



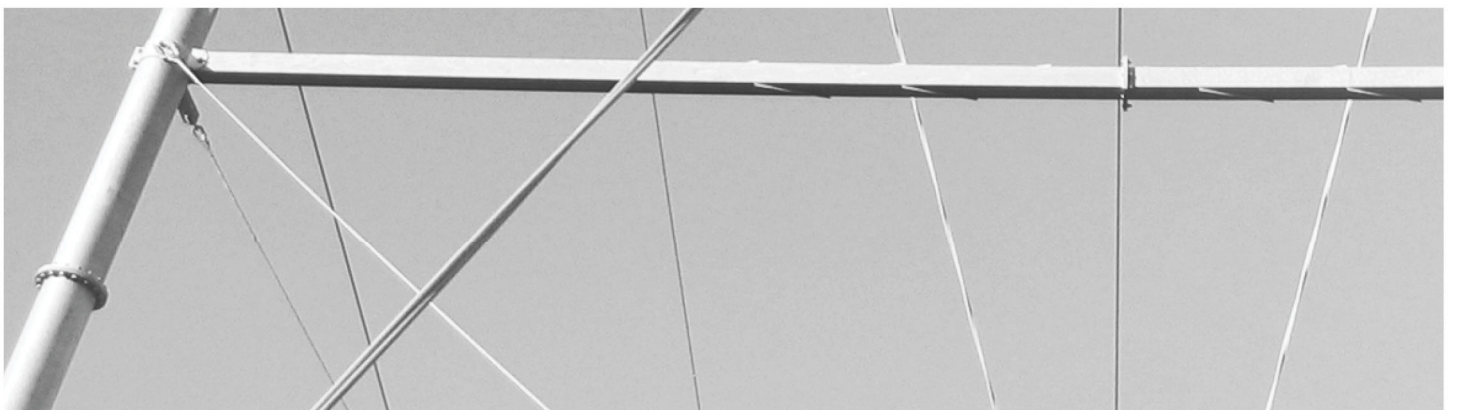
# HOLTAVÖRÐUHEIÐARLÍNA 1, 220 KV

KLAFSTAÐIR – HOLTAVÖRÐUHEIÐI

TILLAGA AÐ HÖNNUNARFORSENDUM FYRIR ÍSINGU OG VIND

Áfangaskýrsla – endurskoðuð

26.01.2024





## EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	5
2	LEIÐARLÝSING	6
3	REYNSLA AF ELDRI LÍNUM	7
4	VEÐURREIKNINGAR Á ÍSINGU	11
4.1	WRF veðurreikningar	11
4.2	Ísingarreikningar hjá Hálfðáni Ágússyni og Belgingi	12
4.3	Ísingarreikningar í ICEbox verkefninu	12
4.4	Ísingarkort fyrir Ísland	13
5	VINDHRAÐI	15
5.1	Vindhraðamælingar	15
5.2	Reiknaður vindhraði	18
5.3	Reiknaður vindhraði í tengslum við ísingarkort fyrir Ísland	19
5.4	Tillaga að vindálagi	20
6	HÖNNUNARFORSENDUR	22
	HEIMILDARLISTI	24



## 1 INNGANGUR

Þessi skýrsla fjallar um tillögur að veðurfarslegum álagsforsendum fyrir Holtavörðuheidarlínu 1, 220 kV, frá Klafastöðum að Holtavörðuheidi, og er þá átt við álag af völdum ísingar og vinds á línuleiðinni. Línan er nú í mati á umhverfisáhrifum (í janúar 2024) og er þar fjallað um 15 valkosti. Endanleg línuleið liggur ekki fyrir, en gefið er álag fyrir tvo megin valkosti sem Landsnet telur góða fulltrúa fyrir þá valkosti sem eru til umfjöllunar, þ.e. Þverárhliðarleið og Hallarmúlaleið sem er vestar. Flestir valkostirnir í umhverfismati eru afbrigði af Þverárhliðarleið og er hér fjallað um þann valkost Þverárhliðarleiðar sem talinn er líklegastur. Gert er ráð fyrir að sömu álagsforsendur (eða svipaðar) gildi um önnur afbrigði Þverárhliðarleiðar.

Holtavörðuheidarlína 1 (HH1) er hluti af 220 kV kerfi sem er í uppbyggingu frá Fljótsdalsstöð á Austurlandi, um Kröflustöð og Blöndustöð á Norðurlandi, að fyrirhuguðu tengivirki á Klafastöðum við Hvalfjörð. Hér er um að ræða nýja kynslóð byggðalínu og er áföngunum frá Fljótsdalsstöð um Kröflu og Hólasand til Akureyrar lokið. Blöndulína 3 frá Blöndustöð til Akureyrar er í undirbúningi, mati á umhverfisáhrifum er lokið og verkhönnun stendur yfir. Holtavörðuheidarlína 1 er fyrri áfangi í tengingu frá Klafastöðum um Holtavörðuheidi að Blöndustöð.

Þetta mat á ísingar- og vindálagi er unnið á sama hátt og fyrir aðrar fyrirhugaðar línur Landsnets. Tekið er mið af álagsforsendum eldri lína eða fyrirhugaðra lína, reynslu af rekstri lína á svæðinu og gagnasafni Veðurstofu Íslands. Engar tilraunalínur hafa verið í rekstri á þessu svæði, en áratuga reynsla er af rekstri lína sem eru í nánd við línuleiðina, einkum Vatnshamralínu 1 (132 kV) og Hrutatungulínu 1 (132 kV).

Á undanförunum árum hafa orðið breytingar á reikniaðferðum og staðli, sem kalla á breytta framsetningu frá því sem áður tíðkaðist. Ísingarálagi er breytt úr þvermáli ísingar í vindi (cm) yfir í mesta ísálag án vinds (N/m). Einnig er vindálag nú gefið sem meðalvindhraði samfara yfirborðsflokkun (hrýfi) í stað þess að gefa vindhviðu. Höfð er hliðsjón af háspennulínustaðlinum ÍST EN 50341-1 og tilheyrandi þjóðarskjali sem gildir fyrir Ísland, ÍST EN 50341-3-12.

Tillögur að álagsforsendum eru í töflu í 6. kafla.

Yfirumsjón með þessari vinnu hafði Árni Jón Elíasson hjá Landsneti, sem jafnframt sá um vettvangsathuganir og lagði mat á ísingu í samstarfi við EFLU hf.

## 2 LEIÐARLÝSING

Á meðfylgjandi yfirlitskortum á mynd 3 og mynd 4 sést línuleiðin (valkostirnir) sem fjallað er um.

Frá Klafastöðum liggur leiðin fyrst til norðausturs meðfram Járblendilínu 1 (220 kV), en beygir svo frá og stefnir norður og kemur að Vatnshamralínu 1 (VA1, 132 kV) norðan við Hvalfjarðarveg. Línuleiðin fylgir svo Vatnshamralínu 1, vestan hennar, norður yfir Skarðsheiði að Andakílsá, þar sem hún fer austur yfir VA1. Línuleiðin er austan við tengivirkið við Vatnshamra (þar er smá frávik frá línunni) og liggur svo norðaustur austan við Hrútatungulínu 1 (HT1, 132 kV) að Heggstöðum, þar sem farið er vestur fyrir HT1. Þar skiljast leiðir.

**Þverárhliðarleið:** Framhaldið er í stórum dráttum samsíða HT1 að Brekkukoti í Reykholtssdal. Þar er farið austur fyrir HT1 og áfram um Síðumúla og Sleggjulæk að Norðtunguskógi í Þverárhlið. Þaðan er stefnan tekin að HT1 við Karlsstaði, og svo samsíða norður yfir Grjótháls og upp austanverðan Norðurárdal. Á móts við Fornahvamm er farið upp á hálsinn og komið niður af honum sunnan við Heiðarsporð. Þar er farið yfir Hrútatungulínu 1 og stefnt norður, vestan hennar, meðfram Holtavörðuvatni, og áfram að fyrirhuguðu tengivirki norðan til á Holtavörðuheiði.

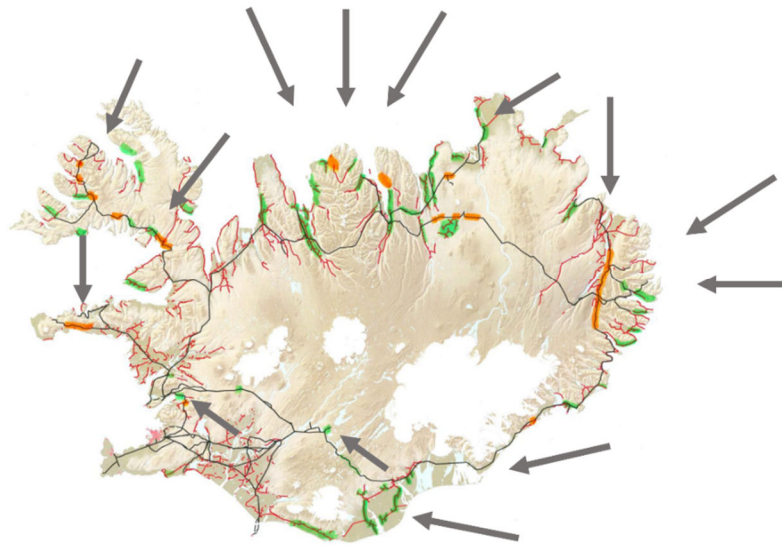
Helstu frávik frá núverandi línu eru við Heggstaði, við Langholt og Neðranes og við Sleggjulæk, Guðnabakka og Norðtungu. Gert er ráð fyrir sömu álagsforsendum á aukavalkostunum og á meginleiðinni á viðkomandi stað.

**Hallarmúlaleið:** Við Heggstaði er beygt frá HT1 og stefnt norður yfir Grímsá vestan við bæinn Þingnes. Farið er yfir Hvítá og áfram norðaustur og norður Stafholtstungur í stefnu vestan við bæinn Höll. Þar er beygt til norðausturs meðfram Hallarmúla og síðan upp á hálsinn og eftir honum miðjum norðaustur að Hrútatungulínu 1 við Hafþórsstaði í Norðurárdal, þar sem komið er inn á Þverárhliðarleið.

Hæð yfir sjó er breytileg á línuleiðinni og er tilgreind í álagstöflu í 6. kafla (Töflu 4).

### 3 REYNSLA AF ELDRI LÍNUM

Reynsla af rekstri háspennulína á Íslandi sýnir að ísingvá er mismunandi eftir landsvæðum og staðbundin, háð landslagi og aðstæðum. Myndir 1 og 2 sýna hvar ísing og helstu bilanir hafa orðið á loftlínunum ásamt algengri ísingarátt sem framkallar ísingu. Sjá má að línur í nágrenni við fyrirhugaða leið Holtavörðuhéiðarlínu 1 hafa að mestu verið lausar við bilanir af völdum ísingar, enda virðist ísing í Borgarbyggð almennt ekki mikil.



**MYND 1** Staðsetning helstu ísingarsvæða á loftlínunum á Íslandi ásamt algengri vindátt.



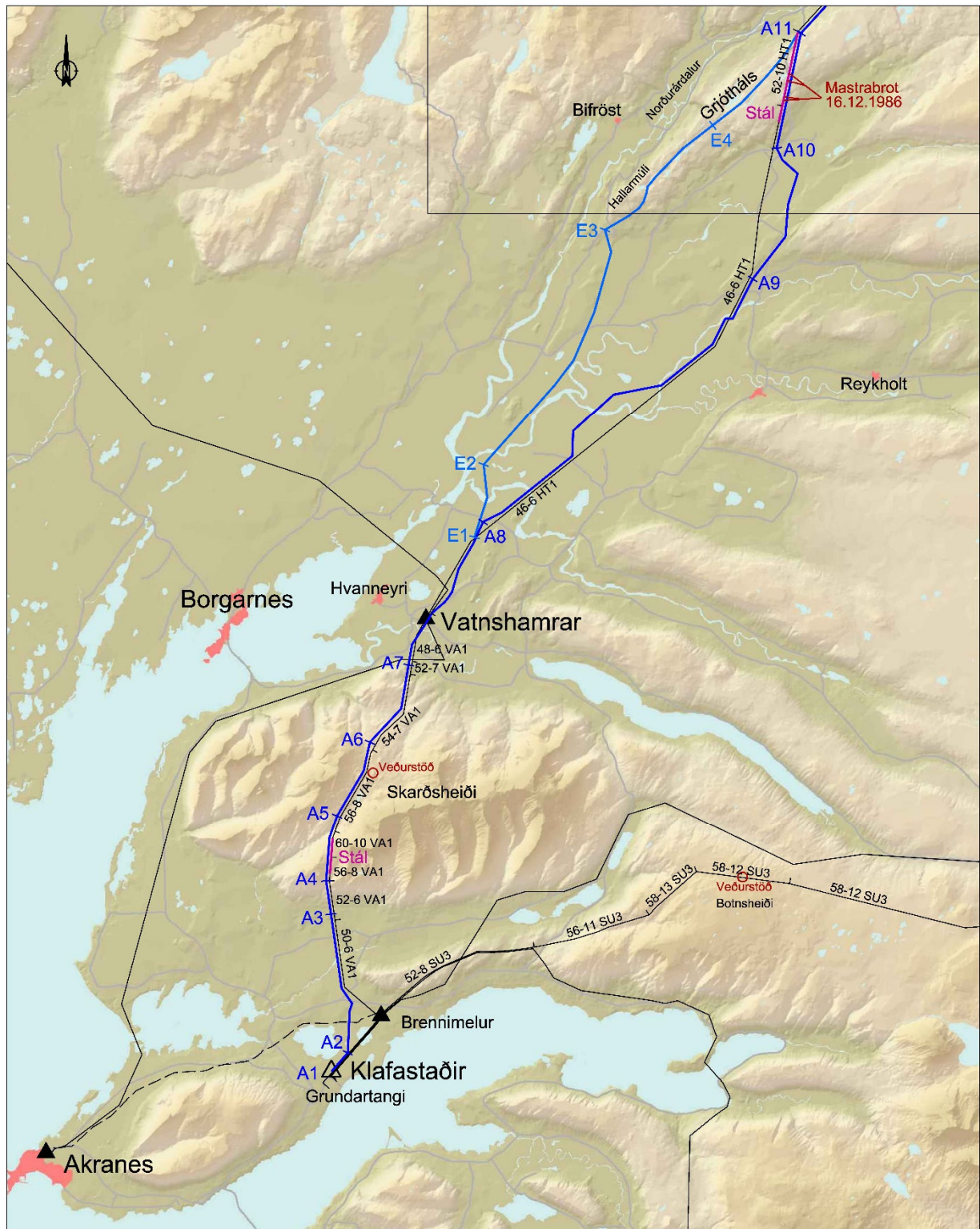
**MYND 2** Skráð ísingartilvik í ísingarbanka Landsnets.

Línustæði Holtavörðuheidiarlínu 1 er að mestu samsíða Vatnshamralínu 1 og Hrútatungulínu 1.

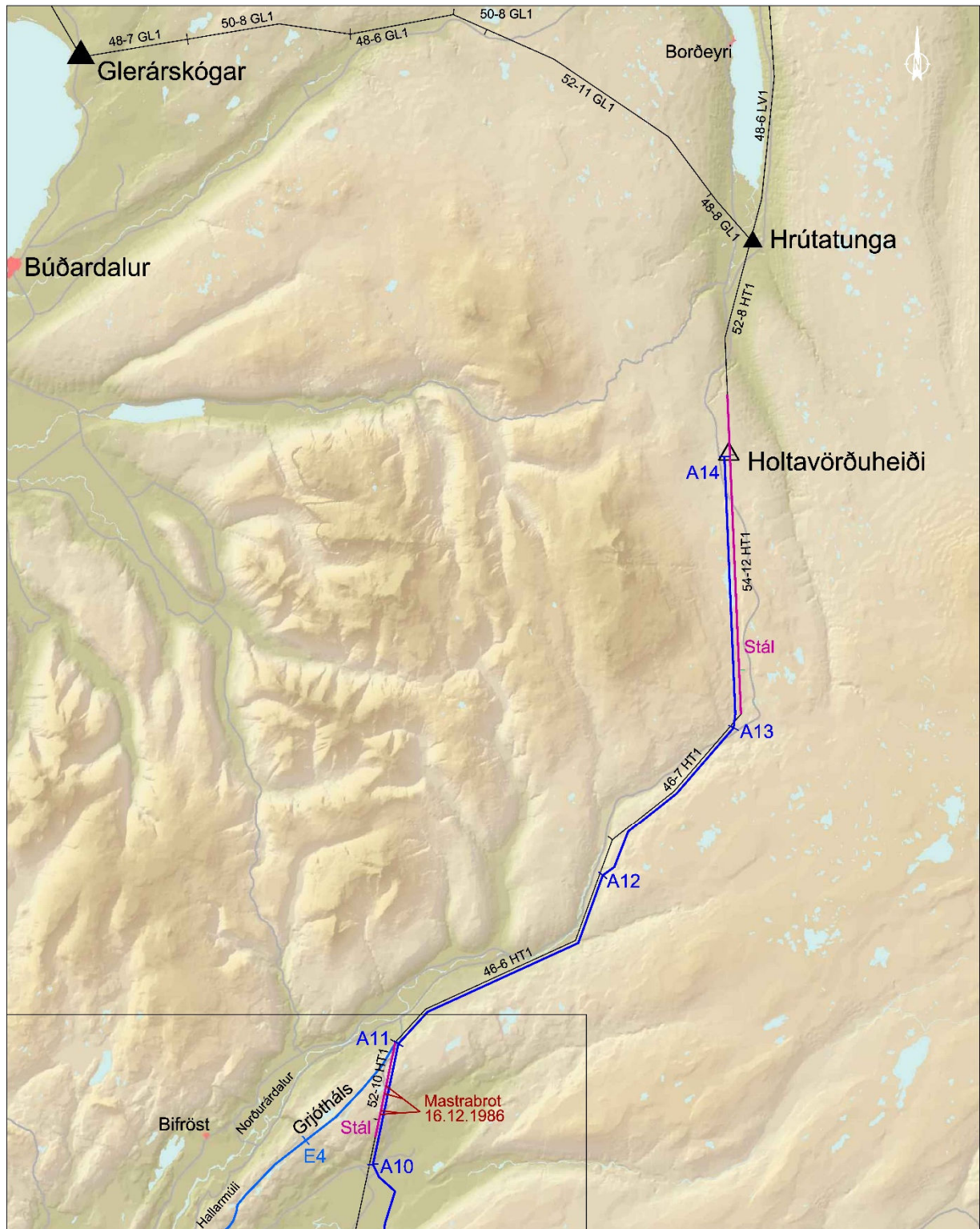
Vatnshamralína 1, 132 kV, var tekin í notkun 1977. Línan er að mestu tréstæðulína, en á 1,6 km kafla syðst á Skarðsheiði eru stálmöstur, nr. 48-57. Ekki hefur orðið alvarlegt tjón á línunni vegna veðurálags, en oft hafa orðið truflanir og útslættir, einkum vegna mikils vindhraða. Hefur það einkum verið norðan við stálmastrakaflann á Skarðsheiði. Árið 2009 var sett upp veðurstöð 300 m austan við línuna á móts við horn nr. 85. Stöðin er 3,5 km norðan við stálmastrakaflann. Þar hefur mælst einhver mesti vindhraði (hviðuvindur) hér á landi. Mesta ísing sem orðið hefur vart við á línunni var 1. des. 1991 á Skarðsheiði, mest á staurabilum 66-68, þvermál um 10 cm.

Hrútatungulína 1, 132 kV, var tekin í notkun 1976. Línan er að mestu tréstæðulína, en á Grjóthálsi eru stálmöstur á 5 km kafla, möstur 169-184. Dagana 15.-16. des. 1986 féllu fjögur stálmöstur á hálsinum, eingöngu vegna vindálags að talið var (möstur 172, 173, 176 og 177). Í staðinn voru reistar 6 tréstæður (172, 173, 173A, 176, 177, 177A), og hafa ekki orðið bilanir á línunni síðan. Annar stálmastrakafla er á Holtavörðuheidi frá Heiðarsporði, yfir háheiðina og langleiðina að Miklagili, möstur 319-380. Lítið hefur verið um bilanir á línunni á þeim kafla, enda hefur hann hagstæða stefnu. Aðrir kaflar línunnar eru með tréstæðum og hafa ekki orðið umtalsverðar bilanir af völdum ísingar eða vinds.





**MYND 3** Línuleið Holtavörðuhéiðarlínu 1 frá Klafastaðum að Grjóthálsi, auðkennd með blárrí línu. Mörk álagssvæða eru tölusett, A1 til A11, sbr. álagstöflu í 6. kafla. Hallarmúlaleið sýnd með ljósblárrí línu. Mörk álagssvæða tölusett, E1 til A11. – Eldri línur sýndar með svörtum strikum en stálmastrakaflar með bleikum strikum. Eldri álaggsforsendur á hverjum kafla eru á forminu: 60-10 VA1, þar sem 60 er hámarksvindhraði, 10 er þvermál ísingar í vindi og VA1 er auðkenni línunnar. – Í álagstöflu í 6. kafla eru álaggsforsendur HH1 settar fram á annan hátt, þ.e. meðalvindhraði samfara yfirborðsflokkun (hrýfi) og mesta ísálag án vinds (N/m).



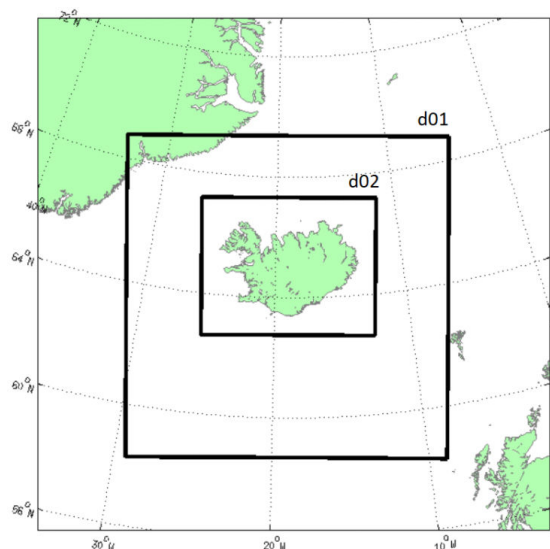
**MYND 4** Línuleið Holtavörðuheidiarlínu 1 frá Grjóthálsi að Holtavörðuheidi, auðkennd með blárrí línu. Mörk álagssvæða eru tölusett, A10 til A14, sbr. álagstöflu í 6. kafla. Hallarmúlaleið sýnd með ljósblárrí línu. Mörk álagssvæða tölusett, E4 til A11. – Eldri línur sýndar með svörtum stríkum en stálmastrakafilar með bleikum stríkum. Eldri álaggsforsendur á hverjum kafla eru á forminu: 46-6 HT1, þar sem 46 er hámarksvindhraði, 6 er þvermál ísingar í vindi og HT1 er auðkenni línunnar. – Í álagstöflu í 6. kafla eru álaggsforsendur HH1 settar fram á annan hátt, þ.e. meðalvindhraði samfara yfirborðsflokkun (hrýfi) og mesta ísálag án vinds (N/m).

## 4 VEÐURREIKNINGAR Á ÍSINGU

### 4.1 WRF veðurreikningar

Reiknilíkön til að meta ísingarvá og aftakavind hafa verið notuð í ríkari mæli undanfarin ár. Mikil framþróun hefur verið í gerð veðurreikninga sem mynda innlagsgögn í ísingarlíkön. Jafnframt hefur verið stöðug framþróun í ísingarlíkönunum. Fyrirliggjandi eru nokkrar slíkar greiningar á Íslandi. Hér er litið til tveggja greininga. Sú fyrri var unnin af Hálfadáni Ágústssyni og Belgingi (Reiknistofu í veðurfræði) árið 2015. Síðari greiningin var gerð í rannsóknarverkefninu ICEbox hjá Statnett. Hluti af því verkefni var að framkvæma greiningu á ísingu á Íslandi og bera saman við mælingar. Lokaniðurstöður verkefnisins voru ekki fyrirliggjandi þegar þessi greinargerð er unnin, en fyrirliggjandi voru niðurstöður sem gefa rökstuðning fyrir mati.

Báðar greiningar nýta gögn frá líkanreikningum á ástandi lofthjúpsins sem gerðir eru í þéttriðnu reiknineti með aðstoð lofthjúpslíkans. Reiknistofa í veðurfræði (Belgíngur) framkvæmdi WRF<sup>1</sup> reikning fyrir Ísland í báðum greiningum. Vinnan í ICEbox notar 25 ára tímabil frá september 1994 til september 2019. Mynd 5 sýnir reikninetið sem var notað í ICEbox, d01 var í 8 km x 8 km og d02 var í 2 km x 2 km. Í eftirvinnslu voru notuð gögn úr d02 með 2 km möskva og 1 klst. tímaupplausn.



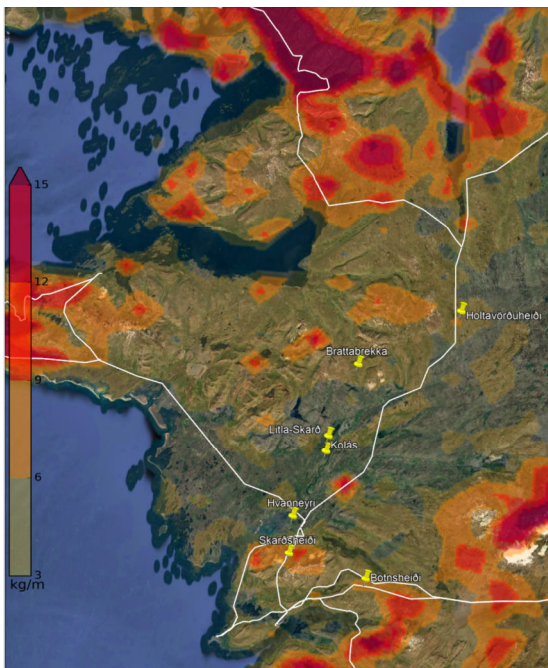
**MYND 5** Reikninet í WRF reikningum í ICEbox verkefninu, d01 er í 8km x 8km neti og d02 er í 2km x 2km neti.

Í heimildaskrá er vísað á nokkrar áhugaverðar greinar og skýrslur sem fjalla um ísingarreikninga á leiðara háspennulína.

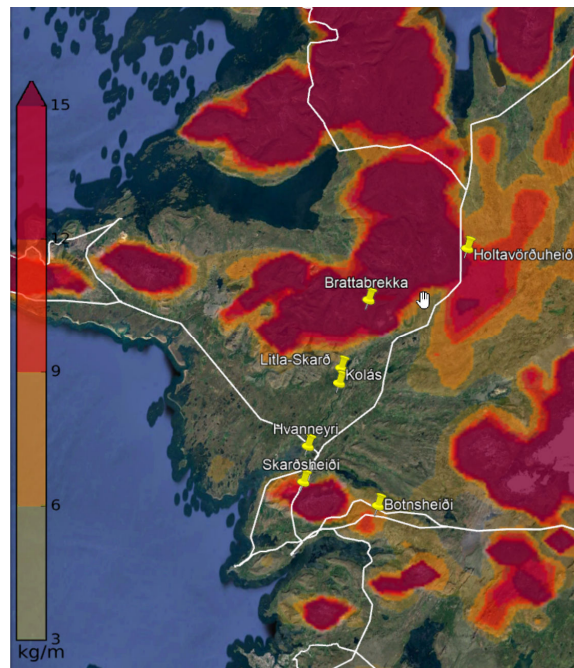
1 AR-WRF (Advanced Research – Weather Research and Forecasting Model). Jaðarskilyrði keyrslu byggja á grófkvarða lofthjúpsgreiningu Evrópsku veðurstofunnar í Reading (ECMWF).

## 4.2 Ísingarreikningar hjá Hálfðáni Ágússyni og Belgingi

Lofthjúpsgögnin sem skoðuð eru koma úr RÁV-verkefninu (reikningar á veðri, Rögnvaldsson & Ólafsson (2009)) og voru unnin af Belgingi (Reiknistofu í veðurfræði). Hér var nær eingöngu horft til 3 km gagnaraðarinnar sem tekur til tímabilsins 1994–2014 með 3 klst. tímaupplausn. Ísingarlíkönin eru hér keyrð fyrir lóðréttan 30 mm sívalning sem safnar ísingu frá öllum áttum óháð vindátt.



**MYND 6** Líkanreikningar á slydduísingu (kg/m), hæsta gildi á tímabilinu 1994-2014.

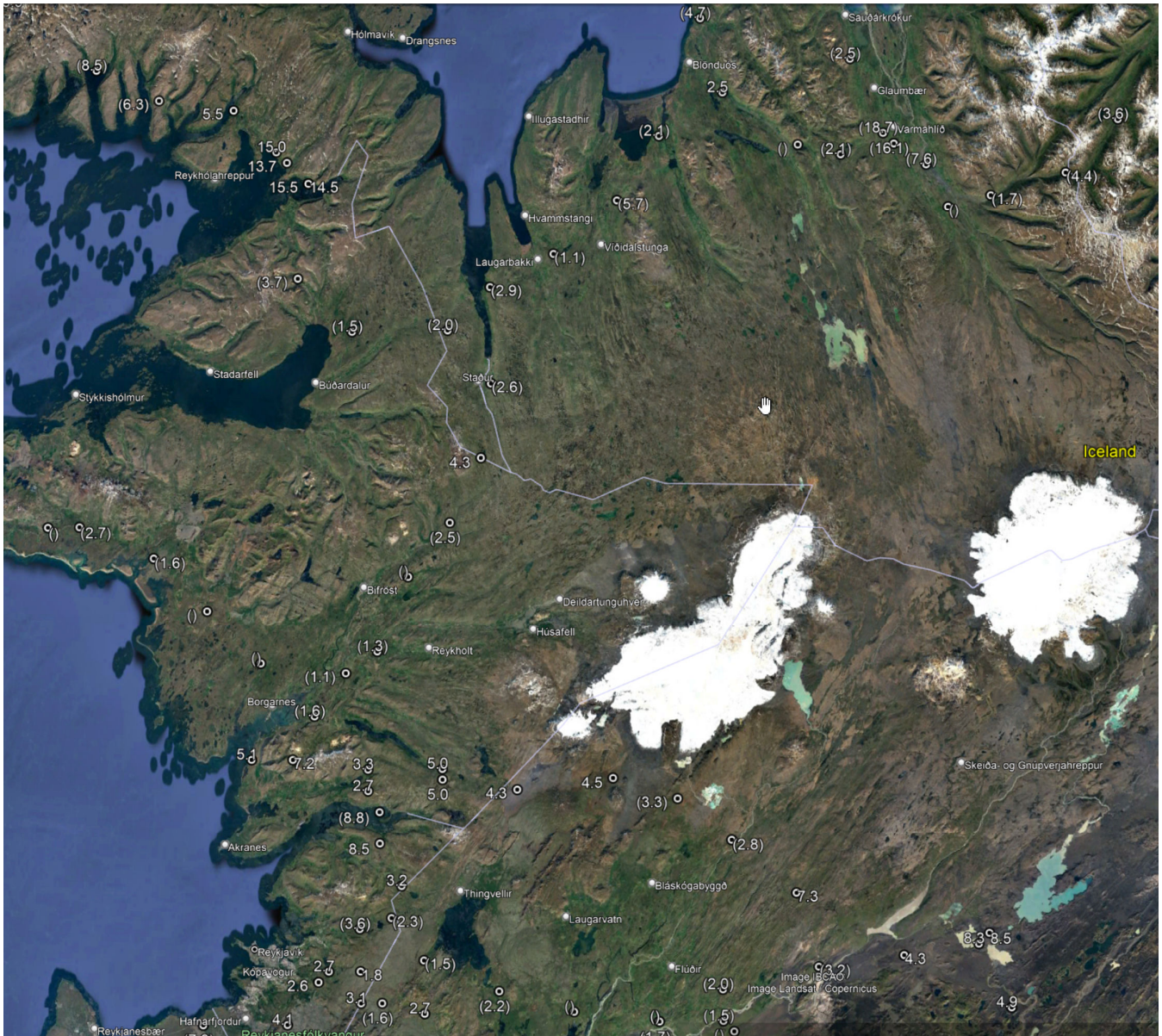


**MYND 7** Líkanreikningar á skýjaísingu (kg/m), hæsta gildi á tímabilinu 1994-2014.

Af myndum 6 og 7 má sjá að fyrirhuguð línuleið Holtavörðuhéiðarlínu 1 er vel staðsett miðað við reiknaða ísingarvá.

## 4.3 Ísingarreikningar í ICEbox verkefninu

Í ICEbox var ísingarálag reiknað í 188 reiknipunktum í nágrenni háspennulína dreifðum yfir Ísland. Nokkrir af reiknipunktunum liggja á fyrirhugaðri línuleið Holtavörðuhéiðarlínu 1. Mynd 8 sýnir mat á 50 ára ísingarálagi (kg/m) í völdum reiknipunktum. Ísingarlíkanið miðar við 30 mm sveran leiðara og tekur tillit til línustefnu og innifelur slydduísingu, skýjaísingu og frostregn. Þar sem gildi er birt innan sviga voru innan við fimm ísingartilvik sem reiknuðust yfir 1 kg/m á 25 ára tímabili. Þar er hæsta reiknigildi ísingar birt í stað 50 ára spágildis á meðalendurkomutíma. Reikningum þarf að taka með nokkrum fyrirvara því ísingarlíkön eru enn í nokkurri þróun. Gildi ættu hins vegar að vera í ágætu innra samræmi.

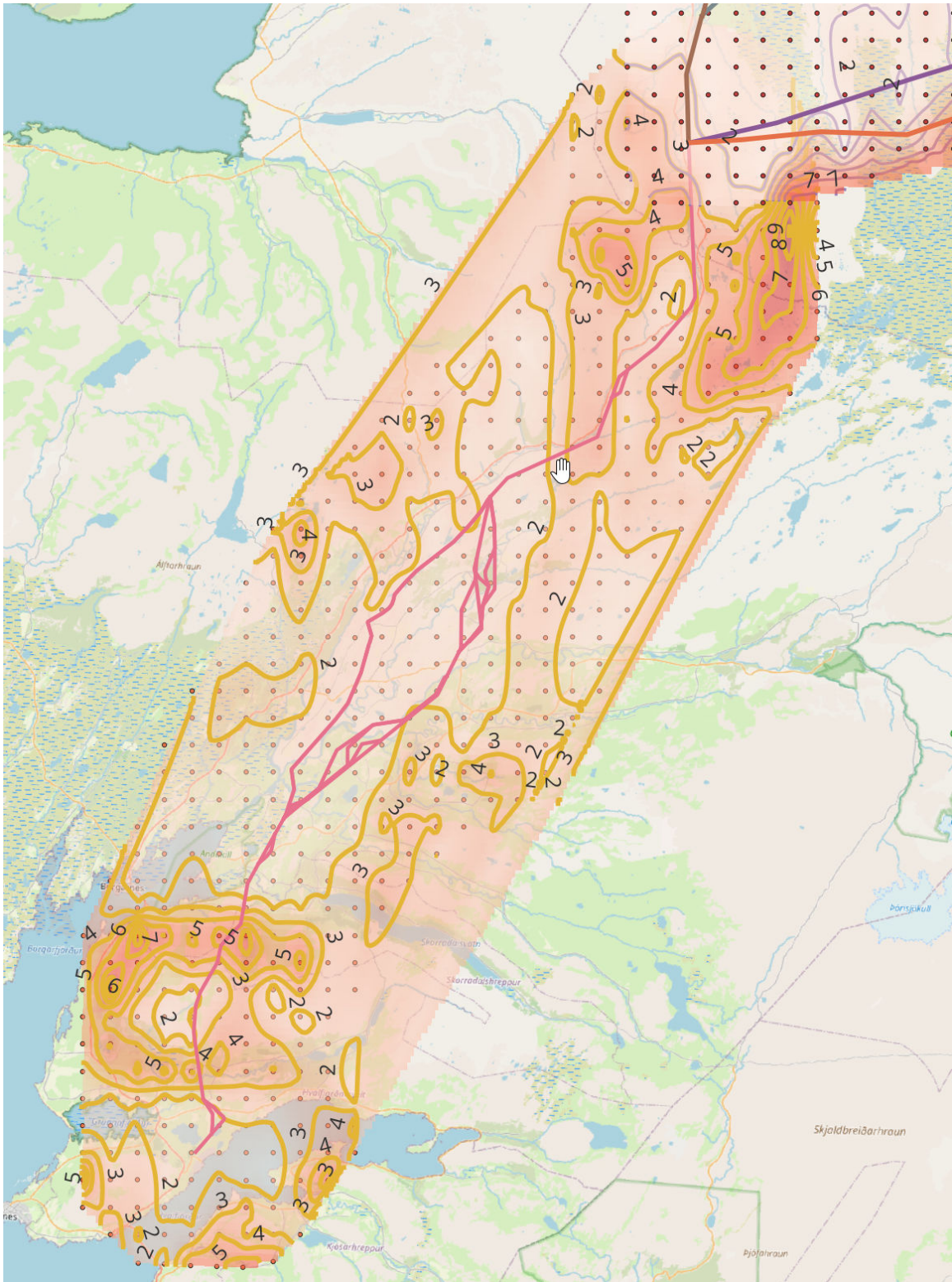


**MYND 8** Frummat á 50 ára ísingarálagi (kg/m) í völdum reiknipunktum í ICEbox verkefninu. Ísingarlíkan tekur tillit til línustefnu og innifelur slyddúisingu, skýjaisingu og frostregn. Þar sem gildi er birt innan sviga ( ) voru innan við fimm ísingartilvik sem reiknuðust yfir 1 kg/m á 25 ára tímabili, hæsta reiknigildi ísingar birtist þá í stað 50 ára spágildis.

Sjá má að lágt ísingarálag reiknast á línuleið Holtavörðuheiðarlínu 1, hæsta álag reiknast 7,2 kg/m á Skarðsheiði. Telja má töluverða óvissu í því gildi því WRF veðurreikningarnir eru í of grófu möskvalíkani til að ná staðbundnum aðstæðum þar vel.

#### 4.4 Ísingarkort fyrir Ísland

Landsnet er nú með verkefni í gangi að útbúa ísingarkort fyrir Ísland sem byggir á ísingarlíkani áþekku og í ICEbox verkefninu og WRF veðurreikningum í 2kmx2km möskvaneti á tímabilinu 1990-2023. Vinna er í gangi og niðurstöður eru fyrirhugaðar á vormánuðum 2024. Mynd 9 sýnir bráðabirgðareikninga sem voru framkvæmdir á nágrenni línuleiðar HH1.



**MYND 9** Frummat á 50 ára ísingarálagi (kg/m) í verkefni Landsnets við að búa til ísingarkort fyrir allt landið. Ísingarlíkanið er hér keyrt fyrir slydduísingur á 30 mm leiðara og lóðréttan cylinder.

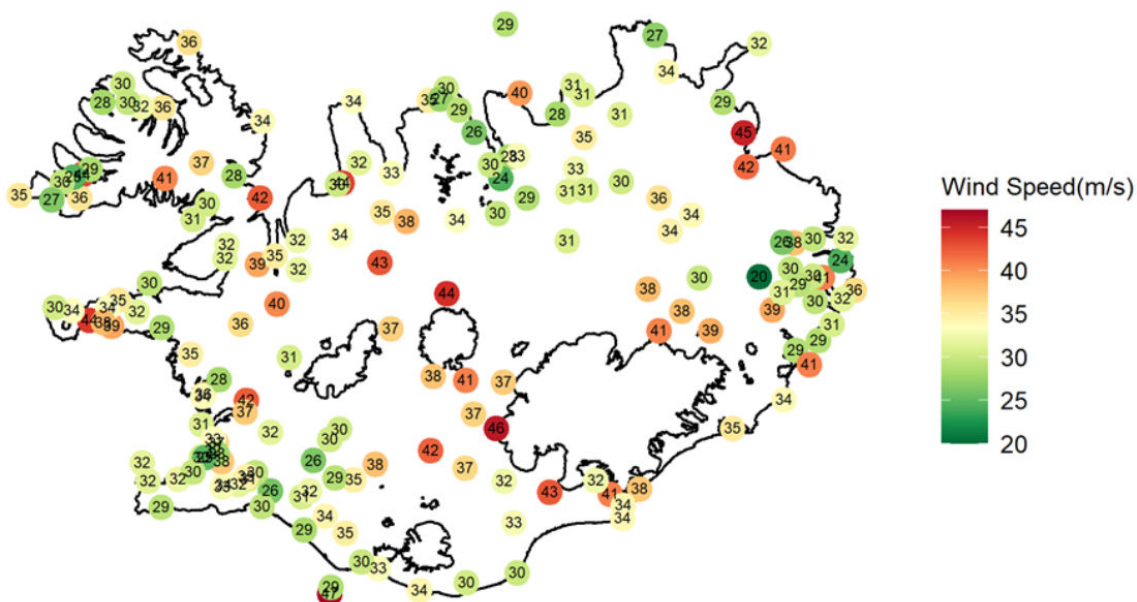
Reikningum þarf að taka með nokkrum fyrirvara því eftir er að fullkvarða ísingarlíkanið. Gildin ættu hins vegar að vera í ágætu innra samræmi.

## 5 VINDHRAÐI

### 5.1 Vindhraðamælingar

Í nýlegri skýrslu frá Veðurstofu Íslands var unnið hágildismat á vindhraða í sjálfvirkum veðurstöðvum, sjá heimild [1]. Mynd 10 sýnir niðurstöður á 50 ára meðalendurkomutíma meðalvinds og mynd 11 sýnir 50 ára meðalendurkomutíma vindhviða. Gildin á báðum myndum eru lág í samanburði við skilgreindan vindhraða í íslensku þjóðarskjali<sup>2</sup> og í samanburði við vindhraða sem loftlínur hafa verið hannaðar fyrir á seinni árum, en algengt mat á 50 ára vindhviðum var á bilinu 52-60 m/s. Ástæða þessara lágu gilda í heimild [1] felst að nokkru leyti í aðferðafræðinni sem notuð var við úrvinnslu<sup>3</sup> og að megin markmiðið er annað en að meta hönnunarvindhraða. Niðurstöður leiða til lítils munar á því hvort um er að ræða 5, 50 eða 500 ára endurkomutíma.

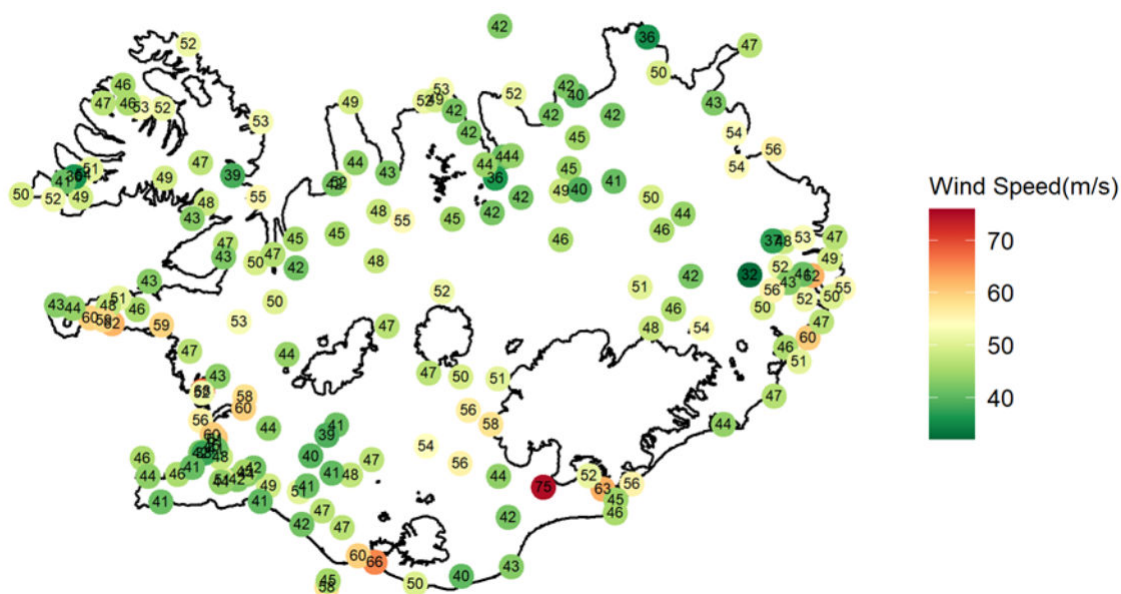
#### 50 Year Return Value For Wind Speed



**MYND 10** Mat á meðalvindhraða með 50 ára meðalendurkomutíma í heimild [1].

- 2 Í EN 1994-1-4 er skilgreindur meðalvindhraði fyrir Ísland  $V_b=36$  m/s við yfirborðshryfi  $z_0 = 0.05$  m.
- 3 Notuð var POT greining (peak-over-threshold) með almennu Pareto dreifingunni og stíkar metnir með sennileikamati (maximum likelihood). Aðferðin er viðurkennd og oft notuð en hefur þekkta annmarka og getur leitt til ofnálgunar (overfitting) því erfitt er að meta lögunarstíka (shape factor) án langrar mæliraðar. Þá er þekkt að sennileikamat gefur oft skekktar niðurstöður (biased) þegar stíkar eru metnir út frá fáum gildum. Aðferðin notast með varúð við mat á hönnunarvindhraða því hún er oft talin vanmeta vind með háan endurkomutíma. Oft er miðað við eftirfarandi hlutföll milli 50, 150 og 500 ára vindhraða:  $150/50=1,087$  og  $500/50=1,182$ . Í verkfræði eru hágildi vindhraða gjarnan miðuð við að hafa lögunarstíka nærri Gumbel dreifingu (jafngildir að hafa lögunarstíka = 0 í Pareto).

## 50 Year Return Value For Wind Gust



**MYND 11** Mat á vindhviðum með 50 ára meðalendurkomutíma í heimild [1].

Veðurstofa Íslands afhenti vindhraðamælingar frá nokkrum veðurstöðvum í nágrenni línunnar. Hluti af stöðvunum hafa mæli í 10 m hæð en Vegagerðarstöðvar<sup>4</sup> hafa mæli í 6 m hæð. Tafla 1 sýnir mælitímabil og þrjú hæstu mæligildi<sup>5</sup> fyrir 10 mínútna meðalvindhraða og vindhviður auk mats á 50, 150 og 500 ára meðalendurkomutíma vindhraða. Meðalendurkomutíminn er hér reiknaður með nokkrum aðferðum<sup>6</sup> og mat lagt á hvað væri trúverðugasta gildið<sup>7</sup>. Mat á 50 ára vindhraða í töflu 1 er almennt lægra en á mynd 10. Fyrir 50 ára meðalvindhraða fæst sama gildi á Bröttubrekku, en annars munar á bilinu 5-14%. Myndir 12 - 14 sýna samband meðalvindhraða og vindáttar fyrir vindhraða yfir 20 m/s á Skarðsheiði, Botnsheiði og Holtavörðuheiði.

**TAFLA 1** Vindhraðamælingar á nærliggjandi mælistöðum auk mats vindhraða með 50, 150 og 500 ára meðalendurkomutíma.

Stöð	Stöð.nr	Upphaf	Endir	Tímalengd gagna (ár)	Meðalvindhraði (m/s), þrjú hæstu mældu gildi			Vindhviður (m/s)								
					Þrjú hæstu mæligildi			Reiknað gildi á hágildum			Þrjú hæstu mæligildi			Reiknað gildi á hágildum		
					1	2	3	50 ára	150 ára	500 ára	1	2	3	50 ára	150 ára	500 ára
Botnsheiði	1689	9/10/2001	9/10/2021	20	42.1	42.0	41.1	45.5	49.0	53.0	66.0	61.5	52.2	66.4	73.5	81.3
Skarðsheiði Miðfitjahóll	1679	11/28/2009	9/4/2021	12	43.3	38.3	36.6	45.0	49.0	53.0	73.5	64.1	58.0	73.0	77.0	81.0
Hvanneyri	1779	12/18/1997	12/17/2020	23	28.0	26.6	25.7	32.0	34.0	36.5						
Litla-Skarð	1881	11/29/2000	11/28/2015	Töluvert vantar	26.7	24.4	23.9	30.1	34.1	39.2						
Kolás	31882			Ótrúverðugt												
Brattabrekka	31985	12/19/1998	12/18/2009	10	33.9	32.7	32.3	36.0	38.0	40.0						
Holtavörðuheiði	32097	7/28/1995	7/27/2006	11	41.0	38.6	35.6	42.0	45.0	48.0	47.2	46.6	45.4	52.3	56.1	60.2

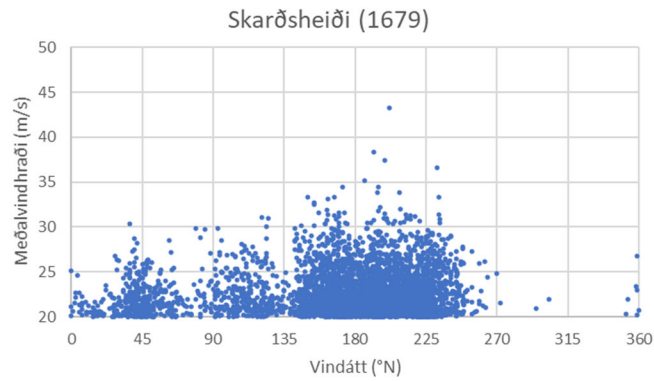
4 Brattabrekka, Kolás og Holtavörðuheiði.

5 Aðeins eitt mæligildi er notað úr hverjum stormi, krafist var að lágmarki 3 daga milli mæligilda.

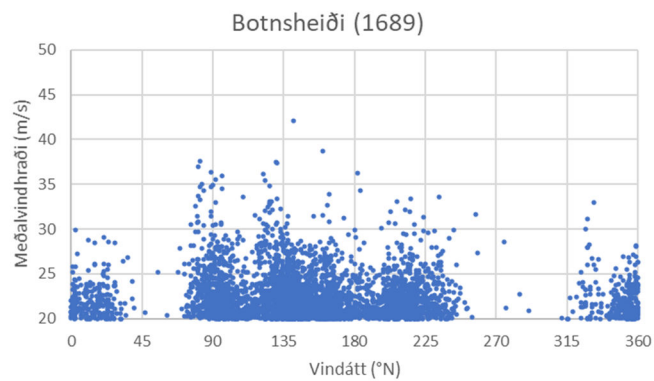
6 Bæði notað POT og árleg hágildi. POT var reiknað með Pareto dreifingu og Exponential dreifingu. Árleg hágildi notuðu almennu Hágildisdreifinguna og Gumbel dreifingu. Nokkrar matsaðferðir voru notaðar við mat á stikum.

7 Einungis lauslegt mat var lagt á gæði mæligagna og hversu mikið vantaði af mælingum.

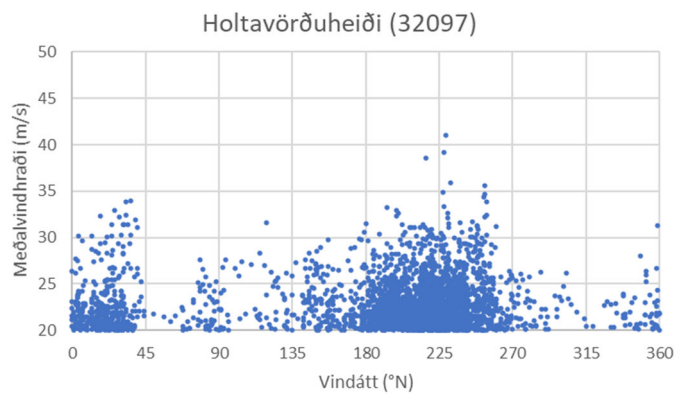




**MYND 12** Mælingar á meðalvindhraða á Skarðsheiði þar sem vindhraði er yfir 20 m/s.



**MYND 13** Mælingar á meðalvindhraða á Botnsheiði þar sem vindhraði er yfir 20 m/s.



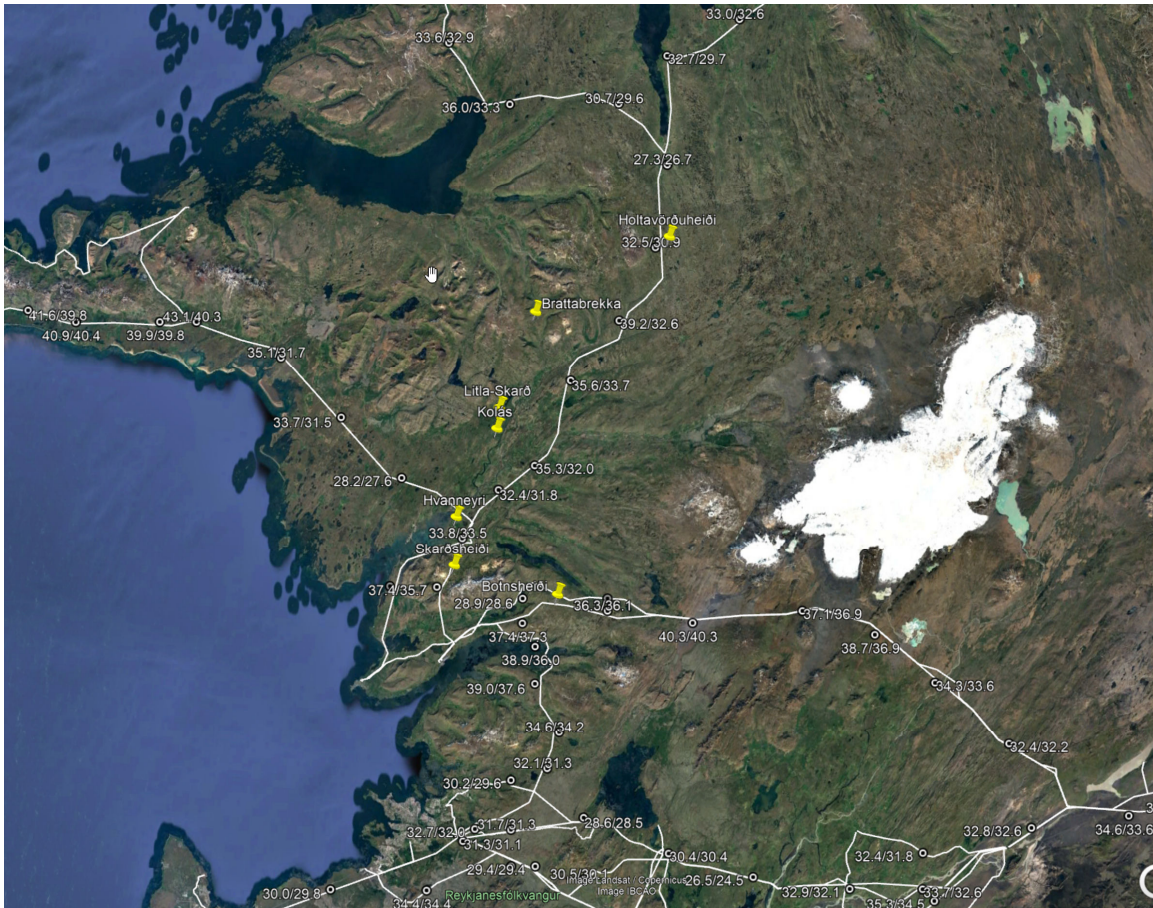
**MYND 14** Mælingar á meðalvindhraða á Holtavörðuheiði þar sem vindhraði er yfir 20 m/s.

Sjá má að:

- Hár vindhraði hefur mælst á Skarðsheiði, Botnsheiði og Holtavörðuheiði.
- Hæsti vindhraði á Skarðsheiði ræðst af landslagi og er frá SSV. Sú stefna er hagstæð fyrir línuna því hún er nær samsíða línu.
- Mjög sterkar hviður mælast á Skarðsheiði og verulega hærrí en á Botnsheiði og Holtavörðuheiði.

## 5.2 Reiknaður vindhraði

WRF veðurgögnin úr ICEbox verkefninu innihalda reiknaðan vindhraða. Mynd 15 sýnir hæsta gildi á reiknuðum vindhraða í hverjum reiknipunkti, fyrra gildið er hæsta gildið en síðara gildið er hæsta gildi þegar búið er að varpa vindhraða þvert á línustefnu. Þessi gildi eru ekki að fullu sambærileg við meðalvindhraða og þarf að kvarða þau því vindur er hér: (1) gildi er í ca. 20 m hæð yfir jörðu, (2) gildi er vindhraði á heilum tíma en ekki hæsta meðalgildi innan klukkustundar, (3) vindur er meðalvindhraði í einni rúmeiningu líkans en ekki í einum punkti.



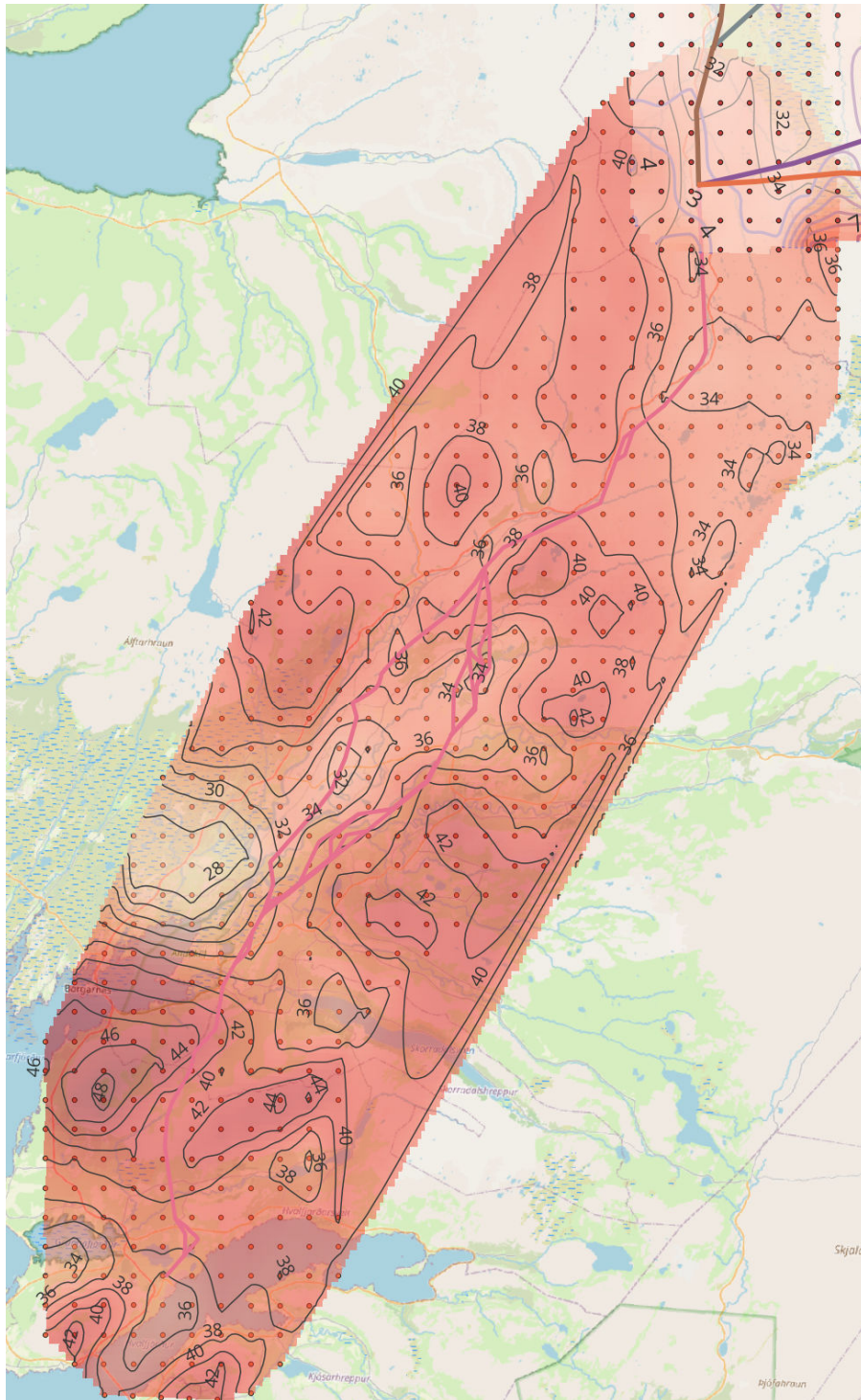
**MYND 15** Hæsti reiknaði vindhraði í WRF gögnum í ICEbox verkefninu á 25 ára tímabili. Fyrra gildið er hæsta gildið en síðara gildið er hæsta gildi þegar búið er að varpa vindhraða þvert á línustefnu.

Sjá má að:

- Reiknaður vindhraði á Holtavörðuhéiði er töluvert lægri en mælingar sýna. Skoða þarf orsakir nánar.
- Vindhraði þvert á línu er yfirleitt nokkuð lægri en hæsti vindhraði því línur hafa hagstæða stefnu gagnvart vindi.
- Vindhraði reiknast hár á Skarðsheiði, upplausn í WRF líkani er hins vegar of gróf fyrir þessar aðstæður.

### 5.3 Reiknaður vindhraði í tengslum við ísingarkort fyrir Ísland

Í verkefni Landsnets við gerð ísingkorts fyrir Ísland, sjá kafla 4.4, er einnig lagt mat á vindhraða. Mynd 16 sýnir frumreikninga á mati á 50 ára meðalvindhraða fyrir línuleið HH1. Gildum þarf að taka með fyrirvara því eftir er að kvarða líkan betur. Gildin ættu hins vegar að vera í ágætu innra samræmi þar sem staðbundin áhrif lands á smærri skala eru hófleg.



**MYND 16** Frummat á 50 ára meðalvindhraða [m/s] m.v. hrýfi hvers staðar. Gildum þarf að taka með fyrirvara og eru líklega nokkuð há, þau ættu hins vegar að sýna ágætt innra samræmi milli staða.

## 5.4 Tillaga að vindálagi

Álagsforsendur fyrir núverandi línu voru settar fram sem vindhviður á bilinu 46-54 m/s ef frá er talin Skarðsheiðin, en þar voru forsendur á bilinu 54-60 m/s, sjá myndir 3 og 4. Reynslan af rekstri línanna hefur verið góð ef undanskilið er brot sem varð á Grjóthálsi sökum vindálags.

Í gildi er íslenskt þjóðarskjal, EN 1991-1-4:2005, sem tilgreinir vindhraðagildi fyrir Ísland. Einungis eitt gildi er gefið fyrir allt Ísland, þ.e.  $V_b=36$  m/s. Hér merkir  $V_b$  grunnvindhraða<sup>8</sup> í 10 m hæð yfir jörðu við yfirborðsgerð II (hrýfi 0,05m). Skortur er á leiðbeiningum hvernig best er að meta hrýfi á Íslandi en það er almennt vart yfir 0,01 til 0,05 m.

Til að bera saman álagsforsendur er best að líta til þess til hvaða hönnunarþrýstings þær leiða.

TAFLA 2 sýnir mismun á hönnunarvindþrýstingi miðað við fyrri álagsforsendur og núverandi gildi í staðli samfara mismunandi vali á yfirborðshrýfi. Sjá má að fyrir hrýfi á bilinu 0,01 til 0,05 m fæst vindþrýstingur sem samsvarar háum forsendum samanborið við eldri álagsforsendur.

**TAFLA 2** Hönnunarvindþrýstingur [kPa] í 10 m hæð yfir jörðu eftir því hvernig álag er skilgreint.

	Álagsforsendur eftir gamla kerfinu, skilgreint sem vindhviður [m/s]								Álagsforsendur í samræmi við EN 1991-1-4:2005 með $V_b = 36$ m/s. Gildi gefin fyrir mismunandi yfirborðsgerð					
	46	48	50	52	54	56	58	60	0 0.003	I 0.01	(I- II) 0.03	II 0.05	III 0.3	IV 1.0
Hönnunar vindþrýstingur [kPa]	1,32	1,44	1,56	1,69	1,82	1,96	2,10	2,25	2,39	2,22	2,00	1,89	1,37	0,94

Það er ekki einfalt að bera mælingar saman við grunngilið í staðli án þess að hafa ákvarðað yfirborðshrýfi vel. TAFLA 3 sýnir fyrir  $V_b=36$  m/s áhrif af vali á yfirborðsflokki á meðalvindhraða og hviðuvind, samkvæmt EN 1991-1-4:2005. Sjá má að meðalvindhraði og hviðuvindur breytist mikið með yfirborðsflokki.

**TAFLA 3** Grunnvindhraði  $V_b=36$  m/s. Áhrif yfirborðsflokks og hrýfis á meðalvindhraða og hviðuvind í 10 m hæð yfir jörðu, samkvæmt EN 1991-1-4:2005.

YFIRBORÐSFLOKKUR	0	I	(I-II)	II	III	IV
Hrýfi $z_0$ [m]	0,003	0,01	0,03	0,05	0,3	1
Meðalvindur [10min.] í 10m hæð [m/s]	45,3	42,0	38,1	36,0	27,0	19,3
Hviðuvindur í 10m hæð [m/s]	61,9	59,6	56,6	54,9	46,8	38,8
Hlutfall hviðuvinds og meðalvinds [10min.]	1,36	1,42	1,48	1,52	1,73	2,01

Samkvæmt grein 4.3.1 í EN 500341-3-12:2012 er heimilt að hanna háspennulínur á Íslandi fyrir lægri vindhraðagildi en tilgreind eru í EN 1991-1-4:2005 svo fremi að þau byggi á hágildismati og staðbundnu mati sérfræðinga. Það er mat höfunda þessarar skýrslu að gildi í þjóðarstaðli séu of há fyrir stóran hluta línunnar. Jafnframt er talið að ekki sé unnt að byggja forsendur of mikið á fyrirbyggjandi mæliniðurstöðum. Því er lagt til að nota ekki lægri gildi en fram koma í gildandi

8 50 ára gildi á meðalvindhraða við yfirborðsgerð II. Gildið inniheldur ekki staðbundin landslagsáhrif.

vindstaðli EN 1991-1-4:2005. Á nokkrum stöðum er valið að hafa hærra grunnildi vindhraða en í þjóðarskjali. Til einföldunar<sup>9</sup> er lagt til að nota sama yfirborðshrýfi á alla línuleiðina,  $z_0 = 0.05$  m.

---

9 Réttara væri að hafa yfirborðshrýfi breytilegt. Líklega er  $z_0=0,03$ m viðeigandi víða og  $z_0=0,02$ m á Skarðsheiði (A4-A6). Vindhraðagildi eru kvörðuð til að gefa áþekkan vindþrýsting og stefnt var að. Það er til einföldunar í hönnunarforritum fyrir línur að hafa einn hrýfisflokk.

## 6 HÖNNUNARFORSENDUR

Töluverðar upplýsingar eru fyrirbyggjandi um veðurálag á háspennulínur á umræddri línuleið.

Þær upplýsingar sem þarf að hafa hliðsjón af við matið eru:

- i) reynsla af rekstri háspennulína á svæðinu,
- ii) beinar mælingar á ísingu og vindi ásamt tölfræðilegri úrvinnslu,
- iii) álagsforsendur á línur sem fyrir eru á svæðinu eða áður voru áætlaðar,
- iv) íslenskur vindstaðall, og
- v) veðurlíkanreikningar í þéttriðnu neti.

Þessi gögn benda ekki öll einhlítt til sömu niðurstöðu og má þá helst benda á að erfitt er að meta hvernig á að meðhöndla upplýsingar um reynslu af rekstri eldri háspennulína án ítarlegrar greiningar á fyrri hönnun, því margt spilar saman, t.d. öryggisstuðlar í hönnun, kröfur um óhappaálag (vírslitsálag) og yfirhönnun mannvirkis:

Mikil framþróun hefur átt sér stað á undanförunum árum varðandi veðurlíkön og möguleika þeirra til að meta ísingaráhleðslu og vindhraða. Landslag sums staðar á línuleiðinni er krefjandi fyrir veðurlíkön og er þörf á mjög þéttriðnu neti. Litið var til niðurstaðna úr tveimur greiningum og náði lengra tímabilið yfir árin 1994–2019 í 2 km x 2 km neti.

Við endanlega ákvörðun um álagsforsendur er hér að nokkru leyti fylgt hefðinni. Einnig er horft til þess að innbyrðis samræmi sé í styrk meginflutningskerfis raforku.

Algengustu tegundir ísingar héraendis eru skýjaísing og slydduísing. Almennt má segja að slydduísingar megi vænta hvar sem er á Íslandi en skýjaísing er einungis í meira en 300 m hæð yfir sjó þar sem undirkældir skýjadropar eru umhverfis línur. Yfirleitt er skýjaísingargólfíð talsvert hærra en 300 m.

Lagt er til að reikna með áhleðslu slydduísingar alls staðar á línuleiðinni, en mismikið eftir línuköflum. Lágmarksísing í slydduísingu er hér sett sem 50 N/m.<sup>10</sup>

Gert er ráð fyrir að skýjaísing geti hlaðist á línuna á tveimur stöðum:

- a) Á Skarðsheiði, hæsta kaflanum, hæð yfir sjó allt að 510 m.
- b) Á Holtavörðuheiði, hæð yfir sjó allt að 350 m.

Gildi mögulegrar skýjaísingar eru ekki metin há og ekki ráðandi fram yfir slydduísingu, meðal annars vegna hagstæðar línustefnu. Því eru ekki sýnd nein gildi í skýjaísingardálki töflunnar. Vænta má að valhopp sé tíðara þar sem skýjaísing getur myndast (sjá „x“ í töflu).

---

10 Færa má rök fyrir því að lágmarksgildi ísingar ætti að vera lægra. Þetta gildi er hins vegar fengið með kvörðun við það sem áður tíðkaðist við hönnun lína hjá Landsvirkjun og byggir á því að lengd álagsvektors í álagstilfellinu vindur og ís sé áþekkur lengd álagsvektors í ísingu.

Í töflu 4 eru settar fram tillögur að álagsforsendum fyrir ísingu og vind á Holtavörðuheidarlínu 1 sem miðast við 2% árlegar líkur (50 ára meðalendurkomutíma).

**TAFLA 4** Mat á álagi fyrir ísingu og vind á Holtavörðuheidarlínu 1, 2% árlegar líkur (50 ára meðalendurkomutími).

ÞVERÁRHLÍÐARLEIÐ, Valkostir A1, B1, B5, B4, C2, D				Grunnildi vindhraða	Yfirborðshryfi lands	Slydduising, grunnildi	Skýjaising, grunnildi	Líkur á tíðu valhoppi
Svæði	Lengd	Hæðarbil	Skýring:	$V_{b,0}$	$Z_0$	$I_{R,slydda}$	$I_{R,skýjaising}$	
Til - frá	[km]	[m.y.s.]		[m/s]	[m/s]	[N/m]	[N/m]	[x]
A1 - A2	1,2	5 - 10	Klafastaðir - Vestra-Katanes	36	0,05	50		
A2 - A3	6,6	5 - 75	Vestra-Katanes - Neðra-Skarð	36	0,05	50		
A3 - A4	1,6	75 - 305	Neðra-Skarð - Neðraskarðsá	36	0,05	50		
A4 - A5	3,1	305 - 510	Neðraskarðsá - Snóksfjall - Leirárdalur	39,5	0,05	80		x
A5 - A6	3,8	370 - 465	Leirárdalur - Skarðsheiðarvegur - Kattarhyggur	39,5	0,05	80		x
A6 - A7	4,2	70 - 405	Kattarhyggur - Innri-Skeljabrekka	36	0,05	60		
A7 - A8	7,6	5 - 70	Innri-Skeljabrekka - Heggstaðir	36	0,05	50		
A8 - A9	18,0	5 - 45	Heggstaðir - Síðumúli	36	0,05	50		
A9 - A10	7,0	40 - 100	Síðumúli - Karlsbrekka	36	0,05	50		
A10 - A11	5,5	55 - 270	Karlsbrekka - Grjótháls - Hafþórsstaðir	39,5	0,05	80		
A11 - A12	12,4	130 - 185	Hafþórsstaðir - Fornihvammur	36	0,05	50		
A12 - A13	8,9	180 - 305	Fornihvammur - Heiðarsporður	36	0,05	60		
A13 - A14	12,0	240 - 345	Heiðarsporður - Tengivirki á Holtavörðuheidi	36	0,05	105		x
<b>HALLARMÚLALEIÐ, Valkostur E</b>								
E1 - E2	3,5	5 - 10	Heggstaðir - Þingnes	36	0,05	50		
E2 - E3	12,8	5 - 70	Þingnes - Höll	36	0,05	50		
E3 - E4	7,1	70 - 205	Höll (Hallarmúli) - Karlsdalur	38	0,05	60		
E4 - A11	6,0	135 - 265	Karlsdalur - Hafþórsstaðir (Grjótháls)	39,5	0,05	80		

Ath. Línan er með tvíleiðara (duplex). Ísingarþungi miðast við hvorn leiðara um sig.  
 Álag miðast við 2% árlegar líkur (50 ára meðalendurkomutíma)  
 $V_{b,0}$  er meðalvindhraði (10 mín.) í 10m hæð yfir jörðu við yfirborðshryfi  $z_0=0,05$  m/s.  
 Gera skal ráð fyrir aukinni tíðni valhoppis á svæðum með skýjaisingu, sjá "x" í dálki til hægri.

Við hönnun línunnar er ástæða til að gera ráð fyrir hættu á valhoppi leiðara á hæstu köflum (yfir 300 m) þar sem skýjaisingar gæti orðið vart, sjá „x“ í töflu. Valhopp getur einnig myndast annars staðar, en líkur á því eru ekki taldar miklar. Valhoppi fylgir gjarnan mikil hreyfing á upphengibúnaði sem leiðir af sér hraðara slit. Mikilvægt er að tekið sé tillit til þessa við hönnun línunnar.

## HEIMILDARLISTI

- [1] Negar Ekrami, "Extreme Wind Analysis over Iceland," Veðurstofa Íslands, 2020.
- [2] W. C. K. J. Skamarock, J. Dudhia, G. D. O., D. M. Barker, M. G. Duda, X. Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers, A description of the advanced research WRF version 3, NCAR: Boulder, 2008.
- [3] L. Makkonen, "Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structures," *Phil. Trans. R. Soc. London*, vol. 358, pp. 2913-2939, 2000.
- [4] L. Makkonen, "Estimation of wet snow accretion on structures," *Cold Reg. Sci. Technol.*, vol. 17, pp. 83-88, 1989.
- [5] Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, "Hönnunargildi vindálags samkvæmt skilgreiningu ENV 1991-2-4," Rb, Reykjavík, 1999.
- [6] Staðlaráð Íslands, "ÍST EN 1191-1-4:2005/NA 2010," Staðlaráð Íslands, Reykjavík, 2010.
- [7] Staðlaráð Íslands, "ÍST EN 50341-1:2012" og NNA fyrir Ísland, „ÍST EN 50341-3-12," Staðlaráð Íslands.
- [8] EFLA og Landsnet, "Kröflulína 3, 220 kV, frá Kröflu að Fljótsdal. Tillaga að hönnunarforsendum fyrir ísingu og vind.," Landsnet, Reykjavík, 2018.
- [9] EFLA og Landsnet, "Háspennulínur til Húsavíkur. Tillaga að hönnunarforsendum fyrir ísingu og vind.," Landsnet, Reykjavík, 2016.
- [10] Raflínunefnd, "Framvinduskýrsla 3 (1977) og síðari skýrslur Raflínunefndar," Raflínunefnd, Reykjavík, 1977.
- [11] Guðrún Nína Petersen, „Veðurhæð í nágrenni fyrirhugaðrar háspennulínu frá Kröflu að Bakka við Húsavík,“ Veðurstofa Íslands, Reykjavík, 2015.
- [12] Guðrún Nína Petersen, „Veðurhæð í nágrenni fyrirhugaðrar háspennulínu frá Kröflu að Fljótsdalsvirkjun, Kröflulína 3,“ Veðurstofa Íslands, Reykjavík, 2016.
- [13] Ólafur Rögnvaldsson og Haraldur Ólafsson, , „Stöðuskýrsla vegna þriðja árs RÁVAndar verkefnisins,“ Rit Reiknistofu í veðurfræði, Reykjavík, 2009.
- [14] Árni Jón Elíasson; Hálf dán Ágústsson; Guðmundur M. Hannesson; Egill Þorsteins, „Modeling wet-snow accretion - Comparison of cylindrical model to field measurements,“ í *IWAIS 2013*, St. John's. Canada, 2013.



- [15] Árni Jón Elíasson; Hálf dán Ágústsson; Guðmundur M. Hannesson; Egill Þorsteins, "Comparison of measured and simulated icing in 28 test spans during a severe icing episode," Uppsala, 2015.
- [16] Árni Jón Elíasson; Hálf dán Ágústsson; Guðmundur M. Hannesson, "Wet snow accumulation - A study of two severe events in complex terrain in Iceland," in *IWAIS 2013*, St. John's, 2013.
- [17] Árni Jón Elíasson; Hálf dán Ágústsson; Guðmundur M. Hannesson, "Wet snow icing - Comparing simulated accretion with observational experience," in *IWAIS 2015*, Uppsala, 2015.
- [18] Nygaard, B. E. K.; Hálf dán Ágústsson; Somfalvi-Tóth, K., "Modeling wet snow accretion on power lines: Improvements to previous methods using 50 years of observations," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 52, no. 10, pp. 2189-2203, 2013.
- [19] G. N. Petersen, "Greining á öfgaveðurhæð frá sjálfvirkum vindmælingum," Veðurstofaa Íslands, Reykjavík, 2015.