LANDSNET

[Landsnet 2023-03-80]

SUÐURNESJALÍNA 2

GREINING Á TJÓNNÆMI VEGNA JARÐVÁR

LANDSNET

SUÐURNESJALÍNA 2

GREINING Á TJÓNNÆMI VEGNA JARÐVÁR

Unnið af:

EFLA
Verkís
Landsnet

Fyrir Landsnet

Dagsetning: 18.4.2023

© Landsnet 2023-03-80

Hugtakalisti

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 assessement) Heildarferli sem felur í sér að finna, átta sig á og lýsa, og gera sér grein fyrir áhættu. Ákvörðun umfangs og eðlis áhættu eða áhættuþátta (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.

Hættumat (e. hazard assessment) Tilgreina, meta og flokka mögulegar hættur sem eru fyrir hendi við skilgreindar aðstæður eða kennistærðir. Áhættugreiningar og áhættumat byggjast á hættumati. Hættumat á náttúruhamförum og umfangi þeirra, einnig mat á öðrum hættum t.d. tæknivá, stríðsástandi o.s.frv. Hugtakið er mikið notað hér á landi, en er ekki skilgreint sérstaklega í orðalista Sameinuðu þjóðanna og Alþjóða veðurfræðistofnunarinnar (www.unisdr.org).

Mótvægisaðgerðir (e. mitigation) Aðgerðir sem miða að því að milda, draga úr eða koma í veg fyrir, að almenningur, eignir, umhverfi eða samfélag verði fyrir skaða vegna hamfara af völdum náttúrunnar eða af mannlegum toga. Það er hægt að gera t.d. með reglugerðum eða með fræðslu um hvernig er hægt að haga ákveðnum hlutum. Varnaraðgerðir á borð við varnargarða vegna hraunflæðis eru einnig dæmi um mótvægisaðgerðir til að draga úr hættu og varna skaða eða tjóni.

Ótiltæki Ótiltæki raflína segir til um tímalengd á skertri raforkuafhendingu. Ótiltæki 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 varnarvirkja, 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 mótvægisaðgerðum, t.d. varnargörðum. Breytingar á skipulagi byggðar og byggingarlagi, viðbragðsáætlanir, viðbúnaður og fræðsla geta líka lækkað tjónnæmi.

Efnisyfirlit

1 Inngangur 6
2 Suðurnesjalína 2 8
2.1 Forsendur 8
2.2 Mannvirki 9
2.2.1 Val á línuleið 9
2.2.2 Um samanburð á loftlínu og jarðstreng 10
2.2.3 Loftlína 11
2.2.4 Jarðstrengur 12
3 Jarðvá 15
3.1 Almennt 15
3.2 Hraunflæði á línuleið Suðurnesjalínu 2 15
3.3 Jarðskjálftar og jarðhreyfingar á línuleið Suðurnesjalínu 2 22
4 Tjónnæmi raflína 23
4.1 Loftlínur 23
4.1.1 Áhrif hraunrennslis á loftlínur 23
4.1.2 Áhrif jarðskjálfta á loftlínur 26
4.1.3 Viðgerð á loftlínu af völdum skemmda frá hraunrennsli 27
4.2 Jarðstrengir 27
4.2.1 Jarðstrengir og hitamyndun 27
4.2.2 Áhrif hraunrennslis á jarðstrengi 28
4.2.3 Reynsla af hitaáhrifum hraunrennslis á jarðlagnir 29
4.2.4 Áhrif jarðskjálfta á jarðstrengi 29
4.2.5 Viðgerð á jarðstreng 32
5 Sviðsmyndagreiningar 33
5.1 Almennt 33
5.2 Hraunflæði til lægðarinnar við Seltjörn í átt að Vogavík 34
5.2.1 Hermun sviðsmyndar 34
5.2.2 Mótvægisaðgerðir 38
5.3 Hraunflæði nær til sjávar við Vatnsleysuvík 41
5.3.1 Hermun sviðsmyndar 42
5.3.2 Mótvægisaðgerðir 44
5.4 Hraunflæði á Strandarheiði 46
5.4.1 Hermun sviðsmyndar 47
5.4.2 Mótvægisaðgerðir 50
5.5 Höggunarhreyfingar á línuleið 51
6 Niðurstöður 55
7 Heimildir 58

1 Inngangur

Landsnet hefur lengi undirbúið styrkingu flutningskerfisins á Suðurnesjum, m.a. með áformum um byggingu Suðurnesjalínu 2, nýrrar raflínu milli Hafnarfjarðar og Njarðvíkurheiðar. Mat á umhverfisáhrifum hefur farið fram og aðalvalkostur liggur fyrir; loftlína á lengstum hluta leiðarinnar en jarðstrengur á styttri kafla innan þéttbýlismarka Hafnarfjarðar. Þá liggur framkvæmdaleyfi fyrir Suðurnesjalínu 2 fyrir í þremur þeirra fjögurra sveitarfélaga sem hún mun liggja um en Sveitarfélagið Vogar hefur ekki veitt leyfi.

Fulltrúar sveitarfélagsins Voga hafa bent á tvær nýlegar álitsgerðir, eina frá Rannsóknarstofu Háskóla Íslands í Eldfjallafræði og Náttúruvá (REN), áður Jarðvísindastofnun HÍ, þar sem í forsvari eru eldfjallafræðingarnir Ármann Höskuldsson og Þorvaldur Þórðarson og landfræðingurinn Ingibjörg Jónsdóttir. Og svo önnur frá jarðeðlisfræðingnum Ástu Rut Hjartardóttur, sérfræðingi í jarðhniki hjá REN, sjá [2] og [4]. Túlkun sveitarfélagsins hefur verið á þann hátt að fyrirhuguð loftlínuleið, sem fjallað var um og lögð var fram sem aðalvalkostur í umhverfismati, bæti ekki afhendingaröryggi raforku með tilliti til jarðvár á Suðurnesjum. Ennfremur er lagt út frá því að jarðstrengur norðanmegin við Reykjanesbraut sé verulega áreiðanlegri og betri lausn en loftlínulausn með tilliti til jarðvár.

Ofangreindar álitsgerðir um jarð- og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogum gefa gleggri mynd af þessari vá en áður lá fyrir. Hins vegar fjalla þær ekki um mögulegt tjón eða hversu viðkvæm mannvirki eru fyrir tjóni vegna náttúruhamfara, né til hvaða viðbragða er unnt að grípa til að minnka tjón og koma flutningsvirkjum í raforkukerfinu aftur í rekstur, verði tjón af völdum jarðvár eða eldsumbrota.

Hugtakið tjónnæmi lýsir því hversu næm t.d. mannvirki, í þessu tilviki Suðurnesjalína 2, eru fyrir jarðvá, með öðrum orðum hvernig línan þolir það álag sem búast má við að hún verði fyrir vegna fyrrnefndrar vár. Mikið tjónnæmi gefur því til kynna meiri líkur á skemmdum eða rekstrartruflun verði línan fyrir áhrifum náttúruhamfara. Fjölmörg gögn hafa verið unnin í tengslum við jarðvá og eldsumbrot á Reykjanesi af ýmsum sérfræðingum, bæði í tengslum við umhverfismat Suðurnesjalínu 2 en einnig í kjölfar jarðhræringa og eldsumbrota á Reykjanesi.

Meginmarkmið þessarar skýrslu er að fjalla um tjónnæmi loftlína og jarðstrengja og borið saman tjónnæmi tveggja leiða fyrir fyrirhugaða 220 kV háspennulínu, Suðurnesjalínu 2 með tilliti til jarðhreyfinga- og jarðskjálftavár annars vegar og eldgosavár hins vegar. Leiðirnar tvær eru í fyrsta lagi loftlína í samræmi við framlagðan aðalvalkost í umhverfismati og í öðru lagi jarðstrengur norðan megin við Reykjanesbrautina samkvæmt tillögu Sveitarfélagsins Voga. Umfjöllunin miðast að langmestu leyti við tjónnæmi gagnvart ofangreindri vá í Sveitarfélaginu Vogum. Jafnframt er gerð nánari sviðsmyndagreining sem byggir á gögnum úr fyrrnefndum álitsgerðum. Þá eru fyrirliggjandi drög að skýrslu frá Veðurstofu Íslands um *„Langtímahættumat utanverðs Reykjanesskaga Hrauna-, gas- og gjóskuvá“* og fékkst leyfi frá Veðurstofunni að nýta drögin við vinnu þessarar skýrslu.

Leiddur var saman hópur sérfræðinga frá EFLU og Landsneti sem hafa þekkingu á hönnun og rekstri raforkumannvirkja og þeim áhrifum sem vá gæti haft á afhendingaröryggi þeirra. Einnig voru fengnir í teymið sérfræðingar í áhættumati og hraunrennslisgreiningum frá Verkís sem unnu í starfshópi um varnir mikilvægra innviða á vegum Almannavarnadeildar Ríkislögreglustjóra og sitja einnig í starfshópi

Forsætisráðuneytis um afhendingaröryggi orku og vatns á Reykjanesi. Jafnframt var leitað til Veðurstofu Íslands og Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá hjá Háskóla Íslands eftir umsögn og nánari upplýsingum og gögnum.

Egill Þorsteins	EFLA	Sérfræðingur um raforkumannvirki
Jón Haukur Steingrímsson	EFLA	Jarðverkfræðingur og jarðfræðingur, í starfshópi um varnir mikilvægra innviða.
Ari Guðmundsson	Verkís	Verkefnastjóri í starfshópi um Varnir mikilvægra innviða og starfshópi FRN um afhendingaröryggi orku og vatns á Reykjanesi.
Hörn Hrafnsdóttir	Verkís	Vatnsauðlindaverkfræðingur Hraunrennslisgreiningar, í starfshópi um varnir mikilvægra innviða.
Daníel Scheving Hallgrímsson	Landsnet	Verkefnastjóri
Halldór Halldórsson	Landsnet	Öryggisstjóri
Magni Þ. Pálsson	Landsnet	Verkefnastjóri rannsókna
Unnur Helga Kristjánsdóttir	Landsnet	Forstöðumaður verkefnastjórnunar framkvæmda

2 Suðurnesjalína 2

2.1 Forsendur

Í dag er ein 132 kV raflína sem sér um flutning til og frá Suðurnesjum, Suðurnesjalína 1, sem liggur frá Hamranesi í Hafnarfirði að Fitjum í Reykjanesbæ. Þar sem Suðurnesjalína 1 er eina línan sem flytur raforku til og frá Suðurnesjum, eru ekki til staðar aðrar flutningsleiðir ef hún fer úr rekstri. Áhrif þess að Suðurnesjalína 1 fari skyndilega úr rekstri er nær undantekningarlaust tímabundið straumleysi á Suðurnesjum, með tilheyrandi neikvæðum áhrifum á heimili og fyrirtæki. Ástæða slíks straumleysis er sú að virkjanirnar á Suðurnesjum eiga í erfiðleikum með að ráða við fyrirvaralausan eyjarekstur.

Með tilkomu Suðurnesjalínu 2 verður flutningskerfið sveigjanlegra í rekstri og afhendingaröryggi eykst til muna. Í því felst að með því verður nægjanleg flutningsgeta til ráðstöfunar sem getur mætt stærri frávikum þegar stórar framleiðslueiningar eða stærri notendur aftengjast kerfinu skyndilega eða til lengri tíma t.d. vegna viðhalds.

Eftir því sem orkunotkun og/eða orkuframleiðsla eykst á Suðurnesjum verður svæðið mikilvægari hluti af orkukerfi landsins. Auka þarf flutningsgetuna milli Suðurnesja og 220 kV flutningskerfisins á Suðvesturlandi og er Suðurnesjalína 2 þar mikilvæg tenging. Bætt tenging virkjana á Reykjanesi við Hamranes í Hafnarfirði mun enn fremur styðja við afhendingaröryggi höfuðborgarsvæðisins.

Raforkuflutningur til og frá Suðurnesjum hefur breyst mikið á síðasta aldarfjórðungi. Fram til ársins 2005 var raforka flutt frá höfuðborgarsvæðinu til Suðurnesja en á síðasta áratug hafa verið verulegir flutningar á raforku frá Suðurnesjum inn á höfuðborgarsvæðið samhliða aukinni vinnslu á svæðinu. Það hefur sýnt sig að aukinn flutningur til Suðurnesja á 132 kV, t.d. í frávikstilfellum (t.d. við útleysingu á Reykjanesvirkjun), eykur áraun á 132 kV kerfið á höfuðborgarsvæðinu. Hafa kerfisgreiningar sýnt að líkur á útleysingum í kerfi Veitna munu aukast til muna verði flutningur til Suðurnesja á 132 kV til framtíðar.

Forsendur orkuþarfar á Suðurnesjum eru í grunninn byggðar á spám orkuspárnefndar, auk framtíðaráætlana sveitarfélaga. Á Suðurnesjum eru vísbendingar um að eftirspurn eftir raforku muni aukast hraðar en annars staðar á landinu. Stafar það m.a. af áformum um aukna raforkunotkun gagnavera á Suðurnesjum, auknum umsvifum á Keflavíkurflugvelli og örari fólksfjölgun.

Því er mikilvægt að með styrkingu kerfisins verði hægt að mæta mismunandi þróun raforkuflutnings án verulega aukins tilkostnaðar, þannig að uppbygging kerfisins verði sveigjanleg og sem hagkvæmust. Flutningsmannvirki endast í langan tíma, a.m.k. 40-60 ár, og því er mikilvægt að þau bjóði upp á sveigjanleika hvað varðar flutningsgetu. Skortur á flutningsgetu hefur hamlandi áhrif á uppbyggingu orkuvinnslu og orkunotkunar og getur því dregið úr vaxtarmöguleikum Suðurnesja.

Sé tekið mið af upplýsingum um þróun raforkuflutnings á Suðurnesjum, kerfisrannsóknum og spám um uppbyggingu á svæðinu má ætla að flutningsþörf til og frá Suðurnesjum verði meiri en 132 kV flutningsvirki ræður við. Að mati Landsnets er því eina raunhæfa lausnin að byggja flutningsvirki fyrir 220 kV spennu sem getur afkastað fyrirséðri orkuflutningsþörf.

Suðurnesjalínu 2 er ætlað að styrkja flutningsgetu raforku til og frá Suðurnesjum með það flutningsmikilli línu að síður þurfi að fjölga frekar flutningslínum á þessari leið í nánustu framtíð.

Meginmarkmið Landsnets með lagningu 220 kV Suðurnesjalínu 2 er að:

- Auka öryggi afhendingar raforku (á SV-horninu og Suðurnesjum sérstaklega).
- Auka flutningsgetu til og frá Suðurnesjum.
- Bæta tengingu orkuframleiðslueininga við lykiltengivirki á höfuðborgarsvæðinu.
- Anna flutningsþörf til og frá Suðurnesjum með það flutningsmikilli línu að síður þurfi að fjölga frekar flutningslínum á þessari leið í nánustu framtíð.

Ein meginundirstaða nútímaþjóðfélags er hagnýting raforku í atvinnustarfsemi og á heimilum og þarf því flutningskerfi landsins að tryggja raforkunotendum aðgang að raforku frá vinnsluaðilum á öruggan hátt. Einnig þarf að takmarka áhrif mannvirkja á umhverfið eins og kostur er. Við gerð áætlana um uppbyggingu flutningskerfisins á Suðurnesjum er því tekið mið af eftirfarandi:

1) Kerfið skal þola að ein raflína fari úr rekstri án þess að það hafi áhrif á raforkunotendur á svæðinu (N-1 reglan).

2) Til lengri tíma litið skal stefnt að því að halda fjölda raflína í lágmarki að uppfylltum kröfum um öryggi.

3) Vinnslueiningar skulu geta framleitt inn á kerfið þó svo að ein eining fari úr rekstri með þeirri undantekningu að reiðuafl getur tekið yfir allt að 100 MW svo sem þegar tenging virkjunar sem er innan við 100 MW fer úr rekstri.

Fyrsti liðurinn hér að ofan kallar á nýja raflínu, Suðurnesjalínu 2, óháð álagi og vinnslu á Suðurnesjum til að tryggja öryggi kerfisins.

Sé Suðurnesjalína 2 lögð sem jarðstrengur alla leið má reikna með því að rekstur hennar verði erfiður vegna launafls- og spennuvandamála fari virkjanirnar innan svæðisins úr rekstri. Nánari upplýsingar um samspil kerfisstyrks, launafls og spennu má finna í [1], [2] og [3].

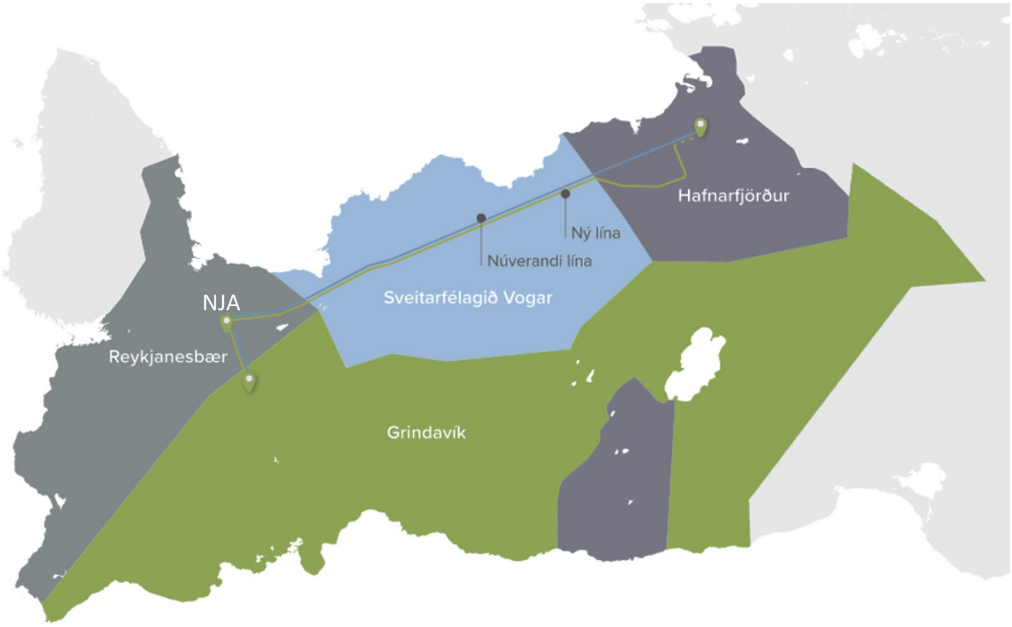
2.2 Mannvirki

2.2.1 Val á línuleið

Mat á umhverfisáhrifum vegna Suðurnesjalínu 2 hefur farið fram og álit Skipulagsstofnunar liggur fyrir. Í matinu voru sex meginvalkostir skoðaðir. Niðurstaða umhverfismatsins var að leggja fram aðalvalkost með línuna að stærstum hluta í loftlínu en með jarðstreng innan þéttbýlismarka Hafnarfjarðar, næst tengivirki í Hamranesi (1,45 km) [4]. Aðalvalkostur samanstendur þannig af jarðstreng frá tengivirkinu í Hamranesi að Hraunhellu í Hafnarfirði (1,45 km). Þaðan fer línan í lofti í suðaustur í átt að fyrirhuguðu tengivirki við Hrauntungur. Frá Hrauntungum liggur línan til suðvesturs og kemur að Suðurnesjalínu 1 við sveitarfélagamörk Hafnarfjarðar og Voga miðja vegu milli Straumsvíkur og Vatnsleysuvíkur. Þaðan munu línurnar liggja samhliða alla leið að fyrirhuguðu tengivirki á Njarðvíkurheiði í Reykjanesbæ.

Mynd 1. Lega Suðurnesjalínu 2 milli Hamraness og Njarðvíkurheiðar.

Aðalvalkostur Suðurnesjalínu 2 er 33,9 km langur. Línuleiðin liggur um 4 sveitarfélög, Hafnarfjörð, Sveitarfélagið Voga, Reykjanesbæ og Grindavíkurbæ og liggur fyrir framkvæmdaleyfi í þremur þeirra í samræmi við staðfest svæðisskipulag og aðalskipulag viðkomandi sveitarfélaga. Landsnet hefur hins vegar ekki fengið framkvæmdaleyfi fyrir línunni í Sveitarfélagi Voga.



Mynd 2. Lega aðalvalkosts innan sveitarfélaga. Suðurnesjalína 2 endar í tengivirki NJA á Njarðvíkurheiði.

2.2.2 Um samanburð á loftlínu og jarðstreng

Í þessari skýrslu er fjallað um rekstraröryggi og tjónnæmi tengt jarðvá fyrir Suðurnesjalínu 2 sem jarðstrengs norðan megin við Reykjanesbrautina til samanburðar við aðalvalkost Landsnets.

Líta þarf til fleiri þátta en jarðvár við samanburð þessara kosta, sem dæmi má nefna atriði í töflu 2. Ekki er fjallað nánar um þessi atriði hér en vísað á aðrar heimildir og matsskýrslu Suðurnesjalínu 2 [4] sem og sérfræðiskýrslur framkvæmdarinnar varðandi ítarlegri umfjöllun.

Tafla 1. Samanburður á loftlínu og jarðstreng. Atriði sem tengjast ekki jarðvá en horfa þar til við mat á valkostum.

Atriði	Samanburður á loftlínu og jarðstreng
Flutningsgeta	Loftlína flytur um 550 MVA en jarðstrengur um 350 MVA. Því á loftlínan inni meiri sveigjanleika til framtíðar.
Líftími	Líftími beggja er að lágmarki 40-50 ár. Reynslan sýnir að líftími loftlínu er gjarnan að lágmarki 80 ár og með hóflegu viðhaldi 100 ár. Óvíst er hvort unnt er að lengja líftíma jarðstrengs umfram 50 ár.
Orkutöp	Helstu töp í jarðstrengjum og loftlínum eru viðnámstöp í leiðurum Það eru að jafnaði minni orkutöp í jarðstreng því leiðari jarðstrengs er yfirleitt stærri en í loftlínu með sambærilega flutningsgetu.
Stofnkostnaður	Stofnkostnaður jarðstrengs er rúmlega tvöfaldur á við loftlínu. Kostnaðarmunur á SN2 sem jarðstrengur í stað loftlínu er um 4 milljarðar kr. Á verðlagi feb. 2023.
Viðhaldsþörf	Lítil viðhaldsþörf er á loftlínu og jarðstrengjum fyrstu árin. Viðhaldsþörf loftlínu eykst eftir um 30-50 ára líftíma. Þá er stutt eftir af líftíma jarðstrengs.
Straumleysi í bilunum	Þegar loftlína bilar er straumleysi almennt á bilinu 0,5-1 dagur og stærri bilanir eru yfirleitt lagfærðar á 3-5 dögum eftir að vinna hefst. Í jarðstrengjum er viðgerðartími almennt verulega lengri en hjá loftlínum og sjaldan undir 2 vikum og getur orðið > 1 mánuður í tilfelli alvarlegrar bilunar.
Umhverfisáhrif	Ásýnd loftlínu er meiri og nær yfir stærra svæði en jarðstrengur. Beint rask er meira af jarðstreng. Ítarleg umfjöllun er um umhverfisáhrif í Umhverfismatsskýrslu fyrir SN2..
Skipulagsmál	Helgunarsvæði loftlínu er meira en jarðstrengs, um 50 m samanborið við 12 m.
Förgun	Að loknum líftíma mannvirkis er yfirbygging loftlínu fjarlægð og fargað. Unnt er að grafa jarðstreng upp og farga en kostnaður og umhverfisáhrif eru mikil þegar strengir eru lagðir í skurð og því eru þeir yfirleitt skildir eftir í jörðu að loknum líftíma.
Áreiðanleiki, ótiltæki	Almennt er talið að það séu heldur tíðari bilanir á loftlínu en jarðstreng. Dæmi um bilanir á loftlínu eru: útleysing í vindi, ísingu, eldingaveðri, bilun búnaðar og skemmdarverk. Bilanir á jarðstreng eru t.d. ofhitnun vegna álags eða lakra jarðvegsaðstæðna, skemmd þegar unnið er nærri jarðstreng, bilun í búnaði, skemmdarverk. Eins og tiltekið er að ofan er viðgerðartími á jarðstreng lengri en loftlínu en truflanir færri. Ótiltæki, sem er margfeldi tíðni truflana og viðgerðartíma, er því álíka mikið hvort sem um er að ræða jarðstreng eða loftlínu.
Auðlindanotkun og kolefnisspor	Jarðstrengur er auðlindafrekari en loftlína. Jafnframt er kolefnisspor jarðstrengs meira við framleiðslu og byggingu en orkutöp eru yfirleitt minni á rekstrartíma og þá minnkar munur yfir líftíma mannvirkjanna.
Kerfislegir þættir	Það eru raffræðilegar takmarkanir á lengd jarðstrengja í raforkukerfum (launaflsframleiðsla og skammhlaupsafl kerfis). Hvert tilvik þarf að skoða sérstaklega.

2.2.3 Loftlína

Suðurnesjalínu 2 er ætlað að verða sambærilegt mannvirki við nýlegar loftlínur sem Landsnet hefur byggt undanfarin ár, þ.e. 220 kV Hólasandslínu 3 og 220 kV Kröflulínu 3. Möstur verða flest stöguð stálröramöstur með svipað útlit og í 132 kV Suðurnesjalínu 1, en hærri og breiðari. Hæð mastra er á

bilinu 17 – 30 m og meðalfjarlægð milli mastra er um 325 m. Jarðvírar verða einungis á möstrum næst tengivirkjum.

Fætur allra stagaðra mastra standa á forsteyptri undirstöðu, en stög halda möstrunum í skorðum. Við jörð tengjast stög við stagfestur, ýmist steyptar staghellur eða bergbolta.

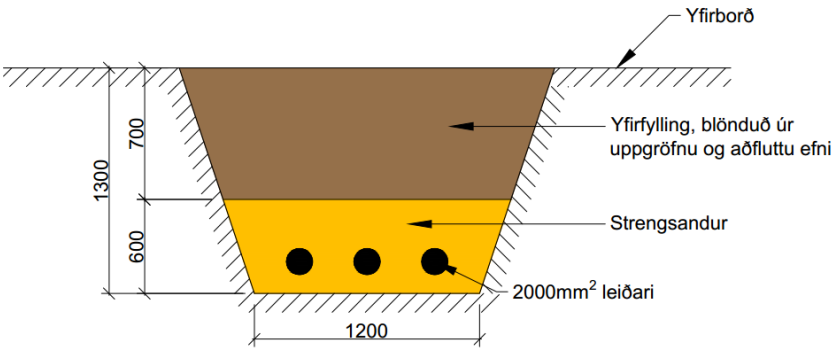
Mynd 3. Stagað burðarmastur eins og verður notað. Mynd frá 220 kV Kröflulínu 3

Mynd 4. Forsteypt undirstaða masturs.

Mynd 5. Bergbolti, boraður fóðurbolti.

2.2.4 Jarðstrengur

Í Suðurnesjalínu 2 er fyrirhugað að hafa 1,45 km langan jarðstreng (3x1x2000 mm2) frá tengivirkinu í Hamranesi. Mynd 6 sýnir frágang á jarðstreng með hefðbundnum hætti í gröfnu skurðsniði. Í kringum jarðstrengi er lagður sérstaklega varmaleiðandi sandur til að tryggja kælingu. Hámarkshiti á leiðara riðstraumsstrengs með XLPE-einangrun við samfelldan rekstur er yfirleitt gefinn upp sem 90°C. Til þess að forðast uppþornun jarðvegsins umhverfis strengi og hitaras (“thermal-run away”), sem getur leitt til skemmda á strengnum, má hitastig jarðvegs þó ekki fara yfir 50°C. Ef jarðvegur liggur að jarðstrengnum er því oft miðað við að leiðarahiti megi ekki vera meiri en 60-65°C þar sem hitafall frá leiðara að ytra byrði kápu er gjarnan áætlað um 10-15°C við þann leiðarahita.



Mynd 6. Hefðbundið skurðsnið í gröfnum skurði.

Mynd 7. Þrír leiðarar í gröfnum skurði

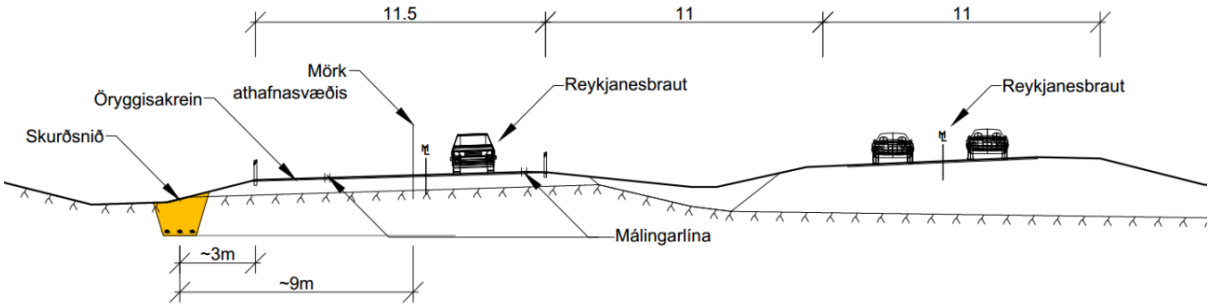
Mynd 8. Sandað yfir jarðstreng

Almennt eru strengir lagðir beint í fyllingu í skurði, sbr. myndir 6 til 8, en við ákveðnar aðstæður eru gerðir sérstakir stokkar eða jafnvel jarðgöng fyrir strengi þar sem þeir liggja í skorðum. Varmaflutningur frá strengjum í slíku fyrirkomulagi er þá aðallega með loftræsingu eða með því að grauta umhverfis strenginn (bentonít). Lítið er um slík mannvirki hér á landi og eru þau helst við tengivirki eða beinum tengingum þeirra við virkjanir.

Þar sem strengir liggja djúpt í bergi verður að gera sérstakar ráðstafanir til að tryggja varmaflutning frá strengnum. Jarðstrengurinn Nesjavallalína 2 (132 kV) sem liggur frá Nesjavöllum að Geithálsi er boraður í gegnum móbergshryggi á Hengilssvæðinu. Þar þurfti að gera sérstakar ráðstafanir til að fylla bæði borholuna og ídráttarrörin af varmaleiðandi graut. Við djúpar og langar þveranir á vegum hefur þurft að grípa til sambærilegra aðgerða.

Kostnaður við sérlausnir eins og nefndar hafa verið eru yfirleitt umtalsvert meiri en í gröfnu sniði auk þess sem flutningsgeta strengsins getur verið minni.

Skoðað hefur verið að hafa jarðstreng í vegfyllingu á Reykjanesbraut. Sú útfærsla sem kemur helst til álita er sýnd á mynd 9.



Mynd *9*. Hefðbundið snið og afstaða gagnvart vegi í fláum og skeringum .

Í mati á umhverfisáhrifum fyrir framkvæmdina voru skoðaðir sex valkostir, þrír þeirra innifólu jarðstreng. Tveir voru með jarðstreng alla leið og einn valkostur hafði blöndu af loftlínu og jarðstreng. Jarðstrengskostirnir voru: (i) jarðstrengur meðfram 132 kV Suðurnesjalínu 1, (ii) jarðstrengur sunnan við Reykjanesbraut og (iii) Blönduð leið með jarðstreng á 7 km kafla þar sem línan liggur næst Reykjanesbraut.

Sá jarðstrengskostur sem er til umræðu í þessari skýrslu, þ.e. norðan megin við Reykjanesbrautina, var ekki metinn sérstaklega sem valkostur í mati á umhverfisáhrifum. Þar sem náttúrufar og umhverfi er svipað beggja megin vegar má vænta að hann hefði svipuð umhverfisáhrif og jarðstrengur sunnan megin, en með þann ókost að þurfa að þvera Reykjanesbrautina tvisvar. Þá skal tekið fram að jarðstrengurinn þarf að víkja frá Reykjanesbraut til að komast að og tengjast nýju tengivirki á Njarðvíkurheiði.

3 Jarðvá

3.1 Almennt

Í tengslum við umhverfismat fyrir Suðurnesjalínu 2, árið 2019, var Rannsóknarstofa í eldfjallafræði og náttúruvá (REN, áður Jarðvísindastofnun) hjá Háskóla Íslands fengin til að meta náttúruvá á framkvæmdasvæðinu með tilliti til mismunandi valkosta [5].

Síðan þá hafa orðið tvö eldgos á Reykjanesi í kjölfar langvarandi jarðskjálftahrina. Það fyrra hófst þann 19. mars 2021 í Geldingadölum við Fagradalsfjall og stóð yfir í um sex mánuði. Eldgos hófst að nýju í Merardölum í Fagradalsfjalli 3. ágúst 2022 og var staðsetning gossins um 1 km frá gígnum í Geldingadölum, eldgosið stóð yfir í tæpar þrjár vikur. Þessi atburðarrás hefur sett eldgosavá á Reykjanesi í nýtt samhengi og mögulega þarf að líta svo á að nýtt eldgosa tímabil sé hafið á Reykjanesi eftir 800 ára hlé.

Jarðskjálftahætta á Íslandi er ágætlega þekkt. Línuleið Suðurnesjalínu 2 er nokkrum km norðan við helsta upptakasvæði jarðskjálfta sem liggur eftir rekbeltinu endilöngu. Við hönnun mannvirkja miðast jarðskjálftaáhætta við svokallað jarðskjálftaáhættukort. Kortið gildir sem þjóðarskjal og fylgir jarðskjálftahönnunarstaðlinum EC8. Búast má við að hröðun við Suðurnesjalínu 2 verði um 0,2 g.

Árið 2021 fékk Landsnet Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá til að meta náttúruvá á línuleið mögulegrar Lyklafellslínu sem liggja átti frá Sandskeiði að Helgafelli og í fyrirhugað tengivirki við Hrauntungur í Hafnarfirði [6].

Þá vann Rannsóknarstofa í eldfjallafræði og náttúruvá álitsgerð árið 2021 fyrir Sveitarfélagið Voga um eldgosavá með tilliti til jarðhræringa á Reykjanesi 2021 [7].

Jafnframt veitti Veðurstofan einnig aðgang að sínum hraunflæðigreiningum sem ekki hafa verið gefnar út formlega.

Einnig er verkefni í gangi sem varðar langtímahættumat vegna eldgosa í nálægð við þéttbýli. Verkefnið er eitt af mörgum verkefnum GOSVÁr en í því verki er unnið að heildaráhættumati vegna eldgosa á Íslandi. GOSVÁ er samvinnuverkefni Veðurstofu Íslands, Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá, Landgræðslu Ríkisins, Vegagerðarinnar og Almannavarnadeildar Ríkislögreglustjóra, leitt af Veðurstofu Íslands [8]. Skýrsla fyrir Reykjanesið er í vinnslu og fékkst leyfi til að nýta upplýsingar úr þeirri skýrslu hér með þeim fyrirvara að hún er enn í vinnslu og einhverjar breytingar mögulegar á milli þess sem hér kemur fram og birt verður í endanlegri útgáfu skýrslunnar.

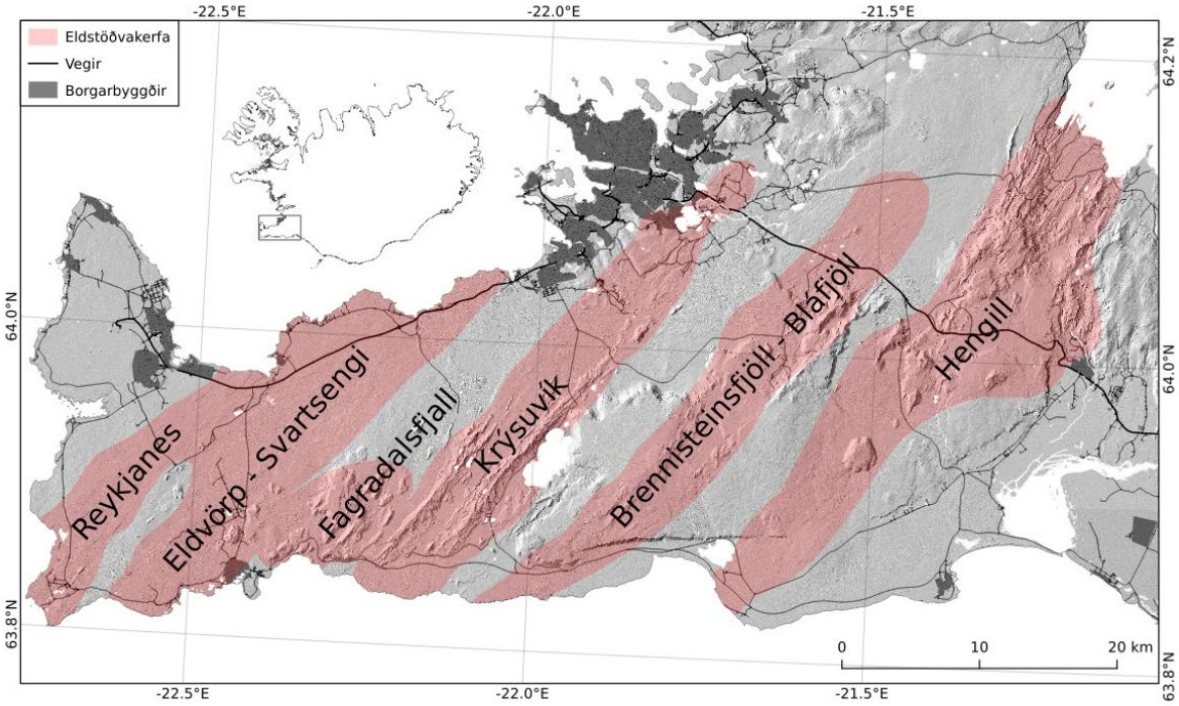
Til viðbótar við ofangreint hefur heilmikil vinna verið unnin af hóp um „Varnir mikilvægra innviða“, sem stofnaður var af Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra stuttu fyrir upphaf gossins í Geldingadölum 2021 í þeim tilgangi að skoða möguleika á vörnum innviða m.t.t. hraungosa vegna umbrotanna sem þá voru í gangi.

Allt ofangreint er nýtt hér til að ná sem gleggstri mynd af þeirri náttúruvá sem að línunni steðjar.

3.2 Hraunflæði á línuleið Suðurnesjalínu 2

Eldvirkni á Reykjanesskaga og í námunda við Suðurnesjalínu 2 er gerð ítarleg skil í skýrslu Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá, Náttúru- og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogum [7]. Þar

má finna eftirfarandi jarðfræðikort um eldstöðvakerfin á Reykjanesskaga (mynd 10) auk eftirfarandi texta um eldvirkni á Reykjanesskaga.

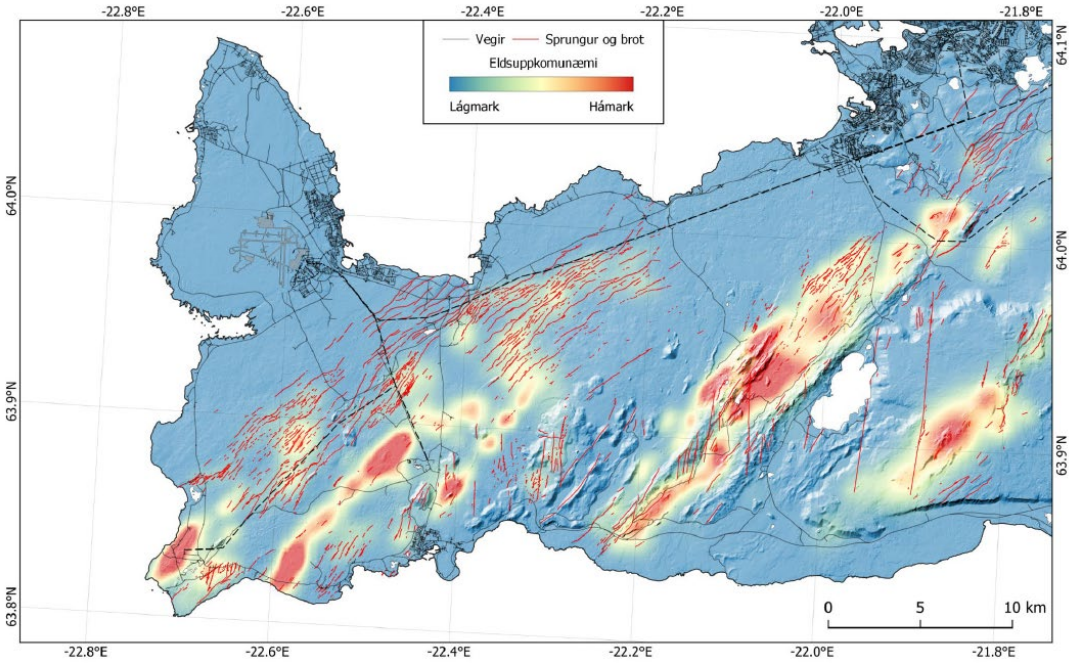


Mynd 10. Jarðfræðikort Eldstöðvakerfin á Reykjanesskaga, frá vestri til austurs, Reykjanes, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll-Bláfjöll. Reykjaneskerfinu er skipt upp í þrjú undirkerfi (Reykjanes, Eldvörp-Svartsengi, Fagradalsfjall). Einnig er Hengilskerfið sýnt, sem er á mörkum Reykjanes- og Vesturgosbeltanna og oftast talið með síðarnefnda gosbeltinu.

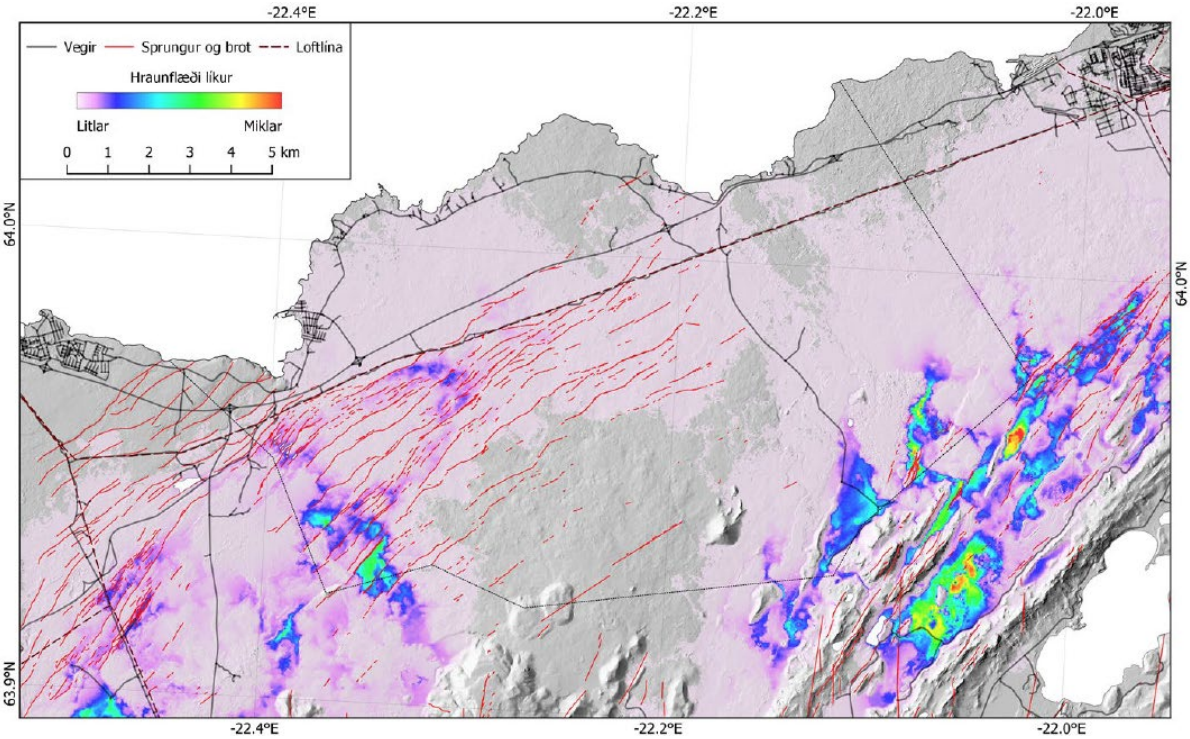
Í heimild [7] segir um eldvirkni á Reykjanesskaga.

> *Jarðfræðilegir atburðir eins og eldgos eru í eðli sínu sjaldgæfir atburðir. Til að mynda er langtíma tíðni eldgosa á Íslandi um eitt gos á 5 ára fresti. En ef síðustu 113 ár eru skoðuð þá er þessi tíðni eitt gos á 2,5 árs fresti. Eldgos eru svæðisbundin fyrirbæri og því ljóst að eldgosa tíðni einstakra svæða á Íslandi er breytileg og að jafnaði talsvert lægri en landsmeðaltalið. Til dæmis hefur gosið sex sinnum á síðustu 35 árum á svæðinu við og undir norðvestanverðum Vatnajökli, eða eitt gos á 6 ára fresti, en á sama tíma hefur aðeins orðið eitt gos á öllum öðrum eldvirkum svæðum landsins og ekkert eldgos á Reykjanesskaga. Aftur á móti, ef við skoðum eldvirknina á Reykjanesskaga yfir síðustu 7 þúsund ár, þá benda gögnin til þess að eldgos afmarkist við ákveðin gosskeið sem eru um 3-400 ára löng og aðskilin af 600 til 1200 ára löngum goslausum tímabilum.*
>
> *Atburðarrás er hófst á Reykjanesi í desember 2019 verður að teljast upphaf á nýju eldgosa tímabili á Reykjanesi eftir um 800 ára hlé.*

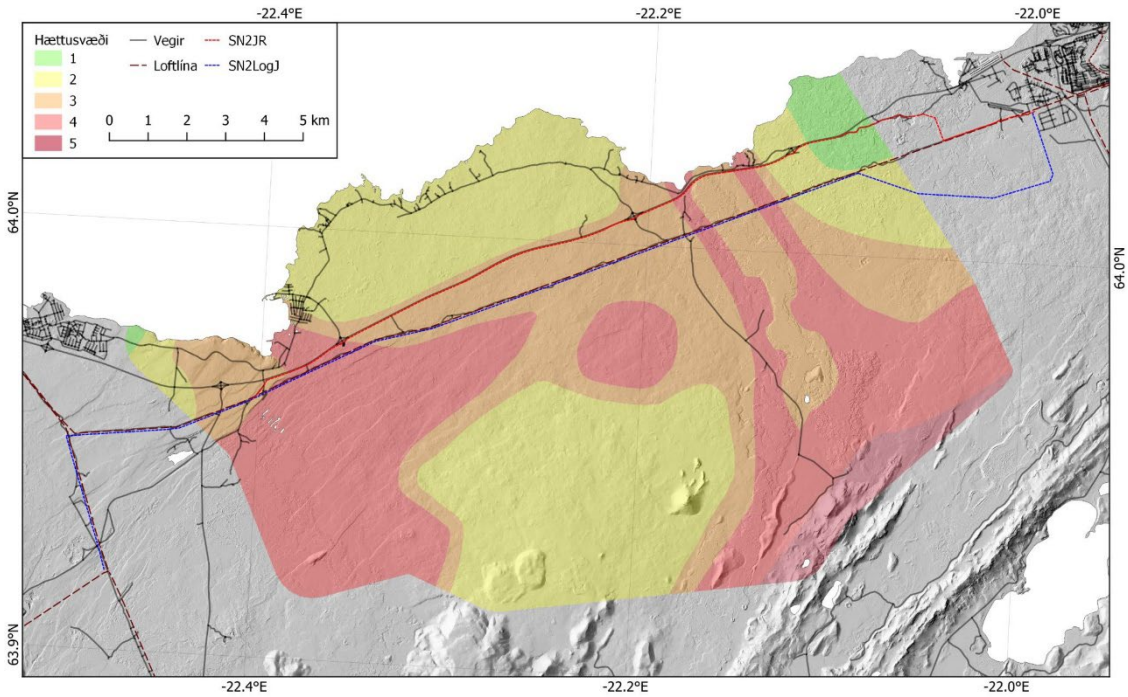
Hraunflæðisgreiningar voru gerðar innan sveitarfélagsins Voga, sjá heimild [7] og myndir 11 og 12. Unnið var bæði með eldsuppkomunæmi greiningar og hraunhermanir. Hermd voru tvö gildi á rúmstreymi kviku, 300 m^3/s og 10 m^3/s. Fyrra gildið samsvarar meðal stóru íslensku gosi og er af svipaðri stærðargráðu og vetrarrennsli Þjórsár neðan Búrfells, en hið síðara samsvarar eldgosinu í Fagradalsfjalli og er af svipaðri stærðargráðu og tvöfalt meðalrennsli Elliðaánna. Niðurstöður eru settar fram sem hættukort, sjá mynd 13. Umsögn um hættusvæðin er í töflu 2.



Mynd 11. Eldsuppkomunæmi greining á Reykjanesi sem afmarkar þau svæði þar sem líklegast er að gossprungur opnist í framtíðinni. Því rauðari sem liturinn er, þeim meiri eru líkurnar á myndun gossprungna. Úr heimild [7]



Mynd 12. Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 11. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku er 300m^3/s. Hermun dregur fram helstu rennslisleiðir hrauna sem flæða frá gosopunum innan svæða eldsuppkomunæmi >1x10^{-5}. Hraunhermun stoppar þegar hraun er orðið of kalt til að renna, eða það kemst ekki áfram sökum landslags. Úr heimild [7].

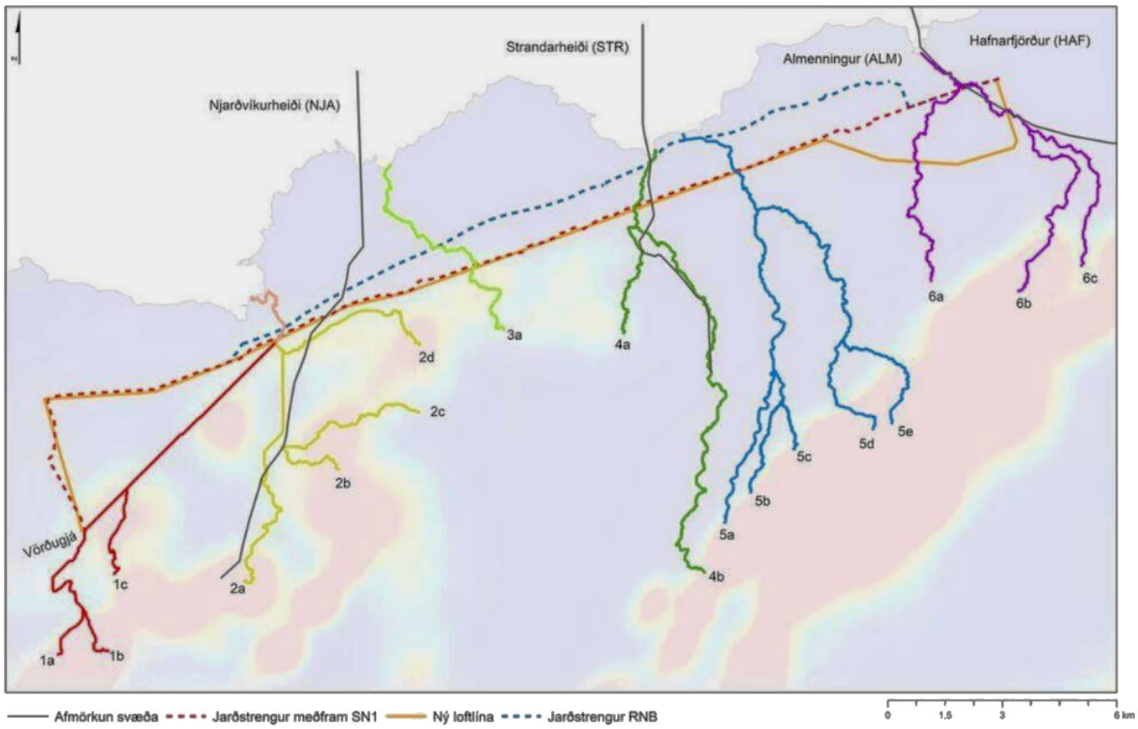


Mynd 13. Hættukort af Sveitarfélaginu Vogar [7]. Á kortið hafa verið dregnar inn línur af fyrirhuguðum línustæðum fyrir Suðurnesjalínu 2. Rauð lína, jarðstrengur með Reykjanesbraut og blá lína loftlína eða jarðstrengur með núverandi línu [7].

Tafla 2. Túlkun á hættusvæðum á mynd 13 [7].

1	*Græn svæði eru ekki hættusvæði. Hér eru ekki líkur á að hraun flæði inn á landsvæðið. Það eru ekki ummerki eldsumbrota á svæðinu. Svæðið er ekki undan halla frá hraunasvæðum og svæðið kemur ekki fram í eldsuppkomunæmi greiningu.*
2	*Gul svæði eru svæði í lágmarks hættu. Líkur á hraunflæði á svæðinu eru í lágmarki. Það eru engin ummerki gíga eða gossprungna á svæðinu. Svæðið getur verið byggt. Svæðið er undan halla frá mögulegum hraunflæðisvæðum. Svæðið er jaðarsvæði við meiri hættusvæði.*
3	*Appelsínugul svæði. Svæðið er undan halla frá mögulegum hraun flæði svæðum. Svæðið er jaðarsvæði við hærra hættusvæði.*
4	*Rauð svæði. Svæðið er jaðarsvæði við há-hættusvæði. Innan svæðisins eru gígar og gossprungur. Svæðið er innan mögulegra áhrifasvæða hrauna.*
5	*Dimm rautt svæði. Svæðið er há-hættusvæði. Innan svæðis eru gígar og gossprungur. Svæðið er mjög líklegt til að fara undir hraun í næstu umbrotum. Svæðið greinist með hámarks eldsuppkomunæmi.*

Mynd 14 sýnir megin afrennslisleiðir frá þeim eldsuppkomusvæðum er greinast með hæstu gildi. Líklegt er að hraun renni eftir þessum afrennslisleiðum frá eldsupptökum [5].



Mynd 14. Helstu afrennslisleiðir hrauna er gætu komið upp í eldsumbrotum innan þeirra svæða er greinast með mestu líkindiá eldsuppkomu. Úr heimild [5].

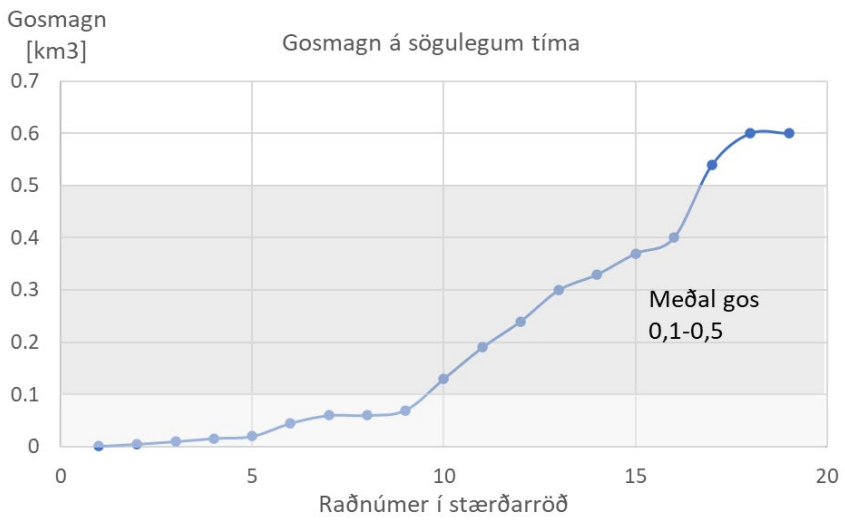
Rannsóknarstofa í eldfjallafræði og náttúruvá reiknaði út líkur á hvaða svæði gætu farið undir hraun í eldgosum er beint geta hraunum í átt að fyrirhuguðum línustæðum fyrir Landsnet í tengslum við hugmyndir að 220 kV Lyklafellslínu 1, þar er að finna mat á hraunflæðilíkum við upphaf Suðurnesjalínu 2 í Hafnarfirði. Nokkur hraunflæðivá er á svæðinu. Það er ekki markmið þessarar greinargerðar að fjalla um vá í Hafnarfirði og því er látið nægja að nefna hana hér.

Rennslisgreiningar gefa til kynna hver lágmarksviðbragðstími vegna hraunflæðis er. Í töflu 3 er samantekt á lágmarksviðbragðstíma á mismunandi stöðum.

Tafla 3. Mat á hámarksviðbragðstíma vegna hraunflæðis (dagar), heimild [5].

Hámarksviðbragðstími vegna hraunflæðis frá	SN2 meðfram Suðurnesjalínu 1	SN2 meðfram Reykjanesbraut
Krýsuvíkurkerfinu á Hafnarfjarðarsvæðinu	3 - 4	4 – 5
Mótum Almennings og Strandarheiðar	7-10	8 – 12
Áhrifasvæði Reykjaneskerfisins	4-8	4 - 9
Um Vogastapa á Njarðvíkurheiði	ekki talin í hættu	ekki talin í hættu

Heimild [9] inniheldur samantekt á gosum á eldstöðvarkerfum frá Reykjanesi að Brennisteinsfjöll-Bláfjöll á sögulegum tíma. Þar kemur fram mat á stærð hraungosa sem sjá má á meðfylgjandi mynd 15. Myndin sýnir að stærð gosa á þessu tímabili er mjög breytileg. Miðgildið er 0,13 km^3 sem er rétt yfir mörkunum á milli lítils goss og meðal goss.

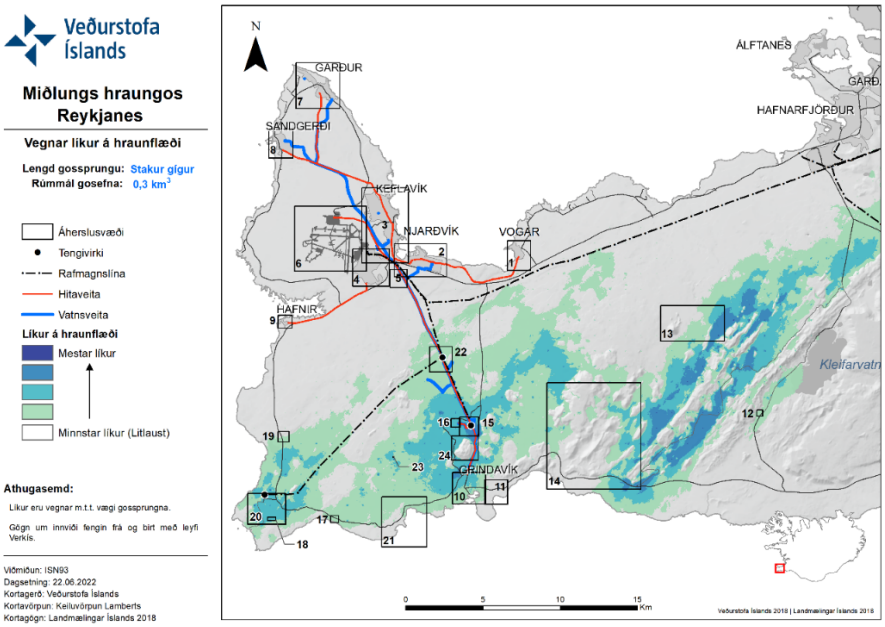


Mynd 15. Rúmmál hraungosa á sögulegum tíma á eldstöðvarkerfum frá Reykjanesi að Brennisteins- Bláfjallakerfinu, [9].

Veðurstofa Íslands (VÍ) hefur einnig gert hraunrennslishermanir fyrir Reykjanesskaga og fyrirliggjandi eru drög að skýrslu um „Langtímahættumat utanverðs Reykjanesskaga Hrauna-, gas- og gjóskuvá“. Leyfi fékkst frá Veðurstofunni til að birta nokkrar greiningar úr skýrslunni með fyrirvara um að framsetning mynda sem og viðmiðunargildi að baki líkindakvarða á þeim, geti tekið breytingum á milli þess sem hér er sýnt (drög afhent í mars 2023) og í endanlegri útgáfu skýrslunnar.

Í greiningu VÍ liggja gögn frá eldstöðvakerfum Reykjaness, Svartsengis, Fagradalsfjalli, Krýsuvíkur og Brennisteinsfjöllum að baki niðurstöðunum. Hraunrennsli er hermt frá 828 jafndreifðum (1 km millibil) gossprungum sem liggjamilli vesturmarka eldstöðvakerfis Reykjaness til austurmarka eldstöðvakerfis Krýsuvíkur. Hermanir eru gerðar fyrir lítið hraungos (0,02 km^3, viðmið sem notað er er < 0,1 km^3) og meðalstórt hraungos (0,3 km^3, viðmið sem notað er er 0,1-0,5 km^3) og mislangar gossprungur (0,1 km, 2 km og 10 km). Til að setja þessar stærðir í samhengi við hraunflæðið sem notað var í hermunum Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá tæki það 18,5 klukkustundir að ná 0,02 km^3 ef flæði úr gosopi væri 300 m^3/s en rétt rúmlega 23 sólarhringa ef flæðið væri einungis 10 m^3/s. Fyrir meðalstórt gos tæki rúmlega 11 sólarhringa að ná 0,3 km^3 ef flæði úr gosopi væri 300 m^3/s en tæpt ár ef flæðið væri einungis 10 m^3/s.

Mynd 16 sýnir dæmi um niðurstöður frá hraunrennslishermun VÍ. Á þessu korti er sýnt reiknað líkindakort yfir útsett svæði á utanverðum Reykjanesskaga sem verður fyrir hrauni úr meðalstóru hraungosi (0,3 km^3) sem hefur 0,1 km langa gossprungu. Arnarseturshraun var notað til kvörðunar á hraunhermunarlíkaninu.



Mynd 16. Hraunrennslishermun VÍ. Meðalstórt hraungos (0,3 km3). 0.1 km löng gossprunga. Gossprungum gefið mismunandi vægi eftir líkindum.

Niðurstöður úr hraunrennslisgreiningu VÍ sýna að þegar gossprungur eru vigtaðar með líkindavægi verða svæði sunnan til á skaganum berskjaldaðri fyrir hraunflæði enda mun styttra í líklegar gossprungur þeim megin en norðan til, við Suðurnesjalínu 2.

Samanburður á greiningu VÍ og JH gefa mismunandi niðurstöður, sem má rekja til aðferðarfræði við mat á dreifingu hrauna. Annarsvegar er verið að skoða dreifingu út frá hraunum af gefnu rúmmáli og hins vegar er verið að greina dreifingu miðaða við gefið rúmflæði. Seinni aðferðin greinir mögulegar leiðir hrauna út frá tugum þúsunda eldgosa, meðan hin greiningin er bundin við fá eldgos og gefið rúmmál. Greiningar VÍ virðast meta minni vá á línuleið Suðurnesjalínu 2. Váin er einkum talin við Vogavík og á Strandarheiði, minni vá er talin á hrauni við Vatnsleysuvík.

Mikilvægt er að hafa í huga að þó báðum greiningunum, þ.e. VÍ og Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá, sé ætlað að leggja mat á náttúruvá á Reykjanesi, þá hefur val á aðferðafræði, sem og val á forritum og notkun þeirra, mikil áhrif á niðurstöðurnar. VÍ notaði forritið MatHaz til að meta líkur á að gosop opnist og forritið MrLavaLoba til hraunhermana frá gosopum/sprungum. Hraunhermunarforritið byggir á líkindareikningi og þarfnast kvörðunar að þekktu hrauni og voru hraunin Illahraun (sem er lítið hraun sem rann í lægðinni við Svartsengi) og Arnarseturshraun (sem er miðlungs stórt hraun sem rann í lægðina sem kallast Lágar), nýtt til kvörðunar. Bæði þessi hraun runnu í lægð í landinu og höfðu því ekki áframhaldandi afrennsli. Þau henta því ágætlega fyrir sambærileg hraun, t.d. hraun frá gosopum sem eru staðsett þannig að hraun frá þeim renni til lágsvæðisins sem liggur á milli Svartsengis og Seltjarnar og Snorrastaðatjarna.

Rannsóknarstofa í eldfjallafræði og náttúruvá notaði forritapakkann Volcanbox þar sem þéttleikafall (Probability density function, PDF) er nýtt til að greina líkindi fyrir gosupptök og forritið FLOWGO notað til að herma líklegustu megin hraunflæðileiðina og QVAAST notað til að reikna líkindadreifinguna. Forritið reiknar því allar mögulegar leiðir hrauna frá upptökum og líkur á því hvert hraun er íklegast til aðrenna. Fjöldi éldgosa í reikningunum er 1500 eldgos í hverjum punkti. Forritapakkinn hentar því vel til að sjá fyrir um hvaða svæði gætu mögulega orðið fyrir hraunflæði óháð stærð framtíðar eldgoss.

Vegna þessa er mjög gott að horfa til beggja niðurstaðna og treysta ekki um of á einungis aðra þeirra.

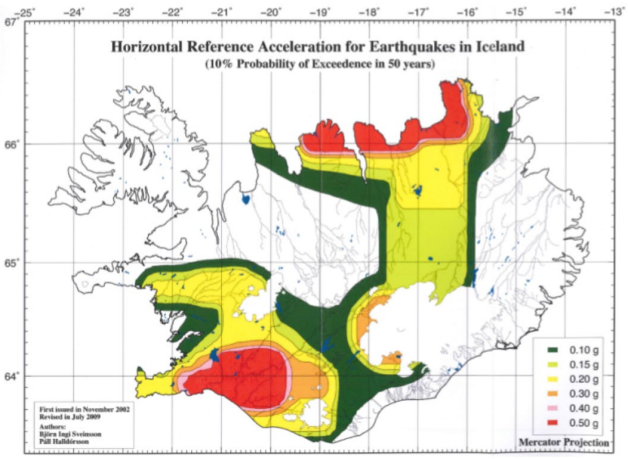
Til viðbótar við ofangreinda vinnu VÍ og Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá hafa einstaka sviðsmyndir verið skoðaðar, bæði í tengslum við gosin 2021 og 2022 (forritin MrLavaLoba og HEC-RAS, sjá minnisblöð [10] og [11]) sem og viðbótarhermanir sem gerðar voru sérstaklega fyrir þessa skýrslu með forritinu HEC-RAS (sjá kafla 5.2 til 5.4). Forritið hermir flæði vökva yfir landlíkan og byggir á eðlisfræði fyrir flæði vökva með opið yfirborð. Forritið hermir hins vegar ekki breytingar á eðliseiginleikum hraunsins samfara kólnun og öðrum ferlum sem eiga sér stað þegar hraun er í myndun. Hermunum í forritinu hefur samt sem áður borið ágætlega saman við hraunflæðið í gosunum 2021 og 2022 þegar farin er sú leið að stilla eðliseiginleikana sem forritið nýtir að hálfkólnuðum hraunjöðrunum en ekki eiginleikum hraunsins þar sem það kemur úr iðrum jarðar.

Viðbótarhermanir voru gerðar til þess að meta áhrif hraunflæðis á mismunandi kosti Suðurnesjalínu 2. Hraunflæði var hermt með varnargarða umhverfis möstur loftlínu. Þá er skoðað hvaða mótvægisaðgerðir er hægt að fara í til að lágmarka áhættuna og rekstraröryggið endurmetið að teknu tilliti til mótvægisaðgerðanna

3.3 Jarðskjálftar og jarðhreyfingar á línuleið Suðurnesjalínu 2

Jarðskjálftahætta á Íslandi er ágætlega þekkt og því ekki sérstök ástæða til þess að fjalla ítarlega um þau grundvallaratriði sem er ágætlega lýst í fjölmörgum heimildum meðal annars í greinargerð um bergsprungur í nágrenni Voga [12]. Línuleið Suðurnesjalínu 2 er nokkrum km norðan við helsta upptakasvæði jarðskjálfta sem liggur eftir rekbeltinu endilöngu. Á Reykjanesi er hreyfing rekbeltisins í grunninn tvíþætt, þ.e. gliðnun og sniðhreyfingar. Gliðnunarhreyfingum fylgir sig. Auk jarðskjálfta sem verða í tengslum við landrekið verða skjálftar í tengslum við hreyfingar á kviku, sem fylgja sprungusveimum eldstöðvakerfanna.

Til eru ýmsar rannsóknir á jarðskjálftáhættu á Íslandi. Við hönnun mannvirkja miðast jarðskjálftaáhætta við svokallað jarðskjálftaáhættukort. Það áhættumat er afurð verkefnis sem hófst í árslok 2000 [13]. Um er að ræða svokallaða PSHA (probabilstic seismic hazard analysis) aðferðafræði. Kortið gildir sem þjóðarskjal og fylgir jarðskjálftahönnunarstaðlinum EC8. Kortið var uppfært í kjölfar jarðskjálftans í maí 2008. Fyrir 0,2% árlegar líkur má búast við að hröðun við Suðurnesjalínu 2 verði um 0,2 g.



Mynd 17. Jarðskjálftaáhættukort sem sýnir lárétta yfirborðshröðun með 475 ára meðal endurkomutíma (10% probability of exceedance in 50 years). Höfundar Björn Ingi Sveinsson og Páll Halldórsson, 2002 og 2009.

4 Tjónnæmi raflína

4.1 Loftlínur

4.1.1 Áhrif hraunrennslis á loftlínur

Tjón á loftlínum af völdum hraunrennslis getur verið tvíþætt.

- Möstur verða fyrir hraunrennsli og falla af völdum hitaáhrifa eða skriðþunga hrauns
- Leiðari ofhitnar og skemmist

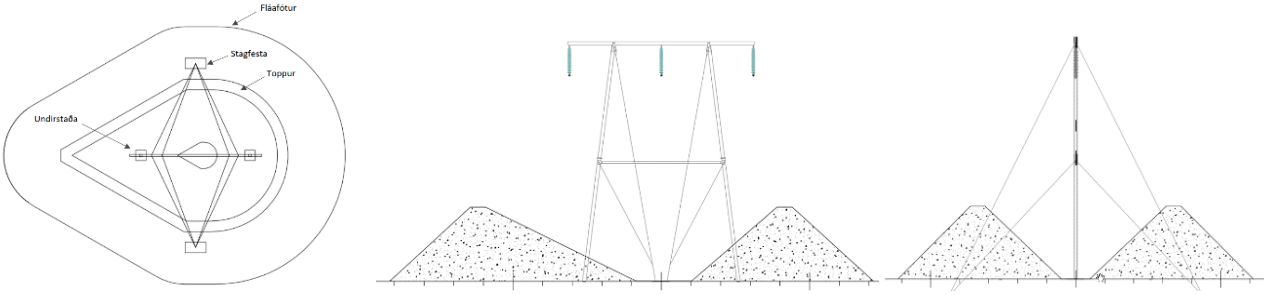
Hefðbundnir leiðarar í notkun á Íslandi (aluminium alloy) þola um 120°C áður en afglóðun hefst og þeir byrja að tapa styrk.

Búast má við að hiti á hrauni við gosop í eldstöðvum Reykjaness sé 1150-1200 °C og kólnar eftir því sem fjær dregur. Hraun sem flæðir fram með opnu yfirborði, þ.e. lokast ekki af vegna storknunar á yfirborði þess, kólnar hraðar en gefur að sama skapi frá sér meiri hita við yfirborðið. Hraunstraumar sem ná að loka sig af, kólna margfalt hægar en eru á móti einangraðri og losa minni hita við yfirborð. Hitaálag frá flæðandi hrauni getur því verið mjög mismunandi eftir aðstæðum sem skapast. Ekki hafa fundist niðurstöður tilrauna sem gefa ábyggilegar vísbendingar um hitafall í lofti sem fall af fjarlægð frá yfirborði rennandi hrauns, þ.e. hitastig á andrúmslofti í nálægð við hraun. Á Íslandi má búast við að veðuraðstæður auki að jafnaði kælingu í lofti ofan við hraunyfirborð. Þá má búast við lækkandi hitageislun í hraunflæði um leið og skorpa á yfirborði hefur tekið að harðna. Leiðarar Suðurnesjalínu 2 eru í um 15-20m hæð yfir landi að jafnaði og því líkur til að hitastig í lofti frá hraunrennsli verði allnokkuð minna en næst hraunrennslinu. Hafa þarf þó í huga að hér skipta veðuraðstæður og eðli hraunrennslis miklu.

Til að auka þol leiðara gagnvart hita í andrúmslofti er unnt að velja leiðara með tilliti til utanaðkomandi hitaáhrifa með því að auka stálhlutfallið, þá geta þeir þolað hita á bilinu 200-300°C. Sig leiðara eykst með hitastigi og því væri einnig möguleiki að hækka möstur til að halda hæð yfir jörðu innan ásættanlegra marka þar sem von er á hraunrennsli. Miðað við núverandi útfærslu Suðurnesjalínu 2 væri hægt að velja sérstaklega hitaþolinn leiðara án þess að það breyti ásýnd línunnar, en hækkun á möstrum eða breytingar á haflengdum myndi augljóslega breyta ásýnd línunnar að einhverju leyti.

Stálmöstur þola um 400°C hita án þess að flotþol skerðist og við 600°C hita er skerðing á flotstyrk um 50% (EN 1993-1-2, tafla 3.1). Hægt væri að velja möstrum stað utan líklegustu megin hraunstrauma til að minnka líkur á stöðugu hitastreymi að þeim.

Fyrirhugað er að nota stöguð möstur í Suðurnesjalínu 2, þau þola ekki að verða fyrir hraunrennsli án varnaraðgerða. Það þarf hins vegar ekki miklar aðgerðir til að verja slík möstur fyrir hóflegu hraunrennsli. Með því að vanda til staðsetningar þeirra má minnka líkur á að þau standi þar sem þykktir hrauna eru líklegar til að verða hve mestar og þannig auka líkur á að varnir þeirra haldi.



Mynd 18. Stagað röramastur SN1 varið með leiðigarði. Tillögur að vörnum sem voru unnar í aðdraganda eldgossins í Geldingadölum, en þá er reist eyja úr fyllingarefni umhverfis mastrið.

Eftir að hraunrennsli er hafið er mögulegt að verja ákveðinn fjölda mastra með því að setja upp varnarfyllingu í kringum þau. Í aðdraganda eldgossins í Geldingadölum voru gerðar tillögur að slíkum vörnum á vegum starfshóps um varnir mikilvægra innviða sem starfaði í aðdraganda gossins og meðan á því stóð. Af reynslu sem fékkst af varnargörðum sem voru reistir í eldgosinu, og þá sérstaklega leiðigarðinum við Stórhól, má draga þá ályktun að slíkir varnargarðar virki upp að ákveðnu marki. Auðvitað eru takmörk fyrir því hversu þykkt hraun getur hlaðist upp að slíkum vörnum, en gagnvart þunnfljótandi hröðu hraunrennsli hefur reynslan sýnt að leiðigarðar virka mjög vel.

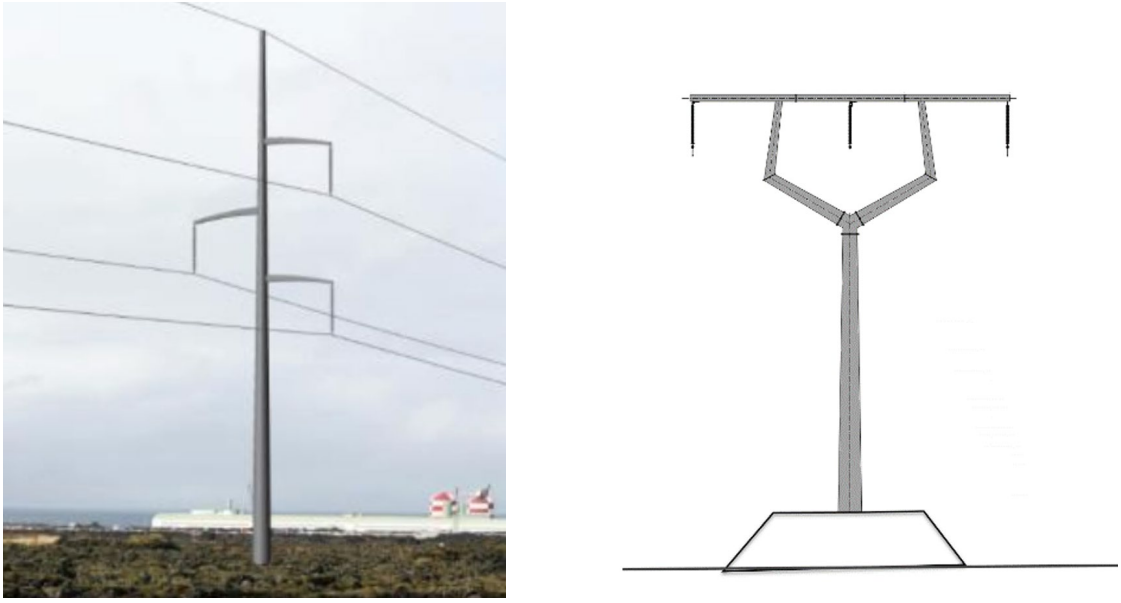
Mynd 19. Unnið við að hefta hraunrennsli við Stórhól og beina því niður í Nátthaga 15.06.2021.

Mynd 20. Unnið við færslu á leiðigarði út á nýtt hraun við Stórhól 19.06.2021.

Mynd 21. Leiðigarður við Stórhól beinir rennsli niður í Nátthaga. Aðliggjandi hraun kólnar og storknar og það styður við garðinn.

Verði komist að þeirri niðurstöðu að hraunrennsli sé ráðandi hönnunarforsenda, til dæmis umfram ásýnd, er unnt að auka viðnámsþol enn frekar og velja aðra mastragerð sem þolir betur hraunflæði og þarf minni leiðigarð, sjá mynd 22. Þá mætti hugsa sér útfærslu með frístandandi mastri á upphækkaðri fyllingu. Eftirfarandi útfærsla (sjá mynd að neðan) sýnir slíka mastragerð. Umfang masturs sem þarf að verja verður minna en við stagað mastur og takmarkar síður hraunflæði fram hjá því. Sé eldgos hafið eða í uppsiglingu væri mögulegt að einangra neðsta hluta mastursins og fyllingin ætti að vera þannig útfærð að auðvelt sé að hækka hana enn meir upp með stálhluta mastursins. Einnig kemur til greina að auka viðnámsþol með öðrum hætti, þ.e. notast við upphaflega mastragerð en endurstaursetja valda kafla á lágpunktum þannig að auðveldara sé verja möstrin og minnka líkur á að þau lendi í mestri árauninni af hraunflæðinu.

Séu loftlínur byggðar sérstaklega með tilliti til mögulegs hraunflæðis, til dæmis með auknum haflengdum, yfirhæð á turnum, og með undirstöður inn í nokkurs konar eyjum þá eru miklar líkur á að slíkt mannvirki hafi meira þol gagnvart hraunrennsli en hefðbundnari útfærslur. Þó svo að leiðarar skaðist mögulega í slíku tilfelli þá er til þess að gera einföld framkvæmd að endurnýja leiðara eða upphengibúnað á skömmum tíma.



Mynd 22. Til vinstri er röramastur sem er fyrirhugað í SN2 í Hafnarfirði. Til hægri er hugmynd að röramastri á upphækkaðri fyllingu. Jarðvegsfylling umhverfis mastrið yrði útfærð þannig að hægt væri að hækka hana ennþá meira komi til raunverulegs atburðar. Með þessu móti má verjast allt að 8 m þykku hraunrennsli.

4.1.2 Áhrif jarðskjálfta á loftlínur

Almennt hafa loftlínur út um allan heim lítt orðið fyrir skemmdum í jarðskjálftum ef frá eru talin möstur þar sem ysjun[1] í lausum jarðlögum hefur átt sér stað. Ekki er þekkt til alvarlegs tjóns á háspennulínum á Íslandi sökum jarðskjálfta. Í jarðskjálftunum árin 2000 (stærð 6,5) og 2008 (stærð 6,3) varð óverulegt tjón á háspennulínum Landsnets og engin útleysing. Í jarðskjálftanum 2000 varð vart við hreyfingar á þremur undirstöðum eða stagfestum í Búrfellslínum 2 og 3 á Suðurlandi en án alvarlegs tjóns [14]. Í Suðurnesjalínu 2 verða möstur stöguð og þola þau umtalsvert meiri færslur en óstöguð möstur. Þá eru jarðvegsaðstæður á línuleiðinni þannig að ysjun er ekki vandamál.

Fyrir árlegar líkur um 0,2% má búast við að hröðun við Suðurnesjalínu 2 við Hafnarfjörð verði um 0,2 g. Samsvarandi gildi fyrir mastur í Búrfellslínu 2 á Suðurlandi er um 0,8 g, reiknað út frá sömu grunngögnum en gildið ekki takmarkað við 0,5 g eins og í hönnunarstaðlinum. Það jarðskjálftaálag sem búast má við fyrir Suðurnesjalínu 2 er því mun minna en fyrir Búrfellslínu 2. Líkur á skemmdum eða rekstrartruflun á Suðurnesjalínu 2 vegna yfirborðshröðunar eru því litlar í samanburði við Búrfellslínu 2, að því gefnu að hönnun og frágangur sé af sömu gæðum.

Loftlínur eru byggðar þannig að burðarmöstur halda línunni uppi, en svokölluð fastmöstur halda togspennu á leiðaranum yfir lengri vegalengdir. Í einfaldri mynd þá halda burðarmöstrin aðeins undir leiðarann en taka ekki við álagi í togstefnu. Þannig þolir kerfið mjög mikla aflögun áður en það gefur sig. Slíkt kerfi þolir auðveldlega mikla aflögun yfir brotalínu án þess það verði fyrir varanlegu tjóni.

[1] Ysjun (e. liquefaction) kallast það þegar vatnsmettaður eða næstum því mettaður jarðvegur missir skerstyrk vegna endurtekinna sveifluhreyfinga, t.d. vegna jarðskjálfta. Þegar skjálfta lýkur sest efnið til og getur orðið verulegt sig í jarðveginum. Litlar líkur eru á ysjun á línuleið Suðurnesjalínu 2.

Loftlínur hafa mjög gott þol gagnvart höggunarhreyfingum, nema þá helst að það myndist sprunga beinlínis undir einstöku mastri. Jafnvel í slíku tilfelli myndi stagað rörmastur þola umtalsverða aflögun áður en það hryndi.

Samkvæmt fyrirliggjandi upplýsingum eru líkur á tjóni eða útleysingu á Suðurnesjalínu sem loftlínu hverfandi. Reynslan af jarðskjálftaþoli Búrfellslínu 2 árið 2000 styðja vel við það mat [14].

4.1.3 Viðgerð á loftlínu af völdum skemmda frá hraunrennsli

Viðgerðartími í tilfelli hefðbundinna bilana á loftlínum er nokkuð vel þekktur og er yfirleitt á bilinu nokkrar klukkustundir upp í nokkra daga eftir umfangi bilunar [15]. Að meðaltali var hann tæpar 12 klukkustundir síðustu tíu ár fyrir 220 kV loftlínur Landsnets og tæpar 10 klukkustundir fyrir 132 kV línur. Sem dæmi um bilun má nefna að í miklu hvassviðri árið 2007 varð bilun á 220 kV Brennimelslínu 1 þegar mastur féll og skemmdist. Bilunin varð í Þyrilsnesi í Hvalfirði og tók viðgerð um 30 klst.

Landsnet hefur fengist við bilanir af margskonar náttúruvá en ekki hefur enn komið til tjóns á möstrum af völdum hraunrennslis. Möstur eru hönnuð gagnvart því að takmarka keðjuverkandi tjón þannig að tjón sem verður er að jafnaði staðbundið við tjónstað. Allt viðgerðarefni er fyrirliggjandi á lager Landsnets og mannskapur til viðgerða er einnig fyrirliggjandi og getur hafið viðgerð um leið og aðstæður leyfa. Ef skemmd tengist einungis leiðurum og búnaði er unnt að endurstrengja nýjan leiðara.

Skemmist möstur er hugsanlega hægt að endurnýja línuna á fyrri stað en einnig kann að þurfa að byggja tímabundna hjáleið með bráðabirgðamöstrum og velja möstrum stað eins og best hentar aðstæðum. Fjarlægð milli mastra getur verið um 350-400 m þannig að unnt er að forðast erfiðustu svæðin að einhverju leyti.

Unnt er að hefja framkvæmdir við uppbyggingu loftlínu strax og unnt er að fara út á hraunið. Mögulegt er að setja tímabundnar undirstöður og stagpunkta á nýtt hraun með því að keyra út fyllingar undir aðkomuleið og möstur. Viðgerðartími við að koma straumi á, eftir að unnt er að fara út á hraunið, er metinn á bilinu 1-14 dagar eftir umfangi bilunar.

4.2 Jarðstrengir

4.2.1 Jarðstrengir og hitamyndun

Töluverð hitamyndun er í jarðstrengjum og mikilvægt er að koma varmanum í burtu, annars verður að skerða flutninginn til að forðast að þeir brenni yfir. Sem dæmi þá eyðilagðist 132 kV jarðstrengur Nesjavallalínu 1 af þessum sökum árið 2008, þar sem jarðvegur umhverfis hann virkaði einangrandi, þ.e. leiddi varmann ekki frá strengnum. Þarna er lykilforsenda að jarðvegurinn sé rakur, þar sem vatn leiðir hitann mun betur en loft. Þegar strengir eru lagðir í grafinn skurð, sjá mynd 6, er því lagður sérstaklega varmaleiðandi sandur umhverfis strenginn til að tryggja góða leiðni og kælingu. Kæling jarðstrengja við venjulegar aðstæður er að mestu leyti upp á við. Jarðstrengir á Íslandi eru yfirleitt hannaðir þannig að hiti við kápuyfirborð jarðstrengs fari ekki yfir 50°C, til að forðast útþornun á jarðvegi og tilheyrandi lakari kælingu. Hitastig jarðvegs hefur áhrif á flutningsgetuna á þann hátt, að því heitara sem umhverfið er, þeim mun lægri er flutningsgeta. Hér á landi er reiknað með 10°C jarðvegshita í venjulegum tilvikum. Við hverja gráðu sem jarðvegshitinn eykst lækkar flutningsgetan oft um 1%, þ.a. við 40°C hita í jörðu skerðist flutningsgetan um 30% [16].

4.2.2 Áhrif hraunrennslis á jarðstrengi

Áhrif hraunrennslis á grafna jarðstrengi eru í aðalatriðum tengd hita frá hrauninu, eins og kemur fram í fyrsta lið, en fleira getur þó komið til:

- Hraun sem liggur yfir jarðstreng mun hita jarðveginn og valda óafturkræfum skemmdum á leiðurum og einangrun.
- Heitur massi yfir jarðstrengjum kemur í veg fyrir nauðsynlega kælingu og því mun þurfa að taka viðkomandi streng úr rekstri áður en hraun rennur yfir hann, annars mun hann brenna fljótt yfir undan þeim hita sem strengurinn framleiðir sjálfur.
- Hraun sem leggst ofan á jarðstreng einangrar strenginn. Flutningsgetan getur minnkað umtalsvert þó að allur hiti sé farinn úr hrauninu.
- í tengslum við vinnu við varnir mikilvægra innviða hefur verið bent á þann möguleika að við viðvarandi hraunrennsli í afmörkuðum farvegi getur hraunið hreinlega unnið sig niður í undirlagið.

Aðalatriði þessa máls er að með hraun yfir jarðstreng er lokað á kælingu strengsins auk þess sem varmi hraunsins mun án efa eyðileggja strenginn.

Einangrun háspennustrengja er venjulega úr krossbundnu plastefni (XLPE, crosslinked polyethylene). Ef horft er framhjá bilunum af völdum ytri áverka er það öldrun einangrunarinnar sem takmarkar líftíma strengjanna. Öldrunin er einkum vegna tveggja þátta, annars vegar af völdum rafsviðsins í einangruninni og hins vegar af hita strengsins.

Við framleiðslu einangrunar er bætt inn aukaefnum til að bæta eiginleika hennar og með krossbindingu hækkar bræðslumark plastefnisins. Þegar strengur er í rekstri hitnar hann vegna tapa í leiðaranum og veldur hitinn í strengnum efnahvörfum í einangruninni, t.d. oxun, sem rýra eiginleika hennar og krossbindingin riðlast. Hönnun og framleiðsla jarðstrengja í dag miðast við að þeir geti starfað samfellt á 90 °C út líftímann, sem er yfirleitt gefinn sem 40 eða 50 ár. Þegar hiti á strengnum er kominn yfir það hitastig sem hönnunin byggir á, styttir það líftíma strengsins. Sú efnabreyting sem verður við rekstur á háu hitastigi gengur ekki til baka þó hitastigið lækki niður í það hitastig sem strengnum er ætlað að vinna á. Tilraunir sýna framá að þegar hitinn er kominn yfir 90 °C hönnunarhitastig styttist líftíminn um u.þ.b. helming fyrir hverjar 5 °C sem hitinn hækkar. Er þá miðað við samfelldan rekstur á því hitastigi. Hækkun á hitastiginu í skamman tíma breytir líftímanum óverulega, t.d. er “emergency rating” strengja oft miðuð við 120 °C leiðarahita, enda er þá miðað við rekstur í nokkra klukkutíma. Tafla 4 sýnir hvernig líftími einangrunar breytist með hitastigi [17].

Tafla 4 Líftími einangrunar háð hitastigi, byggt á [17].

Hitastig við samfelldan rekstur [°C]	Líftími
90	55 ár
120	1 ár
130	4 mánuðir
140	1 mánuður
160	1 vika
180	1 dagur

Í grunninn eiga sömu takmarkanir við jarðstrengi sem eru í steyptum stokkum og gröfnum jarðstrengjum, hitaferlið mun þó taka lengri tíma.

Ekki eru fyrirliggjandi skilvirkar aðferðir til að verja jarðstreng fyrir hraunrennsli við aðstæður eins og í Suðurnesjalínu 2. Unnt er að byggja varnargarð til að beina hraunrennsli burt ef hraunrennslið er takmarkað og nokkuð samsíða strenglegunni. Ekki er raunhæft að stoppa mikið rennsli sem er þvert á strengleið. Til skoðunar var hvort unnt væri að leggja streng á meira dýpi og mögulega með kælingu. Slíkt er ekki talið raunhæft af ýmsum ástæðum svo sem: erfiðleikar með kælingu, skerðingu á flutningsgetu og kostnaðar.

4.2.3 Reynsla af hitaáhrifum hraunrennslis á jarðlagnir

Almennt eru strengir lagðir beint í fyllingu í skurði, en við ákveðnar aðstæður eru gerðir sérstakir stokkar eða jafnvel jarðgöng fyrir strengi þar sem þeir liggja í skorðum. Varmaflutningur frá strengjum í slíku fyrirkomulagi er þá aðallega með loftræsingu. Lítið er um slík mannvirki hér á landi og eru þau helst við tengivirki eða beinum tengingum þeirra við virkjanir.

Í ljósleiðaratilraun Mílu í Syðri Meradölum, voru niðurstöður túlkaðar þannig að á 0,7 m dýpi hefði það tekið 6 daga að fara yfir 165°, sjá heimild [18].

Í Nátthaga rann hraun yfir ljósleiðara Mílu (Nato strengurinn) og Neyðarlínunnar. Eftir um mánuð var orðin það mikil deyfing í streng Neyðarlínunnar að það sást ekki í gegnum hann. Minni deyfing var í streng Mílu sem er sérstaklega styrktur. Rafmagnsstrengur Neyðarlínu varð ónýtur 2 vikum eftir að hraun rann yfir hann. Greiningar á hitastigi við ljósleiðara Neyðarlínunnar benda til þess að þar hafi hitinn farið í 420°.

Við varnargarðinn í Nátthaga var komið fyrir umfangsmiklu mælakerfi, en hraunrennsli stöðvaðist áður en það rann yfir þá mæla. Engu að síður fengust áhugaverðar niðurstöður þar sem hitamælir sem var fyrir utan hraunið fór hæst í um 60° hita á 80 cm dýpi, án þess að hraun færi þar yfir. Er það líklega af völdum gufupúða sem hefur myndast við suðu á rökum jarðvegi sem hefur leitað undan hrauninu.

Norður í Bjarnaflagi eru þekkt dæmi um afar skamma endingu jarðstrengja Rarik vegna gufuálags.

Áhrif hraunrennslis á grafna jarðstrengi eru því í aðalatriðum tvíþætt. Í fyrsta lagi mun heitur massi yfir jarðstrengjum koma í veg fyrir nauðsynlega kælingu. Því mun þurfa að taka viðkomandi streng úr rekstri eftir að hraun rennur yfir hann. Það er eingöngu vegna þess við slíkar aðstæður losnar ekki varmi frá strengnum sem brennur yfir undan þeim hita sem strengurinn framleiðir sjálfur. Í öðru lagi mun það hraun sem liggur yfir strengnum hita jarðveginn og valda óafturkræfum skemmdum á leiðurum og einangrun, sjá umfjöllun hér að framan um hitnun í jarðvegi undir hrauni og þol strengja gagnvart hitaálagi.

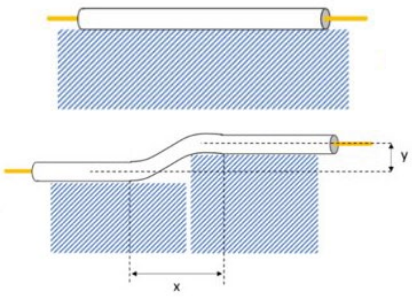
4.2.4 Áhrif jarðskjálfta á jarðstrengi

Helstu áhrifaþættir jarðskjálfta á jarðstrengi eru:

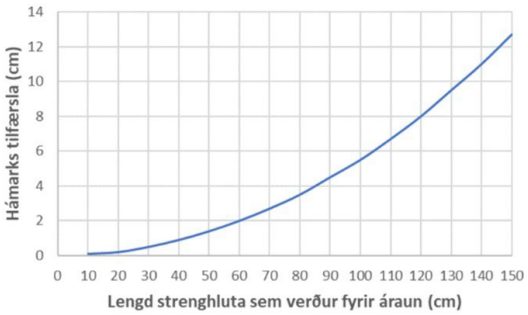
- Höggun, varanleg hreyfing jarðlaga á strengleið, þ.e. sprungumyndun eða endurtekin hreyfing á fyrirliggjandi sprungu skemmir streng
- Bylgjuhreyfingar af völdum jarðskjálfta orsaka tímabundna aflögun eða spennu á streng vegna mögnunar á hreyfingu við sprungur, lausar blokkir eða fyllingar, eða mismunar á stífni jarðstrengs og umhverfisins.

- Bylgjuhreyfingar af völdum jarðskjálfta orsaka að strengsandur hverfur, fyllingar aflagast og strengur ofhitnar.
- Ysjun lausra jarðlaga í jarðskjálftum hefur valdið miklum skemmdum á jarðstrengjum erlendis, [1] og [19]. Enn sem komið er hefur ekki reynt á slíka áraun á jarðstrengi hér á landi.

Í jarðskjálftunum árin 2000 og 2008 á Suðurlandi voru ekki komnir í jörðu strengir sambærilegir við jarðstreng fyrirhugaðrar Suðurnesjalínu 2. Því eru ekki til dæmi um hver afdrif þeirra hefðu verið. Hins vegar er ljóst að töluvert af lögnum í jörðu skemmdust, s.s. árið 2000 þegar hitaveitulögn milli Hellu og Hvolsvallar skemmdist, og árið 2008 þegar hitaveituheimæðar á Selfossi skemmdust, svo og frárennslislagnir víða á Selfossi, Eyrabakka, Stokkseyri og Hveragerði. Jarðhræringar hafa þannig allnokkur áhrif á viðkvæmar veitur í jörðu. Jarðstrengir þola að öllu jöfnu ákaflega litla hreyfingu í jarðvegi eftir að búið er að koma þeim fyrir. Myndir hér á eftir sýna leyfilega tilfærslu samkvæmt upplýsingum framleiðenda [20].



Mynd 23. Strengur í óröskuð umhverfi (efri) og eftir hliðrun (neðri). Inn á myndina eru merktar stærðirnar x="Lengd strenghluta sem verður fyrir áraun" og y="Hámars tilfærsla.



Mynd 24. Leyfileg tilfærsla strenghluta.

Í leiðbeiningum Cigré [21] er samantekt um jarðstrengi og jarðskjálfta í víðu samhengi. Eftirfarandi er þýdd samantekt úr þeim leiðbeiningum:

> *„Jarðstrengir sem eru lagðir beint í fyllingu (e. direct burial) er útsettir fyrir mestri áhættu af völdum jarðskjálfta þar sem þeir geta ekki hreyfst eins og til dæmis strengir í stokkum eða jarðgöngum og eru því ekki varðir á annan hátt. Af því leiðir að jarðstrengir í jarðvegi á jarðskjálftasvæðum eru líklegri til að verða útsettir fyrir mikilli togspennu af völdum hreyfinga á jarðvegi. Fjöldi jarðstrengja beygðist illa og varð fyrir skemmdum af völdum hreyfinga á jarðvegi í jarðskjálftanum í Christchurch á Nýja Sjálandi árið 2011.*
>
> *Í löndum þar sem er mikið og reglulegt jarðskjálftaálag eins og Japan er lögð áhersla á að leggja jarðstrengi í jarðgöng til að auka mótstöðu við jarðskjálftaálagi.*
>
> *Að leggja jarðstrengi í stokka er minna viðkvæm aðferð með tilliti til jarðskjálftaálags þar sem strengirnir eru ekki í beinni snertingu við jarðveg. Strengirnir liggja lausir í stokkum sem geta verið rör eða röraknippi umlukin einsleitu og þéttu fyllingarefni eins og steypu eða sérstaklega varmaleiðandi fyllingu sem er komið fyrir utan um rörin í fljótandi formi sem stífnar að lokum. Stokkar eða rörakerfi geta verið útsett fyrir háum togspennum og aflögun af völdum jarðvegshreyfinga. Nokkur slík tilvik hafa átt sér stað í Japan, þar sem stokkar hafa skemmst eða slitnað, en í fáum tilvikum hefur það leitt til skemmda á strengjunum sem liggja í þeim. Ólíkt þeirri aðferð að leggja strengi beint í fyllingu þá er hægt að grípa til aðgerða til að auk þol jarðstrengja*

í stokkum gagnvart jarðskjálftálagi með þensluskilum og sveigjanlegri uppsetningu eins og að láta strengina liggja lausa í tengiholum".

Í stuttu máli eru niðurstöður frá rannsóknum á afleiðingum jarðskjálftanna í Christchurch á Nýja Sjálandi árið 2011 [19]m.t.t. jarðstrengslagna eftirfarandi:

„Jarðstrengir grafnir í fyllingu eru útsettir fyrir aflögun eða hreyfingu á jarðvegi. Bilun í jarðstrengjum tefur mjög fyrir hraðri viðgerð á raforkukerfinu. Viðgerðir á strengjum þarfnast sérstaklega þjálfaðs starfsliðs, sérstaks útbúnaðar og taka mun lengri tíma en viðgerðir á loftlínum. Skemmdir á jarðstrengjum geta orðið til þess að reisa þurfi tímabundnar loftlínur á meðan á viðgerðum stendur".

Kvikuhreyfingar geta haft í för með sér aflögun á yfirborði án þess að kvika kæmi upp til yfirborðs. Með aukinni virkni á Reykjanesi má ætla að slíkar hrinur verði tíðari.

Þó ekki verði varanleg færsla yfir sprungur sem strengir kunna að liggja yfir, er ljóst að þar verður ákveðin mögnun á færslum sem geta verið nægjanlega miklar til að valda skemmdum á strengjum. Við yfirborð á sprungum, lausum bergblokkum eða þykkum fyllingum verður í jarðskjálfta í meginatriðum sama hröðun og á við um mannvirki á yfirborði, sjá umfjöllun hér að framan um jarðskjálfta. Því verður að gera ráð fyrir að hreyfing á umhverfi grafinna jarðstrengja sé úr fasa við hreyfingu á strengjunum. Þess vegna mælir t.d. Cigré með að jarðstrengir séu í samfelldum stokkum á svæðum þar sem jarðskjálftar eru tíðir. Slíkur frágangur hefur augljóslega aukinn kostnað í för með sér.

Á stöðum þar sem líklegt er að það verði hreyfingar er vissulega hægt að hanna strenginn þannig að hann geti tekið við ákveðinni hreyfingu. Það hefur til dæmis verið gert á 66 kV jarðstreng Selfosslínu 3 á Ölfusárbrú. Við þekktar sprungur á strengleiðum Landsnets er lagt upp með að brúa þær og byggja strenginn inn í stokk þar sem hann gæti hreyfst að einhverju marki. Það er þó ljóst að slíkar lausnir hafa ákaflega takmarkaða hreyfigetu og vegna þessarar miklu nálægðar við virk höggunarsvæði verða slíkar lausnir aldrei fullkomlega öruggar eða fyrirsjáanlegar. Er það bæði vegna þess að ekki er hægt að sjá fyrir um staðsetningu nýrra brotalína auk þess sem slík mannvirki gætu aðeins þolað aflögun upp á fáa cm sem dugir tæplega til í stærri atburðum.

Yfir afmarkaða sprungu er heppilegt að leggja streng í „S" , þannig að hann liggi um 6-12m löng ídráttarrör að sprungunni beggja vegna og síðan í 30-45° sveig að ídráttarrörum sem liggja í fóðurröri sem nær vel yfir sprunguna sjálfa. Í sveigunum er strengurinn lagður í einkorna sand. Þannig hefur strengurinn meiri möguleika á að hnikast til ef hreyfing verður á sprungunni og er varinn að vissu marki í fóðurrörinu. Síðustu ár hefur mikið verið lagt af jarðstrengjum hérlendis á 66 og 132 kV spennu og fleiri slíkar strenglagnir eru í undirbúningi. Enn sem komið er hefur ekki reynt alvarlega á það hvernig togspenna við bylgjuhreyfingar jarðvegs fer með svo stóra jarðstrengi sem eru í fyllingu nálægt upptakasvæðum jarðskjálfta. Í jarðskjálftunum á Suðurlandi árin 2000 og 2008 urðu skemmdir á veitum sem gefa ákveðnar vísbendingar um þá áraun sem niðurgrafin lagnakerfi kunna að verða fyrir í jarðskjálftum, þó að staðbundnar aðstæður og innbyrðis hegðun slíkra mannvirkja kunna að vera aðrar er ekki hægt að líta framhjá slíku álagi við útfærslu á jarðstrengjum á þekktum jarðskjálftasvæðum.

4.2.5 Viðgerð á jarðstreng

Viðgerðir á jarðstrengjum eru verulega tímafrekari en á loftlínum, jafnvel þó einungis þurfi að gera smærri viðgerðir. Finna þarf bilun, grafa niður á hann og koma upp viðgerðaraðstöðu áður en sjálf viðgerðin getur hafist auk þess sem viðgerðaefni þarf að vera aðgengilegt. Tengiefni fyrir jarðstrengi hefur takmarkaðan endingartíma og þarfnast reglulegrar endurnýjunar. Því er ekki öruggt að það sé alltaf tiltækt á Lager Landsnets. Viðgerðatími jarðstrengja er fremur mældur í vikum en dögum og í tilfelli 220 kV strengja þarf að fá erlenda sérfræðinga til aðstoðar. Tölur frá samtökum evrópskra flutningsfyrirtækja (ENTSO-E) segja að meðalviðgerðartími á 220 kV jarðstrengjum sé á bilinu 3 – 4 vikur [22]. Sem dæmi má nefna að árið 2008 varð bilun í 132 kV jarðstreng á milli Nesjavalla og Korpu. Bilunin átti sér stað í Mosfellsdal að sumri til og tók viðgerð á strengnum 9 daga. Viðgerð á 220 kV streng tekur lengri tíma en á 132 kV streng vegna þess að um flóknari viðgerð að ræða.

Bilun á jarðstreng sem skemmist af völdum hita frá hrauni getur verið krefjandi því ekki dugar að gera við bilunina og tengja strenginn án þess að breyta mannvirkinu, annars mun jarðvegshiti hamla flutningsgetu. Í flestum tilvikum þarf að taka strenginn upp úr jörðu og byggja tímabundna loftlínu til að koma strengnum aftur í rekstur. Framkvæmdin er flóknari en við endurbyggingu loftlínuútfærslu. Þörf er á að taka jarðstrenginn upp úr jörðu, byggja og tengja við ný strengendavirki í báðum endum og girða svæðið af.

Mynd 25. Strengendavirki í 220 kV Hólasandslínu 3.

Viðgerðartími við að koma straumi á, eftir að unnt er að vinna á hrauni, er metinn á bilinu 1-4 mánuðir eftir umfangi bilunar.

5 Sviðsmyndagreiningar

5.1 Almennt

Í gögnum frá Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá kemur fram að hraunflæðisvá á línuleið Suðurnesjalínu 2 innan Sveitarfélagsins Voga er metin sem jaðarsvæði há-hættusvæðis á tveimur stöðum: (i) við Vogavík vegna hraunrennslis á leið til sjávar, (ii) hraunrennsli á leið til sjávar í Vatnsleysuvík. Á Strandarheiði er svæðið metið sem jaðarsvæði við hærra-hættusvæði. Greiningar Veðurstofu Íslands sýna vá við Vogavík og einnig á Strandarheiði en váin er minni við Vatnsleysuvík. Hraunflæðisvá er einnig í og við Hafnarfjörð en ekki er fjallað um það hér.

Jarðskjálftavá er á öllum Reykjanesskaganum, eins og fjallað hefur verið um í kafla 3.3.

Í köflum 5.2. til 5.5 er umfjöllun um þær fjórar sviðsmyndir sem taldar eru ógna rekstraröryggi Suðurnesjalína 2 mest. Þá er skoðað hvaða mótvægisaðgerðir er hægt að fara í til að lágmarka áhættuna og rekstraröryggið endurmetið að teknu tilliti til mótvægisaðgerðanna

Til að fá sem besta sýn að mögulegri framvindu hraunflæðis voru gerðar hraunflæðihermanir fyrir hverja sviðsmynd sem líkja eftir hugsanlegri framvindu miðlungs hrauns (300 m^3/s í 11,5 sólarhring sem gefur 0,3 km^3 heildarrúmmál hrauns) frá ákveðnum stað með jöfnu flæði. Þessar forsendur voru valdar til að keyrslur væru í sem mestu samræmi við hermanir Veðurstofu Íslands [8] og Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá [7]. Veðurstofa Íslands notar 0,3 km^3 í hermun fyrir meðalstórt hraun og í keyrslum Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá er 300 m^3/s notað til að lýsa rúmstreymi meðalstórs íslensks sprungugoss[2]. Mynd 15 í kafla 3.2 sýnir að þessi stærð hrauns er yfir miðgildi gosa á sögulegum tíma og því meiri líkur á minna gosi. Tekið skal fram að á hverjum stað getur uppruni og hegðun hraunflæðis verið með mjög mismunandi hætti og hver hermun sýnir einungis eina framvindu. Uppsöfnun við gíg er ekki hermd og ekki breytileiki í hraunflæði sem leitt getur til storknunar megin hraunrása, sem getur leitt til styttri hraunrása en hér hermast. Valið var að velja upptakasvæði goss og goseiginleika þannig að þeir framkölluðu óhagstæðar aðstæður í sviðsmyndum, því má búast við að aðstæður séu að meðaltali eitthvað hagstæðari fyrir mannvirkið. Sem dæmi má nefna að ef hraunflæðið úr gígnum væri hermt helmingi minna en helmingi lengur, þ.e. sama heildarrúmmál en flæðið á tímaeiningu helmingi minna, þá myndi reiknaður tími frá upphafi goss að þeim tíma sem hraun nær að línunni lengjast frá þeim tíma sem hér er greint frá.

Hafa þarf í huga að hraunrennsli mun ekki hegða sér nákvæmlega svona og flæða að einhverju leyti í gusum, tíminn sem það tekur fyrir hraunflæðið að ná að ákveðnum stöðum gæti því verið mun styttri en einnig lengri allt háð duttlungum gossins og þeim rennslisleiðum sem myndast í hrauninu. Samanburður hermana og hraunsins í gosunum 2021 og 2022 sýna að á heildina litið nær líkanið ágætlega að herma hraunflæðið sem heild en nær ekki að líkja eftir einstaka framrásum.

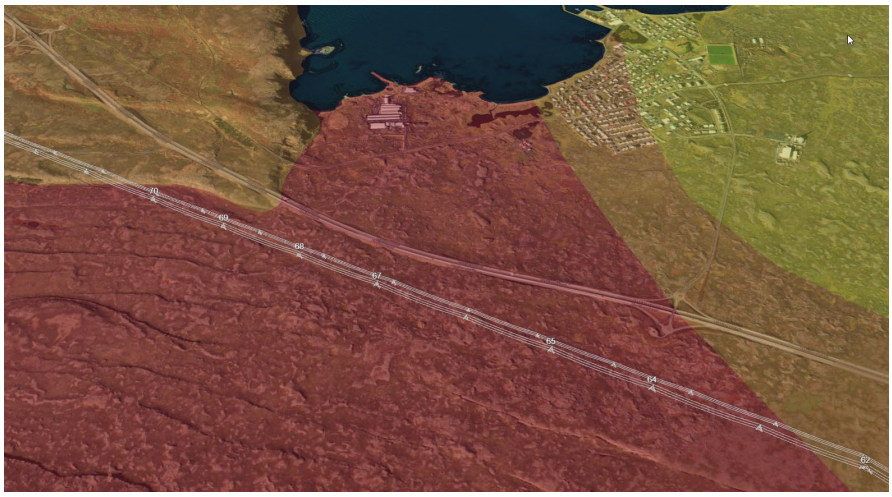
Tekið skal fram að hættumat Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá og Veðurstofu Íslands eru ítarlegri greiningar en þær sviðsmyndir sem er verið að skoða hér. Hættumatið byggir á miklum fjölda gosa og gefur hlutfallslega hraunrennslisvá á svæðinu. Hér er einungis skoðuð möguleg framvinda í

[2] Samkvæmt upplýsingum frá Þorvaldi Þórðarsyni eldfjallafræðingi (12.4.2023) telur hann ólíklegt að hraungos á Reykjanesskaga viðhaldi meðalframleiðni upp á 300 m^3/s, nema í nokkrar klukkustundir og í besta falli í 1-2 daga. Eftir það minnki framleiðni. Líkur eru því á að hermd gos séu yfir meðaltali.

stökum gosum til að fá stærðarmat á helstu þáttum sem hafa áhrif á áreiðanleika mannvirkis og mögulegt viðbragð, t.d. áhrif á varnargarða og mat á líkum á að hraun flæði yfir mismunandi línuleiðir. Því má ekki álita að verið sé að setja fram endurmat á hraunrennslisvá á svæðinu.

5.2 Hraunflæði til lægðarinnar við Seltjörn í átt að Vogavík

Samkvæmt greiningu Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá er mesta vá gagnvart hraunrennsli í landi Voga á móts við Voga. Í skýrslunni fyrir Voga [7] er svæðið (rauður flötur á mynd 26) flokkað sem jaðar há-hættusvæðis. Lega lægðarinnar suður af Vogavík er þannig að þangað dragast hraunstraumar úr nokkuð mörgum upptakasvæðum eldgosa. Lengd loftlínu innan þess vásvæðis er um 2,9 km og fyrirhugað er að 8 möstur séu innan þess. Stutt er á milli Reykjanesbrautar og loftlínu og er hún styst um 240 m. Mynd 26 sýnir hættusvæðið og mynd 32 sýnir ljósmynd af aðstæðum við Voga. Reykjanesbrautin liggur almennt lágt á þessu svæði nema þar sem landið liggur lægst við undirgöngin, og er því óveruleg fyrirstaða fyrir hraunflæði. Í neyðartilfellum er Suðurstrandarvegur varaleið fyrir Reykjanesbraut fyrir umferð til og frá Suðurnesjum.



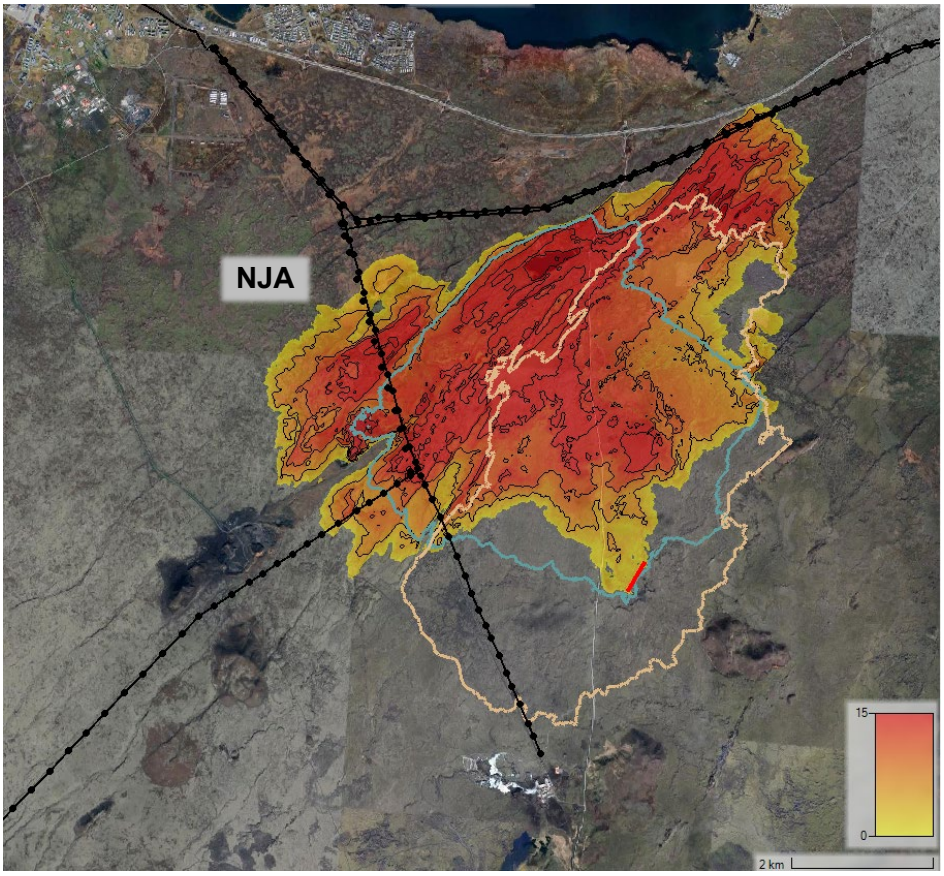
Mynd 26. Hraunrennslisvá við Voga ásamt staðsetningu mastra, mastranúmer í SN2 eru sýnd. Byggt á heimild [7].

5.2.1 Hermun sviðsmyndar

Sviðsmyndarhermun var gerð í HEC-RAS þar sem hermt var meðalstórt gos (300 m^3/s í 11,5 sólarhringa sem gefur 0,3 km^3 heildarrúmmál hrauns). Notuð voru gildi fyrir seigju og flotspennu, annars vegar fyrir seigfljótandi hraun (apalhraun, kvarðað að hraunflæðieiginleikum hraunsins í Geldingadölum fyrri hluta gostímabilsins) og hins vegar fyrir þunnfljótandi hraun (helluhraun, kvarðað að hraunflæðieiginleikum hraunsins í Geldingadölum seinni hluta gostímabilsins eftir að hraunið hafði gjörbreyst). Upptök voru valin á sama stað og upptök Arnarseturshrauns. Niðurstöður fyrir þetta hraunmagn eru sýndar á mynd 27. Miðað við valin gosupptök, bendir hermunin til þess að ef hraunið helst sem apalhraun út gostímann þá nær það ekki að línuleiðinni, sjá grænbláa útlínu á myndinni. Hermda helluhraunið (í jöfnu flæði) nær að flæða að og umlykja þrjú möstur Suðurnesjalínu 2 og flæða loks inná Reykjanesbrautina, sjá einnig mynd 27. Ef hraunmagnið er aukið smávægilega (úr 0,3 km^3 í 0,34, en mörkin fyrir miðlungs stórt hraun liggja á bilinu 0,1-0,5 km^3) þá nær hraunið að flæða yfir Reykjanesbrautina og til sjávar sbr. síðustu tvær myndirnar á mynd 28.

Þetta svæði er sérstakt að því leiti að hraunið er að flæða í lægð í landinu og þarf að ná að fylla þá lægð áður en það nær að flæða upp úr lægðinni og til sjávar. Í upphafi goss er hraunið er því einungis að flæða áfram sem afmörkuð hraunrás frá upptökum og niður í lægðarbotninn.

Í lægðinni fer hraunið að dreifa sér um botninn í mörgum hraunrásum og tekur svo að „tjakkast upp“ þ.e. hraunflæði heldur áfram til hrauntjarnarinnar frá gígnum en yfirborðið helst nær óbreytt á stórum svæðum og lyftist upp samhliða auknu innflæði. Sambærileg hegðun átti sér stað á nokkrum svæðum í gosinu í Geldingadölum. Flatarmál hraunsins í lægðinni er mikið og hraunið lyftist því frekar en að flæða fram. Samkvæmt hermuninni tekur töluverðan tíma fyrir hraunið að feta sig að fyrstu möstrunum og í kjölfarið að þeim næstu og loks áfram að Reykjanesbrautinni. Mynd 28 sýnir mismunandi tímaskref í hermuninni og helstu stærðir og tímar eru teknir saman í töflu 5.



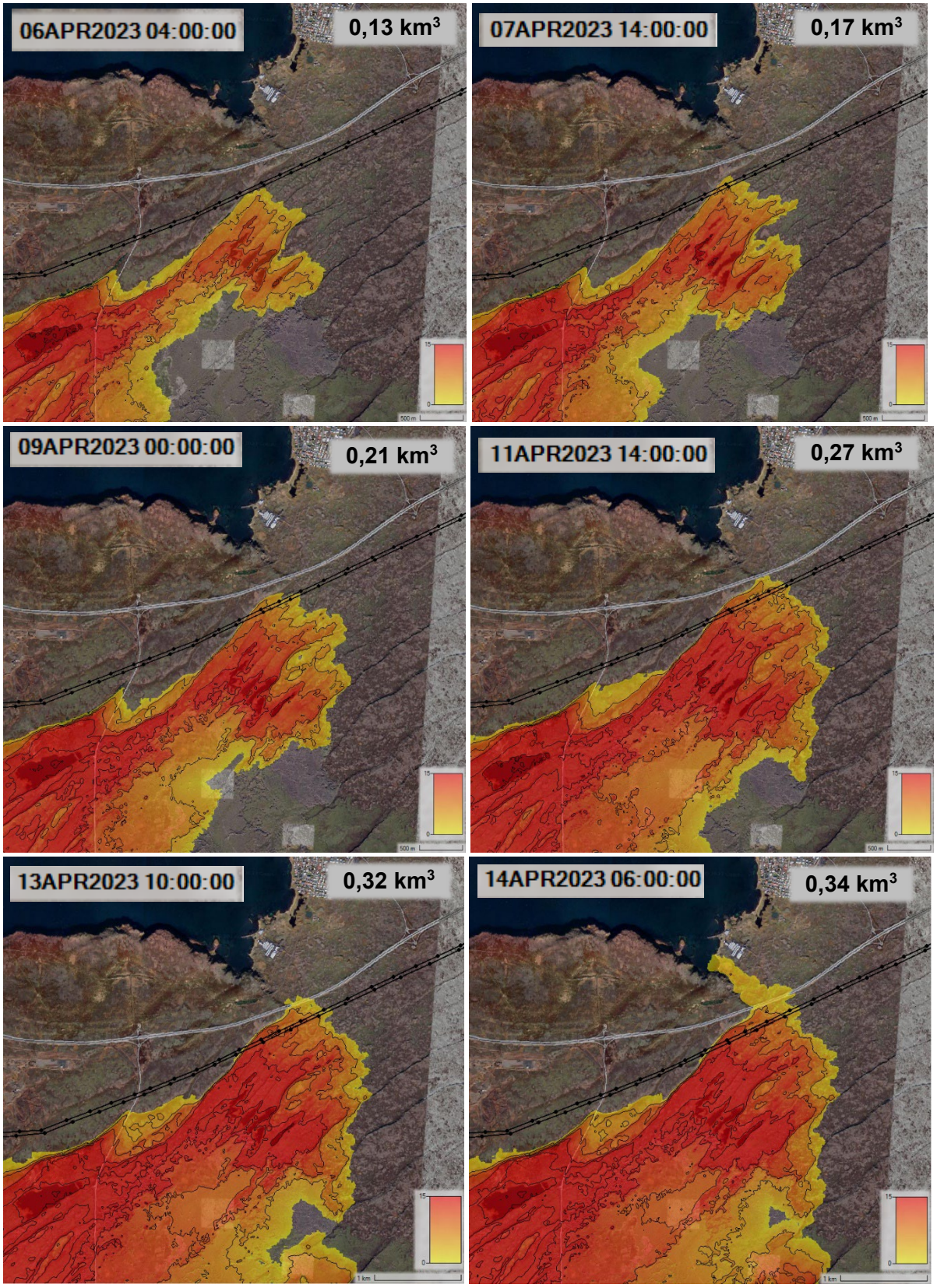
Mynd 27. Hermanir úr forritinu HEC-RAS af meðalstóru hrauni (300 m3/s í 11,5 sólarhring, heildarrúmmál 0,3 km^3). Rauð lína sýnir upptök. Litafyllt svæði sýnir hermun helluhrauns og svartar jafnþykktarlínur sýna 5 m þykktarbil. Blágræn lína sýnir útmörk sömu hermunar en með hærri seigju, sem apalhraun. Ljósa línan sýnir útmörk Arnarseturshrauns til samanburðar (sömu upptök).

Samantekt á helstu niðurstöðum úr hraunrennslishermun eru teknar saman í töflu 5.

Tafla 5 Helstu niðurstöður hraunrennslishermunar.

Tímalengd [klst]	Lýsing	Uppkomið gosmagn [km^3]	Mesta hraunþykkt við möstur [m]	Breidd línugötu undir hrauni [m]
0	Upphaf goss	0		
+124	Hraun nær að loftlínu	0,13	0	10
+158	Hraun umlykur eitt mastur í SN2	0,17	3,3	430
+192	Hraun umlykur tvö möstur í SN2	0,21	6,3/3,2*	740
+254	Gos fer uppá Reykjanesbraut og umlykur þrjú möstur SN2	0,27	9,8/8,4/3,5	1030
+298	Hraun komið yfir Reykjanesbraut	0,32	11,5/10/4,6	1160
+318	Hraun komið til sjávar	0,34	12/11/5,2	1200

* Þegar hraunið hefur náð að 2-3 möstrum er / notað til að aðskilja þykktartölur hrauns við hvert þeirra.



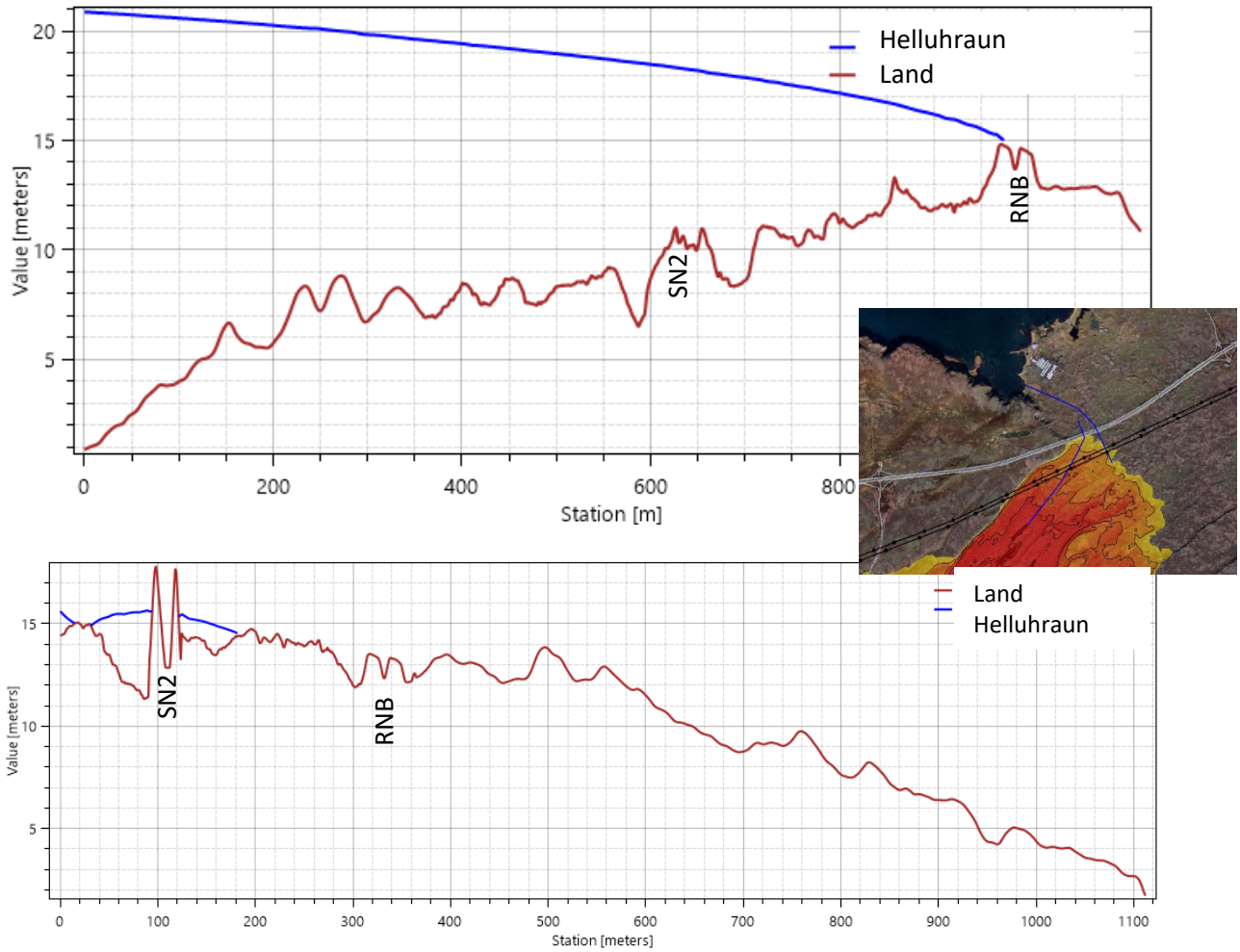
Mynd 28. Þróun hraunjaðarsins í hermuninni (HEC-RAS, meðalstórt hraun (300 m³/s). Litafyllt svæði sýnir hermun helluhrauns og svartar jafnþykktarlínur sýna 5 m þykktarbil. Upphafstími hermunar var stilltur á 1. apríl kl. 0.

Sviðsmynd af hraunflæði að Seltjörn er ólíkt sviðsmyndunum sem fjallað er um í köflum 5.3 og 5.4 vegna þessarar víðfermu lægðar. Á þessu svæði er líklegra að mun stærra gos þurfi til að ógna

Suðurnesjalínu 2, þar sem lægðin getur tekið við miklu hraunmagni. Staðsetning gossprungu skiptir einnig töluverðu máli. Ef sprunga opnast nær en hér er hermt aukast líkur á að hraun flæði að línustæðinu og mögulegur viðbragðstími styttist. Að sama skapi minnka líkurnar ef upptökin verða fjær.

Hafa þarf þó í huga að hér er um hermun að ræða sem nær ekki að herma öll þau flóknu ferli sem geta átt sér stað þegar hraun er í mótun. Sem dæmi gæti hraunið, sem safnast fyrir í stórri hrauntjörn, breytt um eiginleika við það að liggja kyrrt í hraunlóni. Rennslið gæti því orðið ófyrirsjáanlegra og sá möguleiki er fyrir hendi að þunnfljótandi hraun flæði undan apalhrauni og loka hraunútbreiðsla verði blanda þeirra eiginleika sem hermdir voru. Einnig myndast hætta á að yfirhæð myndist í hraunlóninu, þ.e. að jaðrar hraunsins haldi aftur af hrauninu í hraunlóninu. Ef slíkur hraunjaðar brestur getur þróunin orðið mjög hröð þegar uppsafnað hraun nær að flæða fram í einu vettvangi. Hraunflæðið við slíka atburði yrði tímabundið mun meira en útflæðið úr gígnum.

Reynsla af hermunum af þessum toga í gosinu í Geldingadölum bendir til þess að þykkt hraunsins í hraunlóninu hermist of þykk, þ.e. að yfirborð hraunsins þar sem það safnast fyrir er líklegra til að vera flatara en hér hermist. Það þýðir að framgangurinn er líklegri til að vera hraðari en hermunin gefur til kynna. Mynd 29 sýnir tvö snið í hraunið og landið. Á efra sniðinu sést vel hve mikill munur hermist á hraunyfirborði í lægðinni.



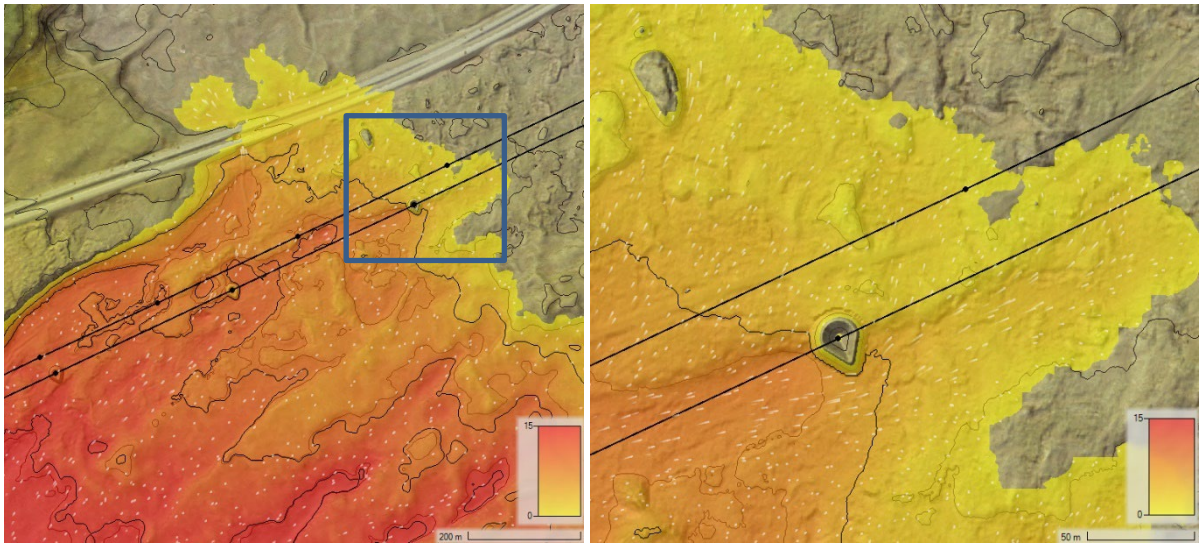
Mynd 29. Tvö snið í landlíkanið og hraunið. Efri sýnir snið upp úr lægðinni og yfir Reykjanesbraut. Sú neðri er tekin örlítið austar, sjá staðsetningar á innfelldri mynd. Þar nær sniðið í gegnum varnargarð við mastur og yfir Reykjanesbrautina sem liggur lægra í landi.

5.2.2 Mótvægisaðgerðir

Miðað við fyrirliggjandi reynslu af stýringu hraunrennslis með varnargörðum eða öðrum aðferðum, þar með talið þá reynslu sem fékkst af þeim varnargörðum sem voru reistir í eldgosinu í Geldingadölum, þá má ætla að mögulegt sé að stýra hrauni til sjávar í Vogavík, svo framarlega sem gosið verði ekki þeim mun stærra.
Hraunflæði sem ógnað gæti línunni á umræddu svæði er mjög líklegt til að taka sér tíma áður en það nær að umræddum innviðum og líkur eru á að gos hætti áður en hraun nær að svæðinu. Ef, hins vegar, gosið yrði það stórt eða upptökin óheppilega nálægt, þá er óraunhæft að gera ráð fyrir að hægt sé, með tryggum hætti, að verja línuleiðina og Reykjanesbrautina með varnargörðum. Líklegt er þó að hægt verði að tefja fyrir framgangi hraunsins með varnargörðum og nýta tímann sem vinnst til að koma upp leiðigörðum sem miða að því að lágmarka heildartjón af völdum hraunsins, t.d. með því að beina hraunflæðinu stystu leið til sjávar í Vogavík og verja þannig byggð og eða atvinnustarfsemi.

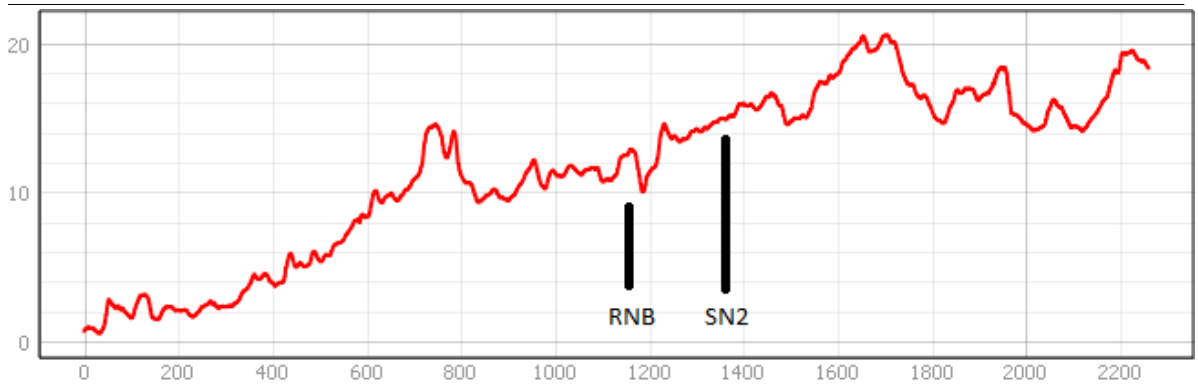
Hermanirnar gefa til kynna að óraunhæft er að nota varnargarða fyrir möstrin tvö sem staðsett eru í lægðinni sjálfri þar sem hraunþykkt er líkleg til að verða umtalsverð þar. Ef loftlínu leiðin verður að endingu valin og ákveðið verður að huga strax að því að reyna að lágmarka áhættu m.t.t. hraunflæðis, er nauðsynlegt að endurskoða staðsetningu mastra í þessari lægð og færa út fyrir svæðið sem gefur mestu hraunþykktina.

Þar sem hraunþykktin hermist minni er raunhæft að gera ráð fyrir að hægt verði að verja möstrin með varnargörðum sem leiða hraunflæðið fram hjá möstrum. Mynd 30 sýnir dæmi um virkni slíks garðs og hvernig hraunið flæðir í kringum hann.



Mynd 30. Hraunflæði kringum leiðigarð til varnar mastri samanber útfærslu á mynd 18 hér að ofan.

Reykjanesbrautin liggur lágt á þessu svæði nema á svæðinu næst undirgöngunum. Mögulega gæti reynst æskilegt að rjúfa Reykjanesbrautina við undirgöngin til að stýra hraunrennslinu yfir á því svæði. Austar yrði framrás hrauns komin óþægilega nærri byggðinni í Vogum.



Mynd 31. Þversnið sem sýnir hæðarprófíl lands við Voga.

Mynd 32. Ljósmynd af aðstæðum við Voga. Hér sést nokkuð greinilega að vegurinn liggur lægra í landinu en línurnar.

Hermunin sýnir dagamun á milli þess tíma sem hraunið nær að línustæðinu og Reykjanesbrautinni. Hraunpollamyndun í lægðinni gefur hins vegar til kynna að framrásin sé líkleg til að koma í gusum úr hraunpollinum og því ekki hægt að stóla á að munurinn sé mikill. Segja má að líkur séu fyrir hendi að jarðstrengur sleppi við hraunrennsli í þessari sviðsmynd. Ekki er þó hægt að útiloka að munurinn verði mun minni en hér hermist. Munurinn er þó líklegast umtalsvert meiri en í sviðsmyndunum fyrir Vatnsleysuvík og Strandarheiði.

Umræður hafa verið um vatnskælingu til stýringar hraunrennslis, en virkni slíkra aðgerða er óvissari en leiðigarða. Einnig hafa komið fram hugmyndir um vatnskælingu við jarðstrengi. Vatn undir hrauni getur hins vegar leitt af sér sprengihættu og því talið óraunhæft að skoða slíkar lausnir.

Atriði sem lúta að viðbragði, tjónnæmi og endurbyggingu á loftlínu

- Þegar hraungos hefst og hraunflæðisspá liggur fyrir er unnt að hefja fyrirbyggjandi ráðstafanir við að verja möstur með byggingu leiðigarða, tímalengdin sem er til ráðstöfunar er líklega ~ 5 dagar.
- Varnargarðar/leiðigarðar munu takmarka tjón og auka líkur á því að loftlínan skaðist ekki. Það þarf verulegar varnir við tvö til þrjú möstur verði mesta uppsöfnun hrauns í líkingu við gildi í töflu 5.
- Loftlínan getur verið í rekstri eftir að hraunflæði fer undir línuna, fram til þess að tjón verður á henni.

- Verði tjón á loftlínu er unnt að hefja framkvæmdir við uppbyggingu loftlínu strax og unnt er að fara út á hraunið. Lengd á tjónasvæði getur verið af stærðargráðunni ~ 1,2 km ef yfirborð hraunsins er áþekkt því sem var hermt.
- Varðandi viðgerð á loftlínu er vísað í kafla 4.1.3.

Atriði sem lúta að viðbragði, tjónnæmi og endurnýjun á jarðstreng

- Fari hraun yfir jarðstreng við Reykjanesbraut er næsta víst að hitinn muni eyðileggja strenginn á þeim kafla varanlega.
- Það er ekki unnt að gera við jarðstreng á skömmum tíma og koma aftur í rekstur á sömu lagnaleið, meðal annars vegna jarðvegshita sem mun takmarka flutningsgetuna.
- Vænlegasta viðgerð á jarðstreng innifelur að byggja tímabundna loftlínu með strengendavirki í hvorn enda, sem þarf að standa á meðan hiti fer úr jörðu. Líkleg staðsetning slíkrar loftlínu er sýnd á mynd 33.
- Sjá umfjöllun um viðgerð á jarðstreng í kafla 4.2.5.

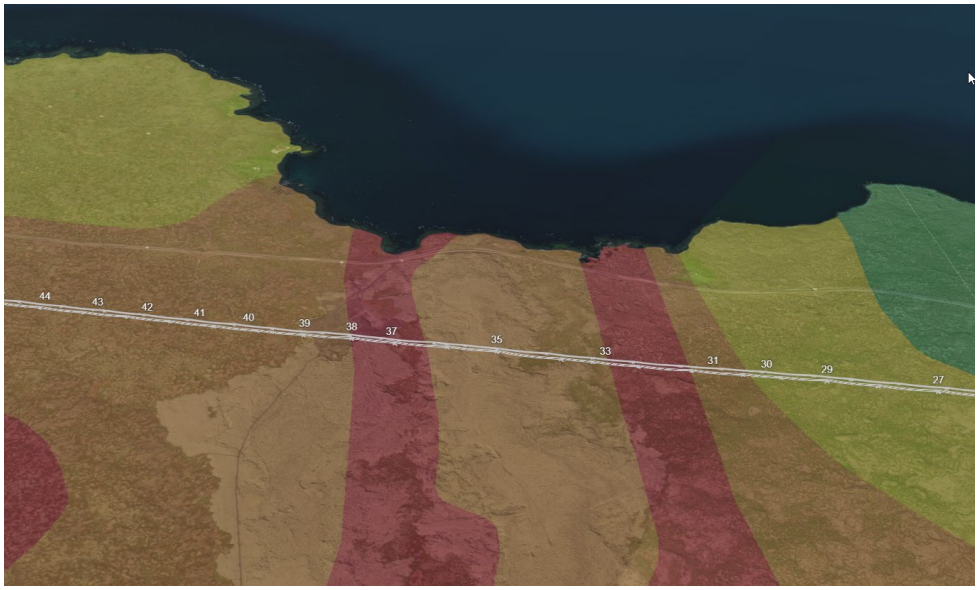
Hraunflæði í átt að Vogavík er á jaðri há-áhættusvæðis varðandi hraunrennsli og nokkur breytileiki er varðandi mögulega uppkomu og útbreiðslu hrauns á svæðinu. Við meðalstórt hraunrennsli verður loftlína mjög útsett og einnig jarðstrengur. Hraun nær fyrr að loftlínu en Reykjanesbrautin er skammt undan og er lítil fyrirstaða þegar hraun nær þangað. Það eru heldur meiri líkur á því að loftlína skaðist samanborið við jarðstreng. Hins vegar er alvarleiki bilunar og viðgerðatími verulega meiri í tilviki jarðstrengs.

Annað sem kemur fram í hermun þessarar sviðsmyndar er að hraunrennsli á þessum stað getur ógnað tengivirkinu á Rauðamel og loftlínum sem tengja Svartsengis- (MF1, SM1) og Reykjanesvirkjanir (RM1). Tengivirkið og loftlínurnar geta orðið fyrir víðfeðmu hraunrennsli á sama tíma og hraunrennsli ógnar Suðurnesjalínu 1 og Suðurnesjalínu 2 , sjá mynd 27 og mynd 16. Fari virkjanirnar úr rekstri getur það valdið vandræðum í rekstri Suðurnesjalínu 2 sem jarðstrengs, vegna launafls- og spennuvandamála sem langur jarðstrengur getur valdið við þær aðstæður. Í fyrri greiningum á möguleika þess að starfrækja Suðurnesjalínu 2 sem jarðstreng var gengið út frá þeirri forsendu að einungis önnur virkjananna væri úr rekstri á sama tíma, sjá kafla 2.1.

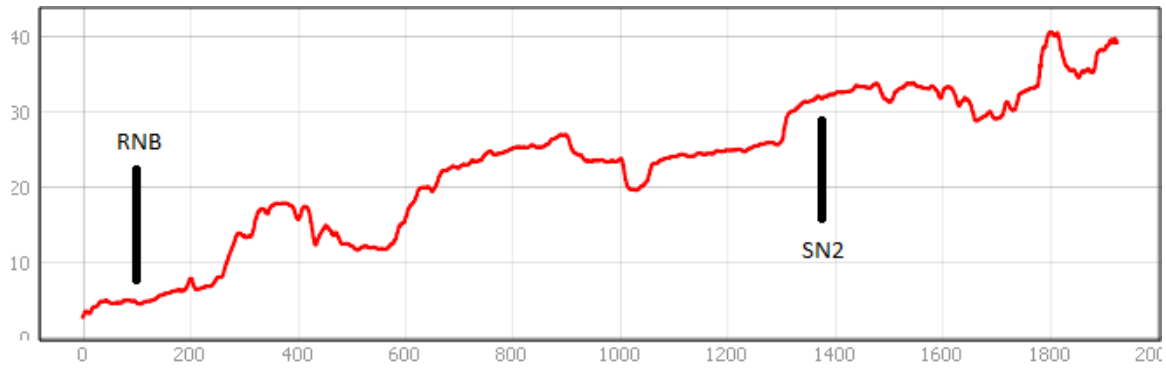
Mynd 33. Rauð lína sýnir hvar mögulega þarf að leggja loftlínu ef jarðstrengur skemmist vegna hraunrennslis við Voga. Lengd loftlínu ræðst af breidd hrauns sem þverar Reykjanesbrautina.

5.3 Hraunflæði nær til sjávar við Vatnsleysuvík

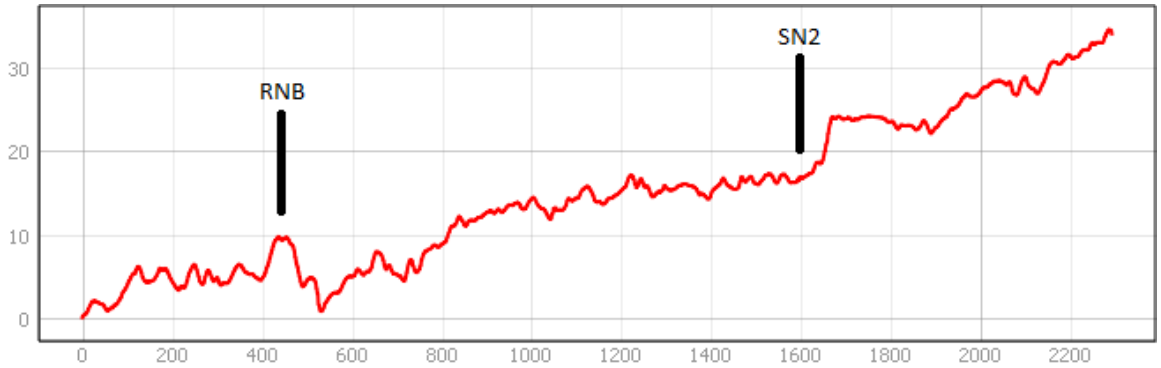
Í greiningu Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá er mikil vá gagnvart hraunrennsli við Vatnsleysuvík [7]. Svæðið er flokkað sem jaðarsvæði há-hættusvæðis. Mynd 34 sýnir vásvæðið, sem nær á tveimur stöðum í sjó fram, og staðsetningu mastra í Suðurnesjalínu2. Lengd línanna innan hvors hraunrennslissvæðis er um 520-540 m og það eru tvö möstur í hvorri línu innan hvors svæðis. Fjarlægð í Reykjanesbraut er 1000-1100m. Mynd 35 sýnir hæðarprófil lands við Kúagerði (vestara hraunrennslissvæðið), mynd 36 sýnir hæðarprófíl lands við Látra (eystra hraunrennslissvæðið) og mynd 37 sýnir loftmynd af svæðinu.



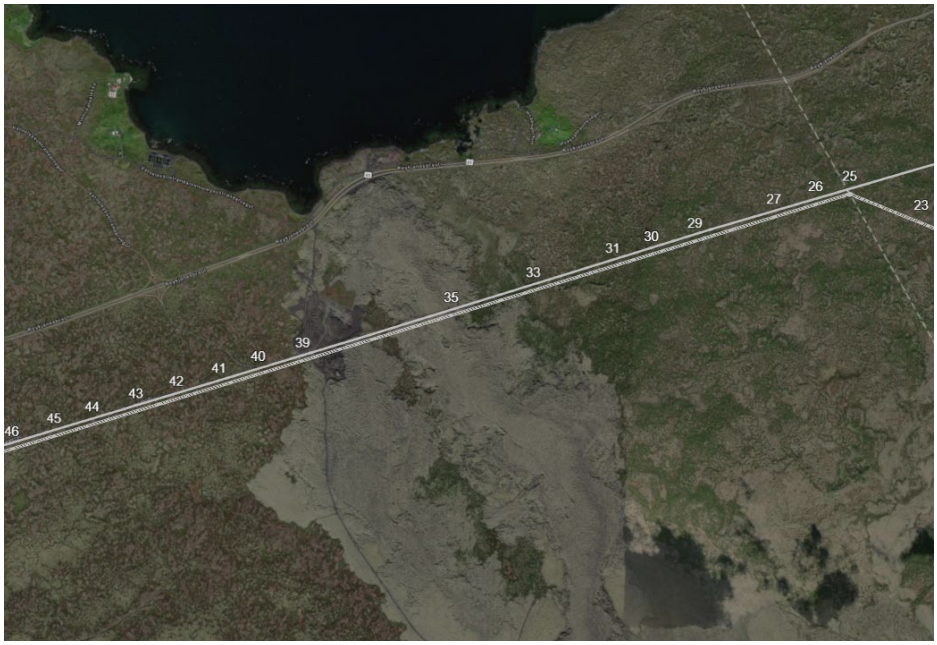
Mynd 34. Hraunrennslisvá við Vatnsleysuvík, mastranúmer í SN2 eru sýnd. Byggt á heimild [7].



Mynd 35. Þversnið sem sýnir hæðarprófíl lands við Kúagerði



Mynd 36. Þversnið sem sýnir hæðarprófíl lands við Látrar.

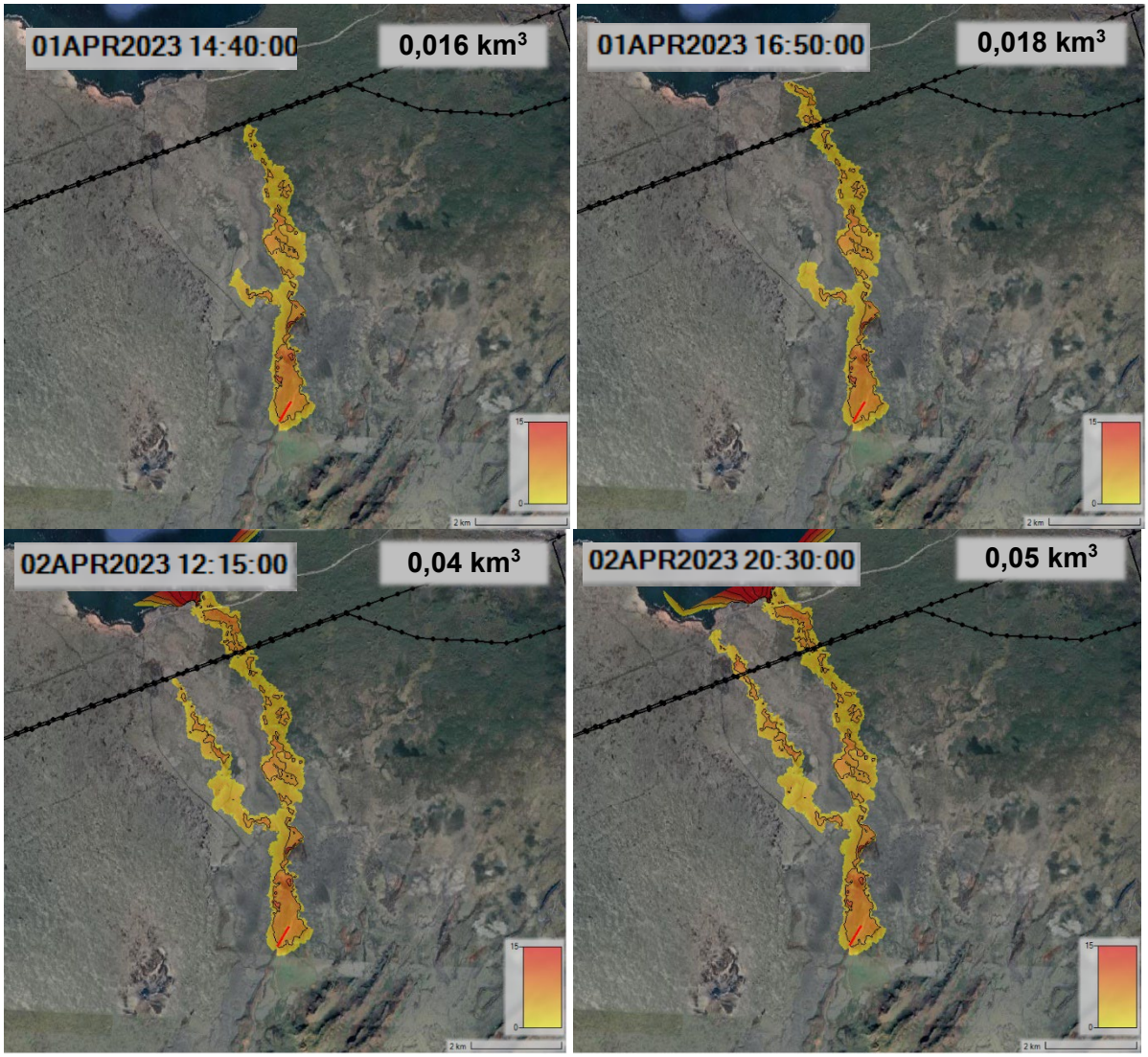


Mynd 37. SN1 og SN2 við Kúagerði. Afstapahraun (um 2000 ára) og Geldingahraun (4000-4500 ára) liggja á milli Þráinsskjaldarhrauns og Hrútagjárdyngju sem eru mun eldri.

5.3.1 Hermun sviðsmyndar

Sviðsmyndarhermanir voru gerðar í HEC-RAS þar sem stutt gossprunga var staðsett í beinu framhaldi af Oddafelli í jaðrinum á Höskuldarvöllum[3], sjá rautt strik á myndasyrpu. Eins og áður var meðalstórt gos (300 m^3/s í 11,5 sólarhring sem gefur 0,3 km^3 heildarrúmmál hrauns) hermt. Notuð voru gildi fyrir seigju og flotspennu annars vegar fyrir seigfljótandi hraun (apalhraun, kvarðað að hraunflæðieiginleikum hraunsins í Geldingadölum fyrri hluta gostímabilsins) og hins vegar fyrir þunnfljótandi hraun (helluhraun, kvarðað að hraunflæðieiginleikum hraunsins í Geldingadölum seinni hluta gostímabilsins eftir að hraunið hafði gjörbreyst). Þar sem landi hallar frá gosupptökum til sjávar þurfti ekki allan hermunartíman til að hraun flæddi að Suðurnesjalínu 2. Rúmmál hrauns í þeim tímaskrefum sem birt eru á myndum 38 og 39 má bæði sjá á myndunum og í samantektartöflum 6 og 7. Í tilfelli helluhrauns þurfti einungis lítið gos (skilgreint < 0,1 km^3) til að hraunhermunin næði að Suðurnesjalínu 2 og örstuttu síðar að og yfir Reykjanesbrautina. Í tilfelli apalhrauns þurfti meðalstórt gos til (skilgreint á bilinu 0,1 -0,5 km^3) en í lægstu mörkum þeirrar skilgreiningar, til að hraunhermunin næði að Suðurnesjalínu 2 og örstuttu síðar að og yfir Reykjanesbrautina. Mikilvægt er að hafa í huga að líkanið hefur ekki verið kvarðað sérstaklega að hraða flæðisins. Uppsöfnun við gíg er ekki hermd og tímar hér því líklega lágmarkstímar að viðkomandi stöðum og líklegt að tíminn verði rýmri.

[3] Samkvæmt upplýsingum frá Þorvaldi Þórðarsyni eldfjallafræðingi (tölvupóstur 18.4.2023) er mun líklegra að sprunga opnist í norðurenda Trölladyngju þar sem ekki eru gígar eða gígaraðir í norðurenda Oddafells.

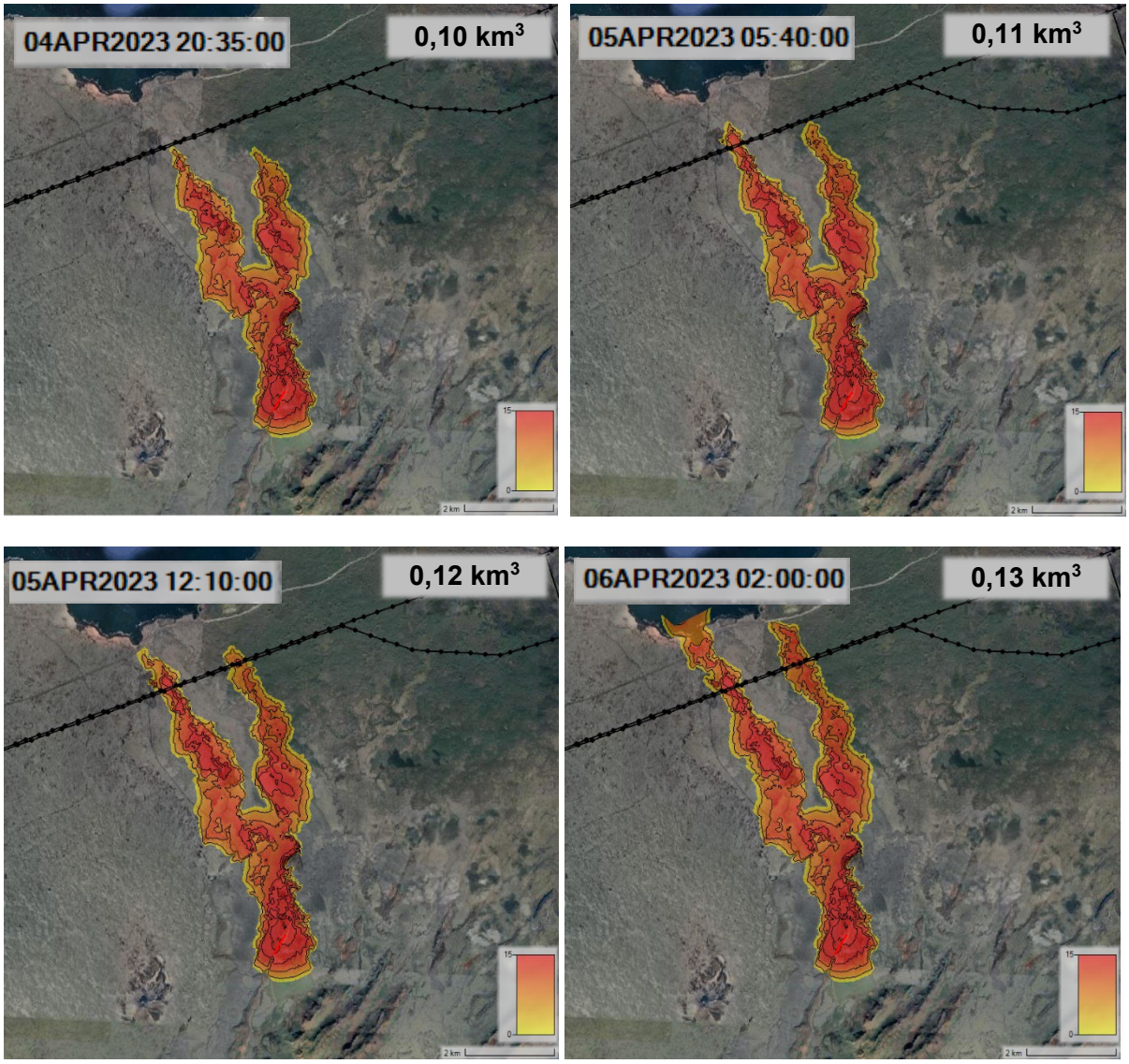


Mynd 38. Þróun hraunjaðarsins í hermuninni (HEC-RAS, helluhraun (300 m³/s)). Litafyllt svæði sýnir hermun helluhrauns og svartar jafnþykktarlínur sýna 5 m þykktarbil. Upphafstími hermunar var stilltur á 1. apríl kl. 0.

Tafla 6 Helstu niðurstöður hraunrennslishermunar fyrir helluhraun.

Tímalengd [klst]	Lýsing	Uppkomið gosmagn [km³]	Mesta hraunþykkt við möstur [m]	Breidd línugötu undir hrauni [m]
0	Upphaf goss			
+14	Eystra hraunið nær að SN2	0,016		
+16	Eystra hraunið nær að Reykjanesbraut	0,018	6,9	330
+36	Vestara hraunið nær að SN2	0,04	7,2	0/430
+44	Vestara hraunið nær að Reykjanesbraut	0,05	4/7,6*	250/450

* Þegar hraunið hefur náð að 2-3 möstrum er / notað til að aðskilja þykktartölur hrauns við hvert þeirra.



Mynd 39. Þróun hraunjaðarsins í hermuninni (HEC-RAS, apalhraun (300 m³/s)). Litafyllt svæði sýnir hermun apalhrauns og svartar jafnþykktarlínur sýna 5 m þykktarbil. Upphafstími hermunar var stilltur á 1. apríl kl. 0.

Tafla 7 Helstu niðurstöður hraunrennslishermunar fyrir apalhraun.

Tímalengd [klst]	Lýsing	Uppkomið gosmagn [km³]	Mesta hraunþykkt við möstur [m]	Breidd línugötu undir hrauni [m]
0	Upphaf goss			
+92	Vestara hraunið nær að SN2	0,10		
+101	Eystra hraunið nær að SN2	0,11	10	350
-108	Vestara hraunið nær að Reykjanesbraut	0,12	12,8/11,6*	420/450
+122	Eystra hraunið nær að Reykjanesbraut	0,13	14/15	510/770

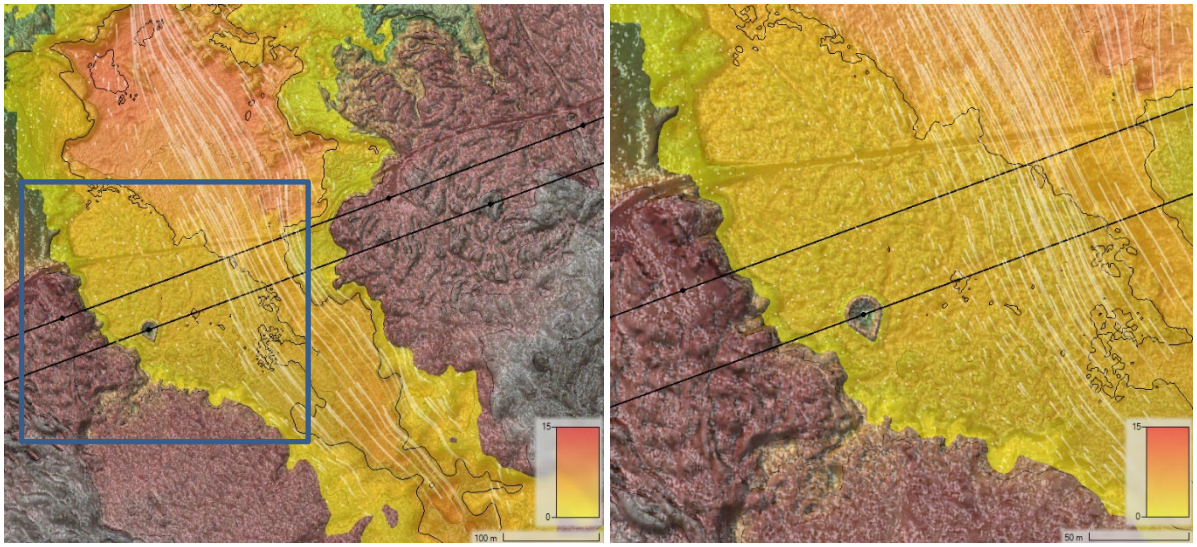
* Þegar hraunið hefur náð að 2-3 möstrum er / notað til að aðskilja þykktartölur hrauns við hvert þeirra.

5.3.2 Mótvægisaðgerðir

Mikilvægt er að hafa í huga að hér er aftur valið að herma slæmt tilfelli. Gossprungan er nokkuð nálægt innviðum, en meiri líkur eru á gosupptökum fjær. Einnig er flæðið úr sprungu töluvert. Töluverðar líkur eru því á því að meiri tími verði til ráðstöfunar fyrir mótvægisaðgerðir en hér hermist. Tíminn sem líður

á milli þess að hraun flæðir að línustæðinu annars vegar og Reykjanesbraut hins vegar, er í öllum tilfellum líklegur til að vera stuttur og miklar líkur á að bæði loftlína og jarðstrengur færi undir hraun.

Mynd 40 sýnir hraunflæði kringum varnargarð masturs fyrir hermun með helluhraunseiginleikum í vestari hrauntungunni. Þessi vörn stendur hraunið af sér í þessari hermun. Hermun með apalhraunseiginleika færir hins vegar umrædda vörn á kaf en hægt er að færa mastrið til svo hraunþykkt verði minni fyrir báðar hermanir og auka þar með líkur á að mastrið standist í báðum tilfellum.



Mynd 40. Hraunflæði kringum leiðigarð til varnar mastri samanber útfærslu á mynd 18 hér að ofan.

Í eystri hrauntungunni vill svo óheppilega til að eitt mastur lendir þar sem hraunið er þykkast. Það mastur þarf að færa til svo það lendi ekki þar sem hraunið er þykkast og einnig straum þunginn frá flæðandi hrauninu mestur. Tilfærslan er auðveld með tilliti til hermunarinnar með helluhraunseiginleika en apalhraunshermunin sýnir að hækka þarf varnirnar til að þær eigi möguleika á að verja möstrin.

Atriði sem lúta að viðbragði, tjónnæmi og endurbyggingu á loftlínu.

- Verði þunnfljótandi helluhraun getur verið skammur tími til að bregðast við áður en hraun nær loftlínu, hér hermt sem 14 klst. Tímalengdin er lengri við apalhraun eða 4 dagar.
- Breidd á hrauni er 450-770 m, með því að staðsetja möstur á hentugum stað verður eitt mastur í hvorum hraunstraumi. Hraunin hermast sem vel afmörkuð og fremur mjó og mögulega má verja útsett möstur frá upphafi.
- Verði tjón á loftlínu er unnt að standa að viðgerð eins og líst var í kafla 5.2.

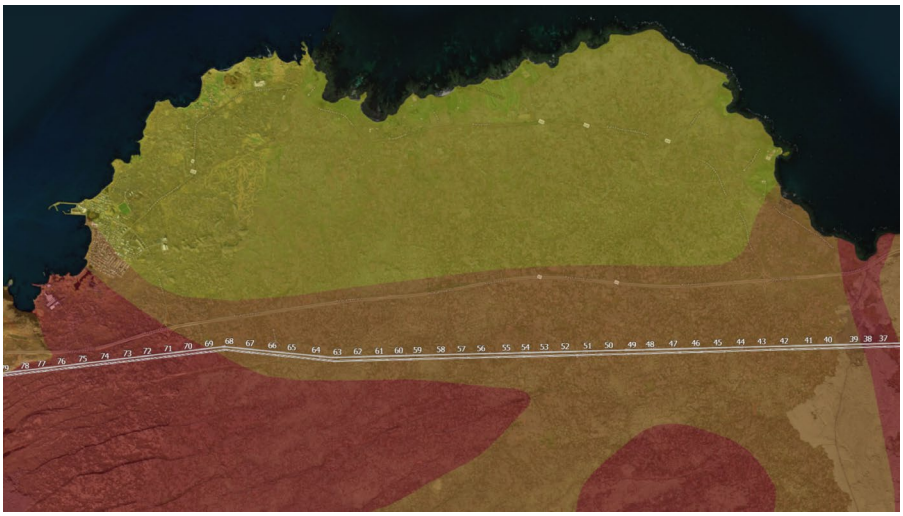
Atriði sem lúta að viðbragði, tjónnæmi og endurnýjun á jarðstreng.

- Eldsuppkoma staðsett á eða við hermunar svæðin gefin í þessari hermun sýna að einungis þarf lítið hraun svo hraun renni yfir Reykjanesbrautina. Næsta víst er að hitinn muni skemma jarðstreng varanlega þar sem ekki eru þekktar aðferðir til að verja streng í slíkum aðstæðum. Sömu atriði eiga við varðandi viðgerð og áður var lýst í kafla 5.2.

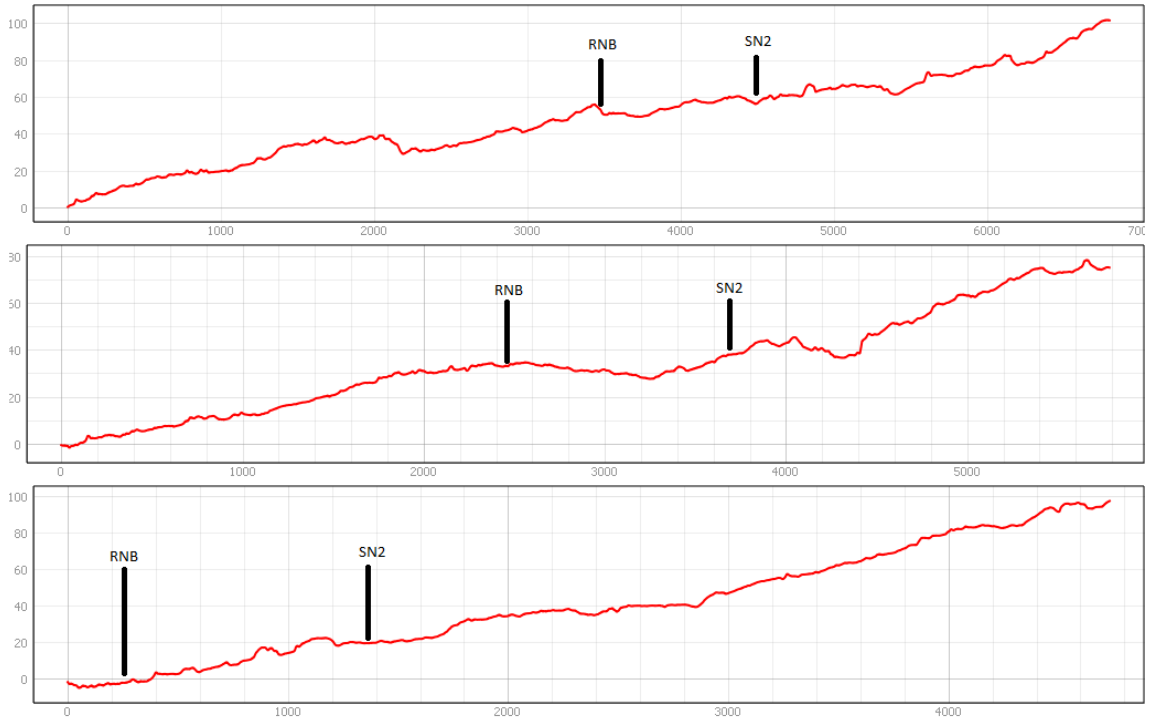
Hraunflæði í átt að Vatnsleysuvík er á jaðri há-áhættusvæðis varðandi hraunrennsli. Hermanir sýna að það þarf ekki mikið gosmagn svo hraun nái að Reykjanesbraut. Eiginleikar hraunsins (seigja) hafa talsverð áhrif á útbreiðslu og hraða hraunsins. Hraun nær fyrr að loftlínu en það þarf fáar klukkustundir til viðbótar þar til hraunið nær Reykjanesbrautinni. Jarðstrengur mun skemmast þegar hraun rennur yfir hann og alvarleiki bilunar og viðgerðatími er verulega lengri en í tilviki loftlínu.

5.4 Hraunflæði á Strandarheiði

Strandarheiði sem kom fram sem hættusvæði bæði hjá Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá og Veðurstofu Íslands. Í greiningu Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá [7] er vá gagnvart hraunrennsli við Strandarheiði metin sem jaðarsvæði við hærra hættusvæði. Mynd 41 sýnir vásvæðið og staðsetningu mastra í SN1 og SN2. Lengd línanna innan svæðis er um 9 km. Fjarlægð frá Suðurnesjalínu 2 í Reykjanesbraut er á bilinu 400-1100m.



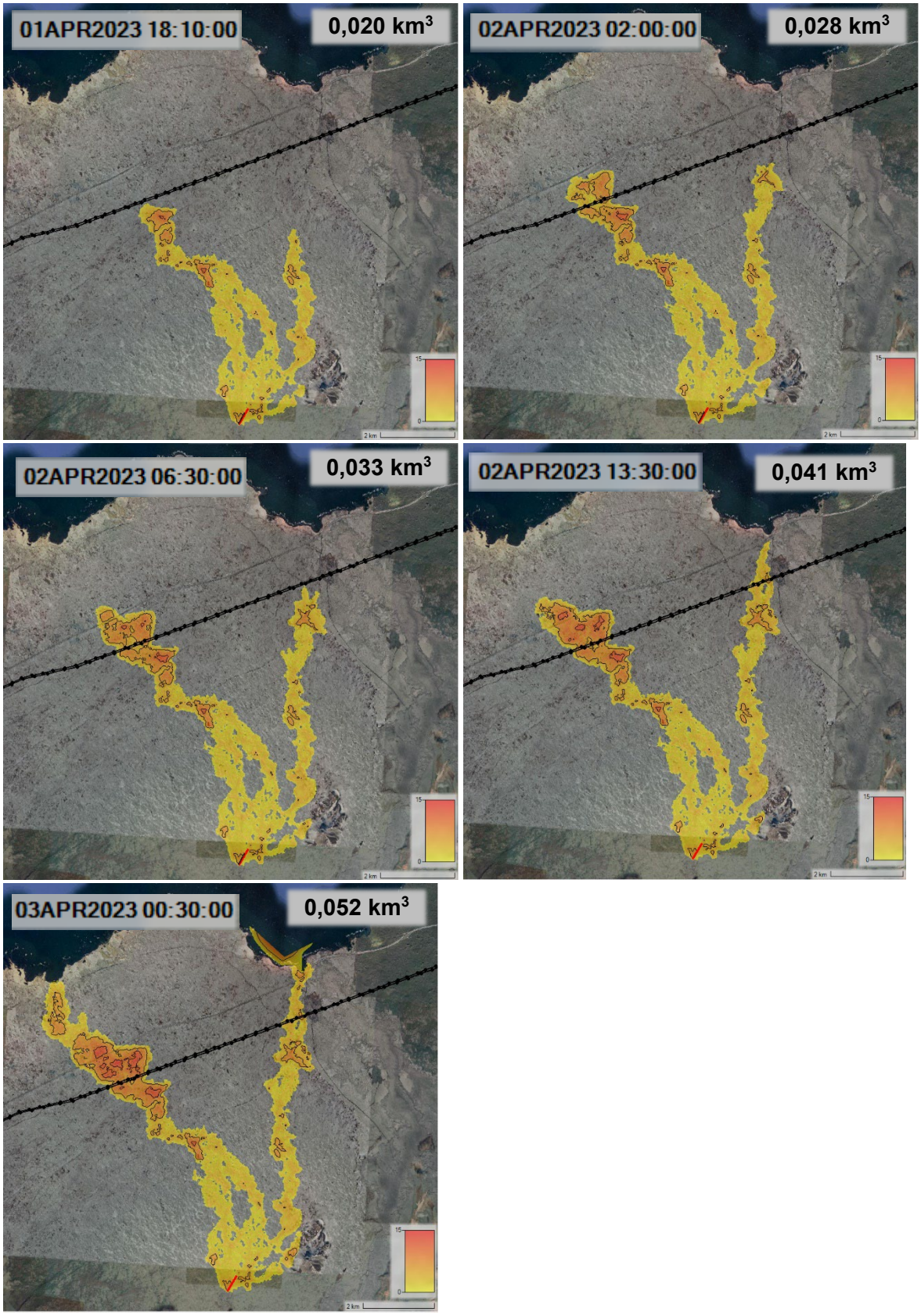
Mynd 41. Hraunrennslisvá við Strandarheiði. Byggt á heimild [7].



Mynd 42. Þversnið sem sýnir hæðarprófíls lands við Strandarheiði. Efst: Óttarsstaðir, mið Stóra Knarranes, neðst stefna í Kúagerði

5.4.1 Hermun sviðsmyndar

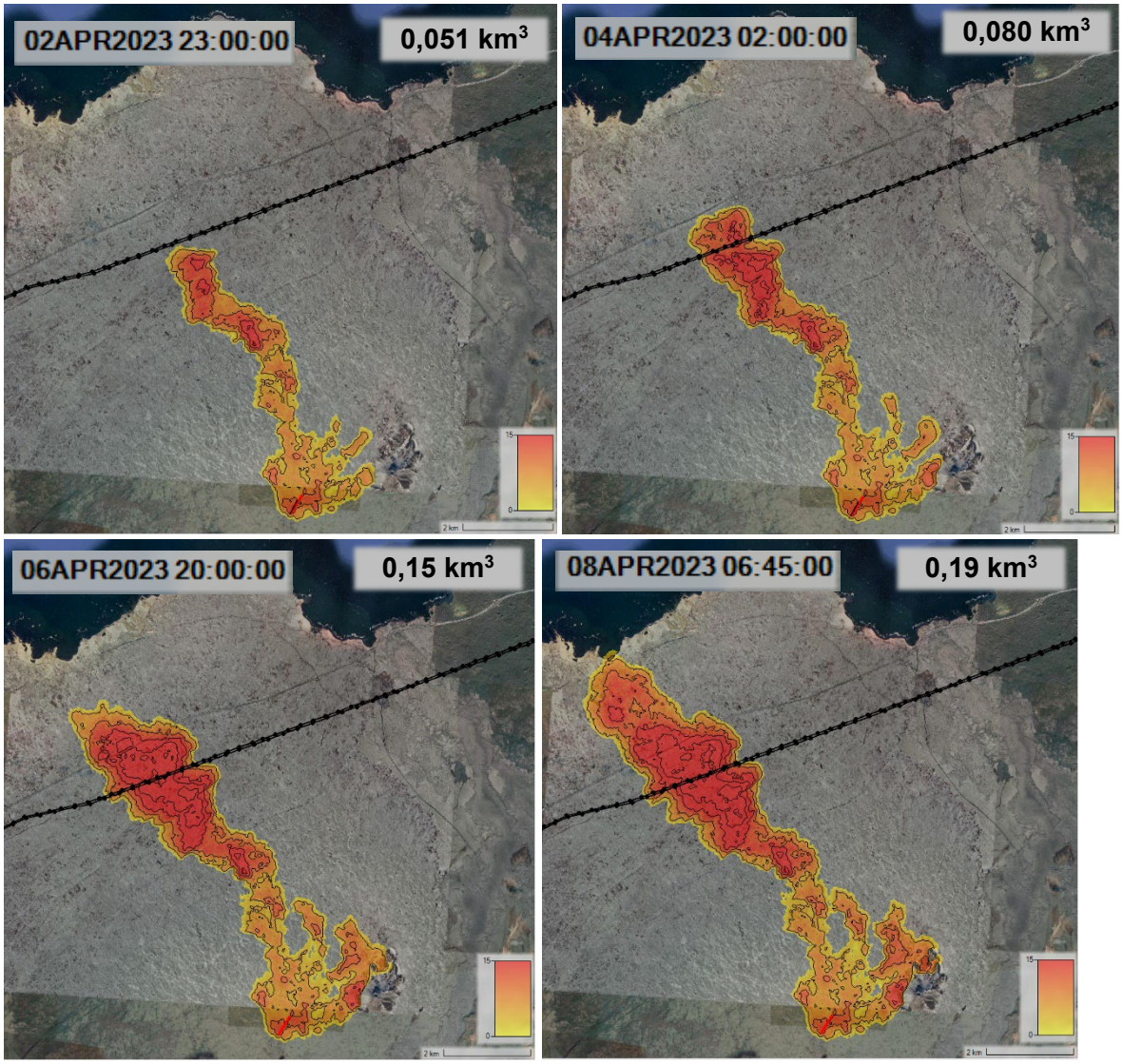
Sviðsmynd sem leiðir hraun inn á svæði á Strandarheiði var hermd í HEC-RAS Sama meðalhraunmagnið var hermt, nú frá sprungu sem staðsett var nokkurn vegin mitt á milli Keilis og Fagradals-Hagafells, rétt norðaustan við hábungu Þráinsskjaldar, sjá rauða línu á myndum 43 og 44. Eins og áður voru bæði hermd hraun með apalhrauns og helluhrauns eiginleika. Myndasyrpu af þróun hraunanna má sjá á myndum 43 og 44. Í þessari hermun þróast tvær megin rennslisæðar af helluhrauninu, önnur sem rennur eftir sömu rennslisleið og merkt er sem 3a á mynd 14 og hin sem þróast hægar en fellur svo saman við leið 4a á sömu mynd. Apalhraunið fer hægar yfir, hermist mun þykkara og þróar einungis fyrri rennslisleiðina, þ.e. 3a. Myndirnar í myndasyrpunni sem sýna þróunina, voru valdar eftir þeim tíma þegar hraunjaðarinn nær mikilvægum staðsetningum á leið sinni til sjávar. Fyrst eftir vestari hraunstraumnum að línuleiðinni og svo Reykjanesbrautinni og svo eftir eystri hraunstraumnum að línuleiðinni og svo Reykjanesbrautinni. Mikilvægt er að hafa í huga að líkanið hefur ekki verið kvarðað sérstaklega að hraða flæðisins. Uppsöfnun við gíg er ekki hermd og tímar hér því líklega lágmarkstímar að viðkomandi stöðum og líklegt að tíminn verði rýmri.



Mynd 43. Þróun hraunjaðarsins í hermuninni (HEC-RAS, helluhraun (300 m³/s)). Litafyllt svæði sýnir hermun helluhrauns og svartar jafnþykktarlínur sýna 5 m þykktarbil. Upphafstími hermunar var stilltur á 1. apríl kl. 0.

Tafla 8 Helstu niðurstöður hraunrennslishermunar fyrir helluhraun.

Tímalengd [klst]	Lýsing	Uppkomið gosmagn [km^3]	Mesta hraunþykkt við möstur [m]	Breidd línugötu undir hrauni [m]
0	Upphaf goss			
+18	Vestara hraunið nær að SN2	0,020		
+26	Vestara hraunið nær að Reykjanesbraut	0,028	4,5	1030
+30	Eystra hraunið nær að SN2	0,033	5,5	1050
+37	Eystra hraunið nær að Reykjanesbraut	0,041	6,5/3	1100/710
+48	Báðir hraunstraumar ná til sjávar	0,052	7/4	1160/740

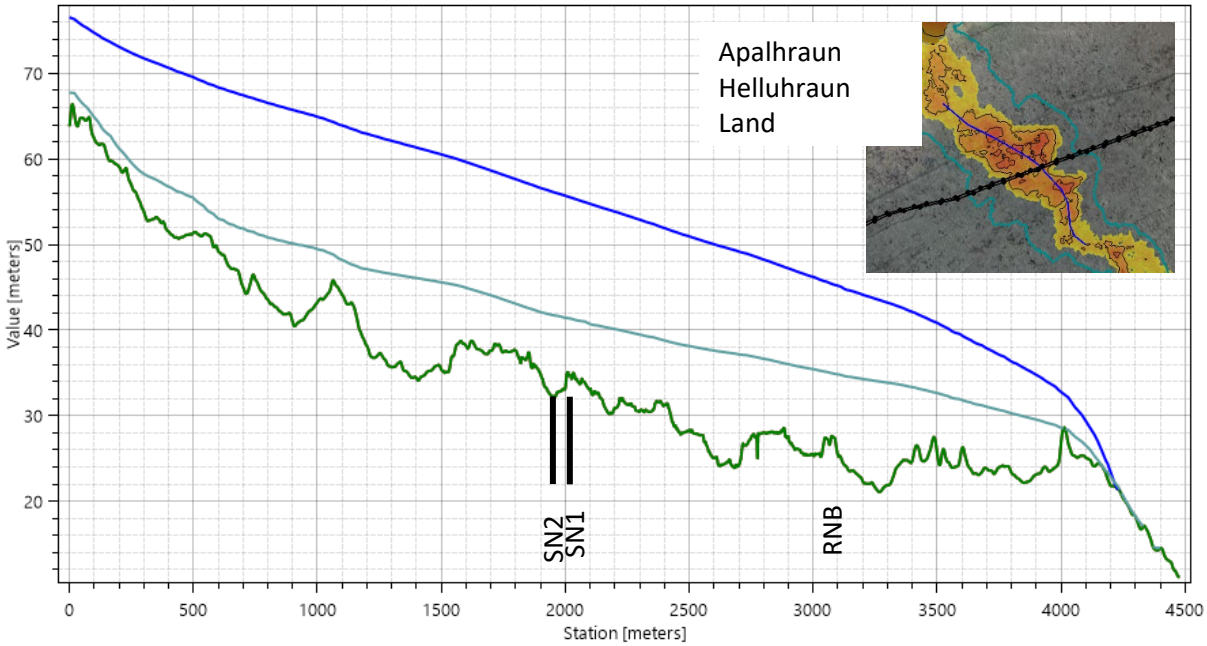


Mynd 441. Þróun hraunjaðarsins í hermuninni (HEC-RAS, apalhraun (300 m^3/s)). Litafyllt svæði sýnir hermun apalhrauns og svartar jafnþykktarlínur sýna 5 m þykktarbil. Upphafstími hermunar var stilltur á 1. apríl kl. 0.

Tafla 9 Helstu niðurstöður hraunrennslishermunar fyrir apalhraun.

Tímalengd [klst]	Lýsing	Uppkomið gosmagn [km^3]	Mesta hraunþykkt við möstur [m]	Breidd línugötu undir hrauni [m]
0	Upphaf goss			
+47	Vestara hraunið nær að SN2	0,051		
+74	Vestara hraunið nær að Reykjanesbraut	0,080	14,5	1320
+140	Eystra hraunið nær að SN2	0,15	22	2310
+174	Eystra hraunið nær að Reykjanesbraut	0,19	23	2480

Mynd 45 sýnir langsnið eftir megin straum hraunsins, sjá bláa línu á innfelldri mynd.

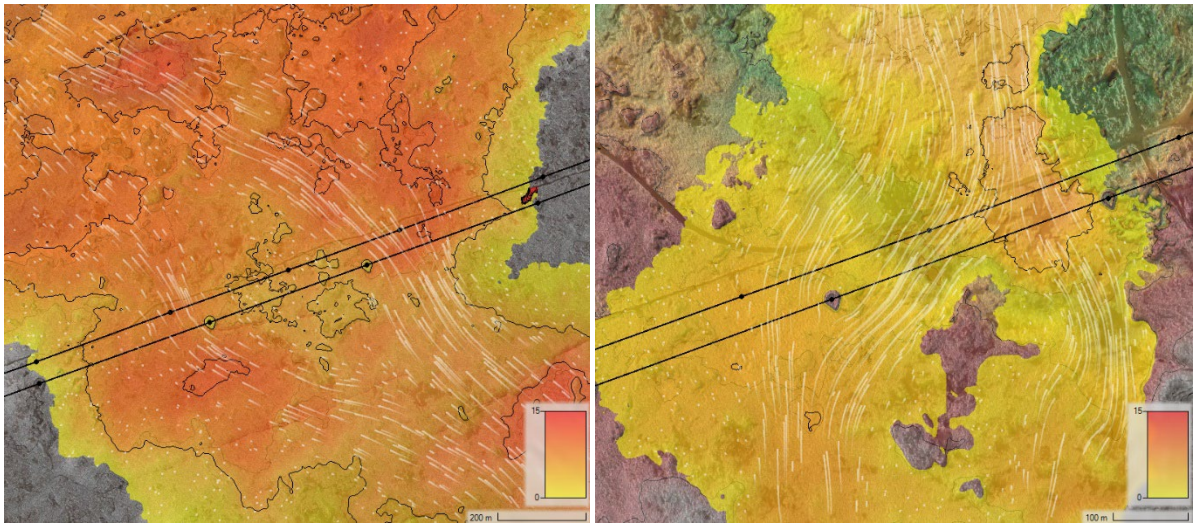


Mynd 45. Snið í landlíkanið (græn lína) og hraunið (helluhraun er ljósblátt og apalhraun dökkblátt. Staðsetning sniðsins er sýnt með blárri línu á innfelldu myndinni. Sniðið liggur eftir megin rennslisleið hraunsins á því svæði sem fyrirstaða í landi veldur því að það þykknar og dreifir úr sér. Tími valinn með þannig að bæði hraun nái jafn langt (helluhraun hefur náð 0,045 km3 en apalhraunið 0,14 km3.)

5.4.2 Mótvægisaðgerðir

Tíminn sem líður á milli þess að hraun flæðir að línustæðinu annars vegar og Reykjanesbraut hins vegar, er í öllum tilfellum líklegur til að vera stuttur og miklar líkur á að bæði loftlína og jarðstrengur fari undir hraun.

Mynd 46 sýnir hraunflæði kringum varnargarða mastra fyrir hermun með helluhraunseiginleikum í báðum hrauntungunum sem mynduðust í hermuninni. Í eystri hrauntungunni myndi þessi hönnun standast hraunflæðið í þessari hermun. Hins vegar er staðsetning annars mastursins óheppileg þar sem það er staðsett þar sem straumþunginn er mestur og því æskilegt að færa mastrið til með það í huga. Í vestari hrauntungunni fara tvö möstur undir hraun í þessari hermun. Tilfærsla á þeim myndi leiða til þess að þau gætu staðist hraunflæðið.



Mynd 46. Hraunflæði kringum leiðigarð til varnar mastri samanber útfærslu á mynd 18 hér að ofan. Helluhraunseiginleikar notaðir. Til vinstri er vestari hrauntungan og til hægri sú eystri.

Það sama er hins vegar ekki uppi á teningnum fyrir hraunhermun með apalhraunseiginleika í þessari sviðsmynd. Hraunþykktin hermist mjög mikil og breidd hrauntungunnar umtalsverð, sbr. töflu 9. Í þessari sviðsmynd myndu því bæði loftlína og jarðstrengur verða fyrir skemmdum.

Atriði sem lúta að viðbragði, tjónnæmi og endurbyggingu á loflínu.

- Verði þunnfljótandi helluhraun getur verið skammur tími til að bregðast við áður en hraun nær að loftlínu, hér hermt sem 18 klst. Tímalengdin er heldur lengri við apalhraun eða 47 klst.
- Breidd á hrauni er mjög háð því hvort um er að ræða helluhraun eða apalhraun, í lokastöðu er breiddin 1060/2450 m, allmörg möstur eru því útsett.
- Verði tjón á loftlínu er unnt að standa að viðgerð eins og líst var í kafla 5.2.

Atriði sem lúta að viðbragði, tjónnæmi og endurnýjun á jarðstreng.

- Eldsuppkoma staðsett á eða við hermunar svæðin gefin í þessari hermun sýna að einungis lítið gosmagn þarf svo helluhraun renni yfir jarðstreng við Reykjanesbrautina. Næsta víst er að hitinn muni skemma jarðstreng varanlega. Sömu atriði eiga við varðandi viðgerð og áður var lýst í kafla 5.2.

Hraunflæði í átt að Strandarheiði er flokkað sem jaðarsvæði við hærra-hættusvæði varðandi hraunrennsli. Hermanir sýna að það þarf lítið gosmagn svo hraun nái að Reykjanesbraut. Eiginleikar hraunsins (seigja) hefur talsverð áhrif á útbreiðslu og hraða hraunsins. Hraun nær fyrr að loftlínu en það þarf fáar klukkustundir (~8 klst) uns hraunið nær Reykjanesbrautinni. Jarðstrengur mun skemmast þegar hraun rennur yfir hann við Reykjanesbrautina og alvarleiki bilunar og viðgerðatími er verulega lengri en í tilviki loftlínu.

5.5 Höggunarhreyfingar á línuleið

Eins og m.a. kemur fram í greiningu Rannsóknarstofu í eldfjallafræði og náttúruvá liggur þéttur sprungusveimur um mitt sveitarfélagið Voga. Sprungusveimurinn sker Reykjanesbraut við Reiðskarð og aftur af Hrafnagjá í austri [4]. Suðurnesjalína 2 liggur við norðurjaðar sprungusveimsins sem sker svo línuleiðina á sömu stöðum og Reykjanesbrautina.

Eins og fram kemur í kafla 4.1.2**.** hafa jarðskjálftar almennt lítil áhrif á loftlínur og þá ekki síst stagaðar línur eins og fyrirhugað er með Suðurnesjalínu 2. Línukerfið (fastmöstur, stöguðmöstur og leiðarar) þolir mjög mikla aflögun yfir brotalínu án þess það verði fyrir varanlegu tjóni. Helsta áhættan er að það myndist sprunga beint undir einstöku mastri. Jafnvel í slíku tilfelli myndi stagað rörmastur þola umtalsverða aflögun áður en það hryndi.

Loftlínum stafar því mjög lítil hætta af jarðskjálftum og sprungum.

Þar sem farið er með jarðstreng yfir þekktar sprungur eða mögulega veikleika í berggrunni þarf að hanna sérstakar þveranir þannig að hreyfigeta strengsins sé tryggð. Til að strengir geti hreyfst verða þeir að liggja lausir og við þær aðstæður getur verið erfitt að tryggja nægjanlega kælingu á strengjunum. Slíkar lausnir hafa verið hannaðar fyrir 132 kV strengi og eru í undirbúningi á öðrum jarðstrengjum Landsnets. Það hefur þó ekki reynt á þær þannig að hægt sé að fullyrða um virkni þeirra. Við hönnun jarðstrengsleiðar í gegnum brotasvæði er mikilvægt er að staðsetja sprungurnar með miklu öryggi. Hvað þetta varðar er þekking ekki nægjanleg á mögulegu línustæði og þarfnast frekari athuganna. Alltaf er sá möguleiki fyrir hendi að ekki náist að staðsetja allar brotalínur. Einnig eru nokkrar líkur á að hreyfingar komi fram á nýjum stöðum eða sprungum sem hafa verið flokkaðar sem „óvirkar“ eða minna mikilvægar við önnur tilefni.

Þó að brotahreyfing eigi sér ekki stað beinlínis á strengleiðinni sjálfri, þá geta fyllingar kastast til og aflagast, sem og stærri bergblokkir sem liggja lausar. Nærtæk dæmi um slíkt er vegfylling Suðurstrandarvegar sem brotnaði illa í aðdraganda eldgossins í Geldingadölum 2021 og aflögun sem varð á Ölfusárbrú í Suðurlandsskjálftunum 2008, en þar liggur nú yfir jarðstrengur í sérhönnuðu kerfi til að mæta slíkri aflögun. Hafa þarf í huga að mismunur er á stífleika strengs og aðliggjandi fyllinga, eins og skemmdir á lagnakerfum í kjölfar jarðskjálfta hafa sýnt.

Það er rétt sem kemur fram í greinargerð um bergsprungur í nágrenni Voga (heimild [12]) að lítið er um sprungur norðan Reykjanesbrautar og við Vogastapa eða Háubjalla. Klifrar vegurinn og þar með strengleiðin upp brekkuna við norðurenda sigdalsins. Við sigdalinn hafa hins vegar átt sér stað miklar hreyfingar sem eru nálægt strengleiðinni og taka þarf tillit til við hönnun strengsins. Beinlínis og sérstaklega er varað við staðsetningu mannvirkja nálægt meintum „óvirkum“ sprungum í heimild [23] þar sem þess má einmitt vænta að þær hreyfist næst. Strengleiðin er norðan við svæðið þar sem gera má ráð fyrir varanlegri aflögun á þeim sprungum sem hægt er að staðfesta á yfirborði. Þegar komið er upp á eldri berggrunninn í Vogastapa eru nokkuð margar augljósar „eldri“ sprungur sem hægt er að greina af loftmyndum. Frekar lítið gert úr þessum sprungum í heimild [12]]. Við lagningu jarðstrengs um þetta svæði er ekki hægt að líta framhjá þeim þó að beinar brotahreyfingar um þær séu ekki þekktar. Slík svæði verður að rannsaka sérstaklega áður en til framkvæmda kæmi.

Við skipulagningu byggðar á höfuðborgarsvæðinu á þekktum sprungusvæðum, eins og Norðlingaholti, Vatnsenda, Urriðaholti og víðar, hefur mikill fjöldi af sprungum verið staðsettur og rannsakaðar með skurðgreftri og öðrum aðferðum. Aldur hreyfinga á þeim hefur verið greindur og að teknu tilliti til þessa hefur staðsetning mannvirkja verið ákvörðuð með því markmiði að mannvirki skuli ekki standa yfir sprungum. Þrátt fyrir all ítarlegar rannsóknir hafa engu að síður komið í ljós sprungur eða veikleikar í berggrunni í námunda við stærri sprungur sem ekki hefur tekist að staðsetja fyrirfram. Gjarnan fylgja slíkar brotalínur stærri sprungukerfum með gliðnunarhreyfingu upp á fáa cm. Rétt eins og við stærri og meira afgerandi sprungur verður að gera ráð fyrir mögnun á hreyfingu við slíkar brotalínur, þó ekki

eigi sér stað varanleg færsla um þær. Taka verður tillit til þessara atriða við hönnun og lagningu jarðstrengja á slíkum stöðum.

Meðfylgjandi eru nokkrar myndir af sprungum sem hafa fundist á höfuðborgarsvæðinu. Sumar þeirra hafa verið augljósar á loftmyndum og verið teiknaðar inn á sprungukort, aðrar hafa verið algjörlega huldar og ekki fundist fyrr en farið var í markvissa leit að sprungum, enn aðrar hafa fundist fyrir hreina tilviljun.

Mynd 47. Gliðnunarsprunga í þykkum setlögum við kjóavelli í Kópavogi.

Mynd 48. Gliðnunarsprunga í þykkum setlögum við Kjóavelli í Kópavogi..

Mynd 49. Gliðnunarsprungur í þykkum jökulruðningi við Tröllakör í Kópavogi í um 200 m fjarlægð frá Elliðavatns/ Kjóavallamisgenginu. Engin ummerki voru um þessar sprungur á yfirborði.

Mynd 50. Sprunga sem opnaðist árið 2011 skammt ofan við Guðmundarlund í Kópavogi í framhaldi af sprungu sem liggur um Grunnuvötn, töluvert sunnar.

Mynd 51. Sama sprunga í öðrum könnunarskurði.

Þó þveranir jarðstrengja Landsnets séu hannaðar fyrir sprungukerfum, þá verður öryggi þeirra lausna ávallt minna en loftlínu við sambærilegar aðstæður sökum fyrrnefndra óvissuþátta og ófyrirsjáanleika í aðstæðum. Ótiltæki jarðstrengs eykst af þessum sökum þegar bilanatíðni eykst og líftíminn skerðist.

6 Niðurstöður

Hér að framan hefur verið fjallað um vá vegna hraunflæðis og jarðhreyfinga út frá mismunandi sviðsmyndum, tjónnæmisáhrif á loftlínu og jarðstreng og hvernig unnt er að bregðast við. Með hliðsjón af afhendingaröryggi orku, þarf við túlkum niðurstaðna að líta til þess hversu viðkvæm loftlína eða jarðstrengur eru fyrir því að lína fari úr rekstri og tímalengdinni sem gera þarf ráð fyrir að hún verði úr rekstri eða á skertri afkastagetu.

Meðfylgjandi eru samandregnar helstu niðurstöður þessarar athugunar.

Jarðhreyfingar og jarðskjálftar

Loftlínur

- Jarðskjálftar og jarðhreyfingar hafa óveruleg áhrif á loftlínu og samkvæmt reynslu Landsnets valda þær sjaldnast skaða eða straumleysi.
    - Almennt hafa loftlínur um allan heim lítt orðið fyrir skemmdum í jarðskjálftum nema þar sem ysjun hefur átt sér stað. Jarðvegsaðstæður á línuleiðinni eru hins vegar þannig að hætta á ysjun þar er hverfandi.
    - Í Suðurlandsskjálftum 2000 og 2008 varð óverulegt tjón á loftlínum Landnets í nágrenni skjálftaupptaka [14]. Í ljósi þess að jarðskjálftahröðun á línuleið Suðurnesjalínu 2 er 0,2 g samanborið við 0,8 g á Suðurlandi (m.v. 0,2% árlegar líkur, skv. Þjóðarskjali Íslands fyrir Eurocode 8) þá gefur sú reynsla til kynna að líkur á tjóni eða útleysingu Suðurnesjalínu 2 sem loftlínu séu afar litlar í jarðskjálftum.
    - Ef svo ólíklega vill til að loftlína verði fyrir tjóni af völdum jarðhreyfinga eða jarðskjálfta er viðgerðartími nokkrar klukkustundir eða dagar eftir umfangi bilunar.

Jarðstrengir

- Jarðstrengir eru viðkvæmir fyrir jarðskjálftum og jarðhreyfingum og allnokkrar líkur á að þeir verði fyrir skaða og straumleysi vegna þeirra.
    - Jarðstrengir hafa almennt lítið þol gagnvart hreyfingum [20].
    - Almennt þarf sérlausnir þar sem strengir liggja yfir sprungur. Sprungur eru ekki fyrirsjáanlegar í öllum tilvikum og mikill kostnaður sem fylgir því að leggja streng í stokk á löngum köflum. Þörf er á ítarlegum rannsóknum á slíkum svæðum á undirbúnings- og framkvæmtatíma.
    - Höggunarhreyfingar á línuleiðinni geta valdið tjóni á jarðstreng.
    - Varmaleiðandi sandur getur horfið ofan í sprungur og þar með skapast hætta á að strengur ofhitni og eyðileggist.
    - Viðgerðartími á streng er 3-6 vikur, og þar af leiðandi ótiltæki talsvert gagnvart þessari vá.

Eldgos og hraunflæði

Almennt

- Í fyrirliggjandi greiningum eru líkur á hraunuppkomu ekki stærðargerðar og ekki eru metnar árlegar líkur á hraunvá.
- Svæði sunnan til á skaganum séu berskjaldaðri fyrir hraunflæði enda mun styttra í líklegar gossprungur þeim megin en norðan til.
- Loftlína liggur nær upptakasvæði eldgosa en jarðstrengur og munar á bilinu 300 til 1300 m og mun því verða fyrr útsett fyrir hraunrennsli. Það eru því alltaf mælanlegar líkur á að hraunrennsli nái yfir loftlínustæði en stöðvist áður en það nái að jarðstreng. Fyrirliggjandi hraunrennslisgreiningar benda þó til að ef hraun nær að loftlínu séu miklar líkur á að jarðstrengur verði einnig útsettur fyrir hraunrennsli. Meiri líkur eru á að það takist að verja loftlínu en jarðstreng og viðgerðartími, ef skemmdir verða, mun styttri fyrir loftlínu.

Loftlínur

- Með viðbragðsáætlunum og ráðstöfunum er unnt að setja upp varnarfyllingu við nokkur útsett möstur sem vörn gegn hóflegu hraunstreymi enda frekar líklegt að ráðrúm sé til þess í tíma eftir að atburður hefst.
- Í aðdraganda eldgossins í Geldingadölum voru gerðar tillögur að vörnum við möstur á vegum starfshóps um varnir mikilvægra innviða. Reynslan af varnargörðum sem voru reistir í eldgosinu sýnir að varnargarðar virka upp að ákveðnu marki. Ekki er raunhæft að verja loftlínu við allar aðstæður, en líkur eru á að hægt sé að verja loftlínur við líkleg tilvik sem búast má við í meðalatburði ef möstur eru staðsett utan líklegustu meginleiða hraunflæðis.
- Verði loftlína fyrir skaða er viðgerðartími við að koma straumi á, eftir að unnt er að fara út á hraunið, metinn á bilinu 1-14 dagar eftir umfangi bilunar.
- Mögulegt er að auka viðnámsþol loftlína með því að staðsetja og hækka möstur í hönnun m.t.t líklegra hraunfarvega.

Jarðstrengur

- Jarðstrengur þolir illa að verða undir hraunrennsli sökum varmastreymis frá hrauninu.
- Mjög erfitt að verja langa strengleið gagnvart hraunrennsli sem streymir þvert á línuleið nema í sérstökum tilvikum.
- Renni hraun yfir jarðstreng er nánast öruggt að hann sé varanlega skemmdur.
- Alvarleiki bilunar á jarðstreng er verulega meiri en á loftlínu. Tímalengd viðgerðar á jarðstreng er margfalt lengri en á loftlínu og getur verið 1-4 mánuðir, eftir að unnt er að fara út á hraunið. Í flestum tilvikum þarf að reisa tímabundna loftlínu, með tilheyrandi strengendavirkjum í báða enda, til að koma straumi aftur á jarðstreng.

Samantekt niðurstaða

Ekki liggja fyrir upplýsingar um líkur á mismunandi sviðsmyndum fyrir hraunrennsli eða jarðhreyfingar á Reykjanesskaga. Þar af leiðandi er ekki hægt að bera saman með óyggjandi hætti líkur á að hraun renni yfir loftlínu samsíða Suðurnesjalínu 1 eða jarðstreng norðan Reykjanesbrautar. Í þessari skýrslu er ekki unnið hættumat heldur er verið að bera saman hvaða áhrif hraunrennsli eða jarðhreyfingar hafi á mismunandi mannvirki og hversu næm þau eru fyrir tjóni.

Jarðskjálftar og jarðhreyfingar eru mun líklegri vá á línuleið á Suðurnesjum en hraunflæði á yfirborði vegna eldsumbrota. Af ofangreindu er ljóst að loftlína mun standa mun betur af sér jarðskjálfta og aðrar jarðhreyfingar. Góðar líkur eru á því að loftlínan muni geta staðið af sér hóflegt hraunrennsli verði gerðar ráðstafanir varðandi hraunflæðivarnir á völdum stöðum og staðsetning mastra valin með tilliti til staða sem margar gossprungur myndu leiða hraun að, sbr. rennslisleið að Vogavík og Vatnsleysuvík.

Allar fyrirbyggjandi aðgerðir er varða varnir jarðstrengja gegn náttúruvá, þurfa að undirbúast og fara fram á hönnunar- og framkvæmdatíma. Eðli málsins samkvæmt, eins og farið er í gegnum í kafla 5.5, er erfiðara að afmarka aðgerðir við þá staði þar sem hættan á eftir að raungerast. Varnaraðgerðir vegna jarðstrengs um jarðskjálftasvæði geta því orðið flóknar og kostnaðarsamar.

Með hliðsjón af fyrrnefndum atriðum er það meginniðurstaða þessarar skýrslu að með tilliti til raforkuöryggis á Suðurnesjum vegna tjónnæmis gagnvart jarðvá sé Suðurnesjalína 2 sem loftlína betri kostur en jarðstrengur. Í því mati vegur þungt að viðgerðartími vegna tjóns á jarðstreng er verulega lengri en loftlínu og þar af leiðandi er ótiltæki jarðstrengs meira.

7 Heimildir

[1] CIGRÉ , „Implementation of long AC HV and EHV cable systems," CIGRÉ, 2017.

[2] Landsnet, „Jarðstrengir - Lagning jarðstrengja á hærri spennu í raforkuflutningskerfinu," Landsnet, Reykjavík, 2015.

[3] H. Jóhannsson, „Jarðstrengir í flutningskerfi raforku," ANR og UUR, 2019.

[4] VSÓ Ráðgjöf og Landsnet, „Suðurnesjalína 2 - Milli Hamraness í Hafnarfirði og Rauðamels í Grindavík," Landsnet, 2019.

[5] Ármann Höskuldsson; Þorvaldur Þórðarson; Þóra Björg Andrésdóttir; Muhammad Aufaristama, „Náttúruvá á framkvæmdasvæði Suðurnesjalínu 2. Samanburður valkosta.," Jarðvísindastofnun, Háskóli, 2018.

[6] Ármann Höskuldsson; William Moreland; Muhammad Aufaristama; Þorvaldur Þórðarson; Þóra Björg Andrésdóttir, „Náttúruvá á framkvæmdasvæði Lyklafellslínu Samanburður," Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands, 2021.

[7] Ármann Höskuldsson; William Moreland; Muhammad Aufaristama; Þorvaldur Þórðarson; Ingibjörg Jónsdóttir; Þóra Björg Andrésdóttir, „Náttúru- og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogum," Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands, 2022.

[8] Bergrún Arna Óladóttir; Melissa Anne Pfeffer; Sara Barsotti; Bogi Brynjar Björnsson; Simone Tarquini; Mattia De'Michieli Vitturi ; Manuel Titos; Gerður Stefánsdóttir, „Langtímahættumat utanverðs Reykjanesskaga. Hrauna-, gas- og gjóskuv - DRÖG," Veðurstofa Íslands, 2023.

[9] Kristín Martha Hákonardóttir; Hörn Hrafnsdóttir; Margrét Traustadóttir; Áki Thoroddsen, „SUÐURNES – VARNIR MIKILVÆGRA INNVIÐA VEGNA HRAUNFLÆÐIS," Verkís, 2021.

[10] Hörn Hrafnsdóttir, *MB-02 - SUÐURNES - HERMUN FLÓÐA OG VARNARTILLÖGUR. Hermanir hraunrennslis með og án varna í aðdraganda gossins í Geldingadölum,* Reykjavík: Verkís, 2021.

[11] Hörn Hrafnsdóttir ; Gro Birkefeldt Moller, *MB-30 SUÐURNES – VARNIR MIKILVÆGRA INNVIÐA VEGNA HRAUNFLÓÐA. Hermanir frá stuttum sprungum nærri Keili,* Reykjavík: Veríks, Háskóli Íslands og Veðurstofa Íslands, 2022.

[12] Ásta Rut Hjartardóttir, „Greinargerð um bergsprungur í nágrenni Voga," Jarðvísindastofnun HÍ, 2022.

[13] Tækninefnd CEN/TC 250, *National Annex ÍST EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance,* Reykjavík: Íslenskir staðlar, 2005.

[14] Hönnun hf, „Áhrif jarðskjálftanna á Suðurlandi 17. og 21. júní á þrjár háspennuliínur Landsvirkjunar, Búrfellslínur 1, 2 og 3," Landsvirkjun, 2000.

[15] Landsnet, Endurreikningur áreiðanleikastuðla 2022, drög mars 2023.

[16] J. Bergmundsson, *Hitaþol jarðstrengja og áhrif á líftíma,* 2023.

[17] A. S. Alghamdi og R. K. Desuqi, „A study of expected lifetime of XLPE insulation cables working at elevated temperatures by applying accelerated thermal ageing," *Heliyon,* b. 6, 2020.

[18] Kristín Martha Hákonardóttir; Fjóla Guðrún Sigtryggsdóttir;Einar Sindri Ólafsson;Jón Atli Magnússon; Emilía Sól Guðgeirsdóttir; Ármann Höskuldsson, „PRÓFANIR Í NÁTTHAGA," Almannavarnardeild Ríkislögreglustjóra, 2022.

[19] Transpower, „22 February 2011 Christchurch earthquake - Key findings and lessons learned," Transpower, 2011.

[20] Magni Þ. Pálsson, *Mekanískt þol jarðstrengja,* Reykjavík: Landsnet, 2022.

[21] Cigré-B1, „Technical Brochure 899. Insulated cables - Installation of underground HV systems," Cigré, Paris, Jan. 2023.

[22] ENTSO-E WG AIM, „Experiences of Transmission Cable Performance 2006-2012," ENTSO-E , 2014.

[23] Páll Einarsson; Haukur Jóhannesson; Ásta Rut Hjartardóttir, „Bergsprungur og byggingar á höfuðborgarsvæðinu," *Verktækni 2018,* 2018.

[24] ENTSO-E, „Nordic grid disturbance statistics 2012," ENTSO-E, 2012.

[25] „PRÓFANIR Í NÁTTHAGA,“ Almannavarnardeild Ríkislögreglustjóra.

[26] Eymundur Sigurðsson; Ólöf Helgadóttir, „Rýni á minnisblaði um Mekanískt þol jarðstrengja,“ Verkfræðistofan Lota, 2022.

[27] Guochang Li et al, „The lifetime prediction and insulation failure mechanism of XLPE for high voltage cable,“ *IEEE transaction on dielectrics and electrical insulation,* 2022.

[28] GNS Science Report 2019/61, „Short-term Preparation for and Response to an Impending Lava Flow: Lessons from the June 27th Lava Flow (2014–2015), Hawaii, USA,“ 2019.