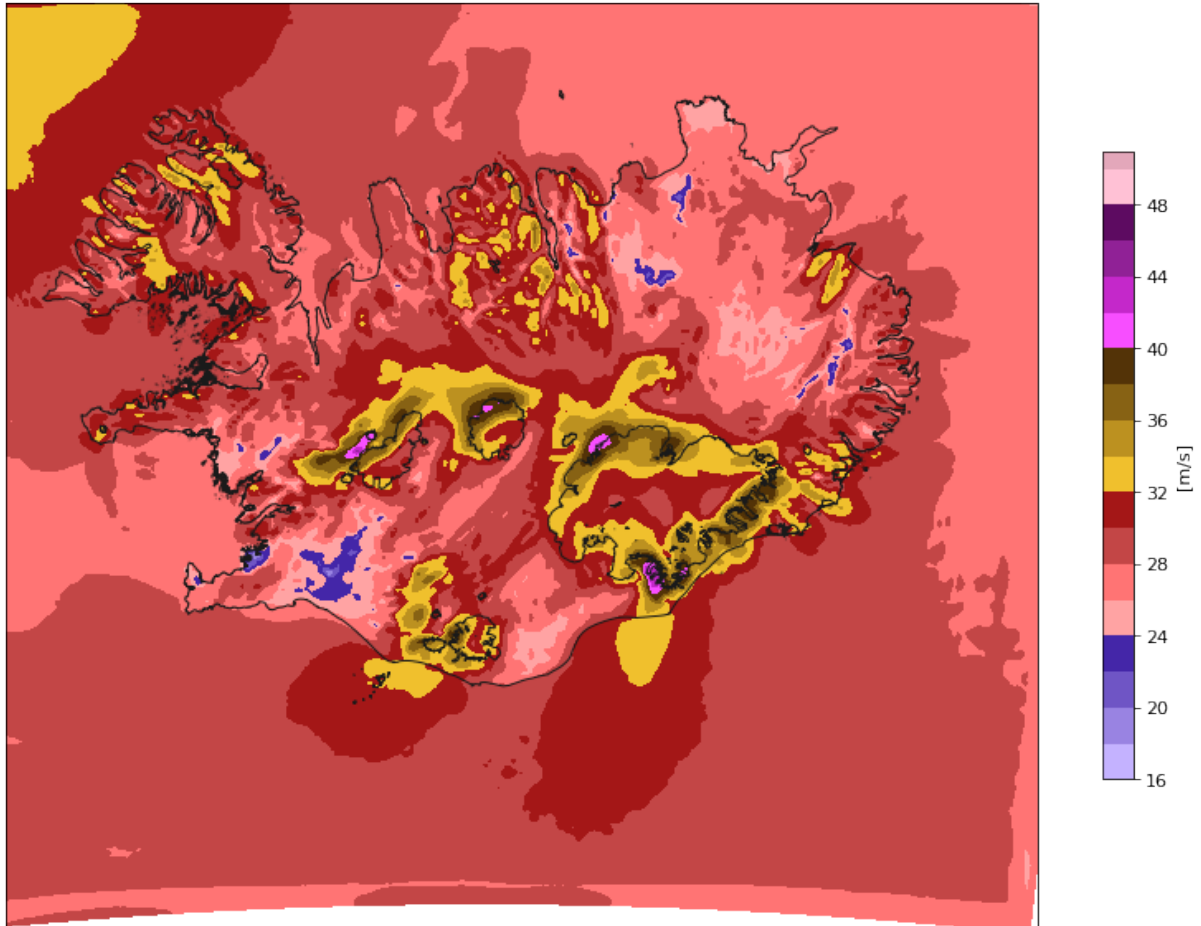
## Heimildir

- Bengtsson, L., Andrae, U., Aspelien, T., Batrak, Y., Calvo, J., de Rooy, W. & Køltzow, M.Ø. (2017). The HARMONIE-AROME model configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP system. *Mon. Wea. Rev.*, **145**, 1919-1935.
- Coles, Stuart. (2001). *An introduction to statistical modelling of extreme values*. London: Springer.
- Dániel Þorláksson, Elín Björk Jónasdóttir, Guðrún Nína Petersen & Sigrún Karlsdóttir (2020). *Aftakaveðrið í desember 2019*. VÍ 2020-001. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Ekrami, Negar (2020). *Extreme wind analysis over Iceland*. Greinargerð NE/2020-01. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Elín Björk Jónasdóttir & Dániel Þorláksson (2021). *Óveður í febrúar 2020*. VÍ 2021-002. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Guðrún Nína Petersen (2015). *Greining á öfgaveðurhæð frá sjálfvirkum veðurmælingum*. VÍ 2015-004. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Haukur Hauksson (2020). *Viðvörðunarkerfi Veðurstofunnar*. Skoðað 10. ágúst 2022 á vef Veðurstofu Íslands: <https://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1508>
- Nawri, N., Pálmason, B.P., Petersen, G.N., Björnsson, H. & Þorsteinsson, S. (2017). *The ICRA atmospheric reanalysis project for Iceland*. VÍ 2017-005. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- R Core Team (2014). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <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>
- Veðurstofa Íslands. (2022a). *Gular viðvaranir gefnar út fyrir fimm spásvæði*. Skoðað 8. ágúst 2022 á [www.vedur.is/um-vi/frettir/gul-vidvorun-fyrir-allt-landid-adfaranott-manudags-7-februar](http://www.vedur.is/um-vi/frettir/gul-vidvorun-fyrir-allt-landid-adfaranott-manudags-7-februar)
- Veðurstofa Íslands. (2022b). *Næsti skammtur af viðvörðunum*. Skoðað 8. ágúst 2022 á [www.vedur.is/um-vi/frettir/raudar-vidvaranir-vegna-vedurs](http://www.vedur.is/um-vi/frettir/raudar-vidvaranir-vegna-vedurs)
- World Meteorological Organization (2013). *Guidelines for Implementation of Common Alerting Protocol (CAP)-Enabled Emergency Alerting*. WMO-No. 1109. Genf: World Meteorological Organization.

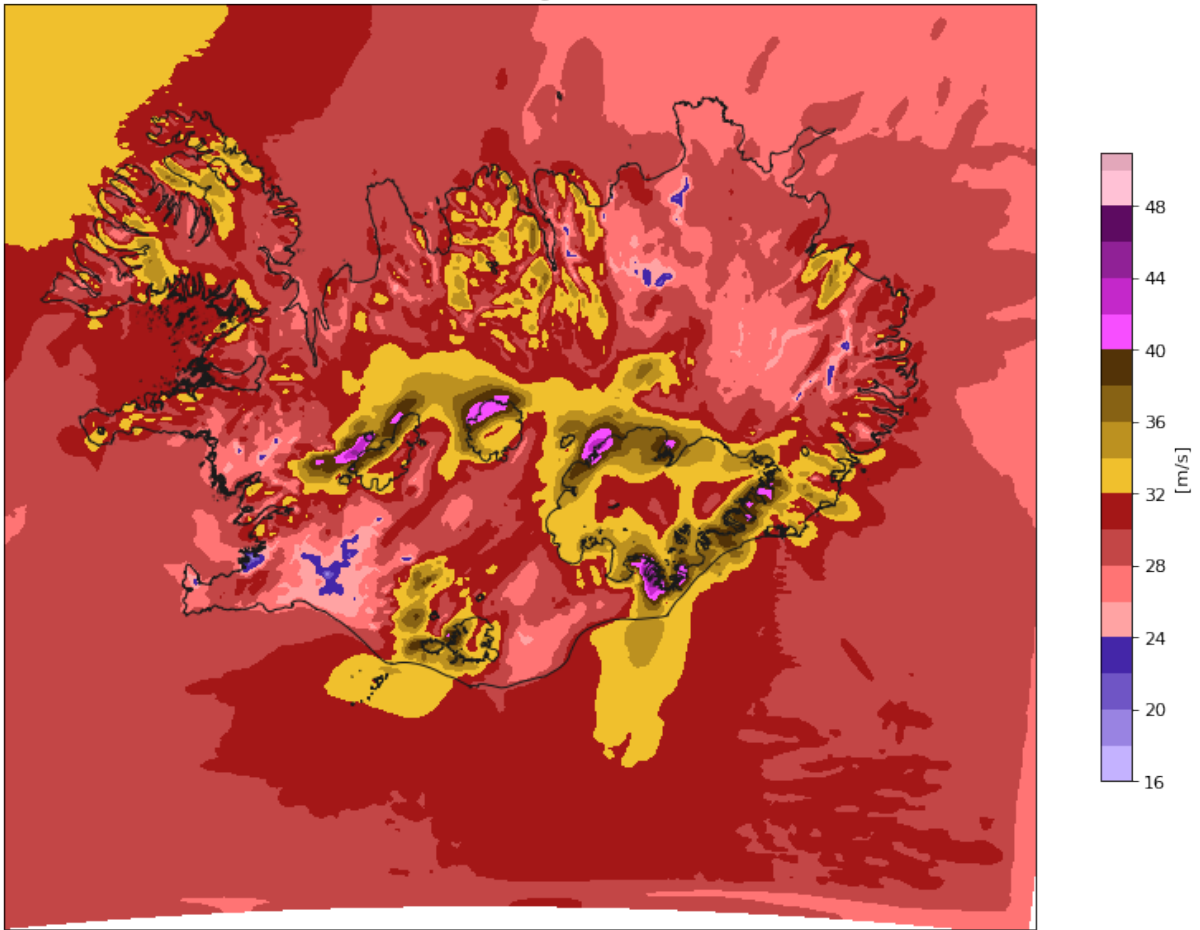
## Viðauki I. Stærri myndir

Hér má sjá stærri útgáfu af endurkomugildiskortunum.

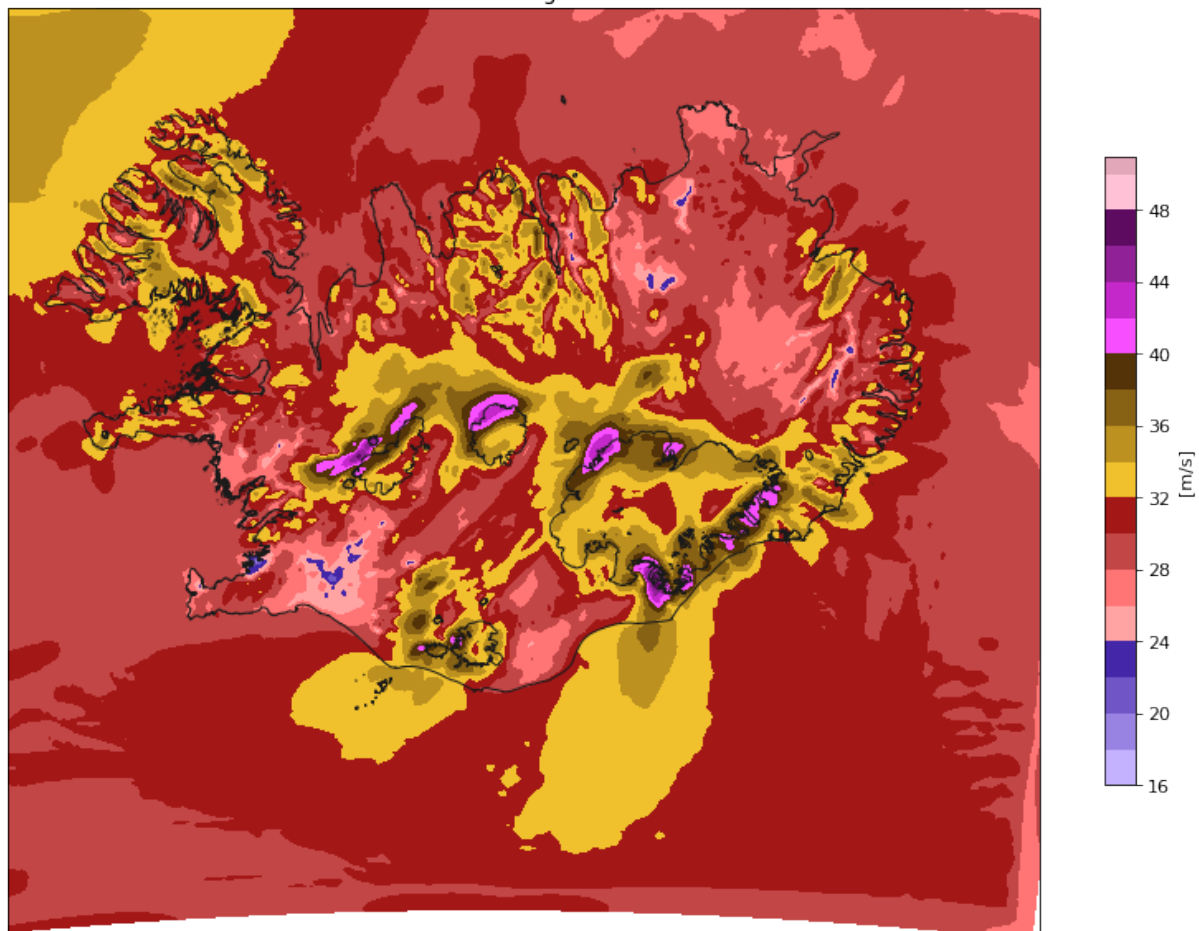
5 ára endurkomugildi vindhraða



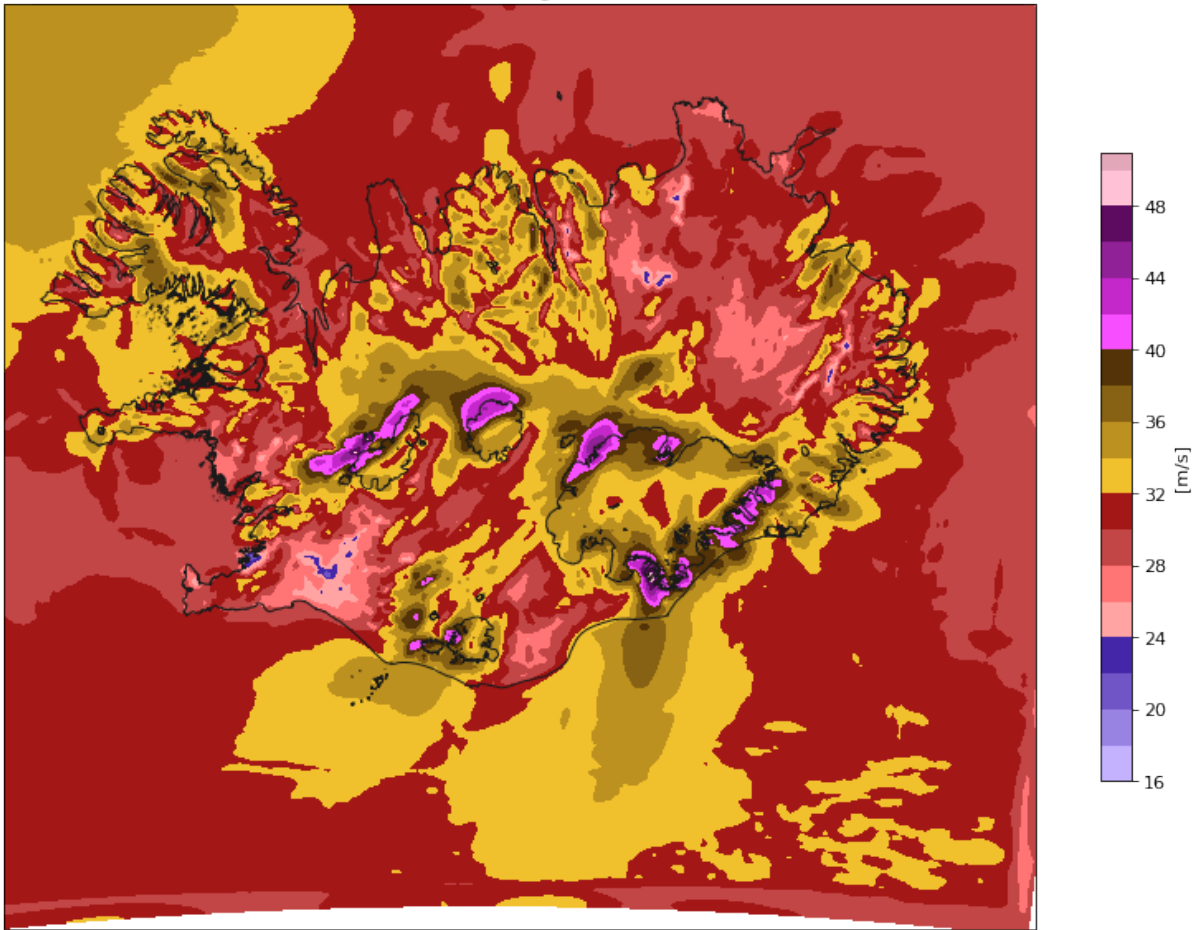
10 ára endurkomugildi vindhraða



20 ára endurkomugildi vindhraða

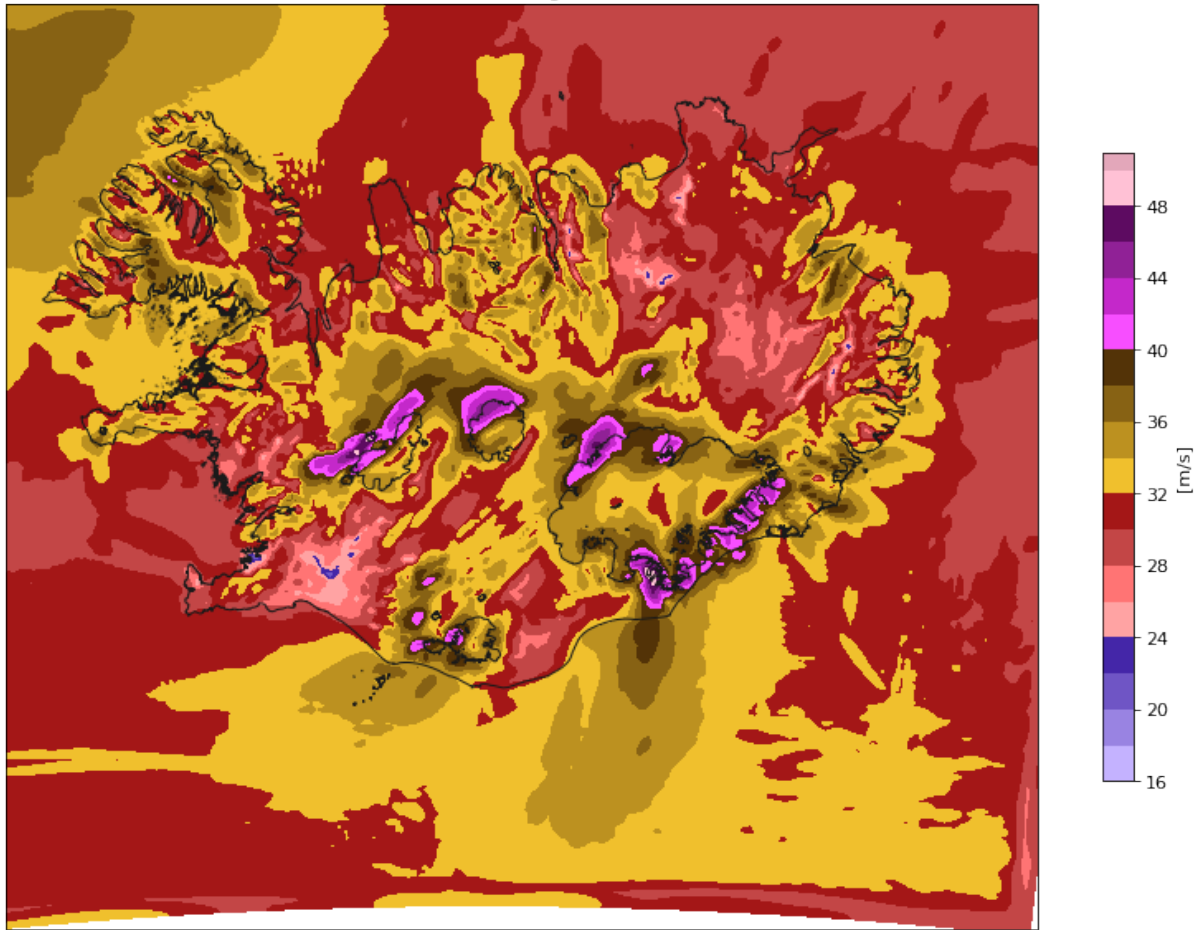


50 ára endurkomugildi vindhraða





100 ára endurkomugildi vindhraða



## Viðauki II. Gögn

Hægt er að nálgast gögnin sem notuð voru í verkefninu á slóðinni

<\\nas\vedur\verk\OfgaggreiningICRA\KatrínAglaSumar2022>.

Aftakalíkönin voru gerð í R með POT pakkanum, hægt er að sjá kóðann í skjalinu `pot_analysis.R`. Þar er daglegur hámarksvindhraði úr ICRA endurgreiningunni hlaðinn inn (geymdur í RDS skrá, `F10_allyears.rds`) og aftakagreiningu beitt, bæði fyrir einn punkt reikninetsins, þar sem ýmis próf eru gerð til að prófa aðferðina, og fyrir alla punkta reikninetsins. Endurkomugildi fyrir 5, 10, 20, 50 og 100 ár voru vistuð í nc skrána `ret_val.nc`. Þröskuldsgildin og stikarnir fyrir endurkomulíkanið voru einnig vistuð eftir keyrsluna, en þau eru svo notuð til að reikna endurkomutíma fyrir spáðan vindhraða. Það eru þá `rds` skrárnar `u.rds`, `scale.rds`, `shape.rds` og `npv.rds`. Reiknaður endurkomutími var svo vistaður í skránni `retyr.nc`.

Kortin sem sýna niðurstöður verkefnisins voru gerð í python, kóðinn fyrir þau er í jupyter notebook skjalinu `returnmaps.ipynb`.