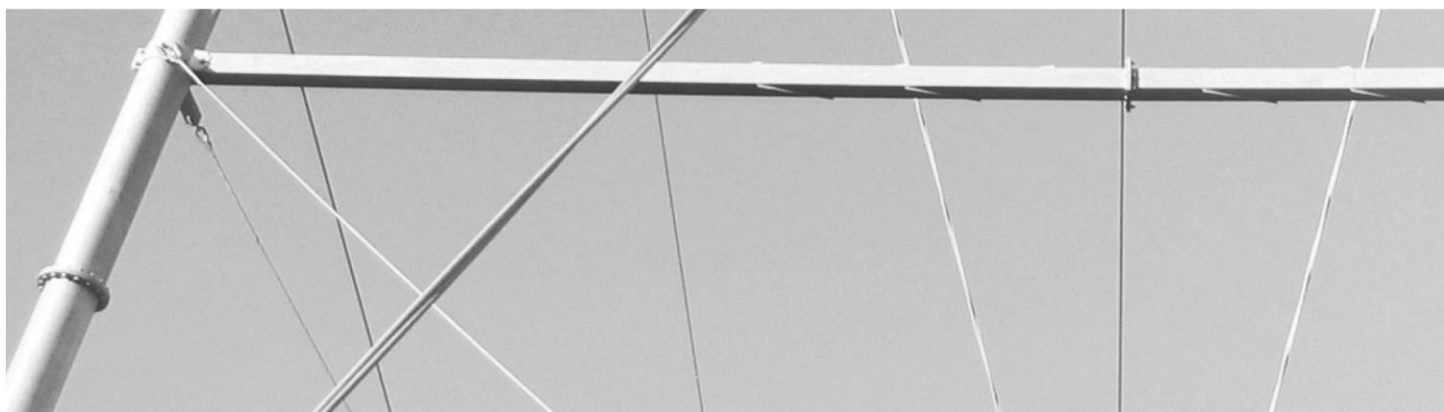




LÍNULEIÐAKOSTIR Í HH3 MEÐ TILLITI TIL NÁTTÚRUVÁR OG ÁREIÐANLEIKA

28.05.2024



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

102651-SKY-001-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

XX / 48

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUÐA

Anna Sigga Lúðvíksdóttir

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Egill Þorsteins

LYKILORÐ

Náttúruvá, Holtavörðuhéiðarlína 3

STAÐA SKÝRSLU

- ☐ Drög
- ☐ Drög til yfirlstrar
- ☐ Lokið

DREIFING

- ☐ Opin
- ☐ Dreifing með leyfi verkkaupa
- ☐ Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Línuleiðakostir í HH3 með tilliti til náttúruvár og áreiðanleika

VERKHEITI

Holtavörðuhéiðarlína 3- Verkhönnun

VERKKAUÐI

Landsnet

HÖFUNDUR

Egill Þorsteins, Sigurjón Páll Ísaksson og Árni Jón Elíasson

ÚTDRÁTTUR

Hér er fjallað um mögulega náttúruvá á þeim valkostum sem eru til skoðunar í umhverfismati á fyrirhugaðri 220 kV Holtavörðuhéiðarlínu 3. Lagt er mat á hvaða náttúruvá er líklegt að bregðast þurfi við í hverjum valkosti og hvaða náttúruvá er líkleg til að geta haft neikvæð áhrif á áreiðanleika valkosta að teknu tilliti til fyrirbyggjandi aðgerða í hönnun, framkvæmd og rekstri. Einnig er lagt mat á aðgengi og viðbragðsmöguleika á hverjum valkosti til að geta brugðist við mögulegri vá eða bilunum

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Egill Þorsteins Sigurjón Páll Ísaksson Árni Jón Eliasson Fyrsta útgáfa eftir rýni	28.05.24	Ragnhildur Gunnarsdóttir Anna Sigga Lúðvíksdóttir Þórarinn Bjarnason	22.04.24	Egill Þorsteins	28.05.24
02						
03						
04						

HUGTAKALISTI

Afhendingaröryggi Lýsing á áreiðanleika afhendingar raforku, sem tengist rofi á raforku.

Áhætta (e. risk) Það tjón sem ákveðin ógn veldur á ákveðnu svæði/yfir ákveðið viðmiðunartímabil vegna samspils tjónmættis og tjónnæmis. Áhættan er samspil á ógn, vörnum og veikleikum. Einnig er tekið tillit til útsetningar.

Áhættumat (e. risk assessment) Heildarferli sem felur í sér að finna, átta sig á og lýsa, og gera sér grein fyrir áhættu. Ákvörðun umfangs og eðlis áhættu eða áhættupátta (afleiðingar og líkur) og samanburður á niðurstöðum við áhættuviðmið til að ákvarða hvort áhættan og/eða umfang hennar sé ásættanlegt eða þolanlegt. Ferli til að meta eðli og umfang.

Áreiðanleiki (e. reliability) Hæfni kerfis eða mannvirkis til að uppfylla tilgreind skilyrði, þar á meðal nýtingartíma hönnunarinnar sem það hefur verið hannað fyrir. Áreiðanleiki er yfirleitt gefinn til kynna með líkindahugtökum.

N-1 kerfi Kerfi sem þolir einfalda truflun án þess að skerða þurfi orkuafhendingu til notenda. Hringtengdir afhendingarstaðir (fleiri en ein lína að afhendingarstað) hafa N-1 afhendingaröryggi.

Ótíltæki Ótíltæki raflína segir til um tímalengd á skertri raforkuafhendingu. Ótíltæki raflína er margfeldi af bilanalíkum og viðgerðatíma.

Tjónmætti (e. damage potential) Flokkun á hversu miklar skemmdir/tjón geta orðið vegna náttúruváratburðar. Byggist á stærð, afli og krafti náttúruváratburðar og hversu mikil líkindi eru á því að hann eigi sér stað, óháð því hvort byggð eða mannvirki séu til staðar. Tjónmætti getur verið háð tilvist varnavirkja, t.d. varnargarða sem bægja flóðum frá byggð.

Tjónnæmi (e. vulnerability) Viðkvæmni/berskjöldun samfélagsins, innviða og kerfa gagnvart tjóni sem hlýst af náttúruhamförum, mæld í prósentum (0–100%). Tjónið getur verið m.a. manntjón, slys, eignatjón og samfélagslegs eðlis. Tjónnæmi er á sama hátt og tjónmætti háð mótvægisáðgerðum, t.d. varnargörðum. Breytingar á skipulagi byggðar og byggingarlagi, viðbragðsáætlanir, viðbúnaður og fræðsla geta líka lækkað tjónnæmi.

Tvíleiðari (e. duplex) Tveir leiðarar fyrir hvern fasa (duplex) í háspennulínu.

Útleysing (e. Outage) Háspennulína leysir út og getur ekki flutt straum.

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	7
2	ÁREIÐANLEIKI HÁSPENNULÍNA	9
2.1	Almennt	9
2.2	Hönnun fyrir náttúruvá og fyrirbyggjandi aðgerðir	10
2.3	Aðgerðir til að bregðast við náttúruvá á rekstartíma	11
3	MAT Á NÁTTÚRUVÁ OG ÁREIÐANLEIKA VALKOSTA Í HH3	13
3.1	Almennt	13
3.2	Náttúruvá fyrir hvern valkost í HH3	15
3.3	Aðgengi að HH3 ef bregðast þarf við náttúruvá á rekstartíma	22
3.3.1	Aðgengi að valkostum A og B	22
3.3.2	Aðgengi að valkosti D	23
3.4	Áhrif þess að hafa aðskildar línugötur fyrir HH3 og byggðalínu	23
4	NIÐURSTÖÐUR	25
5	HEIMILDASKRÁ	27

VIÐAUKI A NÁTTÚRUVÁ OG ÁHRIF Á LOFTLÍNUR

1 INNGANGUR

Landsnet vinnur að undirbúningi nýrrar 220 kV háspennulínu, Holtavörðuheidiarlínu 3 (HH3), milli fyrirhugaðs 220 kV tengivirkis á Holtavörðuheidi og fyrirhugaðs 220 kV tengivirkis við Blöndustöð. Meginmarkmið með byggingu Holtavörðuheidiarlínu 3 er að auka afhendingaröryggi og afhendingargetu á landinu og tryggja að flutningskerfið standi ekki í vegi fyrir atvinnuuppbyggingu og eðlilegri þróun byggða á landinu. Mat á umhverfisáhrifum er í gangi þegar þetta er ritað og nokkrir valkostir eru til skoðunar samannber mynd 1, og hefur ekki enn verið endanlega gert upp á milli þeirra.



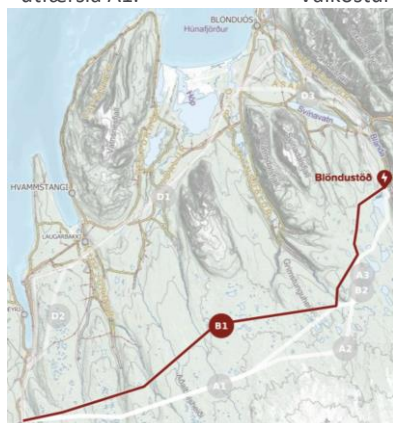
Valkostur A – útfærsla A1.



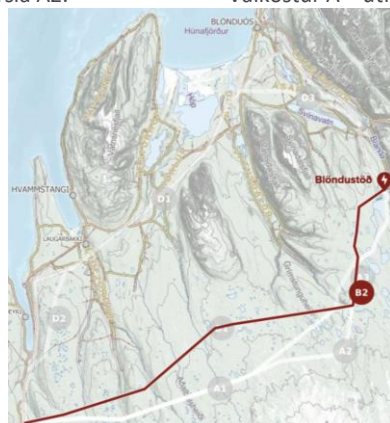
Valkostur A – útfærsla A2.



Valkostur A – útfærsla A3.



Valkostur B – útfærsla B1.



Valkostur B – útfærsla B2.



Valkostur D – útfærsla D1.



Valkostur D – útfærsla D2.



Valkostur D – útfærsla D3.

Mynd 1: Holtavörðuheidiarlína 3, valkostir og útfærslur sem eru til skoðunar.

Í þessari greinargerð er fjallað um náttúruvá sem getur haft áhrif á rekstraröryggi loftlína. Lagt er mat á hvort váginn er til staðar á línuleið HH3 og hvort hún sé mismikil milli valkosta. Um er að ræða frummat á náttúruvánni sem byggir á fyrirbyggjandi gögnum. Ítarlegar sérfræðigreiningar á einstökum þáttum eru ekki fyrirbyggjandi en höfundar hafa þó undir höndum fyrstu drög af stærðarmati á ísingarálagi. Fyrir liggur að greinargerðin um ísingar- og vindálag verður samkvæmt venju fullgerð áður kemur að fullnaðarhönnun. Vera kann að þörf verði talin á öðrum sérfræðigreiningum á náttúruvá fyrir HH3.

Náttúruvá er fjölþætt að eðli og umfangi og hefur mismunandi áhrif á áreiðanleika loftlína. Þegar váginn er vel þekkt og stærðargerð á hönnunarstigi er oft unnt að bregðast við og hanna loftlínuna til að standast áraunina og eða staðsetja möstur þar sem váginn er minni. Sum vágur er þó þess eðlis að erfitt er hanna fyrir ítrustu áraun ef ekki er unnt að staðsetja mannvirkin utan mestu hættusvæða eða með varnarmarkum til að mæta t.d. stærri aurskriðum, hraunrennsli eða aftaka snjóflóðum. Aðgengi að mannvirki þegar vágur hefur raungerst hefur áhrif á viðbragðsmöguleika og tímalengd mögulegs straumleysis. Til að geta brugðist hratt við stórum sem smáum bilunum er mikilvægt að hafa gott aðgengi að mannvirkinu á rekstrartíma til að lágmarka mögulegan viðgerðartíma.

Þær spurningar sem leitað er svara við eru:

- Hvaða náttúruvá er líklegt að bregðast þurfi við í hverjum valkosti HH3, þ.e. aðgerðir í hönnun, framkvæmd og rekstri.
- Hvaða náttúruvá er líkleg til að geta haft neikvæð áhrif á áreiðanleika valkosta í HH3 að teknu tilliti til fyrirbyggjandi aðgerða í hönnun, framkvæmd og rekstri.
- Leggja mat á aðgengi og viðbragðsmöguleika á hverjum valkosti til að geta brugðist við mögulegri vág eða bilunum.
- Leggja mat á hvort meira afhendingaröryggi raforku fáiast ef HH3 er höfð fjarri núverandi 132 kV byggðalínu sökum þess að þá sé síður líklegt að náttúruvá valdi því að báðar línur geti farið samtímis úr rekstri.

2 ÁREIÐANLEIKI HÁSPENNULÍNA

2.1 Almennt

Náttúruvá hefur oft haft áhrif á rekstraröryggi loftlína á Íslandi sem og erlendis. Á Íslandi hafa mest áhrif verið af völdum ísingar og vinds. Það álag getur verið mjög breytilegt eftir aðstæðum og undanfarna áratugi hefur það verið metið sérstaklega fyrir hverja háspennulínu (≥ 132 kV) sem hefur verið byggð á Íslandi. Margvísleg önnur vá getur einnig haft áhrif á rekstraröryggi loftlína. Háspennulínur fara oft um krefjandi landsvæði þar sem ekki er reynsla af öðrum mannvirkjum og þarf þá að leggja mat á staðbundna vá. Í viðauka A er eftir fjallað almennt um þá vá sem getur haft áhrif á rekstraröryggið.

Flestar bilanir og brot á loftlínunum hér á landi hafa verið á tréstaurlínunum og einkum á spennustigi ≤ 132 kV. Loftlínur á Íslandi sem eru á 220 kV spennu eru flestar stálmastralínur og yfirleitt sterkbyggðari. Þær hafa þó í nokkrum tilfellum orðið fyrir alvarlegum skaða, sjá dæmi um mastrabrot í stálmastralínunum í töflu 1. Flestar bilanir í töflu 1 eru á eldri háspennulínunum og voru sumar þeirra hannaðar samkvæmt erlendum álagsforsendum fyrir ísingu og vind og vanmátu aðstæður hér á landi. Háspennulínur hannaðar eftir 1985 hafa ekki orðið fyrir alvarlegu tjóni þar sem mastur hefur fallið. Hins vegar hafa orðið smærri bilanir á þeim þar sem búnaður, gjarnan upphengibúnaður eða einangrar, hefur gefið sig sökum þreytuáraunar og samsláttar leiðara.

Tafla 1. Mastrabrot í 132kV & 220 kV stálmastralínunum á Íslandi. Merkt er með „X“ ef staðfest er að vindur, ísing eða öldrun var mikill áhrifavaldur í orsök brots.

Háspennulína	Spenna [kV]	Dags.	Vindur	Ísing	Öldrun	Bilun og orsök
Búrfellslína 1	220	15.11.1970	X			Við Skarð á Landi, mastur nr. 38 hrundi, 35 m hátt, engin ísing.
Búrfellslína 1	220	21.12.1972	X			Á vesturbakka Hvítár, hjá Hömrum í Grímsnesi, mastur nr. 101 féll, síðar skipt um nr. 100 á austurbakka.
Búrfellslína 2	220	21.12.1972	?			Neðan við Heiði í Holtum, mastur 111. Undirstaða gaf sig áður en línan var kláruð og seig löpp niður í mýri.
Búrfellslína 1	220	24.09.1973	X	?		Tvö möstur féllu, annað nr. 2 við Búrfell, hitt í Grafningi (Sogslína 3, mastur nr. 28).
Búrfellslína 1	220	10.03.1976	X	?		Á suðurbakka Þjórsár, NV af Skarði á Landi, mastur nr. 15 féll og tveir leiðarar slitnuðu. Síðar skipt um nr. 14.
Brennimelslína 1	220	14.03.1980	X	X		Þrándarstaðafjall við Brynjudal, vírslit milli mastra 100 og 101, lítilsháttar sveigja á stöngum í brú, ísing.
Sigöldulína 3	220	14.03.1980	X	X		Við Sigöldu, ísing, vírslit milli mastra 2 og 3, stangir í möstrum bognuðu lítið eitt.
Sultartangalína 1	220	02.04.1984	X	X		Við Hlöðufell, ísing, tveir leiðarar sigu niður undir jörð, brunaskemmdir á þeim, járn bognuðu í brúm beggja vegna við bilunarstaðinn.
Hrútatungulína 1	132	16.12.1986	X			Á Grjóthálsi, fjögur möstur, nr. 172, 173, 176 og 177, féllu í ofsavæðri, reistar 6 tréstaðar í staðinn. Ekki talið að um ísingu hafi verið að ræða í tilvikinu.
Búrfellslína 1	220	03.02.1991	X			Ofan við bæinn Skarð í Gnúpverjahreppi, mastur nr. 67 hrundi, en leiðarar slitnuðu ekki, vindálag.
Brennimelslína 1	220	03.02.1991	X	X		Þrándarstaðafjall við Brynjudal, vírslit, mastur nr. 101 brotnaði, hornmastur nr. 103 skemmdist, ísing.
Kröflulína 2	132	05.01.1994	X	X		Á Hallormsstaðahálsi (nú Fljótsdalslína 2), mastur nr. 1128, miðfasi féll í klof mastursins og beygði stangir, ísing að falla af. Mikið ísingarsvæði.
Búrfellslína 2	220	06.03.1997	X	(x)	X	Við Laugardæli austan Selfoss, mastur nr. 155 féll, þegar framlenging á stagteini gaf sig, lítils háttar ísing.
Brennimelslína 1	220	13.12.2007	X		X	Þyrilsnes, mastur nr. 115 féll, stag dróst úr vefju, ekki ísing.
Brennimelslína 1	220	01.01.2022	X		X	Mastur 134 féll þegar stagteinn gaf sig.



Mynd 2: 66 kV Dalvíkurlína 1, 31 tréstaumastur brotnuðu í ísingarveðrinu 10.–11. des. 2019.



Mynd 3: 220 kV Brennimelslína 1, brot á Þrándarstaðafjalli í Hvalfirði 3. febrúar 1991.

2.2 Hönnun fyrir náttúruvá og fyrirbyggjandi aðgerðir

Á undirbúningsstigi framkvæmda er náttúruvá metin og stærðargerð eftir því sem þörf er talin hverju sinni. Reynslan sýnir að breytileiki í álagi af völdum ísingar og vinds er mikill og oft innan afmarkaðs svæðis. Þannig getur línustefnan ein og sér haft afgerandi áhrif á hvort lína liggi vel eða illa gagnvart ráðandi ísingarátt. Af þessum völdum hefur ísingarálag og vindhraði verið metinn sérstaklega fyrir allar háspennulínur (≥ 132 kV) á Íslandi síðustu áratugina og álag yfirleitt sett í nokkra álagsflokka í hverri línu. Þessi gögn eru hluti af forsendum fyrir endanlega útboðshönnun háspennulína. Sérfræðiskýrslur eru einnig gerðar þegar umtalsverð vá er talin stafa af öðrum þáttum, t.d. snjóflóðum, flóðum, skriðum og hraunrennsli.

Við hönnun loftlína er farið eftir gildandi stöðlum sem eru í dag EN 50341-1:2012 og þjóðarviðauki fyrir Ísland EN 50341-2-12:2016. Þrír áreiðanleikaflokkar eru skilgreindir í staðli. Við mat á álagi af völdum vinds og ísingar er gengið út frá að álag hafi 50 ára meðal endurkomutíma (áreiðanleikaflokkur 1), en samkvæmt ákvæðum staðalsins um meðhöndlun áreiðanleikaflokkunar uppreiknast meðalendurkomutíminn fyrir áreiðanleikaflokka 2 og 3. Í tilviki HH3 ber að nota áreiðanleikaflokk 3 en hann samsvarar því að hanna þarf fyrir álagi sem hefur 500 ára meðalendurkomutíma.

Almennt er hægt að hanna loftlínur nógu sterkar gagnvart ísingu og vindi með því að hafa möstur og búnað sterkari og fjölga möstrum. Hægt er að hanna möstur til að standast hófleg snjóflóð, skriður og flóð. Yfirleitt er þó reynt að staðsetja möstur svo þau verði fyrir lágmarks áraun. Á útsettum stöðum fyrir skýjaísingu getur verið erfitt að fyrirbyggja allar smærri bilanir og útleysingar t.d. af völdum valhoppa.

Háspennulínur eru eins og keðja að því leiti að mannvirkið er ekki sterkara en veikasti hlekkurinn. Af þessum sökum hefur fjöldi mastra áhrif á áreiðanleikann. Ef loftlína verður fyrir tjóni getur skapast hætta á keðjuverkandi hruni margra mastra. Sérstakar ráðstafanir¹ eru gerðar í hönnun og möstur

¹ Burðarmöstur hönnuð fyrir óhappaálagi og sterk afspennit möstur sett með reglulegu millibili.

hönnuð gagnvart því að takmarka keðjuverkandi tjón þannig að tjón sem verður er að jafnaði staðbundið við tjónstað.

Atvik á háspennulínunum sem leiða til straumleysis eða annars tjóns geta verið margvísleg. Landsnet flokkar atvik eftir kerfisáhrifum og rekstrartruflunum í raforkukerfinu, notuð eru fjögur stig sem byggja að hluta til á lista samtaka evrópskra flutningsfyrirtækja, ENTSO-E4, „Incident classification scale“. Stigin eru: 0-Minniháttar atburður, 1-Umfangsminni atburður, 2-Umfangsmiklir atburður og 3-Mjög alvarlegir atburður

Flokkun Landsnets tekur til heildaráhrifa á raforkukerfið og þar spilar inn uppbygging og lestun á kerfinu. Sú flokkun er því óheppileg þegar fjallað er um einstaka framkvæmd eins og hér. Tafla 2 sýnir annað dæmi um flokkunarkerfi á atvikum sem er heppilegri hér. Miðað við þetta flokkunarkerfi er reynslan á Íslandi að stálmastralínur hafa vart lent í atvikum yfir stigi 3, sjá tilvik í töflu 1. Tréstaurlínur á Íslandi á spennustiginu ≤ 132 kV hafa hins vegar oft lent í atvikum á stigi 4 og 5 af völdum ísingar samfara vindi.

Tafla 2. Dæmi um flokkun á alvarleika atvika í rekstri loftlína.²

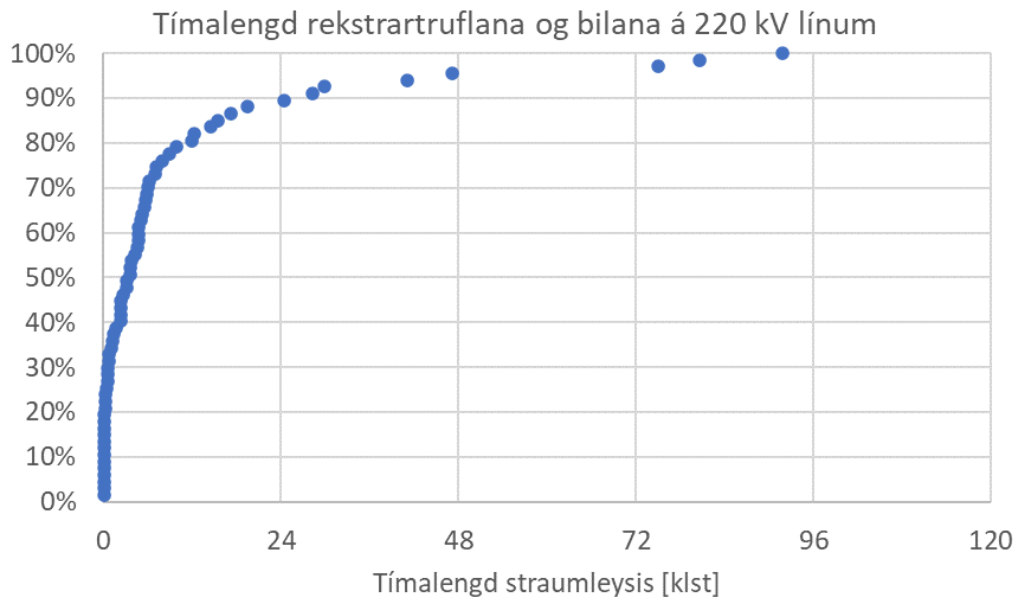
ATVIKS-STIG	STUTT LÝSING	LÝSING	AÐGERÐAÞÖRF	DÆMI UM BILUN
0	Varúðarstig	Viðbúnaðarstig, aðstæður gætu leitt til bilunar	Ekki þörf á aðgerðum.	Engin bilun
1	Minniháttar	Staðbundin bilun, lítið flækjustig	Unnt að setja línu inn án aðgerða í mörkinni.	Elding, valhopp, vindur, innri- eða ytri yfirláttur. Varir í skamma stund, mest í fáeinir klukkustundir.
2	Miðlungs	Staðbundin bilun, nokkuð flækjustig	Nauðsynlegt að fara á staðinn og lagfæra búnað sem skemmdist.	Búnaður gefur sig, t.d. einangri, tengibúnaður, leiðari skemmdur, stög/stagbúnaður eða staðbundin skemmd í mastri, t.d. stangir í brú.
3	Alvarleg	Staðbundin bilun, töluvert flækjustig	Nauðsynlegt að fara á staðinn og með töluverðan búnað og efni.	Mastur fallið eða flóknari viðgerð á búnaði.
4	Meiriháttar	Viðtæk stærri bilun	Nauðsynlegt að fara á staðinn og með mikinn búnað og efni. Gæti þurft að fara í aðstöðusköpun við að setja upp vinnubúðir.	Fleiri en eitt burðarmastur fallið á sama svæði eða afspennt mastur fallið.
5	Stóralvarleg	Margföld stærri bilun, hátt flækjustig	Fara þarf á bilanastað með mikinn búnað og efni. Þörf á verktökum til aðstoðar. Gæti þurft að setja upp bráðabirgðalínu ef koma þarf straumi á. Gæti þurft að fara í mikla aðstöðusköpun við að setja upp vinnubúðir.	Mörg möstur fallin og jafnvel á nokkrum stöðum. Keðjuverkandi hrun.

2.3 Aðgerðir til að bregðast við náttúruvá á rekstrartíma

Landsnet vaktar og hefur virkt eftirlit með helstu náttúruvá sem getur framkallað bilanir og rekstrartruflanir. Þar má nefna mælibúnað sem vaktar veðurfarslegt álag á línur, alls eru 37 möstur með slíkan mælibúnað og fjögur möstur með myndavélabúnað sem sendir upplýsingar á miðlægan stað til þess að unnt sé að fylgjast með. Veðurspár sem geta leitt til stærri atburða eru einnig vaktaðar og viðbragðsáætlun virkjuð eftir þörfum. Búnaður, mannskapur og viðgerðarefni er tiltækt á lager Landsnets til að bregðast við þegar þörf er á. Sem dæmi um fyrirbyggjandi aðgerðir á rekstrartíma má nefna: Að berja ísingu af leiðurum, hreinsa seltu og byggja varnargarða.

² Lausleg þýðing á flokkunarkerfi sem unnið var af höfundum í sambandi við áhættugreiningu á mjög mikilvægri 1.100 km langri línu með ~3.600 möstrum á Nýfundnalandi og Labrador.

Landsnet hefur fengist við bilanir af margskonar náttúruvá. Viðgerðartími í tilfelli hefðbundinna bilana á loftlínunum er nokkuð vel þekktur og er yfirleitt á bilinu nokkrar klukkustundir upp í nokkra daga eftir umfangi bilunar. Mynd 4 sýnir tímalengd straumleysis í truflunum/bilunum á 220 kV línunum Landsnets á árabílinu 2000 – 2023. Að meðaltali er tímalengd straumleysis tæpar 10 klukkustundir á tímabilinu fyrir 220 kV loftlínur Landsnets línur. Í 50% tilvika er tímalengdin undir 3,5 klst., í 90% tilvika er tímalengdin undir einum degi og í átta tilvikum er tímalengdin milli 1 til 4 dagar.



Mynd 4: Tímalengd straumleysis í truflunum/bilunum á 220 kV línunum Landsnets á árunum 2000-2023.

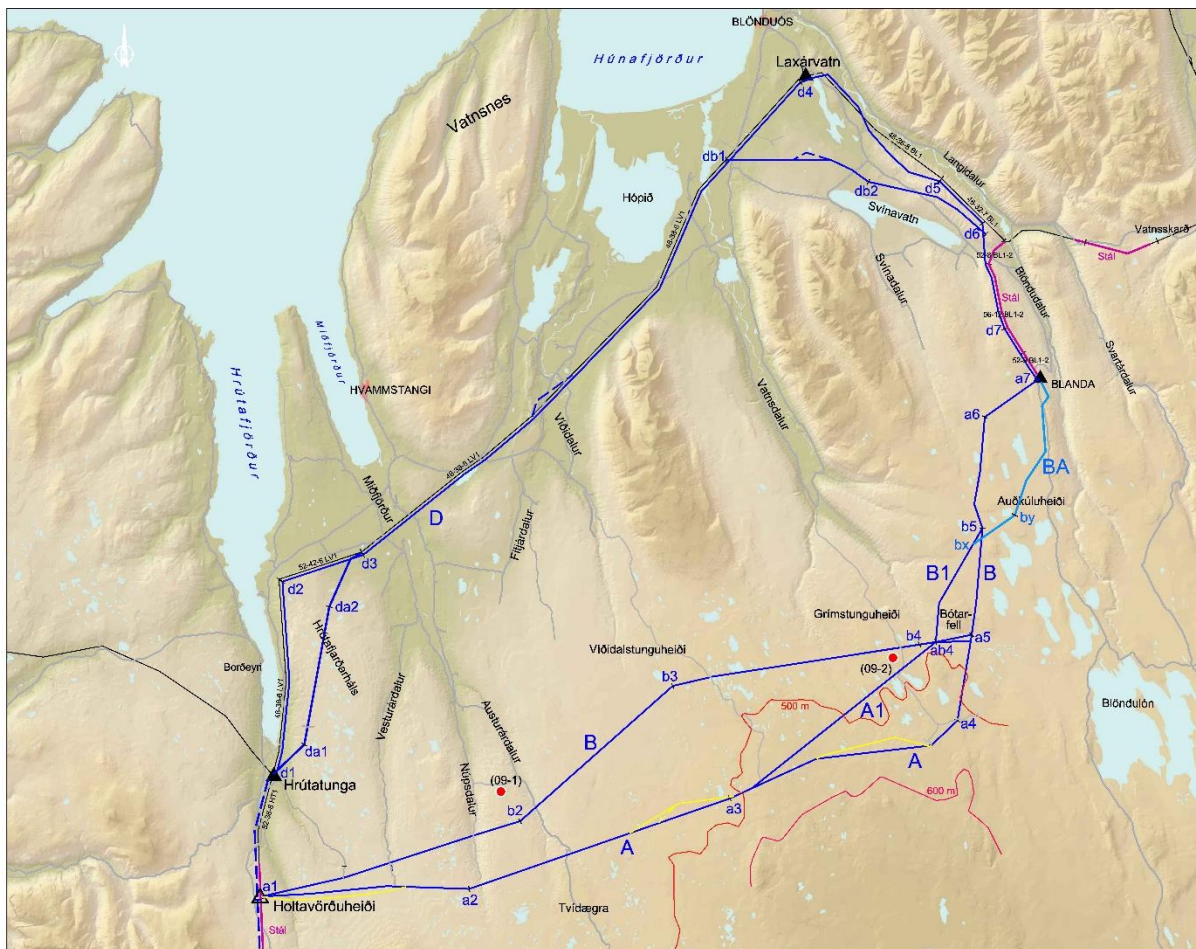
Sem dæmi um bilun má nefna að í miklu hvassviðri árið 2007 varð bilun á 220 kV Brennimelslínu 1, í Þyrilsnesi í Hvalfirði, þegar mastur féll og skemmdist. Reisa þurfti nýtt mastur og tók viðgerð um 30 klst.

3 MAT Á NÁTTÚRUVÁ OG ÁREIÐANLEIKA VALKOSTA Í HH3

3.1 Almenn

Þrír megin valkostir eru til skoðunar í Holtavörðulínu 3: A, B og D og hver valkostur hefur nokkrar staðbundnar útfærslur. Mynd 5 og tafla 3 sýna uppbrot á hverjum valkosti í undirkafla eftir línustefnu og aðstæðum, lengd hvers undirkafla og hæðarbil yfir sjó er birt í töflunni.

Hæsta landhæð yfir sjó fyrir valkostina er: A ~ 575 m, B ~ 500 m og D ~ 410 m.



Mynd 5: Holtavörðuheiðarlína 3 (HH3), valkostir til skoðunar. Hver valkostur er brotinn upp í nokkra undirkafla eftir línustefnu og aðstæðum.

Tafla 3: Valkostir í HH3 skipt í undirkafli.

Svæði Til - frá	Lengd [km]	Hæðarbil [m.y.s.]	Skýring:
VALKOSTUR A, UM HEIÐAR (SYÐSTA LEIÐ)			
a1 - a2	16.1	105 - 360	Tengivirki á Holtavörðuheiði - Núpsdalur
a2 - a3	21.3	265 - 490	Núpsdalur - Víðidalstunguheiði
Sjá útfærslu A1 og A2 varðandi framhald			
a5 - a5	8.3	430 - 455	Vatnsdalsá - Úlfkelsvatn
a5 - a6	8.7	415 - 470	Úlfkelsvatn - NV Gilsvatns
a6 - a7	5.2	355 - 430	NV Gilsvatns - Blöndustöð
Útfærsla A1, milli A og B			
a3 - ab4	20.0	465 - 565	Víðidalstunguheiði - Þrístikla
ab4-a5			
Útfærsla A2, syðsta leið			
a3 - a4	19.1	490 - 575	Víðidalstunguheiði - Galtarvatn
a4 - a5	6.7	430 - 550	Galtarvatn - Vatnsdalsá
Útfærsla A3, (BA) næst Blöndustöð			
bx - by	3.9	445 - 465	Úlfkelsvatn - Deildartjörn
by - a7	11.2	365 - 460	Deildartjörn - Blöndustöð
VALKOSTUR B, UM HEIÐAR (MIÐLEIÐ)			
a1 - b2	20.8	100 - 370	Tengivirki á Holtavörðuheiði - Austurárdalsháls
b2 - b3	15.7	225 - 425	Austurárdalsháls - Víðidalstunguheiði
b3 - b4	19.3	425 - 500	Víðidalstunguheiði - Þrístikla (vatn)
b4 - a5	4.1	430 - 485	Þrístikla - Vatnsdalsá
Útfærsla B1, norðan Bótarfells			
b4 - b5	10.4	420 - 475	Þrístikla - Úlfkelsvatn
VALKOSTUR D, BYGGÐALEIÐ (NYRSTA LEIÐ)			
a1 - d1	9.4	10 - 240	Tengivirki á Holtavörðuheiði - Hrútatunga
d1 - d2	15.3	5 - 165	Hrútatunga - horn utan Reykja
d2 - d3	6.7	85 - 165	Horn utan Reykja - Reynhólar
d3 - d3a	16.8	7 - 140	Reynhólar - Víðihlíð
d3a - d3b	13.9	30 - 125	Víðihlíð - Gljúfurá
d3b - d4	19.6	5 - 95	Gljúfurá - horn við Laxárvatn
d4 - d5	14.3	75 - 225	Horn við Laxárvatn - horn við Ása
d5 - d6	4.7	220 - 245	Ásar - Tungunes
d6 - d7	8.4	175 - 410	Tungunes - Stóradalsháls
d7 - a7	4.7	340 - 400	Stóradalsháls - Blöndustöð
Útfærsla D2. Hrútafjarðarháls			
d1 - da1	3.3	5 - 215	Hrútatunga - horn ofan Brandagils
da1 - da2	10.8	185 - 305	Horn ofan Brandagils - horn yst á Hálsi
da2 - d3	5.1	100 - 185	Horn yst á Hálsi - Reynhólar
Útfærsla D3. Svínavatnsleið			
db1 - db2	11.4	10 - 160	Akur - Tindar
db2 - d6	10.2	135 - 335	Tindar - Sólheimaháls

3.2 Náttúruvá fyrir hvern valkost í HH3

Meðfylgjandi er mat á náttúruvá og áreiðanleika valkosta A, B og D í HH3, sjá töflu 6. Matið á náttúruvá byggir á flokkunarkerfi í töflu 4. Eins og áður hefur komið fram er unnt að bregðast við náttúruvá við hönnun og lágmarka áhrif hennar á rekstraröryggi loftlínunnar. Það er m.a. gert með því að styrkja möstur og búnað og fjölga möstrum. Þau áhrif eru innifalin í kostnaði og stærðarmati á umhverfisþáttum í matsskýrslu. Matskerfið fyrir hlutfallslegan áreiðanleika þegar búið er að taka tillit til aðgerða í hönnun, byggir á töflu 5. Í töflu 5 er lauslegt mat á umfangi stærri bilana og minni truflana þar sem minni truflanir eru atviksstig 0-2 en stærri bilanari eru atviksstig 3-5.

Varðandi lýsingu á eðli og umfang hvers vápáttar vísast í Viðauka A þar sem fjallað er almennt um hverja náttúruvá, og sýnd dæmi um hvað getur gerst og hve auðvelt er að bregðast við vá í hönnun.

Um er að ræða frummat á hættu í stærri skala sem hefur að markmiði að draga fram mun á náttúruvá milli valkosta sem unnið er með í umhverfismati HH3. Matið er unnið út frá fyrirbyggjandi gögnum, rannsóknnum og rekstrarreynslu lína við sambærilegar aðstæður. Ítarleg skoðun á hverju mastursstæði í mörkinni er seinni tíma verk þegar búið er að þroska aðalvalkost betur og staðsetja möstur með meiri nákvæmni. Þá má meta og stærðargera hættur og hönnunarálag af meiri nákvæmni.

Tafla 4: Flokkun á náttúruvá.

Flokkur	Stutt lýsing á vá	Lýsing
1	Lítill	Óveruleg vá.
2	Nokkur	Taka þarf mið af vá í hönnun og rekstri. Leysanlegt með réttum aðgerðum.
3	Talsverð	Töluvert íþyngjandi vá. Unnt er að hanna mannvirki fyrir vá og tryggja rekstraröryggi á viðunandi hátt.
4	Mikil	Mjög íþyngjandi vá. Unnt er að hanna mannvirki fyrir vá en mögulega geta orðið rekstrartruflanir vegna smærri atvika sem ekki er hægt að fyrirbyggja með öllu.
5	Mjög mikil	Veruleg vá sem þarf að taka mið af í hönnun. Óvíst hvort unnt sé að útfæra mannvirki til að standast ítrustu vá.

Tafla 5: Flokkun á áreiðanleika.

Flokkur	Stutt lýsing á áreiðanleika	Lýsing
1	Mikill	Óverulegar líkur á stærri bilunum og litlar líkur á minni truflunum.
2	Meðal	Litlar líkur á stærri bilunum en einhverjar líkur á minni truflunum.
3	Undir meðallagi	Nokkrar líkur á stærri bilunum og einnig nokkrar líkur á minni truflunum.
4	Lítill	Miklar líkur á stærri truflunum. Einnig geta verið miklar líkur á minni truflunum en þarf þó ekki að vera. T.d. snjóflóðahætta.

Tafla 6: Náttúruvá á valkostum (A, B og D) sem getur þurft að bregðast við og getur haft áhrif á áreiðanleika mannvirkis.

Náttúruvá	Mat á náttúruvá valkosta			Mat á áreiðanleika að teknu tilliti til hönnunar		
	A	B	D	A	B	D
Slydduísing (með/án vinds)	2	2	3	2	2	2
Skýjaising (með/án vinds)	3	2	2	2	2	1
Frostregn (með/án vinds)	1	1	1	1	1	1
Mikill vindur	2	2	3	2	2	2
Snjóflóð	1	1	1	1	1	1
Krapaflóð	1	1	1	1	1	1
Snjódýpi	1	1	1	1	1	1
Snjósíg / snjósCRIð	1	1	1	1	1	1
Hraunrennsli	1	1	1	1	1	1
Öskufall	1	1	1	1	1	1
Flóð tengd eldsumbrotum	1	1	1	1	1	1
Jarðskjálftar	1	1	1	1	1	1
Höggunarhreyfingar	1	1	1	1	1	1
Skriður - berghlaup	1	1	1	1	1	1
Skriður - aurskriður	1	1	1	1	1	1
Flóð í ám og ísruðningur	1	1	1	1	1	1
Sjávarflóð, sjávarrof	1	1	1	1	1	1
Selta	1	1	2	1	1	2
Eldingar	2	2	2	2	2	2
Skógareldur	1	1	1	1	1	1
Trjágróður	1	1	1	1	1	1
Sífreri -bráðnun	1	1	1	1	1	1
Frostlyfting	1	1	1	1	1	1
Landbrot	1	1	1	1	1	1
Tæring	1	1	1	1	1	1
Valhopp á leiðurum	2	1	1	2	1	1
Nálæg mannvirki	1	1	1	1	1	1

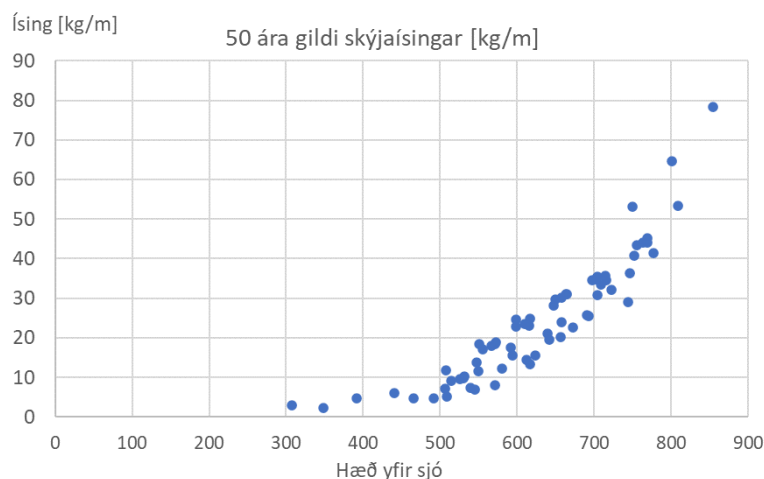
* í valkosti A er gerður greinarmunur á því hvort farin er útfærsla A1 eða A2 og því eru tvö gildi gefin á náttúruvá varðandi skýjaisingu og valhopp.

Slydduísing:

Ísing er þekkt á núverandi byggðalínu á kaflanum frá Hrútafjarðarhálsi og austur fyrir Miðfjarðará (án bilana). Einnig á kaflanum frá Laxárvatni að Blöndudal, þar sem nokkrar stæður hafa brotnað, einkum innan við bæinn Ása. Gert er ráð fyrir að á línuleiðum HH3 megi alls staðar búast við slydduísingu, en hún sé breytileg eftir svæðum. Í fyrirbyggjandi drögum að álagsforsendum fyrir HH3 er slydduísing með 50 ára meðalendurkomutíma metin á bilinu 50-105 N/m á línuleiðinni, misjafnt eftir köflum.

Skýjaísing:

Skýjaísing eykst almennt með hæð yfir sjó og hve útsett mannvirki eru fyrir skýjaáttum, sjá nánar á mynd 13 í viðauka A. Á línuleiðum Holtavörðuheidiarlínu 3 er skýjaísingar helst að vænta í norðlægum áttum og á þeim svæðum, sem fara hæst yfir sjávarmál. Landsnet hefur frá 2009 rekið tvær tilraunalínur á fyrirhugaðri línuleið HH3. Önnur er á Austurárdalshálsi inn af Miðfirði, í 360 m hæð yfir sjó, hin á Grímsstunguheiði í 501 m hæð. Báðar snúa nokkuð þvert á norðan- eða NNV-átt. Á þeim tæplega 15 árum sem línurnar hafa verið í rekstri hefur ekki komið mikið ísingarálag á þær. Landsnet hefur látið reikna skýjaísingu á hluta línuleiðar og þar kemur fram að líkur á skýjaísingu aukast verulega þar sem ský eiga greiðan aðgang að línu (sjá mynd 13 í viðauka A) og farið er yfir 500 m hæð yfir sjó, sjá mynd 6.



Mynd 6: Mat á áhrifum hæðar yfir sjó á 50 ára ísingþunga skýjaísingar (kg/m) á línuleið HH3 3 nærri Grímsstunguheiði. Reiknað með ísingarlíkani og veðurgögnum úr endurgreiningu frá tímabilinu 1991-2022. Sjá nánari umfjöllun í heimild [1].

Nokkur óvissa er um hversu mikil skýjaísing getur myndast á valkostum A og B. Valkostur A er helst útsettur fyrir skýjaísingu sökum landhæðar og staðhátta, útfærsla A1 er metin töluvert betri en útfærsla A2 því leið A2 er almennt í meiri landhæð og er opnari fyrir skýjaísingu. Valkostur D er ekki útsettur fyrir skýjaísingu.

Ný lína verður hönnuð þannig að hún þoli þá slydduísingu og skýjaísingu sem gert verður ráð fyrir í álagsforsendum.

Frostregn:

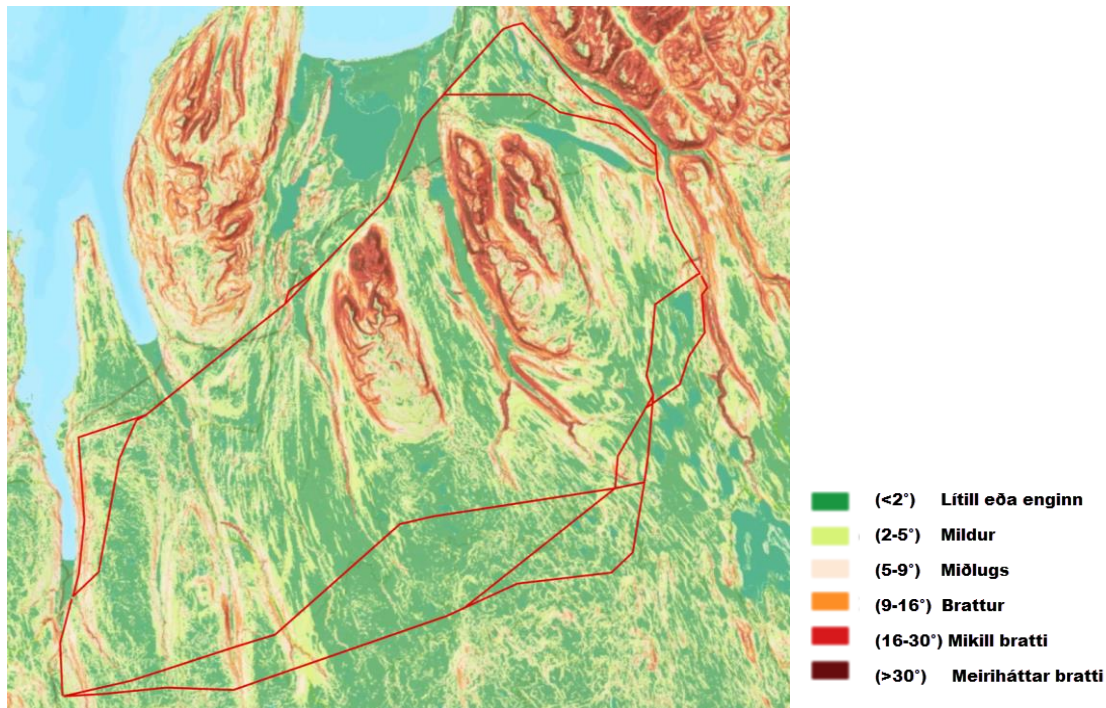
Frostregn er ekki talin ógn við valkostina samanber reynslu af línunum á Íslandi.

Vindur:

Línuleiðir HH3 eru víða á tiltölulega jafnlendum heiðum þar sem lítil hættu er á sviptivindum. Valkostir D sem liggja samsíða eða í grennd við núverandi byggðalínu, eru nær fjöllum og þar hafa orðið alvarlegar bilanir af völdum sviptivinda. Þar er annars vegar um að ræða kaflann frá Víðidal að Melrakkadal, og hins vegar kafla norðan við Gljúfurá, norðvestur af Vatnsdalshólum. Vindforsendur fyrir núverandi línu eru lágar á þessum köflum og er ljóst að bæta þarf verulega í, mögulega nokkuð upp fyrir staðalgildi.

Snjóflóð:

Land er yfirleitt hallalítið á þeim valkostum sem eru til skoðunar, sjá mynd 7, og því er snjóflóðahætta almennt ekki mikil. Halli og hæðarmunur er fremur lítill og geta möguleg snjóflóð, ef um þau er að ræða, vart verið aflmikil.



Mynd 7: Landhalli, samkvæmt kortasjá Landmælinga Íslands (lmi.is).

Svipað er að segja um krapaflóð. Land er yfirleitt hallalítið og því vart von á krapaflóðum nema þá mjög staðbundið. Að öðru jöfnu má fyrirbyggja slíka hættu við endanlega staðsetningu mastra og hönnun.

Snjódýpi

Fyrirliggjandi gögn (sjá t.d. myndir 33, 29 og 30 í viðauka A) benda ekki til þess að vænta megi óvenju mikils snjódýpis á línuleið HH3. Land er yfirleitt hallalítið og því minni líkur á mikilli staðbundinni snjósöfnun.

Snjósíg og snjósCRIð

Land er yfirleitt hallalítið og því vart von á snjósígi og snjósCRIði sem hefur áhrif á möstur. Að öðru jöfnu má fyrirbyggja slíka hættu við endanlega staðsetningu mastra og hönnun. Aðstæður verða metnar í skoðun mastrastæða og í útboðshönnun.

Hraunrennsli:

Línuleiðir HH3 eru utan eldvirkra svæða, sjá mynd í viðauka A.

Öskufall:

Aska frá eldgosum getur fallið á línuleiðum HH3, og fer áhættan eftir vindátt og hvar eldsumbrotin eru. Í tilviki HH3 getur útsláttarhætta af völdum öskufalls ekki talist mikil. Tengivirki á endum línunnar verða innandyra og því varin fyrir öskufalli. Með vali á heppilegum einöngrum í línunni sjálfri má minnka hugsanleg áhrif af öskufalli.

Flóð tengd eldsumbrotum:

Virkar eldstöðvar eru undir Langjökli og Hofsjökli, en eldgos þar eru fátíð. Hallmundarhraun rann skömmu eftir landnám, og eru gígarnir við norðvesturjaðar Langjökuls. Landslagi er þannig háttað að ef eldgos verður undir norðanverðum Langjökli rennur hlaupvatn annað hvort til Hvítár í Borgarfirði eða Blöndu. Frá Hofsjökli gæti hlaupvatn runnið til Blöndu eða Jökulsárna í Skagafirði. Línuleiðir HH3 ættu því ekki að vera í hættu.

Jarðskjálftar:

Lítil jarðskjálftahætta er á línuleiðum HH3, sjá mynd 42 í viðauka A. Reynsla af Suðurlandsskjálftunum 2000 og 2008 sýndi að stagaðar háspennulínur þola vel öfluga jarðskjálfta. Helsta hættan fólst í skertu burðarþoli mýrajarðvegs í djúpum mýrum, og þurfti að lagfæra undirstöður í nokkrum möstrum vegna þess. Ekki er talin hætta á því í HH3.

Höggunarhreyfingar:

Línuleiðir HH3 eru utan svæða þar sem búast má við höggunarhreyfingum.

Skriður - berghlaup:

Ekki liggur fyrir sérfræðiálit um skriðuhættu á línuleiðum HH3. Skriður geta ógnað möstrum, og á það bæði við berghlaup og aurskriður. Vegna lítils landhalla á línuleiðum HH3 er nánast engin hætta á berghlaupum.

Skriður - aurskriður:

Á stöku stað gætu aurskriður fallið ef jarðvegur mettast vatni, til dæmis á valkosti D út með Hrútafirði. Í flestum tilvikum ættu möstur að standa af sér minniháttar aurskriður, og ef slíkir staðir eru þekktir, má gera ráðstafanir til að verja mastrið.

Flóð í ám og ísruðningur:

Í valkostum A og B gæti þurft að huga að flóðahættu við eitt mastur við Vatnsdalsá. Valkostur D liggur yfir Miðfjarðará, Víðidalsá og Hnausakvísl og er þar við hliðina á núverandi byggðalínu sem tekin var í notkun 1976. Ekki hafa verið vandamál á henni vegna flóða og ísruðnings þó að sumar

stæðurnar standi nálægt árbakka. Þar sem línurnar fara yfir eru árnar fremur lygnar. Hægt er að verja möstur með því að byggja mastursstæðið upp og grjóttverja það.

Sjávarflóð, sjávarrof:

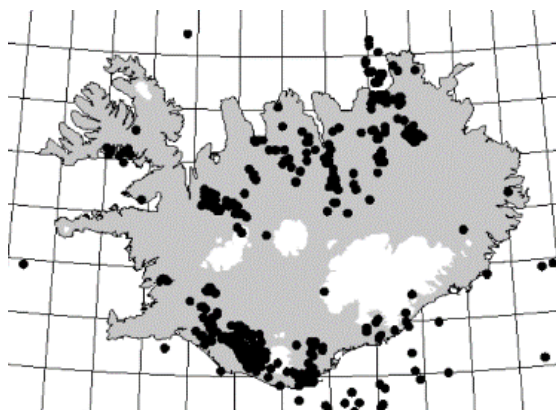
Línuleiðir HH3 eru utan svæða þar sem búast má við sjávarflóðum og sjávarrofi.

Selta:

Seltuáhleðsla er að jafnaði mest næst ströndinni þegar vindur stendur af hafi. Einnig þekkist að háloftavindar geti borið seltu inn til landsins. Valkostur D er mun útsettari fyrir seltu en valkostir A og B. Unnt er að velja hærra einangrunarstig við hönnun og útfærslu. Tengivirki á endum línunnar verða innandyr og því varin fyrir seltu. Selta á ekki að vera umtalsvert vandamál í HH3 með réttari hönnun.

Eldingar:

Eldingar eru sjaldgæfar á Íslandi í samanburði við flest lönd, sjá kafla A.7.3 í viðauka. Í yfirliti um eldingar á Íslandi á tímabilinu 1996 til 2008, kemur fram að Norðvesturland er eitt minnsta eldingasvæði landsins. Reyndar mældust nokkrar eldingar á svæði HH3 árið 2003, og árið 2005 kom talsvert eldingaveður á heiðunum í Húnaþingi vestra. Ekki er fyrir séð að jarðstrengur verði hluti af HH3 og má því setja upp stýribúnað með sjálfvirkri endurlokun sem tryggir að niðursláttur eldinga hefur minni áhrif á rekstraröryggi línunnar. Um 80 % eldinga sem slær niður í línur leiða þá ekki til straumleysis.



Mynd 8: Eldingar árið 2005, talsvert eldingaveður á heiðunum í Húnaþingi vestra, heimild [2].

Skógareldar:

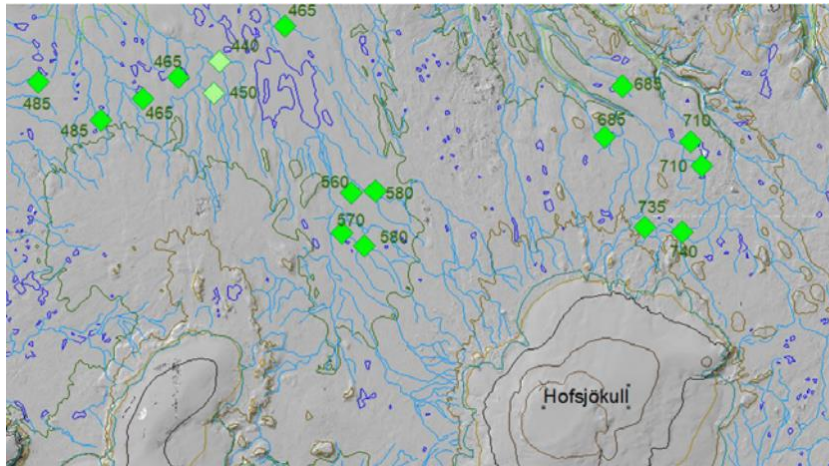
Á valkosti D er talsverð skógrækt í landi Gunnfríðarstaða, Hamra og Ása við Langadal (einnig á Litla-Búrfelli og Stóra-Búrfelli). Skógrækt er í landi Eiðsstaða við Blöndustöð. Áform eru um skógrækt víðar, til dæmis við Víðihlíð í Húnaþingi vestra. Skógareldar gætu í framtíðinni haft áhrif á rekstraröryggi nýrrar línu á valkosti D, en ekki á valkostum A og B. Það dregur að vísu úr hættunni að mjög takmörkuð skógrækt er heimiluð innan helgunarsvæðis línu.

Trjágróður

Sama á við um trjágróður og skógarelda. Þar sem takmörkuð skógrækt er heimiluð innan helgunarsvæðis línu er váin óveruleg.

Sífreri - bráðnun:

Búast má við sífrera á stöku stað í valkostum A og B, og mögulega á Hrútafjarðarhálsi á valkosti D1. Ef vart verður við sífrera þegar verið er að koma undirstöðum og stagfestum fyrir, verður brugðist við því með sérstökum frágangi, ef ástæða þykir til. Sífreri hefur ekki verið vandamál við línulagnir á hálendinu.



Mynd 9: Helstu frerabungusvæði norðan við Langjökul og Hofsjökul. HH3, valkostir A og B eru í horninu efst til vinstri. (Heimild [3]).

Frostlyfting

Frostlyfting hefur ekki verið vandamál á línunum Landsnets. Ekki er fyrir séð að það sé vandamál hér.

Landbrot

Landbrot er ekki áhættuþáttur ef þess er gætt að mastur standi ekki of nærri árbakka.

Tæring

Ekki er talið að tæring sé teljandi vandamál. Möstur verða heitsinkuð og leiðari hefur ágætt tæringarþol.

Valhopp á leiðurum

Valhopp á leiðurum getur orðið þegar ísing hefur hlaðist á; allir línukaflar geta því fengið valhopp. Almennt er tíðni valhoppis meiri þar sem skýjaísing er tíð. HH3 verður með tvíleiðara og þeir hegða sér öðruvísi en einleiðarar gagnvart valhoppi. Mynd 51 í viðauka A sýnir dæmi um valhopp á tvíleiðara sem hefur fengið slydduáhleðslu. Almennt er metið að tíðni valhoppis í HH3 sé ekki mikil nema þar sem skýjaísing er tíð. Valkostur A2 er talinn með nokkra skýjaísingarhættu (milli a3-a4) og því mögulega aukna tíðni á valhoppi samanborið við aðra valkosti.

Nálæg mannvirki

Engin nálæg mannvirki eru talin skapa ógn sem minnkar rekstraröryggi HH3.

3.3 Aðgengi að HH3 ef bregðast þarf við náttúruvá á rekstartíma

Ef bregðast þarf við náttúruvá þarf að koma vinnuvélum á staðinn, annað hvort til fyrirbyggjandi aðgerða eða til viðgerða í bilunartilvikum. Að vetri til þarf að ryðja snjó af vegum og línuslóðum, eða nota beltatæki. Vinnuflokkar nota torfærubíla, en einnig getur þurft að koma körfubílum og jafnvel kranabílum á staðinn, og vörubílum ef flytja þarf efni. Tryggja þarf persónuöryggi starfsmanna og ef um nokkurra daga verkefni er að ræða þarf að komast í fæði og húsnæði.

Í tilviki HH3 er frekar ólíklegt að náttúruvá hindri aðgengi. Land er víðast hvar hallalítið og því lítil hættu á snjóflóðum, skriðum eða slíku. Ofsaveður getur hindrað aðgengi til skamms tíma. Þá geta mikil snjóþyngsli og skafrenningur torvelað snjóruðning að bilunarstað. Loks má nefna að vatnsföll geta verið varasöm að vetrarlagi og erfitt að komast yfir ef þau eru óbrúuð. Þá getur aurbleyta torvelað umferð að vorlagi ef vegir eru ekki burðarmiklir.

Í sumum tilvikum getur Landsnet komið við vöktun á náttúruvá á svæðum sem talin eru varasöm. Til dæmis er hægt að fylgjast með ísingaráhleðslu með átaksmælum sem senda viðvörun til stjórnstöðvar, þannig að hægt sé að senda vinnuflokka á staðinn til að hreinsa ísingu af. Í bilunartilvikum er hægt að staðsetja bilunina með sérstökum mælibúnaði og velja heppilega aðkomuleið.

Í tilviki HH3 er um þrjá meginvalkosti að ræða, valkosti A og B um heiðar, og valkost D um byggð. Aðkomuleiðir eru lengstar að valkosti A, heldur styttri að valkosti B og stystar að valkosti D. Ekki liggur fyrir sérstakt mat á snjóþyngslum á línuleiðunum (sjá þó mynd 30 í viðauka A). Ekki er sjálfgefið að snjóþyngsli séu almennt meiri á heiðaleiðunum, valkosti A og B, því að úrkoma er oft minni inn til landsins en við ströndina. Hins vegar eru vetraraðstæður lengur í meiri hæð yfir sjó.

3.3.1 Aðgengi að valkostum A og B

Valkostir A og B eru nokkuð sambærilegir hvað aðgengi snertir, en aðkomuleiðir eru heldur styttri að Valkosti B; mest eru um 10 km á milli valkostanna.

1. Holtavörðuheidi – Hrútafjarðará:

Lengd kafla um 3 km. Aðkoma frá þjóðvegi 1, gott aðgengi.

2. Hrútafjarðará – Austurárdalur:

Lengd kafla 20 - 22 km, hæð yfir sjó allt að 250-350 m. Allgóður vegur er upp úr Austurárdal upp á Tvídægru og yrði hann mikilvægasta aðkomuleiðin. Hægt er að komast inn í línuna á þremur stöðum. A) Frá tengivirki við Hrútatungu að bænum Fossseli, sem er skammt frá línuleiðunum, 10 km aðkoma. B) Um Vesturárdal frá bænum Húki, allgóður afréttarvegur 9 + 2 km langur. C) Um Núpsdal frá bænum Efranúpi, 4 + 4 km langur, þarf talsvert að lagfæra hann. D) Fjórði möguleikinn er frá Óspaksstöðum í Hrútafirði, inn með Hrútafjarðará, að hluta veiðimannavegur, en er annars mjög lélegur og ólíklegt að borgi sig að gera hann færan sem aðkomuleið að línu. Frá þessum aðkomuvegum yrðu línuvegir á bilinu 4 - 7 km langir. Vesturá og Núpsá eru aðal vatnsföllin, og þarf að meta hvort þær verða látnar skipta vinnusvæðum, þetta eru veiðiár.

3. Austurárdalur – Vatnsdalsá (Víðidalstunguheidi og Grímstunguheidi):

Lengd kafla 37 – 38 km, hæð yfir sjó allt að 575 m í valkosti A, en tæpir 500 m í valkosti B. Fyrir utan veginn upp úr Austurárdal sem er við vesturmörkin, eru tvær aðal aðkomuleiðir úr byggð. A) Vegur upp úr Víðidal sem er um 20 km að valkosti B og um 30 km að valkosti A. Vegurinn er víðast hvar malarborinn afréttarvegur en gæti þurft endurbóta við. B) Vegur upp úr Vatnsdal, frá bænum Grímstungu, sem er um 13 km að valkosti B og 23 km að valkosti A. Víðast hvar malarborinn afréttarvegur en gæti þurft að styrkja hann. Mjög bratt er á fyrsta kaflanum upp frá Grímstungu, en leiðin upp úr Víðidal er mildari að því leyti. C) Loks má nefna slóð upp úr Fitjárdal, um 18 km að valkosti B og 25 km að valkosti A, en hún er mjög léleg og þarf mikilla endurbóta við. Ólíklegt er að borgi sig að gera hana færa sem aðkomuleið. Frá aðkomuvegum yrðu akstursvegalengdir eftir línuvegum mest um 8 – 10 km. Nokkrir gangnamannakofar eru á svæðinu, en besta gistiaðstaðan er í skála við veginn á Grímstunguheiði sem notaður er sem sumarhótel. Helstu vatnsföll eru Fitjá og Víðidalsá, sem eru veiðiár.

4. Vatnsdalsá – Blöndustöð (Auðkúluheiði).

Lengd kafla 22 km, hæð yfir sjó 400- 470 m. Vetrarþjónusta er á vegi að Blöndustöð og Kjalvegur sem liggur þaðan inn á heiðar er upphækkaður vegur með bundnu slitlagi og hentar vel sem aðkomuleið. Frá honum yrði lagður um 16 km línuvegur að Vatnsdalsá. Góð aðstaða er fyrir vinnuflokka við Blöndustöð. Það er samningsatriði við Landsvirkjun að fá aðgang að aðstöðunni.

Eins og fram hefur komið er svæði 3, Austurárdalur – Vatnsdalsá, með lengstu aðkomuleiðirnar, einkum að valkosti A; það er einnig hæst yfir sjó. Þess ber þó að geta að þetta eru sambærilegar vegalengdir og eru í nokkrum núverandi línun Landsnets, til dæmis Sultartangalínu 1 og 3, og Sigöldulínu 4 (sem er snjópungt svæði). Ekki hafa verið umtalsverðir erfiðleikar við að komast að þessum línun til viðgerða.

3.3.2 Aðgengi að valkosti D

Aðgengi að Valkosti D er yfirleitt nokkuð gott. Línuleiðin er víðast hvar í grennd við vegi sem Vegagerðin þjónustar og heldur opnum að vetrarlagi. Frá þeim þarf að leggja línuvegi sem í flestum tilvikum verða innan við 5 km langir frá næsta vegi. Undantekning frá því er Valkostur D2 á Hrutafjarðarhálsi þar sem akstursvegalengdir frá næsta vegi geta verið á bilinu 7-10 km. Valkostur D er að miklum hluta lægra yfir sjó en valkostir A og B og eru vetraraðstæður (og aurbleyta á vorin) heldur skammvinnari. Þó ber þess að geta að Valkostur D er að hluta í 300-410 m hæð yfir sjó.

3.4 Áhrif þess að hafa aðskildar línugötur fyrir HH3 og byggðalínu

Oft er talið að með tilliti til áreiðanleika sé óæskilegt að hafa tvær línur samsíða sökum þess að líklegt sé að báðar línur geti þá orðið fyrir útleysingu eða tjóni á sama tíma. Slíkt hefði yfirleitt mikil áhrif á alvarleikastig rekstrartruflana og rekstrarhæfni raforkukerfisins. Þetta er réttmætt sjónarmið og má nefna að það réði miklu þegar 220 kV Hrauneyjafosslína 1 (nú Sultartangalína 1) var byggð árið 1982. Þá var valin önnur línuleið sem var ekki nærri 220 kV Búrfellslínunum 1 og 2 á Suðurlandi.

Þetta sjónarmið hefur verið nefnt sem rök fyrir því að valkostir A og B séu heppilegri en valkostur D sökum þess að valkostur D er að mestu samsíða 132 kV byggðalínunni og báðar línur gætu farið úr rekstri samtímis. Þetta eru ekki talin sterk rök hér því HH3 verður svo mikið flutningsmeiri lína en byggðalínan að 132 kV byggðalínan getur aðeins að litlum hluta talist varaleið fyrir HH3 við meginflutning raforku. Þá verður HH3 sterkbyggðar en byggðalínan og verður áreiðanleiki hennar verulega. HH3 mun hins vegar styrkja byggðalínuna verulega sem svæðisflutningskerfi.

4 NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður athugunar benda til að náttúruvá á valkostum A, B og D í Holtavörðuheiðarlínu 3 sé almennt hófleg í samanburði við margar aðrar háspennulínur Landsnets. Talið er að vá frá ísingu og vindi sé ein helsta ógnin en auk þess má búast við smærri truflunum vegna valhoppis á leiðurum, seltu og eldingum. Við hönnun þarf að kanna nánar hvort á lagnaleiðunum séu staðbundnar aðstæður í einstaka mastrastæðum þar sem smærri krapaflóð og aurskriður geta fallið.

Valkostur A liggur hæst yfir sjávarmáli og samanborið við valkost B má þar búast við meira skýjaísingarálagi og tíðara valhoppi, valkostur B er enn fremur styttri (3,2 km, um 10 möstur) og mögulega aðgengilegri en A í bilanatilfellum. Valkostur D er afgerandi lengsta leiðin (~28 km lengri) og með flest möstur (~85 fleiri möstur), það eitt og sér getur leitt til minni áreiðanleika. Þá er nokkur vá við sviptivindaálag á leið D og slyduísingarálag er einnig heldur meiri.

Mótvægisáðgerðir við náttúruvá felast í því að rannsaka aðstæður og gera ráðstafanir í fullnaðarhönnun til að lágmarka mögulegar rekstrartruflanir og hafa góðan áreiðanleika á línunni. Mikilvægur hluti mótvægisáðgerða felst í því að setja upp mælibúnað í valin möstur í línunni (átaksmælur) og hafa rauntímamælingu á veðurálagi á leiðara línunnar. Með mælingum er unnt að vakta ástand og bregðast við eftir aðstæðum.

Það er metið að ekki sé afgerandi munur milli valkosta hvað varðar áreiðanleika eftir að búið er að bregðast við vá í hönnun. Áhrif af hönnun koma fram í að styrkja þarf möstur og búnað og fjölga möstrum. Þau áhrif eru innifalin í kostnaði og stærðarmati á umhverfispáttum í matsskýrslu.

Ef bregðast þarf við náttúruvá í rekstri línunnar á vetrartíma kann að þurfa að koma vinnuvélum og línuefni á staðinn, annað hvort til fyrirbyggjandi áðgerða eða til viðgerða í bilunartilvikum. Nokkur munur er á aðgengi að valkostum:

- Aðgengi að valkosti D er yfirleitt nokkuð gott og í flestum tilvikum þarf að fara innan við 5 km eftir línuvegi frá næsta vegi.
- Aðgengi að valkostum A og B er nokkuð erfiðara en að valkosti D. Valkostir A og B eru nokkuð sambærilegir hvað aðgengi snertir, en aðkomuleiðir eru heldur styttri að Valkosti B. Svæðið Austurárdalur – Vatnsdalsá er erfiðast. Lengd kafla 37 – 38 km, hæð yfir sjó mest 575 m í valkosti A, en tæpir 500 m í valkosti B. Bæði getur verið krefjandi að komast úr byggð inn á línuslóðana, jafnframt eru þar lengstu aðkomuleiðirnar eftir slóðum, einkum að valkosti A; það er einnig hæst yfir sjó. Þess ber þó að geta að þetta eru sambærilegar vegalengdir og eru í nokkrum núverandi línur Landsnets, til dæmis Sultartangalínu 1 og 3, og Sigöldulínu 4 (sem er snjópungt svæði). Ekki hafa verið umtalsverðir erfiðleikar við að komast að þessum línur til viðgerða.

Með tilliti til afhendingaröryggis raforku er heldur betra að hafa Holtavörðuheiðarlínu 3 fjarri núverandi 132 kV byggðalínu sökum þess að þá sé síður líklegt að náttúruvá valdi því að báðar línur geti farið samtímis úr rekstri. Holtavörðuheiðarlínu 3 er hins vegar miklu flutningsmeiri lína og jafnframt sterkbyggðari en byggðalínan. Því getur núverandi 132 kV byggðalína aðeins að litlum hluta talist varaleið fyrir Holtavörðuheiðarlínu 3 við meginflutning raforku.

Meðfylgjandi er stutt umsögn um útfærslur á valkostum A, B og D.

Valkostur A - útfærslur

- Leið A1 er talin töluvert betri en leið A2 sökum minni hættu á skýjaísingu og valhoppi. Auk þess er leið A1 aðgengilegri og styttri en leið A2 (3 km, um 9 möstur), það eykur áreiðanleika nokkuð.
- Leið A3 (eystri leið við Blöndustöð): Leiðir A3 og A1 eru áþekkar, en aðgengi er heldur betra að A3.

Valkostur B- útfærslur

- Á Grímstunguheiði er lítill munur á aðgengi að B1 og B2.
- Leið B1 er lítið eitt styttri en B2 (1,4 km, um 4 möstur), lítill munur á aðgengi en meira um brekkur á leið B1. Leið B1 liggur yfir Bótarfell og er þar um 80 m hærra yfir sjó en leið B2 sunnan fellsins. Leið B1 vestan Bótarfells er útsettari fyrir veðurálagi af völdum vinds og ísingar.

Valkostur D- útfærslur

- Varðandi útfærslur D1 (Hrútafjörður) og D2 (Hrútafjarðarháls) þarf að líta til þess að línuleið um Hrútafjarðarháls liggur hærra yfir sjávarmáli og er útsettari fyrir ísingar- og vindálagi, en er jafnframt 2,4 km styttri.
- Varðandi útfærslur D1 (Laxárvatn) og D3 (Svínavatnsleið) er metið að ekki sé merkjanlegur munur á áreiðanleika þeirra. D3 (Svínavatnsleið) er þó 6,6 km styttri og með færri möstur.

5 HEIMILDASKRÁ

- [1] Landsnet og EFLA, „Veðurfarslegar álagsforsendur fyrir Holtavörðuheiðarlínu 3,“ Landsnet, 2024.
- [2] Þórður Arason, „Mælingar og skráning á niðurslætti eldinga til jarðar á Íslandi 1996 til 2008,“ Veðurstofa Íslands.
- [3] Ágúst Guðmundsson, „Frerafjöll og hörfandi sífreri á Íslandi,“ *Náttúrufræðingurinn 3.-4. Hefti*, 2023, 2023.
- [4] Guðrún Nína Petersen, „Greining á öfgaveðurhæð frá sjálfvirkum vindmælingum,“ Veðurstofa Íslands, Reykjavík, 2015.
- [5] Katrín Agla Tómasdóttir, „Aftakagreining vinds á íslensku endurgreiningunni,“ Veðurstofa Íslands, 2022.
- [6] Cigré WG B2.06.09, „TB xxx - Overhead line design guidelines for mitigation of severe wind storm damage,“ Cigré, Paris, 2009.
- [7] Canadian Avalanche Association, „Guidelines for Snow Avalanche Risk Determination and Mapping in Canada "CAA (2002)",“ 2002.
- [8] Philippe Crochet, „vedur.is,“ 2009. [Á neti]. Available: <https://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1443>.
- [9] Andréa Massad; R. Giorgio ; Guðrún Nína Petersen; Tinna Þórarinsdóttir ; Matthew J. Roberts, „Reassessment of precipitation return levels in Iceland,“ Veðurstofa Íslands (2020-008), 2020.
- [10] Hönnun hf, „Áhrif jarðskjálftanna á Suðurlandi 17. og 21. júní á þrjár háspennulínur Landsvirkjunar, Búrfellslínur 1, 2 og 3,“ Landsvirkjun, 2000.
- [11] Landsnet, „SUBSTATIONS - DESIGN MEMORANDUM G-01. GENERAL DESIGN OVERVIEW, version 9.,“ 2014.
- [12] Þórður Arason, „Tíðni þrumuveðra á Íslandi,“ í *Góuþing Veðurfræðifélagsins (10.mars 2022)*, Reykjavík, 2022.
- [13] Cigré WG B2.06, „BIG STORM EVENTS, WHAT WE HAVE LEARNED,“ Cigré, 2008.
- [14] Veðurstofa Íslands, „Snjóflóð á Íslandi veturinn 2020–2021 (VÍ 2022-007),“ 2022.

- [15] Landsnet, „Afhandlingaröryggi og gæði flutningskerfisins. Frammistöðuskýrsla 2015,“ Reykjavík, 2016.
- [16] Samstarfsnefnd um rannsóknir á eldingum, „Mælingar og skráning á niðurslætti eldinga til jarðar á Íslandi. Ársskýrsla 2003,“ 2003.
- [17] (ritstj.), Júlíus Sólnes og Bjarni Bessason, Náttúruvá á Íslandi, Reykjavík, 2013.

VIÐAUKI A NÁTTÚRUVÁ OG ÁHRIF Á LOFTLÍNUR

ALMENN UMFJÖLLUN MEÐ NOKKRUM DÆMUM

Hér á eftir er farið yfir helstu náttúruvá sem getur haft áhrif á áreiðanleika og rekstraröryggi loftlína. Sýnd eru dæmi um hvaða vandamál hafa komið upp og lauslegt yfirlit gefið um fyrirliggjandi gögn og hvernig er unnt að bregðast við vá á undirbúnings- og hönnunarstigi. Dæmin sem eru sýnd eru í mörgum tilvikum aftaka atburðir sem gerast einungis á mjög útsettum stöðum.

A.1 Ísing

Reynslan af rekstri loftlína sýnir að búast má við ísingu hvar sem er á landinu. Sögulega hafa flestar bilanir á háspennulínunum tengst ísingu og þá yfirleitt samfara vindi. Mjög mikið er af bilunum á tréstaurlínunum á spennubílinu 11-132 kV, sjá dæmi á myndum 14 og 15. Nokkur tilvik eru um bilanir á 220 kV stálmastralínunum, sjá töflu 1. Ef ísingarálag er rétt metið er unnt að hanna háspennulínur til að standast það. Ef ísing er tíð og mikil er þó nokkur hættu á að mikil áraun geti verið á línuefni við valhopp og íshrun³.

Þrjár gerðir af ísingu hafa áhrif á háspennulínur: slydduísing, skýjaísing og frostregn. Ísingargerðirnar myndast við mismunandi aðstæður eins og mynd 16 sýnir.



Mynd 10: Slydduísing á leiðara, þvermál 20 cm, um 20 kg/m.



Mynd 11: Skýjaísing á stagvír, þvermál 20 cm, um 16 kg/m.

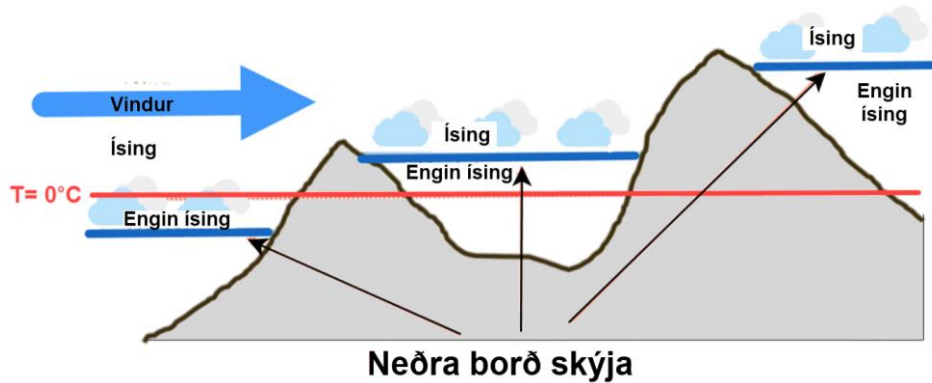


Mynd 12: Frostregn, mynd frá Kanada.

Flest vandamál tengd ísingu hafa verið af völdum slydduísingar samfara miklum vindi. Slydduísing getur myndast alls staðar en er algengust við ströndina á Norðvestur-, Norður og Austurlandi. Í slydduísingu er ísingarpungi oft á bilinu 2-10 kg/m en hefur stöku sinnum mælst eða verið metinn um 20 kg/m samfara vindhviðum á bilinu 25-40 m/s. Tíðni og áhleðsla slydduísingar er meiri hér á landi en í flestum öðrum löndum. Ástæða þess er umhleyppingasöm veðráttu með tíðum hitasveiflum um frostmarkið, auk þess sem vindhraði er meiri en almennt gerist. Upplýsingum um slydduísingu á línunum hefur verið safnað saman um árabil, og nokkuð skipulega frá árinu 1976. Mynd 17 sýnir staðsetningu skráðra ísingartilvika. Við hönnun nýrra lína Landsnets hefur lágmarks slydduísing með 50 ára meðalendurkomutíma verið sett 50 N/m, en sjaldan meiri en 105 N/m.

3 Íshrun er þegar ísing fellur skyndilega ef leiðara. Við það breytist stöðuorka í hreyfiorku og leiðarinn getur sveiflast nokkra metra upp. Við það getur orðið samsláttur og/eða tjón á einöngurum.

Skýjaísing er vel þekkt á loftlínunum þar sem ský eiga greiðan aðgang að háspennulínunum, sérstaklega á fjöllum þar sem opið er fyrir hafáttir. Hún er sjaldgæf í hæð undir 300 m yfir sjó. Skýjaísing getur varað í langan tíma (vikur) þar sem hitastig er undir frostmarki og valdið endurtekinni áhleðslu áður en hún fellur af. Á stöðum sem eru útsettir fyrir skýjaísingu getur ísingarpungi orðið mun meiri en í tilviki slydduísingar, mælingar sýna nokkur tilvik hér á landi þar sem ísingarpungi er yfir 50 kg/m. Skýjaísing er mjög háð staðháttum og skjóláhrif frá aðliggjandi fjallshrygg sem er ástreymis og í 50-100 m hæð yfir athugunarstað getur minnkað ísingarálagið verulega, sjá mynd 13.



Mynd 13: Dæmi um áhrif nærliggjandi landslags á ský og skýjaísingu.

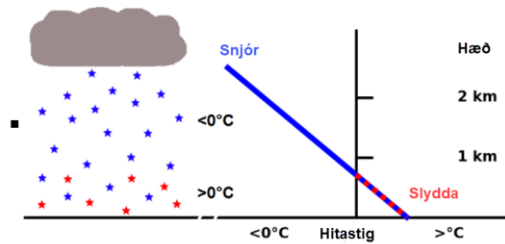
Frostregn hefur sést á loftlínunum hér á landi en ekki verið til vandræða hér eða í Skandinavíu. Frostregn er hins vegar víða vandamál, t.d. í Kanada, Bandaríkjunum og Mið-Evrópu.



Mynd 14: Ísingarveðrið á norðurlandi 10.-11. desember 2019. Línubrot í 132 kV Dalvíkurlínu.

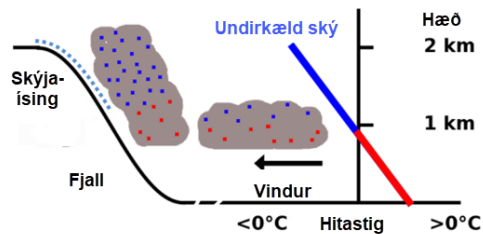


Mynd 15: Ísingarveður á Vestfjörðum, línubrot í Önundarfirði.



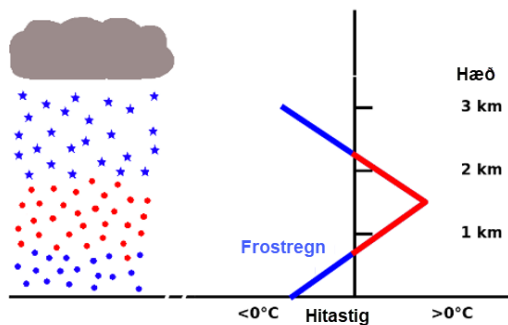
Slydduísing

Snjókorn sem eru blaut festast við hluti, en þurr snjókorn festast ekki. Slydda hleðst gjarnan á loftlínur þegar loftþitastig er 0 til 2 °C og vökvainnihald snjókorna er milli 15-40%. Ísingaráhleðslan er einkum háð úrkomumagni, vindhraða og hitastigi. Lágur vindustífleiki víra leiðir til hringlaga ísingar. Rúmþyngd slydduísingar er gjarnan 650-750 kg/m³.



Skýjaísing

myndast þegar undirkældir vatnsdropar, í skýjum eða þoku berast yfir land, snerta hluti og snöggfrjósa. Rúmþyngd skýjaísingar getur verið á víðu bili og ísingargerðirnar sem myndast geta verið frá lausu hrími (rúmþyngd 200-600 kg/m³) í það að vera þétt hrím (rúmþyngd 600-900 kg/m³) eða glerungur (rúmþyngd 900 kg/m³). Dæmi eru um að áhleðsla skýjaísingar geti varað dögum saman. Ef hitastig er lengi undir frostmarki og afísing á sér ekki stað getur svo bæst við ísinguna við endurtekin ísingartilvik.



Frostregn

Hitahvörf eru skammt yfir jörðu. Hiti þarf að fara yfir frostmark (>0°C) svo regndropar myndist. Þeir þurfa síðan að falla í gegnum nokkur hundruð metra af köldu lofti (undir 0°C) nærri jörðu til að verða undirkældir, þ.e. í vökvaástandi en með hitastig undir frostmarki, t.d. -1 til -5°C. Undirkældir regndropar frjósa við snertingu. Rúmþyngd frostregns er ~910 kg/m³.

Mynd 16: Ísingargerðir og veðuraðstæður við myndun ísingar. Hitaprófill hefur mikil áhrif.



Mynd 17: Skráð ísingartilvik á loftlínunum í ísingarbanka Landsnets. Litakóði merkir stærð tilviks, grænt er minnst og rautt stærst.

A.2 Vindur

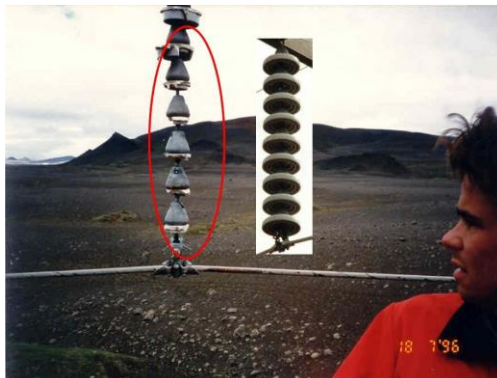
Vindhraði er almennt nokkuð hár hér á landi og það hefur í allmörg skipti orsakað bilanir á háspennulínunum. Í nokkur skipti hafa eldri 220 kV stálmöstur fallið af völdum vinds þar sem vindálag var vanáætlað, sjá t.d. mynd 18. Vindur getur einnig framkallað útleysingar þegar leiðari og einangrar sveiflast til og valdur yfirlætti, sjá t.d. mynd 19. Einnig getur vindur framkallað þreytuálag á búnað vegna titrings eða valhoppis. Ef búið er að meta vindálag vel er unnt að hanna styrk mannvirkis fyrir vindálaginu, eins og 220 kV línur byggðar eftir 1972 sýna. Þreytuáraun vegna vinds er þokkalega þekkt en í stöku tilvikum kann hún að leiða til smærri bilana ef það hefur ekki greinst tímanlega í viðhaldsskoðunum.



Mynd 18: Mastur í 220 kV Brennimelslínu 1 féll í Þyrilsnesi í Hvalfirði árið 2007, m.a. vegna vindáraunar.



Mynd 19: Mikill vindur og einangrar og leiðarar sveiflast upp í slá, leiðir til útleysingar.

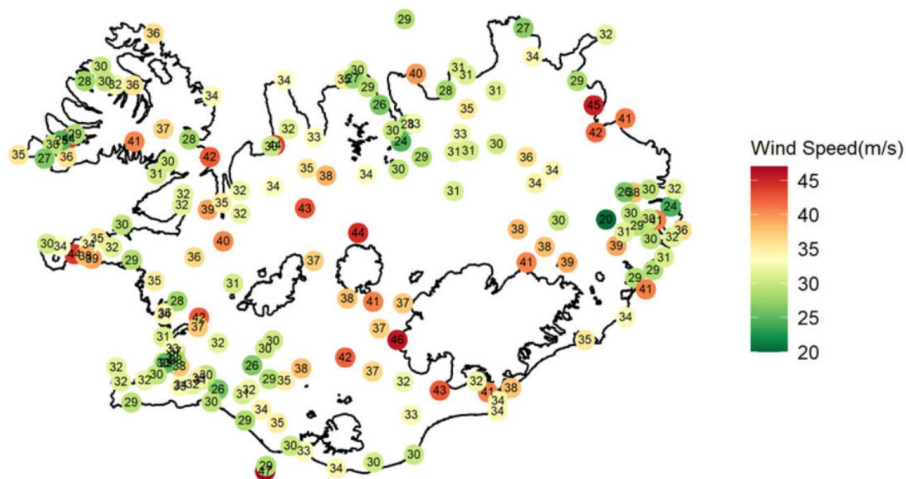


Mynd 20: Einangraskálar brotnar eftir grjótfök í aftaka vindi.

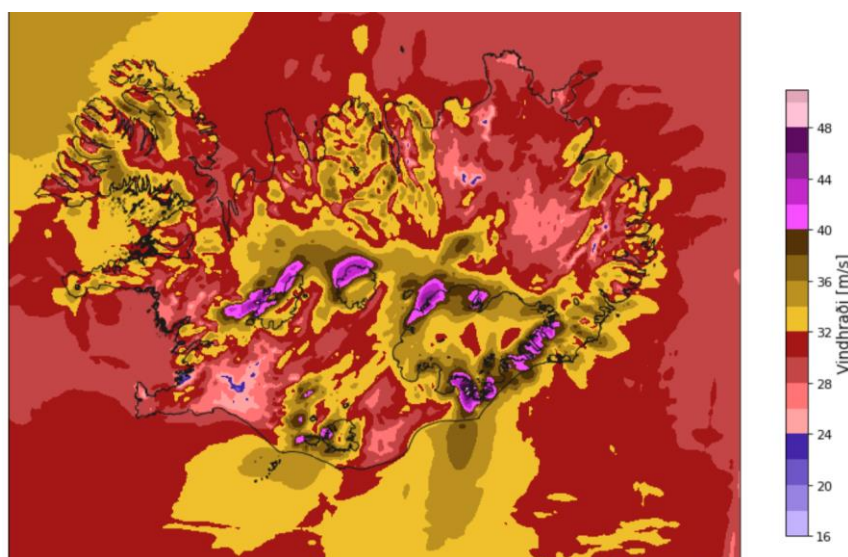
Í íslenskum staðli er eitt grunngildi vindhraða⁴ fyrir allt landið $U_{R,z0}=36$ m/s, það samsvarar vindþrýstingi með vindhviðum um 54 m/s í 10 m hæð við yfirborðshrýfi $z_0=0,05$ m. Fyrir háspennulínur á Íslandi hefur hefðin verið að meta vindhraða sérstaklega fyrir allar nýjar línur og skipta línunni upp í mismunandi álagssvæði. Aftaka vindur er oft mjög stefnubundinn og taka þarf tillit til línustefnunnar við matið. Oft hefur hönnunarvindhraði fyrir háspennulínur verið settur hærri en staðalgildi ef aðstæður háttar þannig.

Myndir 21 og 22 sýna mat á 50 ára meðalvindhraða sem byggt er á úrvinnslu mælinga og á veðurreikningum í veðurlíkani.

4 Meðalvindhraði yfir 10 mínútur með 50 ára endurkomutíma í 10 m hæð við yfirborð með hrýfi $z_0=0,05$ m.



Mynd 21: Mat á meðalvindhraða með 50 ára meðalendurkomutíma í heimild [4]. Byggt á úrvinnslu mælinga.



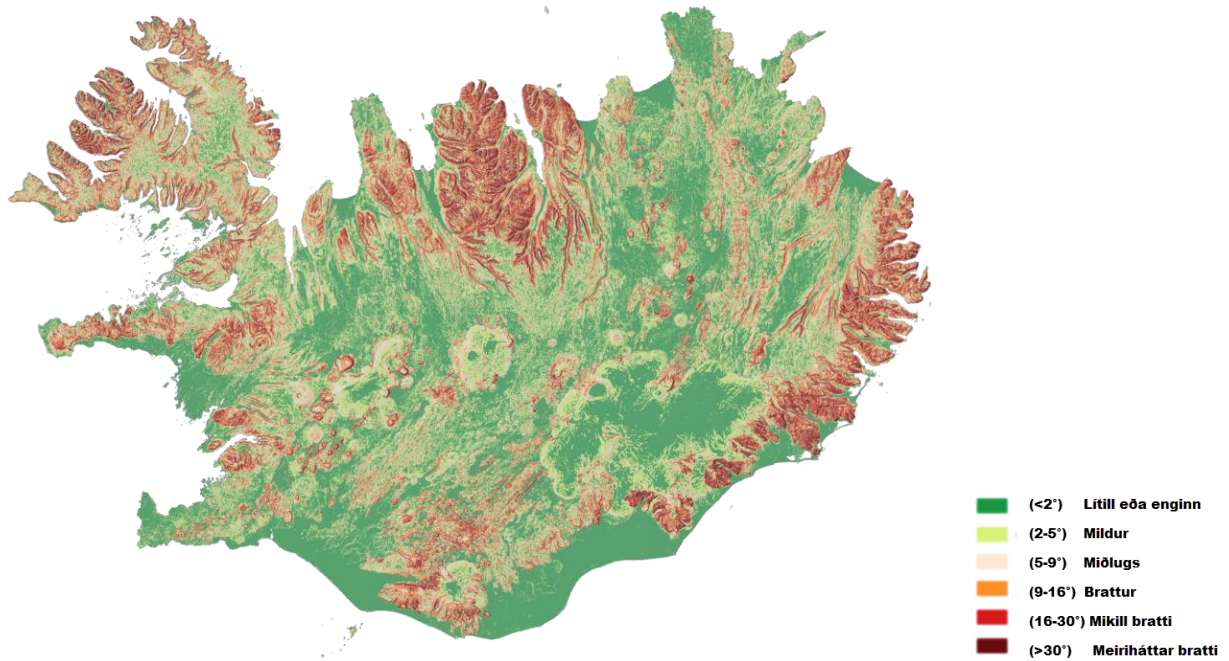
Mynd 22: Reiknað 50 ára endurkomugildi vindhraða í heimild [5]. Byggt á úrvinnslu á endurgreiningu veðurreikninga.

Aftaka vindur á Íslandi tengist yfirleitt lægðagangi við landið og hæstu vindhviður eru að jafnaði mestar í nánd við fjöll. Þekktir eru nokkrir vindasamir staðir á láglendi t.d. undir Hafnarfjalli, undir Eyjafjöllum og við Lómagnúp. Erlendis er aftakavindur sem veldur tjóni á háspennulínunum oft tengdur staðbundnum áhrifum frá skýstrókum/hvirfilbyljum og „*downburst*“⁵, í 80% tilvika samkvæmt [2].

A.3 Ofanflóð

Ofanflóð er samheiti yfir snjóflóð, skriðuföll og krapaflóð. Landhalli og bratti hefur mikil áhrif á staði þar sem vænta má ofanflóða og stærð þeirra. Mynd 23 sýnir landhalla á Íslandi.

5 „Downburst is defined as a mass of cold and moist air that drops suddenly from a thunderstorm cloud base, impinges on the ground surface, and then horizontally diverges from the center of impact“.



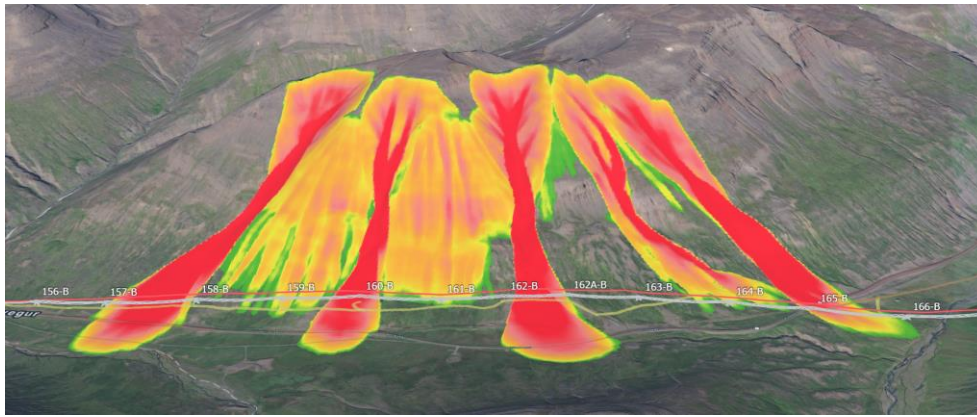
Mynd 23: Landhalli samkvæmt kortasjá Landmælinga Íslands (lmi.is).

A.3.1 Snjóflóð

Yfirleitt er forðast að fara með möstur um svæði þar sem er snjóflóðahætta. Stundum er þó ekki hægt að komast hjá því og þá er reynt að sneiða hjá mestu ógninni þegar möstur eru staðsett. Fljótsdalslínur 3 & 4 (FL3&4) eru dæmi um háspennulínur þar sem er snjóflóðavá. Þar voru byggð 88 möstur til að standast snjóflóð af mismunandi stærðum. Mynd 24 sýnir dæmi um möstur hönnuð fyrir snjóflóð í FL 3&4. Einnig er fyrirhugað að fara með Blöndulínu 3 um snjóflóðasvæði í Öxnadal og Kiðaskarði. Unnt er að hanna möstur til að standast hófleg snjóflóð en óvissan er töluvert meiri en við hönnun fyrir ísingu og vind. Þá er lítil reynsla af því hvernig möstrum reiðir af í stórum snjóflóðum. Í dag er unnt að stærðarmeta snjóflóðavá með hermun og mynd 25 sýnir dæmi um slíkt. Mynd 26 sýnir dæmi um nokkur þekkt snjóflóðasvæði.

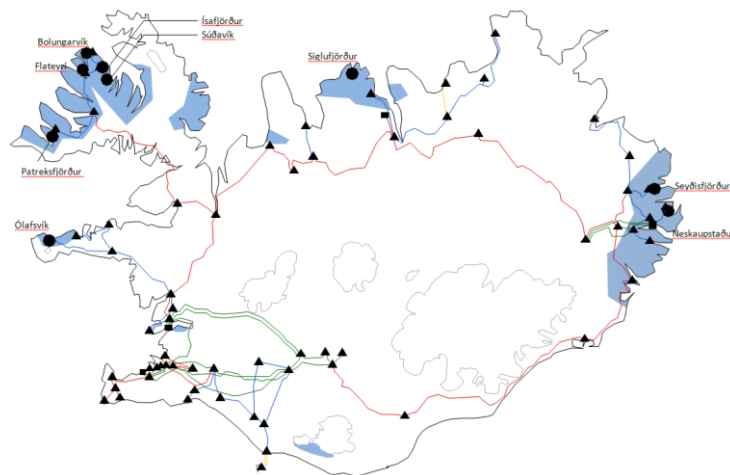


Mynd 24: Snjóflóðamöstur í Fljótsdalslínunum 3 og 4, í Áreyjadal við Reyðarfjörð.



Mynd 25: Dæmi um hermun á 50 ára snjóflóði í Öxnadal á línuleið Blöndulínu 3. Hermun unnin af Veðurstofu Íslands.

Landhalli og bratti er forsenda stærri snjóflóða. Flekaflóð eiga sér venjulega upptök í 25°-55° halla. Ef halli er undir 25° er skerspennan og skeraflögunin ekki næg til að flekinn bresti. Í brattari brekkum (>55°) myndast yfirleitt ekki fleki heldur hrynur snjórinn niður í köggjum og litlum lausasnjóflóðum.



Mynd 26: Dæmi um þekkt svæði með mikla snjóflóðahættu. Hér vantar nokkur svæði, t.d. á línuleið BL3.

Snjóflóð eru stundum flokkuð í eftirfarandi stærðarflokka, flokkunin er upprunnin í Kanada.

Tafla 7. Flokkun snjóflóða (CAA 2002 [5]). „I“ er ástreymisþrýsingur og „L“ er dæmigerð flóðlengd.

Flokkur	Lýsing	Massi [tonn]	I [kPa]	L [m]
1	Spýja, sem varla getur grafið mann.	10	1	10
2	Snjóflóð sem getur grafið mann.	100	10	100
3	Snjóflóð sem getur grafið og eyðilagt fólksbíl, grafið vörubíl, skemmt hús eða eyðilagt minni byggingar.	1000	100	1000
4	Snjóflóð sem getur eyðilagt nokkur hús eða skógi upp að 4 hektarar.	10.000	500	2000
5	Stærstu snjóflóð, geta eyðilagt mörg hús eða skógi upp að 40 hektarar.	100.000	1000	3000

A.3.2 Krapaflóð

Krapaflóð eru ákveðin tegund af snjóflóðum, þar sem snjór í giljum eða farvegum metstast vatni og hleypur fram sem krapa.

A.3.3 Skriður

Skriður geta ógnað möstrum, og á það bæði við berghlaup og aurskriður. Í flestum tilvikum ættu möstur að standa af sér minni háttar aurskriður. Myndir 27 og 28 sýna dæmi um aurskriður.



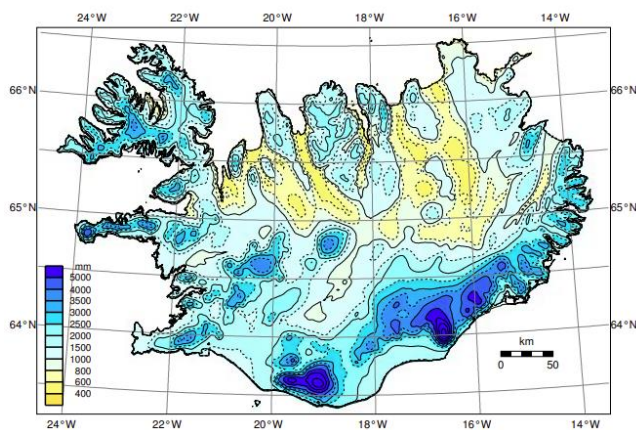
Mynd 27: Aurskriða á Austfjörðum, líklega Berufjörður.



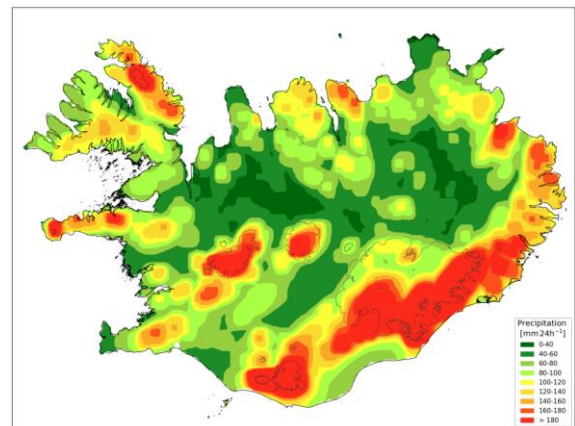
Mynd 28: Skriða í Varmahlíð 28. Júní 2020. Skriðan er talin afleiðing af miklu vatni í jarðvegi á svæðinu en þó ekki bein afleiðing af leysingum (Ljósmynd: Lögreglan á Norðurland Vestra).

A.4 Vá tengd snjó

Mikil snjósöfnun getur haft áhrif á rekstraröryggi lína, minnkað persónuöryggi ef hæð undir línu verður of lítil, og valdið tjóni á mannvirkjum þegar snjór sígur eða við snjóskrið. Myndir 29 og 30 sýna annars vegar mat á meðalúrkomu og hins vegar mestu sólarhringsúrkomu.



Mynd 29: Úrkoma á Íslandi (1971-2000), gefur vísbendingu um snjóþýngsl. Heimild VÍ, [8].



Mynd 30: Mesta sólarhringsúrkoma skv. VÍ 2020-008, [9].

A.4.1 Snjódýpi

Snjódýpi skiptir máli við hönnun háspennulína því að hæð upp í leiðara skal miðast við verstu aðstæður. Við staursetningu línu er miðað við að staðalgildi, sem er að samfara ísingu á leiðurum sé

20 cm snjódýpi fyrir hverja 100 m yfir sjó, en þó ekki minna en 40 cm. Fyrir línu á hæðarbilinu 5 – 500m er snjódýpi í hönnun á bilinu 0,4 til 1,0 m. Þar sem hættu er á skaflamyndun er reynt að taka tillit til þess. Myndir 31 og 32 sýna dæmi um háspennulinur á Íslandi þar sem óvenju mikil snjósöfnun hefur átt sér stað. Mynd 33 sýnir mat á 50 ára snjódýpt sem skal nota við mat á hönnunálagi vegna snjópunga samkvæmt íslensku þjóðarskjali við EN 1991-1-3.



Mynd 31: Mikil snjódýpt á Flatafjalli milli Arnarfjarðar og Dýrafjarðar, 19. apríl 1999.



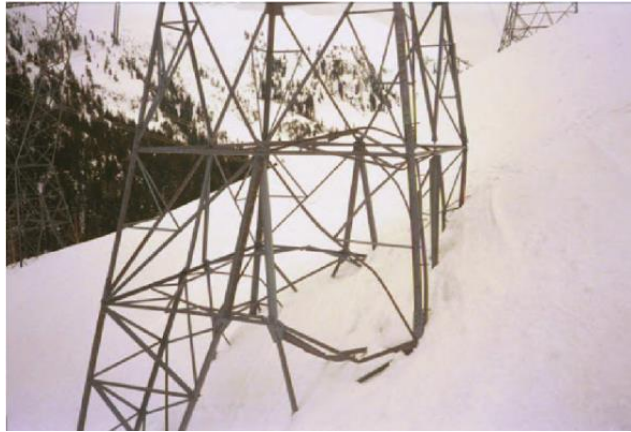
Mynd 32: Mikil snjódýpt, skafl, í Syðridal inn af Bolungarvík.



Mynd 33: Snjódýpt skv. þjóðarskjali Íslands við EN 1991-1-3.

A.4.2 Snjósig/snjóskrið

Skemmdir geta orðið á möstrum vegna snjóþrýstings sem verður vegna snjósigs og/eða snjóskriðs. Þetta gerist einkum þar sem mikill snjór getur safnast saman í bratta. Þrýstingurinn er gjarnan á vorin og getur tengst ójafnri bráðnun. Dæmi um skaða af þessum völdum þekkist vel í Kanada (hjá BC-Hydro) og í Noregi (hjá Statnett). Mynd 34 sýnir dæmi um skaða á mastri í Kanada. BC-Hydro hefur sett hönnunarkröfur vegna þessara áhrifa á nýjar línur sem eru útsettar fyrir þessu.

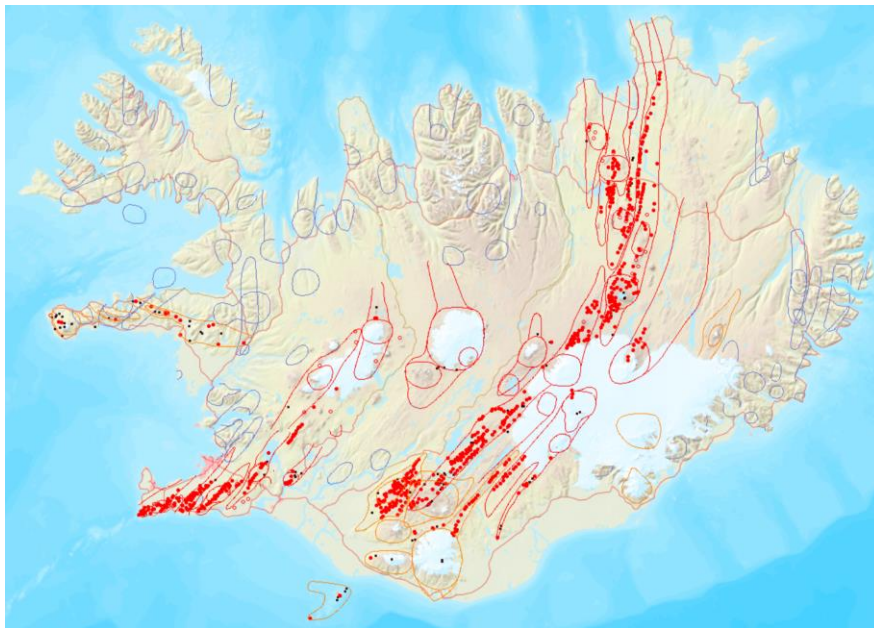


Mynd 34: Skaði á mastri (bognar stangir), hjá BC-Hydro í Kanada vegna snjósigs/snjóskriðs (G. William og Anderson).

Á Íslandi hefur snjósig/snjóskrið ekki verið vandamál við rekstur háspennulína. Ef stagað mastur stendur þar sem er halli og snjódýpi mikið, getur snjósig/snjóskrið valdið viðbótarálagi á stög og undirstöðupinna sem getur orsakað tjón. Hægt er að taka tillit til þess við hönnun, til dæmis með landmótun eða að nota óstöguð möstur, sem eru hönnuð fyrir þessu.

A.5 Eldsumbrot

Virk eldstöðvakerfi á Íslandi má sjá á mynd 35. Eldsumbrot geta haft í för með sér mismunandi vá fyrir háspennulínur, þar má helst telja: hraunrennsli, flóð tengd eldsumbrotum og öskuafall.



Mynd 35: Eldstöðvakerfi (hringir), gossprungur (rauðir punktar) og gígar (svartir punktar) á Íslandi. Bláir hringir eru útkulnaðar eldstöðvar. Fengið af síðunni lmi.is.

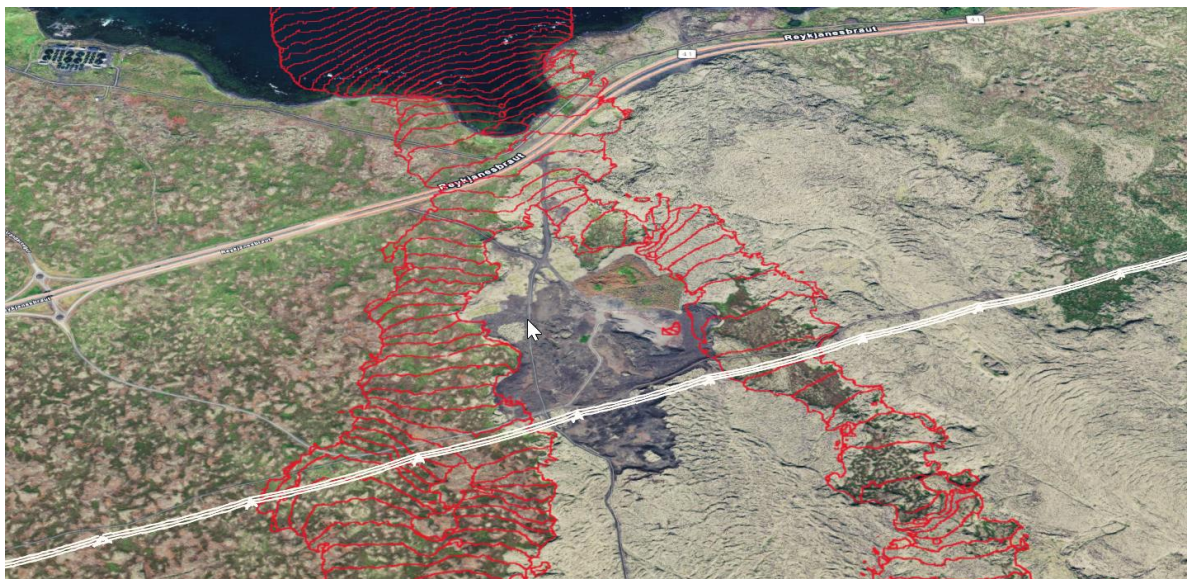
A.5.1 Hraunrennsli

Hraunrennsli og áhrif þess á háspennulínur hefur fengið aukna athygli eftir að eldgosahryna byrjaði á Reykjanesi. Tjón á loftlínunum af völdum hraunrennslis getur verið tvíþætt. (i) Möstur verða fyrir hraunrennsli og falla af völdum hitaáhrifa eða skriðþunga hrauns, (ii) Leiðari ofhitnar og skemmist.

Víðast er hraunrennsli mjög sjaldgæfur atburður og mikil óvissa er um uppkomustaði þess. Unnt er að gera hraunrennslishermanir til að meta útbreiðslu hrauna og velja möstrum stað á heppilegum stöðum sem eru síður í farvegi hraunrennslis. Unnt er að verja möstur fyrir hóflegu hraunrennsli eins og dæmi er um frá Svartsengi, sjá Mynd 36.



Mynd 36: Mastur í SM1, leiðigarður settur til að verja mastur gegn hraunflæði. Garðurinn virkaði fullkomlega þegar hraun rann að honum 8. febrúar 2024. Leiðari skemmdist ekki vegna hitaáhrifa frá hrauni.



Mynd 37: Dæmi um hraunflæðisgreiningu við Suðurnesjalínu 2 við Kúagerði, rauðar línur. Unnt var að staðsetja flest möstur utan við líklegustu leiðir hraunrennslis, eitt mastur þarf að verja.

A.5.2 Flóð tengd eldsumbrotum

Eldgosum undir jökli fylgir jafnan jökulhlaup. Stærstu hlaupin sem sögur fara af á Íslandi eru vegna eldgosa í Kötlu og hefur hámarksrennsli þeirra verið áætlað alt að 300.000 m³/s. Skaftárhlaup sem koma á eins til tveggja ára fresti eiga upptök sín á jarðhitasvæðum undir Vatnajökli í Skaftárkötlum. Stærð Skaftárhlaupa er breytileg, frá 100-200 m³/s upp í 1500 m³/s í stærstu hlaupum⁶.

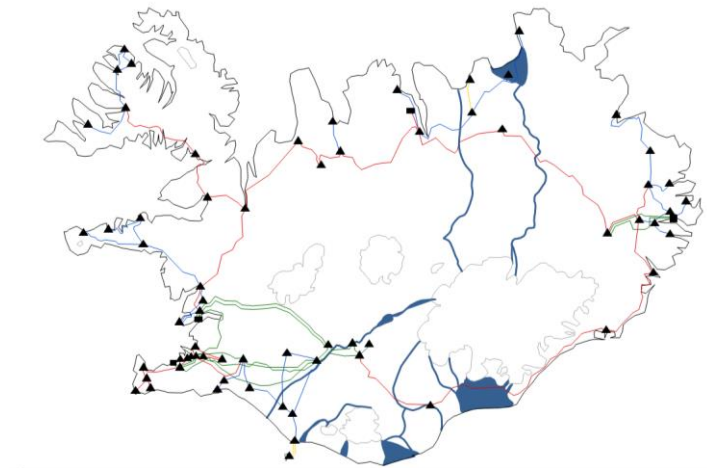
⁶ Heimild: [Jökulhlaup | Veðurstofa Íslands \(vedur.is\)](https://www.vedur.is/)



Mynd 38: Jökulvatnshlaup á Skeiðarársandi við eldgos í Grímsvötnum. Prestbakkalína 1.



Mynd 39: Grafist hefur frá tvístæðu á niðurreknum staurum, stauravirki til varnar. Prestbakkalína 1.



Mynd 40: Dæmi um svæði sem eru útsett fyrir flóðum tengdum eldsumbrotum .

A.5.3 Öskufall

Í Heklugosinu 1970 féll aska á tengivirki við Búrfell og nálægar línur og olli útslætti vegna öskuryks á einangrakeðjum. Þarna var um að ræða mikið öskufall vegna nálægðar við Heklu. Tengivirki eru nú almennt innivirki og er útsláttarhættan því aðallega bundin við línurnar sjálfar.

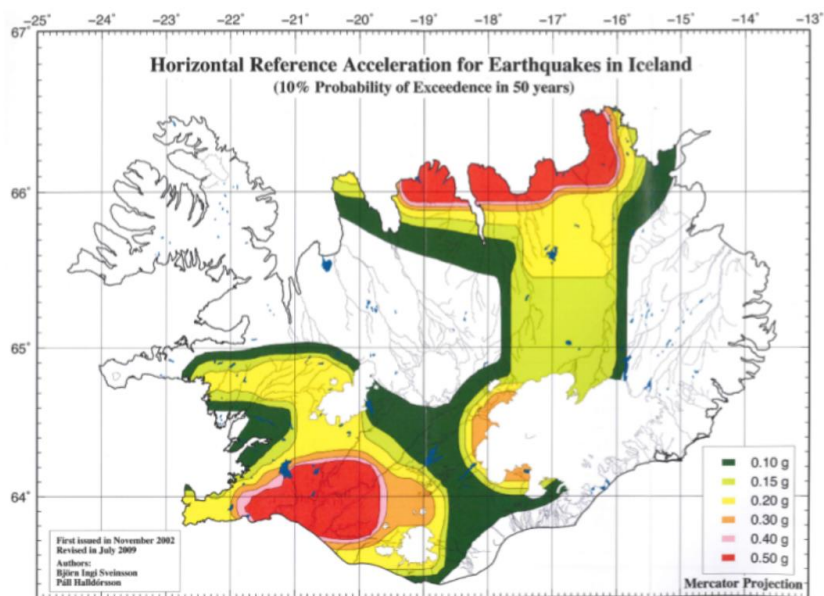


Mynd 41: 220 kV Búrfellslína 2 í námunda við gos í Heklu.

A.6 Jarðhræringar

A.6.1 Jarðskjálftar

Á heimsvísu eru fá dæmi um að loftlínur hafi orðið fyrir skemmdum í jarðskjálftum ef frá eru talin möstur þar sem ysjun í lausum jarðlögum hefur átt sér stað. Ekki eru dæmi um alvarlegt tjón á háspennulínunum á Íslandi sökum jarðskjálfta. Í jarðskjálftunum árin 2000 (stærð 6,5) og 2008 (stærð 6,3) varð óverulegt tjón á háspennulínunum Landsnets og engin útleysing. Í jarðskjálftanum 2000 varð vart við hreyfingar á þremur undirstöðum eða stagfestum í Búrfellslínunum 2 og 3 á Suðurlandi en án alvarlegs tjóns [8]. Stöguð möstur þola umtalsvert meiri færslur en óstöguð möstur. Mynd 42 sýnir jarðskjálftaáðættukort fyrir Ísland.



Mynd 42: Jarðskjálftaáðættukort sem sýnir lárétta yfirborðshröðun með 475 ára meðal endurkomutíma (10% probability of exceedance in 50 years). Höfundar Björn Ingi Sveinsson og Páll Halldórsson, 2002.

A.6.2 Höggunarhreyfingar

Höggun er varanleg hreyfing jarðlaga í jarðskjálfta, þ.e. sprungumyndun eða endurtekin hreyfing á fyrirliggjandi sprungu. Loftlínur hafa mjög gott þol gagnvart höggunarhreyfingum, nema þá helst að það myndist sprunga beinlínis undir einstöku mastri. Jafnvel í slíku tilfelli myndi stagað mastur þola umtalsverða aflögun áður en það hryndi.

A.7 Flóð, selta, eldingar og fleira

A.7.1 Flóð og ísruðningur

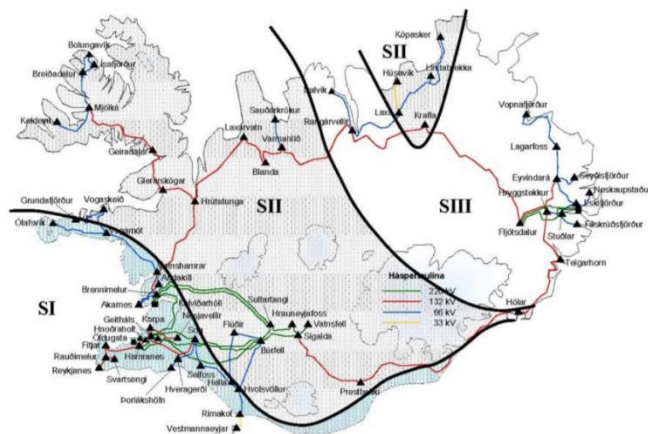
Aftakaflóð í ám geta ógnað möstrum, og þó einkum ef þeim fylgir mikill ísruðningur þegar ísilagðar ár eru að ryðja sig. Ef mastur stendur nálægt árbakka getur áin einnig grafið frá því. Hægt er að verja möstur með því að byggja mastursstæðið upp og grjótverja það.



Mynd 43: Flóð í Hvítá. Búrfellslína 1 t.v. og Búrfellslína 3 t.h. Möstrin næst eru á austurbakka Hvítár, horft austur. Möstrin standa á háum undirstöðum og hornið til hægri stendur á upphækkun til að lyfta því upp fyrir flóðmörk.

A.7.2 Selta

Selta getur verið vandamál við rekstur háspennulína þegar hún sest á einangrara og veldur útslætti. Sem dæmi má nefna ísingarveðrið 10.-11. desember 2019. Í gífurlegu norðan hvassviðri hlóðst þá mikil selta og seltublönduð ísing á tengivirkin við Hrutatungu og Sauðárkrók, og nálægar línur, en tengivirkin voru þá opin útivirki. Nokkurra daga straumleysi var á meðan verið var að hreinsa seltuna af, en veður var mjög óhagstætt til þess. Nú hefur Landsnet reist innivirki á báðum þessum stöðum og munu útivirki Landsnets brátt heyra sögunni til. Eftir sem áður geta orðið truflanir á línunum vegna seltu. Til að bregðast við því hefur einangrun lína verið aukin og er einangrunarstig 220 kV lína hér á landi hærra en á 220 kV línunum víðast hvar erlendis. Einhver selta getur borist talsvert langt inn til landsins, en seltuáhleðsla er að jafnaði mest næst ströndinni.



Mynd 44: Seltuflokkar samkvæmt stöðluðum hönnunarkröfum tengivirkja Landsnets [9]. Flokkað er í þrjá flokka: SI= High concentration, SII=Medium concentration og SIII=Low concentration.



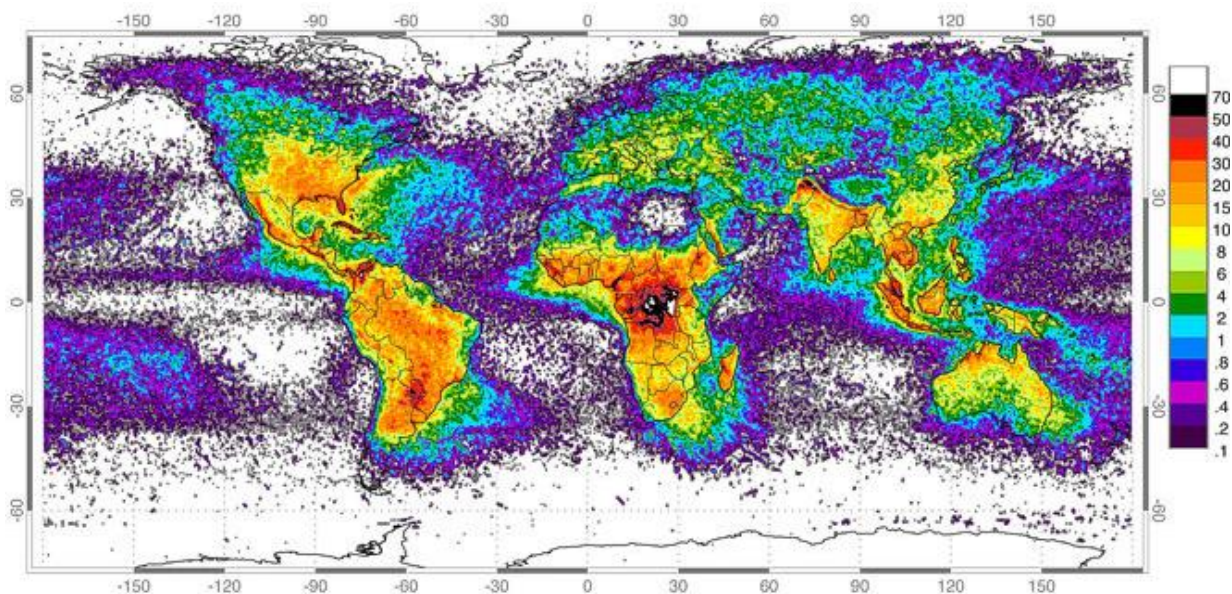
Mynd 45: Selta hreinsuð af einangrurum í tengivirki á Sauðárkróki, í desember 2019.



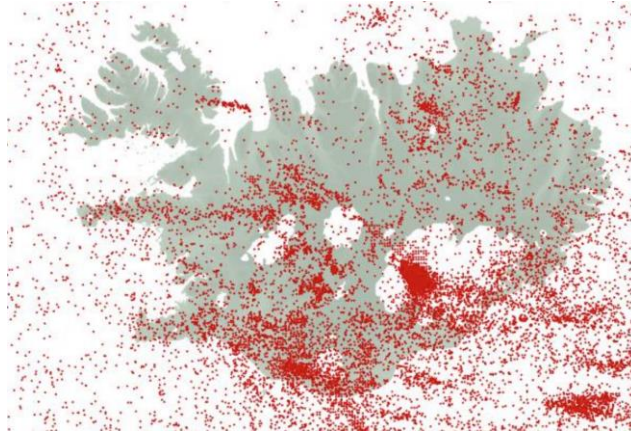
Mynd 46: Seltublandaður ís á einangrara. Hann skemmdist þegar yfirsláttur bálaði yfir hann.

A.7.3 Eldingar

Miðað við það sem er víða erlendis, er lítið um eldingar á Íslandi, sjá mynd 47. Þó koma þrumuveður stöku sinnum hér á landi og geta valdið truflunum á háspennulínunum eins og gerðist Suðurnesjalínu 1 þann 25. janúar 2024. Hægt er að taka tillit til þess við hönnun, til dæmis með því að hafa jarðvíra efst á línunum, sem grípa eldingarnar og leiða þær til jarðar. Einnig er yfirleitt búnaður í tengivirkjum til að vernda þau ef elding fer í línu. Jarðvírar eru að jafnaði á línun næst tengivirkjum (á 1.5 km kafla) og stundum á allri línunni, og er það háð mati hverju sinni.



Mynd 47: Kort yfir tíðni eldinga á jörðinni, fjöldi eldinga á km²/ár á tímabilinu apríl 1995-feb. 2003. Athuganir frá NASA OTH (4/95-3/00) og LIS (1/98-2/03).



Mynd 48: Staðsetning eldinga við Ísland á tímabilinu 1998-2022 samkvæmt ATDnet mælingum bresku veðurstofunnar, heimild [13].

Eins og sjá má á mynd 48 eru eldingar algengari á syðri helmingi landsins. Í yfirliti um eldingar á Íslandi á tímabilinu 1996 til 2008, kemur fram að Norðvesturland er eitt minnsta eldingasvæði landsins [2].

Í heimild [13] segir Þórður Arason um eldingar á Íslandi:

Eldingapéttnin er hæst við suðurströnd landsins. Hæsti hóllinn SA af landinu er að mestu frá einu þrumuveðri. Almenn er eldingapéttnin mjög lág á Íslandi; fáir þrumudagar á ári og fáar eldingar í hverju þrumuveðri. Eldingapéttni er hæst á Íslandi um 0.02 /km²/ár og um 0.002 /km²/ár í Reykjavík. Til samanburðar er eldingapéttni í USA víðast um 0.1–5, en hæst í Florida um 15 /km²/ár.

A.7.4 Skógareldar

Skógareldar hafa víða leitt til rekstrartruflana erlendis en hafa ekki verið vandamál fyrir háspennulínur á Íslandi. Með vaxandi skógrækt hér á landi gætu skógareldar farið að gera vart við sig, einkum ef horft er til langs tíma. Skógræktarsvæði eru skilgreind í aðalskipulagi. Það dregur að vísu úr hættunni að mjög takmörkuð skógrækt er heimiluð innan helgunarsvæðis línu.

A.7.5 Sífreri

Sífreri finnst víða á hálendi Íslands, bæði í melum (frerabungur) og í mýrum (rústasvæði). Með hlýnandi loftslagi lætur sífrerinn undan síga og geta því ferli fylgt hægir hreyfingar sem gætu haft áhrif á möstur sem yrðu reist á sífreranum. Ef sífreri kemur í ljós þegar verið er að koma undirstöðum og stagfestum fyrir, er brugðist við því með sérstökum frágangi, ef ástæða þykir til. Sífreri hefur ekki verið vandamál við línulagnir á hálendinu enn sem komið er.



Mynd 49: Færslur á mastraundirstöðu á Grænlandi þegar sífreri byrjaði að þiðna og jarðvegur skreið fram. Myndir eru teknar með þriggja ára millibili. Mastrið hefði fallið ef ekki hefði verið farið strax í aðgerðir.

A.7.6 Frostlyfting

Ekki er útilokað að frostlyfting geti hreyft við undirstöðum eða stagfestum, en litlar líkur á að það geti haft áhrif á rekstraröryggi línanna. Slíkar breytingar eru mjög hægfara og ættu að koma í ljós við reglubundið eftirlit með línunum.

A.7.7 Landbrot

Í undantekningar tilvikum getur landbrot haft áhrif á rekstraröryggi háspennulína, dæmi um slíkt er þegar flytja þurfti 132 kV Prestbakkalínu 1 frá sjávarbakkanum, sjá



Mynd 50: Landbrot á Breiðamerkursandi. Færa þurfti Prestbakkalínu 1 frá sjávarbakkanum, að hluta upp fyrir veg.

A.8 Þreytuáhrif

Loftlínur eru útsettar fyrir þreytuáraun vegna hreyfinga sem framkallast af vindi og stundum samspili af vindi og ísingu. Setja þarf upp dempara á leiðara til að minnka titring og þreytu. Einnig þarf að huga að því að einstakar stangir í mastri eða jafnvel mastrið í heild fari ekki að sveiflast á eigintíðni og valda þreytuáraun. Við þessu er brugðist í hönnun með nokkrum ráðum. Það sem hefur reynst einna erfiðast að eiga við er valhopp leiðara, það er skýrt hér á eftir.

A.8.1 Valhopp leiðara

Við valhopp getur leiðari byrjað að sveiflast um nokkra metra upp og til hliðar og getur fyrirbærið staðið yfir í nokkra klukkutíma. Dæmi eru um að færslur leiðara séu allt að 12 m í valhoppi. Mynd 51 sýnir dæmi um færslur leiðara í Búrfellslínu 3 á Hellisheiði. Valhopp getur framkallað útleysingu vegna samsláttar leiðara eða við jarðvír. Valhopp getur einnig framkallað þreytuáraun, t.d. brot á leiðara í upphengi, sjá dæmi um slíkt á mynd 52. Valhopp getur myndast þegar ísing er á leiðara samfara jöfnu vindstreymi sem er oft á bilinu 6-10 m/s. Ísingin er oft smávægileg og þarf ekki að hylja allt yfirborðið, sjá mynd 53. Þversniðið verður óstöðugt og það myndast hreyfiorka. Valhopp getur myndast alls staðar þar sem ísing getur hlaðist á leiðara en tíðleikinn hér á landi er mestur þar sem tíðni skýjaísingar er mikil.

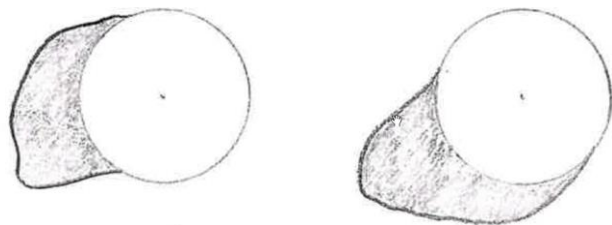


Mynd 51: Leiðari í BU3 á Hellisheiði (tvíleiðari) er hér á mikilli hreyfingu í valhoppi. Eftirfarandi myndir eru teknar á 4 sek. tímabili. Samspil ísingar og vinds framkallar valhopp.

Það er ekki einfalt að fyrirbyggja eða dempa valhopp og á stöðum þar sem er mikil hættu á valhoppi er leitast við að hafa fjarlægðir milli aðliggjandi leiðara og/eða jarðvír svo miklar að samsláttur verði ekki þó valhopp eigi sér stað. Einnig er leitast við að hafa frágang og styrk tengibúnaðar þannig að hann hafi gott þol gagnvart þreytuáhrifum.



Mynd 52: Valhopp orsakaði þreytubrot í leiðara við upphengi, mynd frá 400 kV línu í Noregi.



Mynd 53: Ísingarþversnið sem orsakaði valhopp á Suðurnesjalínu 1 í Hafnarfirði þann 10.03.1998. Ísingarkjölur 12-25mm. Sveiflur voru metnar, algengt sveifla 2-4 m en mest 5 – 6 m.

A.9 Vá af völdum mannvirkja

Nærliggjandi mannvirki geta skapað vá fyrir háspennulínur. Sem dæmi má nefna íshrun af spöðum vindmylla. Einnig má benda á nokkur dæmi eru um að mannvirki og iðnaðarframleiðsla valdi aukinni tæringu á möstrum. Sem dæmi má nefna blásandi holur á Hellisheiði og tæringu á möstrum næst álveri Ísal og möstrum við álverið í Hvalfirði.



Mynd 54: Tæring á möstrum og upphengibúnaði nærri Hellisheiði. Tæringin stafar af jarðhitagufum, svo sem brennisteinsvetni frá borholum.