



# Náttúruvá á framkvæmdasvæði Lyklafellslínu

## Samanburður valkosta með tilliti til jarðhræringa

*Árman Höskuldsson, William Moreland, Muhammad AUFARISTAMA ÞORVALDUR ÞORÐARSON,  
Þóra Björg Andrésdóttir, Ingibjörg Jónsdóttir.*

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands.

Reykjavík desember 2021

Gert fyrir Landsnet



HÁSKÓLI ÍSLANDS  
JARÐVÍSINDASTOFNUN



Náttúruvá á framkvæmdasvæði Lyklafellslínu  
Samanburður valkosta með tilliti til jarðhræringa  
Skýrsla unnin fyrir Landsnet

Höfundarréttur © 2021 Ármann Höskuldsson, William Moreland, Muhammad Aúfaristama Þorvaldur Þórðarson,  
Þóra Björg Andrésdóttir, Ingibjörg Jónsdóttir.

Öll réttindi áskilin

Jarðvísindastofnun  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Sturlugata 7  
101 Reykjavík

Sími: 525 4700

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6316-2563>

Skráningarupplýsingar:

Ármann Höskuldsson, William Moreland, Muhammad Aúfaristama Þorvaldur Þórðarson, Þóra Björg Andrésdóttir  
og Ingibjörg Jónsdóttir, 2021, Náttúruvá á framkvæmdasvæði Lyklafellslínu Samanburður valkosta með tilliti til  
jarðhræringa  
.Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands, 59 bls.

ISBN 978-9935-9300-9-5

Prentun: Háskóli Íslands, Jarðvísindastofnun  
Reykjavík, desember 2021





## Efnisyfirlit

Efnisyfirlit.....	4
Inngangur .....	9
Eldvirkni á Reykjaneskaga.....	10
Gögn .....	11
Aðferðarfræði .....	12
Jarðfræði, eldvirkni og staðfræði .....	13
Greining .....	15
Eldsuppkomunæmi .....	15
Lega með tilliti til höggunar .....	17
Greiningar á sértækum þáttum í tengslum við fyrirhugað línustæði og tegund línu.....	19
Núverandi Loftlína .....	19
Ný loftlína .....	21
Jarðstrengur .....	23
Hraunrennsli .....	24
Almennt yfirlit .....	24
Hraunflæðilíkur á fyrirhuguðu línusvæði.....	28
Greining á línukostum miðað við hraunflæði greiningu .....	31
Núverandi kostur.....	31
Bæjarleið .....	35
Ný loftlína .....	39
Jarðstrengur .....	43
Viðbragðstími (Hraunrennslisgreining).....	47
Hitaáhrif hrauna .....	51



Niðurstöður: .....	53
Línukostur núverandi línustæði .....	53
Eldsupptök: .....	53
Höggun: .....	53
Hraunflæði: .....	53
Línukostur ný loftlína .....	54
Eldsupptök: .....	54
Höggun: .....	54
Hraunflæði: .....	54
Jarðstrengur .....	55
Eldsupptök: .....	55
Höggun: .....	55
Hraunflæði: .....	55
Heimildir .....	56



Mynd 1: Eldstöðvakerfin á Reykjaneskaga,.....	11
Mynd 2: Jarðfræðikort af athugunarsvæðinu. ....	13
Mynd 3: Staðfræðikort af rannsóknarsvæði. ....	14
Mynd 4: Eldsuppkomunæmi greining á Reykjanesi .....	15
Mynd 5: Eldsuppkomunæmi á fyrirhuguðum línustæðum. ....	16
Mynd 6: Höggunarkort af svæðinu með fyrirhuguðum og núverandi línustæðum. ....	17
Mynd 7: Sprungupéttleikakort yfir svæðið hvar línustæðin eru i athugun. ....	18
Mynd 8: Sprungukort af núverandi línustæði loftlínu.....	19
Mynd 9: Sprungukort af valkost Bæjarlínu. ....	20
Mynd 10: Sprungukort á fyrirhuguðum valkost nýrrar loftlínu. ....	21
Mynd 11: Sprungukort á fyrirhuguðum valkost fyrir línustæði jarðstrengs. ....	23
Mynd 12: Form og formhlutfall hrauna .....	24
Mynd 13: Nafnakerfi yfir helstu byggingarþætti hrauna. ....	26
Mynd 14: Eldsuppkomunæmi á fyrirhuguðum línustæðum. ....	28
Mynd 15: Niðurstöður hraunhermunar.....	29
Mynd 16: Kort af línustæði núverandi loftlínu. ....	31
Mynd 17: Núverandi lína sett yfir skuggakort, .....	32
Mynd 18: Hæðarþversnið eftir línustæði núverandi loftlínu. ....	32
Mynd 19: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til núverandi loftlínu.....	33
Mynd 20: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til núverandi loftlínu.....	34
Mynd 21: Kort af línustæði valkosts Bæjarleiðar. ....	35



Mynd 22: : Valkostur Bæjarleið sett yfir skuggakort, .....	36
Mynd 23: Hæðarþversnið eftir línustæði Bæjarleiðar valkosta. ....	36
Mynd 24: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til valkost Bæjarleið. ....	37
Mynd 25: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til valkosta Bæjarleið. ....	38
Mynd 26: Kort af fyrirhuguðu stæði nýrrar loftlínu. ....	39
Mynd 27: Línustæði nýrrar loftlínu samsíða Búrfellslínu 3, sett ofan á skuggakort. ....	40
Mynd 28: Hæðarþversnið eftir stæði fyrirhugaðrar nýrrar loftlínu samsíða Búrfellslínu 3. ....	40
Mynd 29: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til valkost nýrrar loftlínu samsíða Búrfellslínu 3. ....	41
Mynd 30. Nærmynd af svæðinu frá Helgafelli um Gvendarselshæð .....	42
Mynd 31: Kort af jarðstrengs valkost meðfram Bláfjallavegi, .....	43
Mynd 32: Jarðstrengsvalkostur meðfram Bláfjallavegi lagður ofan á skuggakort. ....	44
Mynd 33: Hæðarþversnið eftir línustæði jarðstrengsvalkosta meðfram Bláfjallavegi. ....	44
Mynd 34: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til jarðstrengsvalkosta meðfram Bláfjallavegi. ....	45
Mynd 35. Nærmynd af svæðinu frá Helgafelli-Undirhlíðum að Ásavallabraut. ....	46
Mynd 36: Lenging hraunelfunnar í Holuhraunsgosinu 2014-15 fyrstu 14 dagana. ....	47
Mynd 37: Kort sem sýnir helstu rennslis farvegi hraun .....	48
Mynd 38: Dagar þar til hraunelfa nær að núverandi línustæði, sem liggur samkvæmt mynd 31. ....	49
Mynd 39: Dagar þar til að hraunelfan nær að línustæði nýrrar loftlínu .....	49
Mynd 40: Dagar þar til að hraunelfan nær að línustæði jarðstrengs. ....	50
Mynd 41: Graf af útreikningum, .....	51
Mynd 42: Leiðir til að lágmarka áhættu. ....	54







## Inngangur

Á haustdögum 2020 óskaði Landsnet eftir ráðgjöf starfshóps Eldfjallafræði og náttúruvár við Háskóla Íslands og að farið yrði yfir hugsanleg áhrif jarðhræringa á línuleið Lyklafellslínu og sér í lagi hvaða áhrif eldgos gætu haft á viðkomandi línu.

Á virkum eldfjallasvæðum er nauðsynlegt að meta langtíma áhættu vegna eldgosa þegar kemur að innviðaskipulagningu til framtíðar. Slíkt mat undirbyggir viðbragðsáætlanir sem má styðjast við ef og þegar til eldgoss kemur. Langtímaáætlanir taka mið af því við hverju er að búast sem og hvar eru líklegustu áhrifasvæði. Í skipulagi getur líka verið nauðsynlegt að horfa til afskriftatíma mannvirkja eða skipulags með tilliti til langtíma greiningar á áhættu.

Jarðfræðilegir atburðir eins og eldgos eru í eðli sínu sjaldgæfir. 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 Reykjaneskaga. Aftur á móti, ef við skoðum eldvirknina á Reykjaneskaga 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.

Langtíma greining er því ekki spá um hvenær eldgos verður, heldur hvar er líklegast að jarðeldur komi upp ef til eldsumbrota kemur. Jafnframt eru áhrifasvæði eldsumbrotanna metin, út frá væntanlegri gosgerð/-tegund, líklegri dreifingu gosefna (hrauns og gjósku) og sprungumynstri eldvirkinnar. Við þetta mat er mikilvægt að hafa í huga að ákveðin gerð/tegund eldvirkni er einkennandi fyrir einstök svæði og setja því ákveðinn ramma utan um líklegustu sviðsmyndir.

Við langtíma mat á eldgosavá er beitt aðferðarfræði sem styðst við jarðfræðilegar upplýsingar innan afmarkaðs rannsóknarsvæðis. Þessar upplýsingar eru notaðar til þess að meta eldsuppkomunæmi svæðisins og afmarka sérstaklega þá hluta svæðisins sem hafa hátt eldsuppkomunæmi. Fyrsta skrefið er að afmarka þau svæði þar sem eldsuppkoma er líklegust. Næsta skref er að meta líklegustu eldgosagerðina/-tegundina og það þriðja, hvert gosefni flytjast ef til eldgoss kemur.



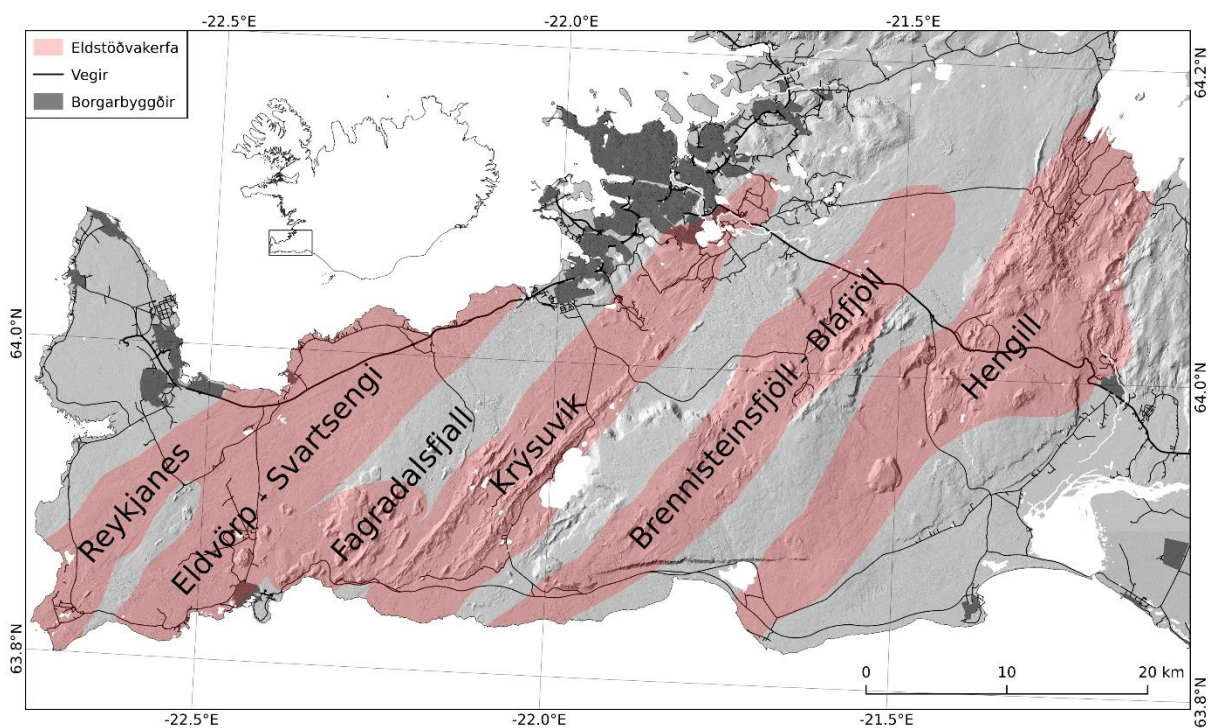
## Eldvirkni á Reykjaneskaga

Reykjanesgosbeltið er sniðreksbelti, sem er hvortveggja í senn þverbrotabelti og gliðunarbelti. Þverbrotabeltið lýsir sér í sprungum með norður-suður stefnu (Ágúst Guðmundsson 1986 og 1987, Amy Clifton og Simon Kattenhorn, 2006; Páll Einarsson, 2008). Gliðunarbeltin hafa stefnu suðvestur – norðaustur sem er auðþekkjanleg á loftmyndum út frá stefnu móbergsfjallagarða, gígaraða og sprungusveima.

Þrjú eldstöðvakerfi eru á Reykjanesi og nefnast þau Reykjanes, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll, mynd 1 (Þorvaldur Þórðarson og Ármann Höskuldsson, 2008; Þorvaldur Þórðarson og Guðrún Larsen, 2007). Flóknast er Reykjaneskerfið og af þeim sökum stundum skipt upp í undirkerfin; Reykjanes, Eldvörp-Svartsengi og Fagradalsfjall (Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013).

Gosskeið á Reykjaneskaga skiptast upp í gosvirknitímabil, þar sem einstök gosskeið sem hafa staðið yfir í 300 til 400 ár. Gosskeiðin eru aðskilin af 600-1200 ára löngum goslausum tímabilum. Þrjú slík gosskeið hafa verið þekkt á Reykjaneskaga á síðustu 3500 árum (Jón Jónsson 1963 og 1978a og b, Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Eldvirkni á síðasta gosskeiði var ekki einskorðuð við eitt eldstöðvakerfi, heldur færðist virknin frá einu kerfi til annars á 30-150 ára millibili og náði til allra kerfanna áður en gosskeiðinu lauk. Eldvirkni þess einkenndist af sprungugosum þar sem gaus sprungubútum sem liggja með mislöngu millibili á sömu reininni. Þessi gossaga gefur góða mynd af dæmigerðum gosum í eldstöðvarkerfum Reykjaneskaga og hefur því raunhæft spágildi/-vægi fyrir eldgos framtíðarinnar.

Árið 2020 hófst jarðhræringar á Reykjaneskaga. Skjálftavirkni og smávægileg landlyfting hófst á svæðinu við fjallið Þorbjörn í Grindavík. Virknin var hrinukennd út árið. Snemma árs 2021 byrjuðu miklir jarðskjálftar á Reykjanesinu öllu. Skjálftahrinan varð mjög þétt frá og með febrúar og fjölgaði verulega jarðskjálftum af styrkleika 3 og hærra, í febrúar eru skráðir 172 skjálfta af styrkleika 3 og hærra. Í mars voru jarðskjálftarnir af styrkleika 3 eða meira orðnir 411, 19 mars. En að kveldi 19 mars hófst eldgos í Geldingadöllum, skammt austan Grindavíkur. Miðað við fyrirliggjandi þekkingu á jarðfræði Reykjaneskaga má gera ráð fyrir því að nýtt skeið eldgosavirkni sé hafi á Reykjanesi.



Mynd 1: Eldstöðvakerfin á Reykjaneskaga, 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 beltinu.

## Gögn

Jarðfræðigögnin sem nýtt eru í verkefninu eru: sprungur, misgengi, gossprungur, gígar og hraun og auk þess er stuðst við vatnagögn og landslagsupplýsingar. Öll gögnin eru tekin úr birtum vísindagreinum, jarðfræðikortum og upplýsingarveitum Landmælinga Íslands. Einnig hefur verið bætt í gagnasafnið með vettvangsvinnu og nánari úrvinnslu loftmynda af svæðinu.



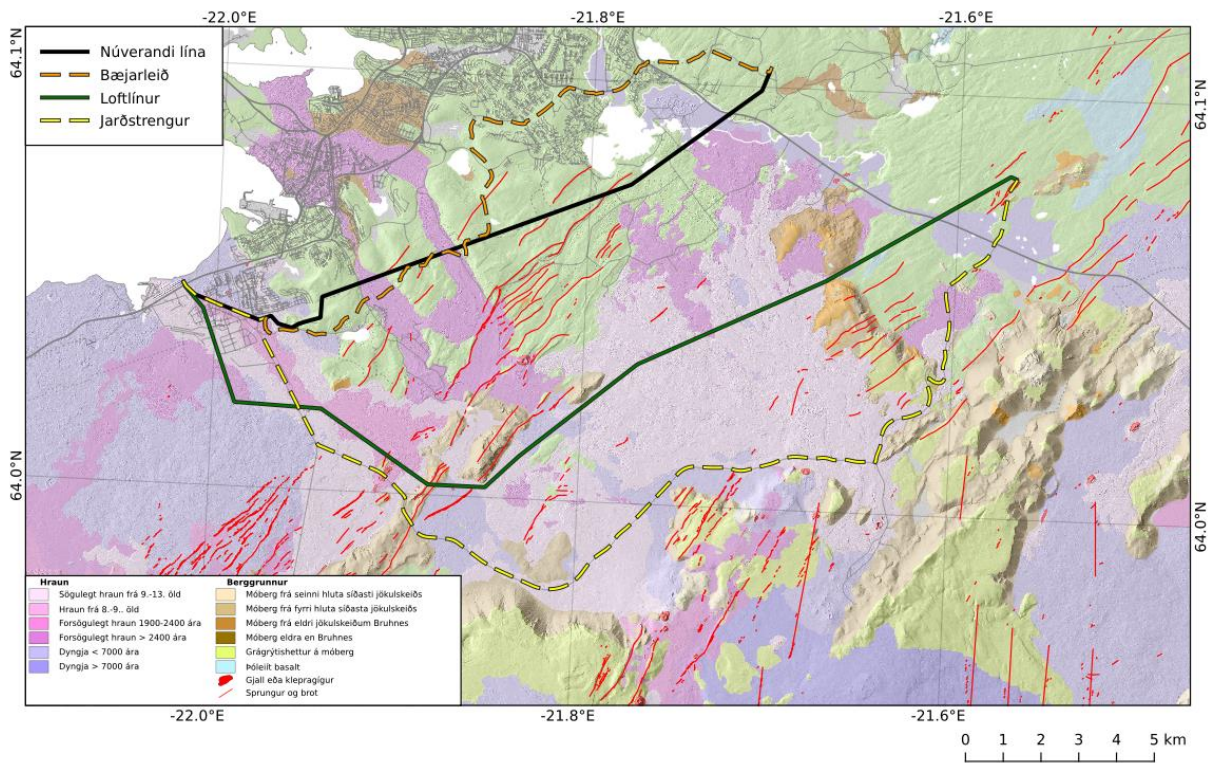
## Aðferðarfræði

Við greiningu á Eldsuppkomunæmi svæðisins er notast við þéttleikafall líkinda („Probability Density Function“ skammstafað PDF). Hvert gagnasett er skoðað, gossprungur, gígar og þeim skipt upp eftir aldri. PDF-ið er greint með „Cauchy“ reikniaðferð, þar sem reiknað er í tvívíðu rúmi staðbundið endurkomu hlutfall í ákveðnum punkti (Joan Martí og Alicia Felpedo, 2010). Útkoman úr PDF reikninum er leiðrétt með því að deila útkomunni í heildarsvæðið (þ.e. „normalized“), þá fást niðurstöðurnar í réttum hlutföllum. Þegar PDF hefur verið reiknað fyrir allar samanburðabreytur er lagt mat á hvert vægi hvernar breytu í heildarmati er. Vægi hvernar breytu er metið af 12 óháðum sérfræðingum og meðaltal þeirrar niðurstöðu notað (Joan Martí og Alicia Felpedo, 2010). Næmnin (þ.e. susceptibility) er reiknað út að teknu tilliti til vægi gagnasafna. Þar sem að gígar á eldvirkum svæðum hafi tilhneigingu til að myndast í þyrpingum er notast við „Possian“ líkinda dreifingu til að meta endurkomutíðnina innan rannsóknarsvæðis (Joan Martí og Alicia Felpedo, 2010). Loka útkoma greiningar gefur logaritma af heildarnæmni svæðisins (Joan Martí og Alicia Felpedo, 2010, Bartolini et al. 2017, Beceril et al. 2013, Bevalacqua et al. 2017, Capello et al. 2012, Silverman 1986). Heildarnæmni svæðisins hér, er mat á líklegustu staðsetningu næstu eldsuppkomu innan rannsóknarsvæðis, nefnt eldsuppkomunæmi.



## Jarðfræði, eldvirkni og staðfræði

Bergrunnurinn á fyrirhuguðum línustæðum er sýndur á mynd 2. Mikilvægt er að skoða jarðfræði svæðisins til að átta sig á aldri undirlagsins og samsetningu. Hluti af Fyrirhuguðum línustæðum, liggja um hraun sem eru mynduð á síðustu 10.000 árum, eða Nútíma (Húsfellsbruni og Almennungur, mynd 2). Aldur þessara hrauna spannar tímabilið frá Ár-Nútíma (um 8000 ára) til sögulegs tíma (Húsfellsbruni 900 AD og Kapelluhraun 1151 AD). Svæðið vestur af Heiðmörk um Hjalla og til byggðar, er hinsvegar að mestu gert úr hraunum frá eldri hlýskeyðum (>100.000 ára). Eldvörp og gíga er helst að finna vestan og norðan Undirhlíðar/Sveifluháls og ofan Lönguhlíðar (Bláfjöll). Misgengi og sprungur eru áberandi innan svæðisins og afmarka flokkun eldstöðvar kerfanna Krýsuvík og Bláfjöll (mynd 1). Þegar jarðfræðigreining er borin saman við höggun svæðisins er hægt að meta aldur hreyfinga á sprungum og misgengjum. Meginþorri misgengjanna á uppruna sinn að rekja aftur fyrir forsögulegan tíma. Hreyfingar á misgengjum er erfitt að meta, en þó er hægt að flokka hreyfingar um þau gróflega með því að skoða afstöðu misgengja og sprungna til aldursgreindra hrauna og jarðvegs sniða (mynd 2).



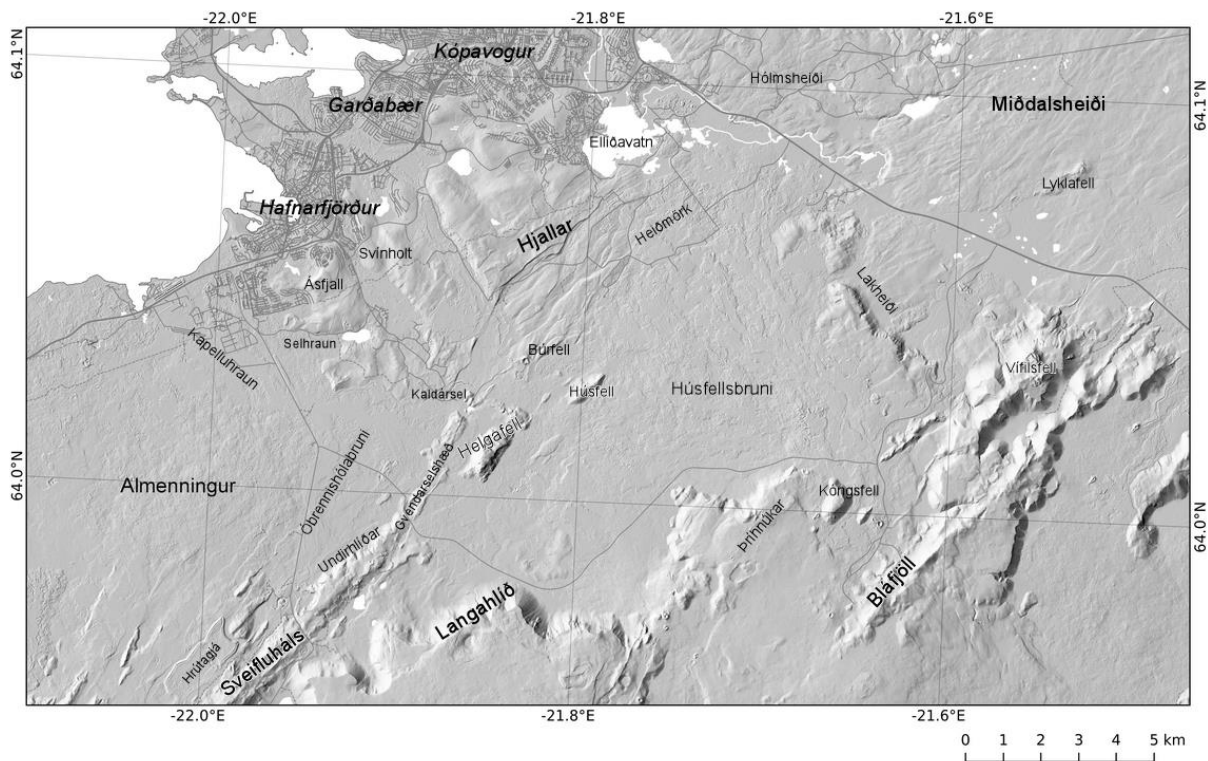
Mynd 2: Jarðfræðikort af athugunarsvæðinu. Aldur hrauna og lega gliðnunarprungna og misgengja á fyrirhuguðum línustæðum. Brúnir og grænir litir tákna jarðmyndanir eldri en 10 þúsund ára. Bláir til rauðir litir merkja hraun frá því eftir ísöld og fram að síðustu sögulegu goshrinu, sem hófst í kringum 900. Söguleg hraun eru lillablál. Vegakerfið er sýnt til að lesendur átti sig betur á staðháttum. Kort byggt á Jarðfræðikorti ÍSOR (Kristján Sæmundsson og fl. 2016) og Landmælingum Íslands.



Þessar upplýsingar eru mikilvægar í þeim tilgangi að greina svæði sem hafa orðið fyrir lítilli sem engri höggun á undanfönum 10.000 árum. Ekki er hægt að útiloka hreyfingar á slíkum svæðum en þær teljast ólíklegri en á þeim svæðum sem eru mikið sprungin og hliðruð.

Aldur hrauna er mikilvægur fyrir greiningu á aldri á höggunarsprungum innan svæðisins. Yngri hraun sýna færri sprungur en eldri vegna þess að þau hafa farið í gegnum færri gliðunarrhinur, þ.e. séð færri tímabil eldgosa og höggunar.

Á mynd 3 eru sýnd helstu staðfræði heiti sem að vísað er til í texta. Svæðið er ríkt örnefna enda ekki langt frá byggðu bóli. Línurnar fara í gegnum fjögur sveitarfélög, Mosfellsbæ, Reykjavík, Kópavog, Garðabæ og Hafnarfjörð.



Mynd 3: Staðfræðikort af rannsóknarsvæði. Einungis helstu örnefni sem nefnd eru í texta eru sýnd hér, lesanda til glöggvunar. Hinsvegar er bent á örnefnakort Landmælinga Íslands til nánari glöggvunar ([lmi.is](http://lmi.is)).

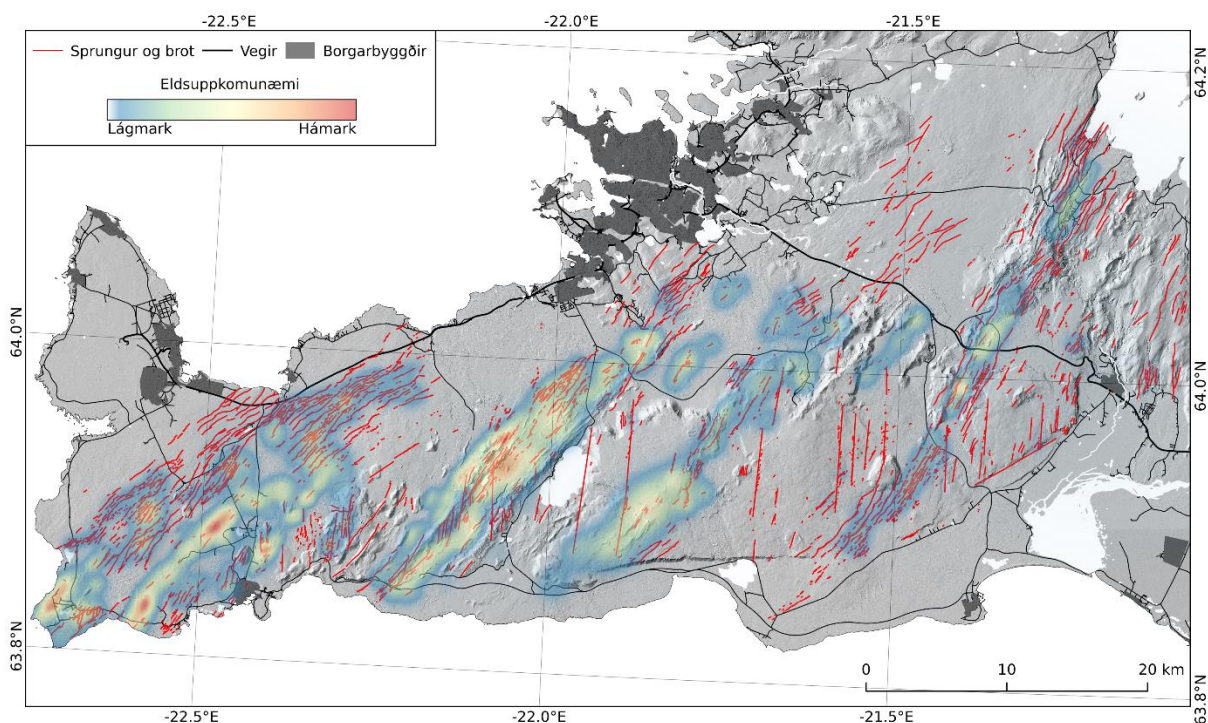
Þegar litið er til núverandi línukost og bæjarlínu eru það sveitarfélögin, Reykjavík, Kópavogur, Garðabær og Hafnarfjörður sem eiga í hlut. Þegar nýr loftlínukostur og jarðstrengur eru skoðuð bætist við sveitarfélagið Mosfellsbær. Núverandi línukostur fer frá Hólmsheiði yfir Hjalla og vestur til Hafnarfjarðar. Nýr loftlínukostur fer frá Miðdalsheiði / Lyklafelli í austri yfir Lakheiði og Húsfallabruna. Þá fer hún meðfram Helgafelli og yfir Gvendarselshæð og niður Óbrennishólabruna til Hafnarfjarðar. Jarðstrengur fer frá Lyklafelli í austri og með Bláfjallavegi, yfir Gvendarselshæð og niður Óbrennishólabruna til Hafnarfjarðar (mynd 2, 3).



## Greining

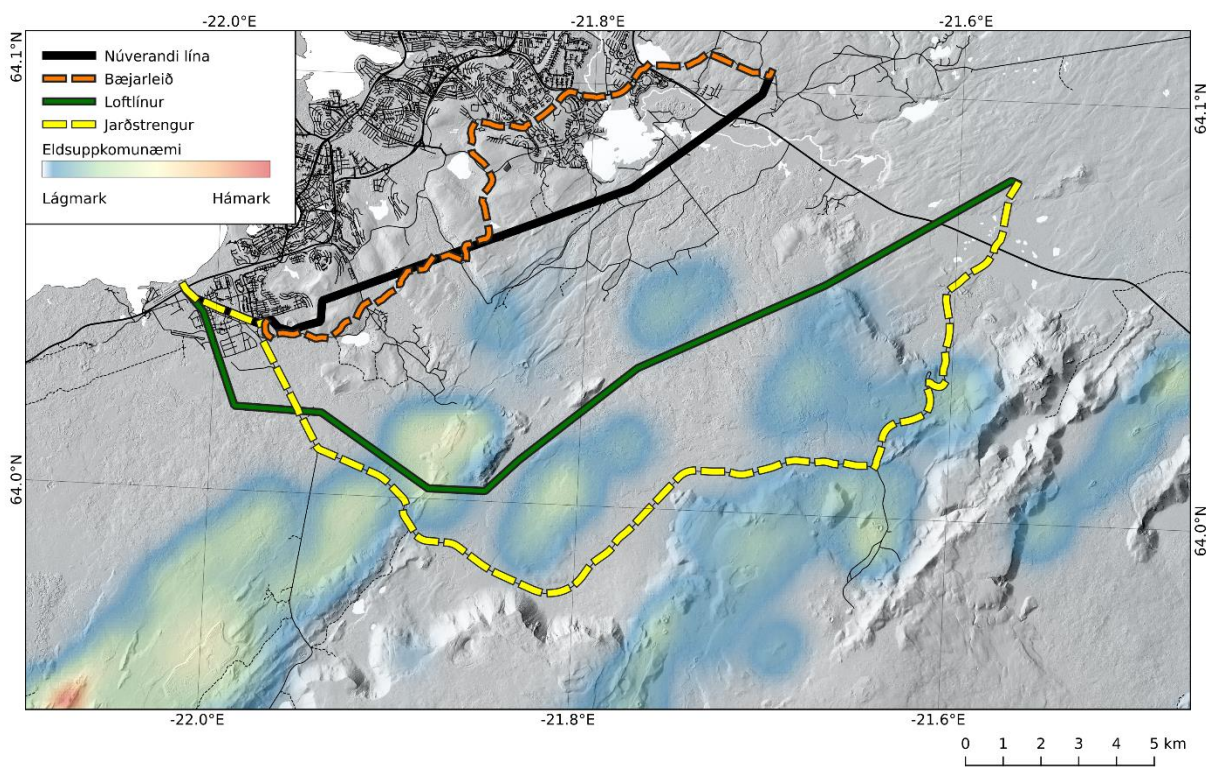
### Eldsuppkomunæmi

Mestu líkur eldsuppkomu eru metnar út frá gagnasöfunum um fyrri eldsuppkomu, sprungur og misgengi og mat sérfræðinga á mismundandi vægi þessara gagnasafna. Niðurstöður slíkrar greiningar eru settar fram í eldsuppkomunæmis korti. Eldsuppkomunæmiskortið sýnir líkindadreifinguna á staðsetningu eldgoss á Reykjaneskaga eftir greiningu á fyrirbyggjandi jarðfræðigögnum um svæðið (mynd 4).



Mynd 4: Eldsuppkomunæmi greining á Reykjanesi sem gefur til kynna hvar líklegast er að eldur komi upp í framtíðinni.

Kortið gefur ekki líkurnar á eldgosi innan ákveðins tímaramma, heldur sýnir einungis svæðin þar sem eldsuppkoma er líklegust (lituð svæði á mynd 4). Þegar þessi mynd er borin saman við mynd 1, þá sést glögglega að líklegustu eldsuppkomusvæðin liggja innan þeirra eldstöðvarkerfa sem þegar hafa verið skilgreind á Reykjanesi. Jafnframt sýnir greiningin að dreifingin á líklegum eldsuppkomustöðum er afmarkaðri en útlínur kerfanna gefa til kynna að eldsuppkomunæmi innan einstakra kerfa er ekki einsleitt. Þetta mat gefur okkur upplýsingar um hvar sé að vænta nýrra gíga og eða nýrra gossprungna í framtíðinni og grundvöllur áframhaldandi vinnu við mat á eldfjallavá. Í þessum þætti skoðum við vána aðeins með tilliti til hraungosa, þar sem sprengigös eru afar ólíkleg á svæðinu. Eldsuppkomunæmi kortið er langtíma mat á framtíðar staðsetningu gos gíga og gos sprungna byggt á þéttleika líkinda greiningu („Probability density function eða PDF“).



Mynd 5: Eldsuppkomunæmi á fyrirhuguðum línustæðum. Eldsuppkomunæmi leggur mat á hvar líklegast sé að eldur komi upp í framtíðar jarðhræringum á svæðinu. Línurnar sem fjallað er um í þessari greinargerð eru sýndar á kortinu.

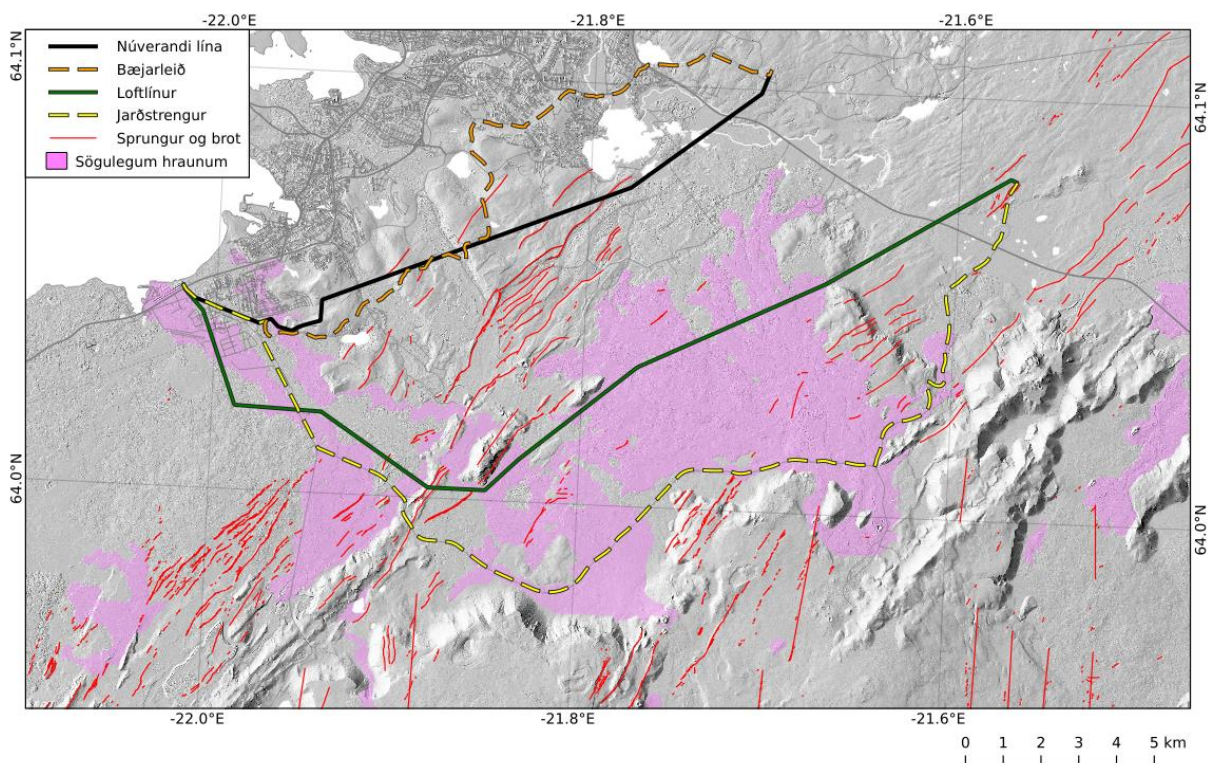
Áhrifasvæði nýrra línuvalkosta er sett fram á mynd 5. Hér drögum við sérstaklega fram eldsuppkomunæmi innan Krýsuvíkur- og Bláfjallakerfanna þar sem fyrirhugað línustæði liggur yfir norður jaðar þeirra. Samkvæmt þessari greiningu eru viðkvæm svæði umfangsmeiri, hvað varðar myndun nýrra eldvarpa í framtíðinni, innan Krýsuvíkurkerfisins. Myndin sýnir einnig að norðausturhluti fyrirhugaðs línustæða liggur ekki innan viðkvæmra eldsuppkomusvæða þar sem mestar líkur eru á að ný eldvörp myndist í Krýsuvíkurkerfinu eða Bláfjallakerfinu. Hinsvegar liggur vestur hluti fyrirhugaðs línustæðis í gegnum viðkvæman kafla í Krýsuvíkurkerfinu, við Helgafell og Undirhlíðar. Jafnframt er viðkvæmur kafla í Bláfjallakerfinu á Stóra Kóngsfells-Þríhnúkavæðinu.





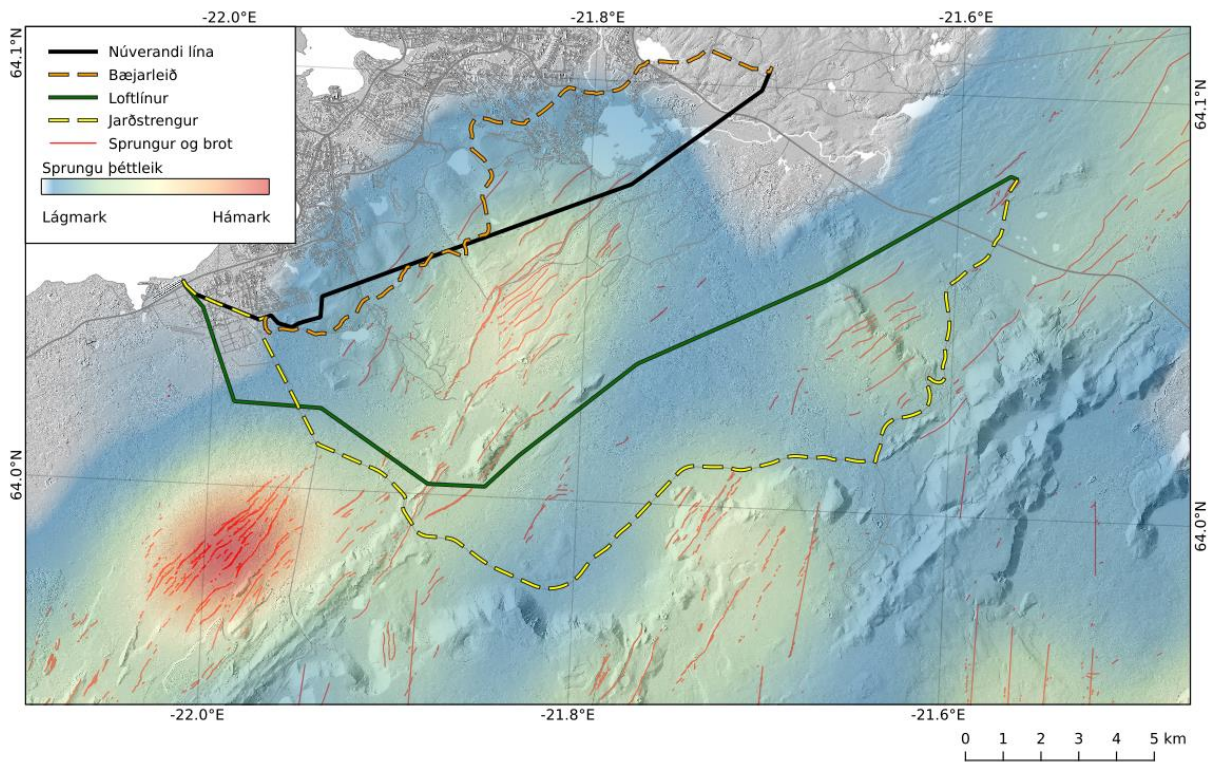
## Leggja með tilliti til höggunar

Höggun nær til allra sprungna og misgengja á svæðinu, sem eru sýnd á mynd 6. Misgengi eru af þrennu tagi. Í fyrsta lagi með fall til austurs og í öðru lagi með fall til vesturs og loks eru norður suður sniðgengi. Sniðgengi er helst að finna suður af þeim línustæðum sem eru til skoðunar. Misgengi með fall til austurs og vesturs móta sigdali eldstöðvarkerfanna sem kennd eru við Krýsuvík og Bláfjöll. Mesta uppsafnað fall um misgengi er hundruð metrar og sést það glögglega í eldri jarðmyndunum, þ.e. hlýskeyðsmýnduninni er myndar Hjallana. Misgengi um Réttargjá, er klýfur Búrfellshraunið er um 10-15 m og hefur átt sér stað á síðustu 8000 árum. Gliðnunarprungur hafa eingöngu hreyfingu í plani og gliðna til suðaustur og norðvesturs. Sniðgengi eru jafnframt með hreyfingu í plani en hliðrast um sprungustefnu.



Mynd 6: Höggunarkort af svæðinu með fyrirhuguðum og núverandi línustæðum. Kortið sýnir allar gliðnunarprungur, sniðgengi og misgengi. Líóst er af þessu yfirlitskorti að vesturhluti línustæðis er mun meira brotinn en austur hluti hennar. Það er einnig eftirtektarvert að sprungur í sögulegum hraunum eru mun færri, en utan þeirra hrauna. 1: Núverandi lína, 2: fyrirhuguð loftlína og 3: fyrirhugaður jarðstrengur (kortagrunnur Landmælingar Íslands).

Á mynd 6 eru fyrirhuguð línustæði sett inn á höggunarkort af þessum hluta Reykjanesskaga. Þar kemur fram að norðaustur hluti fyrirhugað línustæðis loftlínu, sem nær frá Lyklafelli að Lakheiði, liggur á svæði sem er með sprungum og misgengjum en án sjáanlegra hreyfinga á nútíma. Berggrunnurinn á þessu svæði er að mestu hraun frá fornum hlýskeyðum og móbergi frá jökultíma. Hluti svæðisins vestan Lakheiðar er aftur hulin hraunum frá nútíma og sögulegum tíma. Það, að ekki er hægt að greina hreyfingu um misgengi NA Lakheiðar, er vísending um að hér hafi landi ekki hreyfst í allt að 10.000 ár.



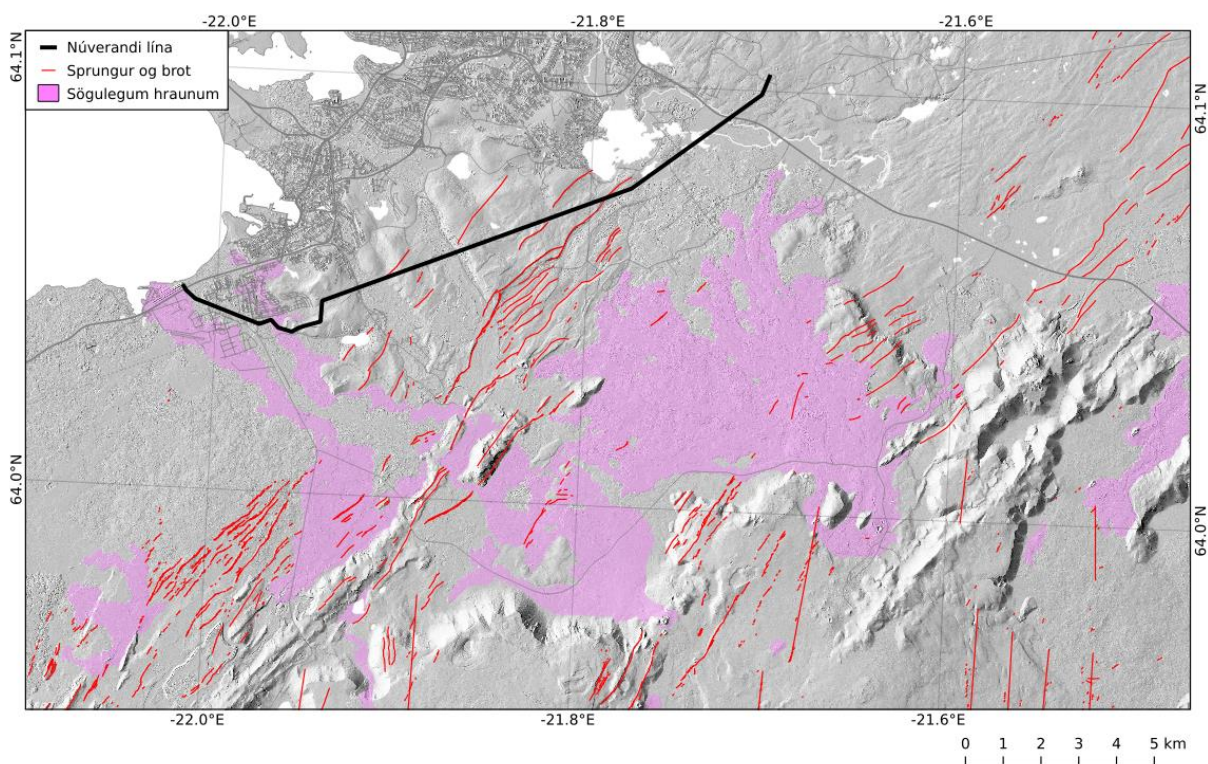
Mynd 7: Sprunguþéttleikakort yfir svæðið hvar línustæðin eru í athugun.

Þegar vestar dregur á svæðinu verða sprungur og misgengi mun meira áberandi. Á mynd 7 er sett fram þéttleika greining á sprungunum. Tvö mjög þétt svæði koma fram, Hjallarnir og Sauðabrekku- Fjallagjár svæðið (mynd 3 og 7). Gvendarselshæð kemur einnig sterkt fram, en þar er jafnframt lágpunktur í landslagi. Önnur svæði sem koma fram, sigdalur Draugahlíðar og Þríhnúkasvæðis, bæði þessi svæði hafa verið virk á nútíma. Önnur svæði eru flest í eldra bergi en frá nútíma. Það vekur sérstaka athygli þegar mynd 7 er skoðuð hversu lítið er af sprungum innan sögulegu hraunflákanna. Eina svæðið sem er þar undanskilið er svæðið við Gvendarselshæð og Helgafell. Þetta bendir til þess að litlar hreyfingar hafa verið á svæðinu síðan á 9. og 10. öld og þá einskorðaðar við Krýsuvíkurkerfið. Misgengis hreyfingar á línustæði eru bæði með fall til austurs og vesturs þegar litið er til sprungna í Krýsuvíkurkerfinu og Bláfjallakerfinu. Gliðnunarprungur eru flestar við Búrfell, Sauðabrekkugjá og Fjallagjá. Á milli Undirhlíða og Helgafells er Gvendarselshæð og þar eru gliðnunar sprungur í sögulegum hraunum. Draugahlíðar-Þríhnúkasvæði er tilheyrir Bláfjallakerfinu hefur fagurlega myndaðan sigdal.



## Greiningar á sértækum þáttum í tengslum við fyrirhugað línustæði og tegund línu

### Núverandi Loftlína



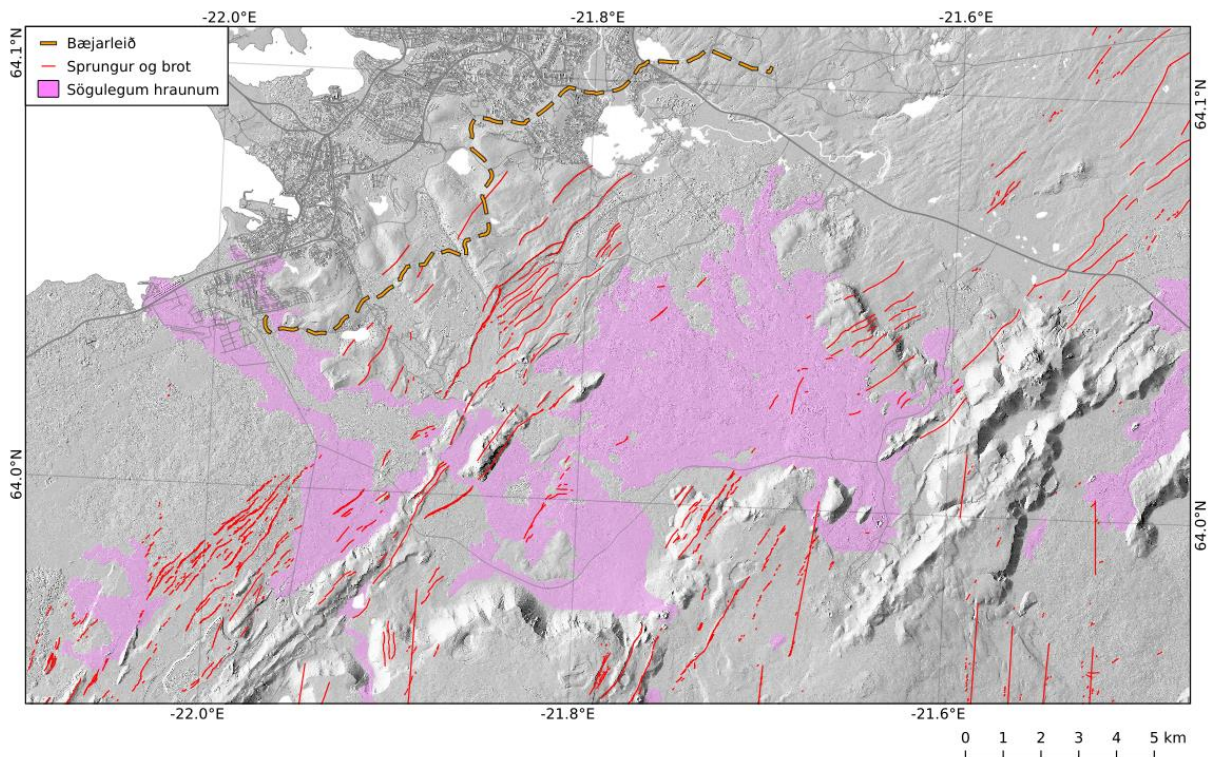
Mynd 8: Sprungukort af núverandi línustæði loftlínu. Kortið sýnir allar gliðunarsprungur, misgengi og sniðgengi, lillabláir flákar eru hraun frá sögulegum tíma.

Eins og kemur fram á mynd 8, eru sprungur og misgengi helst tengd Hjöllunum. Þegar litið er til þessa línuvalkosta. Frá Hólmsheiði og vestur í Hafnafjörð er kafli sem er einkennandi af gömlum misgengjum og sprungum er ekki sýna greinileg merki um hreyfingu á Nútíma. Það verður að teljast ólíklegt að þessi kafli verði fyrir einhverjum meiriháttar hreyfingum þar sem að elstu jarðminjar hér á svæðinu er um eða yfir 10.000 ára, sjá mynd 2. Gliðunarsprungur og misgengi eldstöðvarkerfis Krýsuvíkur ná inn á fyrirhugað línustæði við Elliðavatn. Stóra misgengið í Hjöllunum, Hjallamisgengið, sýnir hreyfingar sem eru tímasettar af Búrfellshrauni (rann fyrir um 8000 árum, Guðmundur Kjartansson 1973). Heildar hreyfing er um 12 m þar sem Búrfellshraun fer um það. Meðal hreyfing á misgenginu er því um 0.15 sm á ári. Hinsvegar má gera ráð fyrir að slík misgengi hliðrist á hrinubundinn hátt. Núverandi lína sker Hjallamisgengið nærri Elliðavatni.

Misgengis hreyfingar á núverandi línustæði eru nær allar með fall til austurs.



## Bæjarleið



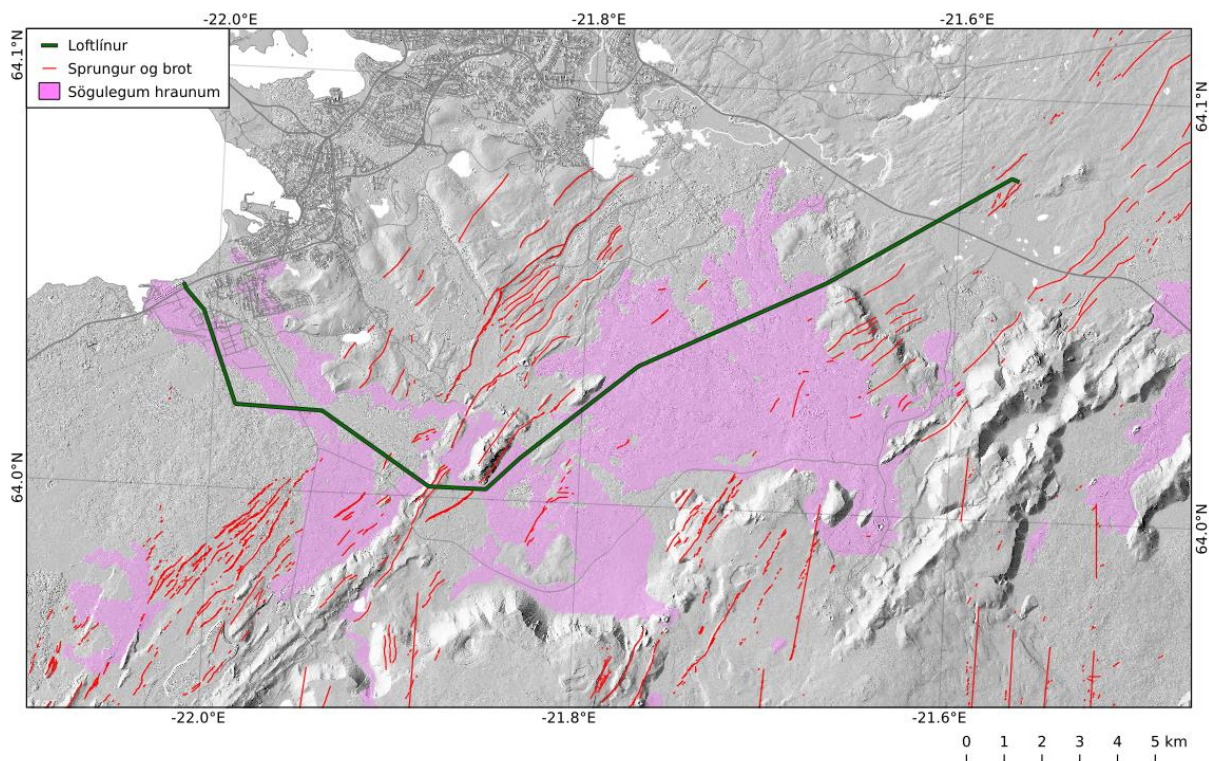
Mynd 9: Sprungukort af valkost Bæjarlínu. Kortið sýnir allar gliðnunarprungur, misgengi og sniðgengi, lillabláir flákar eru hraun frá sögulegum tíma.

Eins og kemur fram á mynd 9, eru sprungur og misgengi helst tengd Hjöllunum. Þegar litið er til þessa línuvalkosta. Frá Hólmsheiði og vestur í Hafnafjörð er kafli sem er einkennandi af gömlum misgengjum og sprungum er ekki sýna greinileg merki um hreyfingu á Nútíma. Sprungur í holtunum ganga ekki inn í Búrfellshraunið sem er um 8000 ára. Þar af leiðir að engar hreyfingar hafa verið um þessi misgengi eftir að Búrfellshraun rann. Það verður að teljast ólíklegt að þessi kafli verði fyrir einhverjum meiriháttar hreyfingum þar sem að elstu jarðminjar hér á svæðinu er um eða yfir 10.000 ára, sjá mynd 2. Gliðnunarprungur og misgengi eldstöðvarkerfis Krýsuvíkur ná ekki inn á fyrirhugaðan línuvalkost.

Fornar misgengis hreyfingar á svæði sem bæjarlínuvalkostur fer um eru nær allar með fall til austurs.



## Ný loftlína



Mynd 10: Sprungukort á fyrirhuguðum valkost nýrrar loftlínu. Kortið sýnir allar gliðnunarprungur, sniðgengi og misgengi, lillabláir flákar eru hraun frá sögulegum tíma.

Eins og kemur fram á mynd 10, eru sprungur og misgengi helst tengd Krísuvíkurkerfinu, þegar litið er til þessa línuvalkosta. Kafllinn frá Lyklafelli og að Helgafelli liggur í strikstefnu sprungna og er nær sprungulaus, að vísu er sá kafli hulinn sögulegum hraunum að stórum hluta. Það að ekki séu greinanlegar sprungur í sögulegu hraununum segir að þessi hluti landsins hafi ekki orðið fyrir höggunarhreyfingum undanfarin 1000 ár hið minnsta. Þegar línan fer í gegnum Gvendarselshæðar skarðið milli Undirhlíðar og Helgafells og stefnir til sjávar við Hafnarfjörð, þverar hún Krísuvíkurkerfið. Hér á þessu svæði er mikið um sprungur beggja vegna við sögulegu hraunin (mynd 7 og 10). Jafnframt er sláandi að Kapelluhraunið (sögulegt) er tiltölulega mikið sprungið þrátt fyrir ungan aldur. Eftir að línan hefur farið í gegnum Krísuvíkurkerfið er landið orðið sprungulaust.

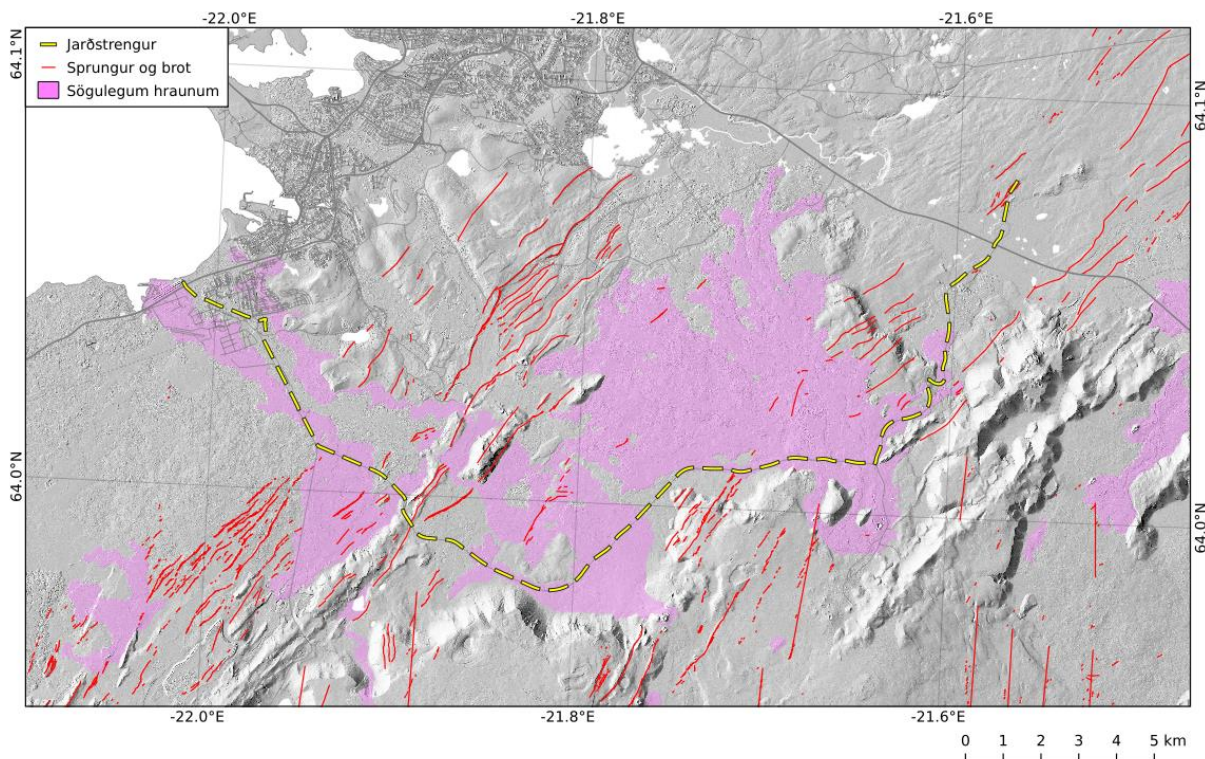
Misgengis hreyfingar á línustæði eru hvorutveggja með fall til austurs og vesturs. Mest er þetta áberandi við Gvendarselshæðar skarðið. Línan þverar hvorutveggja austur og vestur fallandi misgengi sem og gliðnunar sprungur þegar hún fer um miðju á Krísuvíkureldstöðvarkerfi, enda einkenna sigdalir og gliðnunar sprungur eldstöðvar kerfi á gliðnandi flekamótum.



Fjöldi gliðunarsprungna í Krísuvíkurkerfinu skera fyrirhugaðan línuvalkost. Gliðunar sprungur eru með hreyfingu í plani og gliðna í stefnuna norðvestur-suðaustur. Nýtt línustæði fer yfir gliðunarsprungur við Gvendarselhæð, milli Undirhlíða og Helgafells en liggur síðan á sprungulausu landi til strandar við Hafnafjörð. Gliðnun um sprungur strekkir á taug sem liggur yfir þær. Í næstu umbrotahrinu Krísuvíkurkerfisins gæti því strekkst á nýrri loftlínu.



## Jarðstrengur



Mynd 11: Sprungukort á fyrirhuguðum valkost fyrir línustæði jarðstrengs. Kortið sýnir allar gliðunarsprungur, sniðgengi og misgengi, lillabláir flákar eru hraun frá sögulegum tíma.

Eins og kemur fram á mynd 7 og 11, eru sprungur og misgengi helst á svæðinu frá Stóra Kóngsfelli að Lönguhlíð. Á þessum kafla þverar jarðstrengur sigdæld Bláfjallakerfisins. Jarðstrengurinn þverar aftur sigdal Krýsuvíkurkerfisins þegar hann fer um Gvendarselshlíðar milli Undirhlíðar og Helgafells. Frá vegamótum Bláfjallavegar og Krýsuvíkurvegar er landið sprungulaust.

Það verður að teljast mjög líklegt að í næstu umbrotahrinu innan Krýsuvíkur eða Bláfjallakerfisins muni sprungur og misgengi hreyfast og eða nýjar myndast. Jarðstrengurinn þverar bæði eldstöðvarkerfin.

Misgengis hreyfingar á línustæði eru bæði með falli til austurs og vesturs. Slíkar hreyfingar eru takmarkaðar við tiltölulega stutta kafla við miðju hvors eldstöðvarkerfis.

Gliðunarsprungur eru einnig á þessum svæðum þar sem jarðstrengurinn þverar misgengin. Gliðunarsprungur eru með hreyfingu í plani og tagna í stefnuna norðvestur-suðaustur. Línustæði jarðstrengs fer yfir gliðunarsprungur norður af Þríhnúkum og svo aftur þegar hann fer yfir Gvendarselshæð, milli Undirhlíðar og Helgafells. Annarstaðar liggur strengurinn í strikstefnu misgengja og sprungna. Gliðun um gliðunarsprungur strekkir á taug sem liggur yfir þær. Í næstu lotu umbrotahrina í Krýsuvíkur-Bláfjallakerfunum gæti strengst á línu. Við Bláfjallakerfið er kaflinn um 4 km breiður og við Krýsuvíkurkerfið er kaflinn um 5 km breiður.



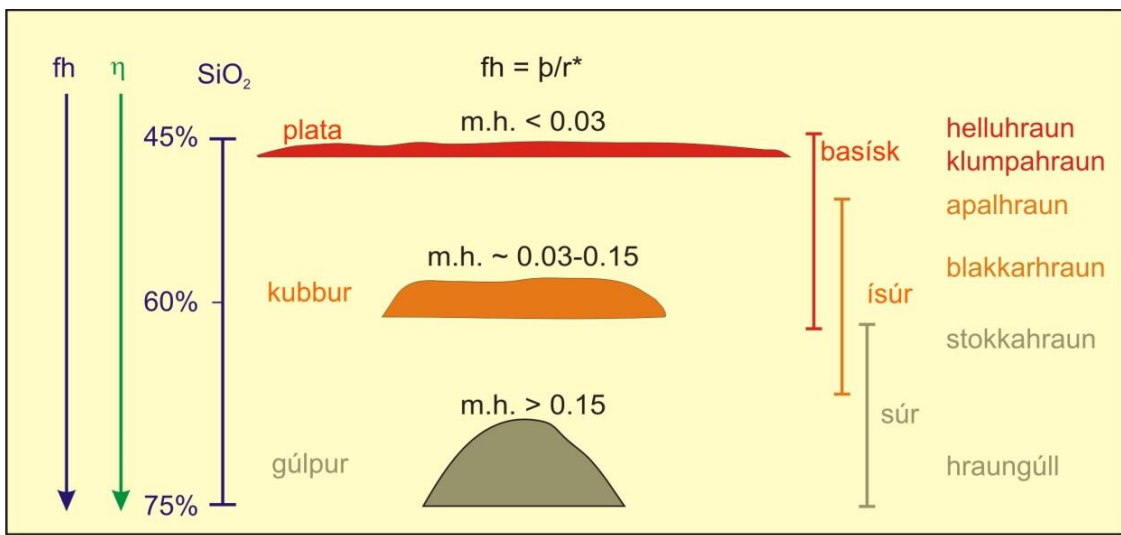
# Hraunrennsli

## Almennt yfirlit

Oft er vísað til þess að hraungos séu hættuminnstu atburðir íslenskrar eldvirkni, en réttast er að varast þetta viðhorf því að ein gerð hraungosa, það er flæðigos, hefur valdið mestu náttúruhamförum Íslandssögunnar (Þorvaldur Þórðarson og Stephen Self, 1993, 2003). Hraun geta valdið gífurlegum skaða eins og íbúar í Heimaey fengu svo átakanlega að reyna árið 1973.

Hraun myndast þegar kvika streymir upp um gosrásir, hringlaga gosop eða sprungur, og flæðir frá gosstað eftir yfirborði jarðar. Þó svo að kvika streymi líkt og aðrir vökvar undan halla, er rennsli hrauna um margt frábrugðið beljandi vatnsstraumum. Vatn er einfaldur vökvi úr tveimur frumefnum og hefur vel afmarkað suðu- og frostmark. Það hagar sér líkt og Newtonískur vökvi. Á hinn bóginn er hraunkvika margbrotinn vökvi sem segja má að sé plastískur. Hraunkvika inniheldur meira en 12 frumefni og er alltaf miklu heitari en umhverfi hennar. Sem slík er kvika miklu skyldari tjöru en vatni (Þorvaldur Þórðarson, 2013) Hún hefur ekki aðeins mjög breytilega efnasamsetningu, heldur breytir einnig eðlis- og efnaeiginleikum sínum vegna afgösunar og kólnunar, þegar hún streymir upp úr gosopi og flæðir eftir yfirborði jarðar. Enda þótt upprunaleg efnasamsetning hraunkvikunnar ráði miklu um hvernig hún flæðir, og þar af leiðandi myndform hrauna, þá koma fjölmargir aðrir þættir við sögu sem geta haft veruleg áhrif á flæðimynstrið og formið.

Hefðbundið er að flokka hraun eftir efnasamsetningu í basísk, ísúr og súr hraun (mynd 12). Hraun af basískri samsetningu eru algengust, eða yfir 90% allra hrauna á Íslandi. Þó að ísúr og súr hraun séu til staðar í marktækum mæli á Íslandi, er umfang þeirra miklu minna; ísúr hraun eru 6% og súr hraun 3% af hraunlagastafla Íslands (Þorvaldur Þórðarson og Ármann Höskuldsson, 2008).



Mynd 12: Form og formhlutfall hrauna og tengsl þeirra við hraun- og kvikugerðir sem og seigju og kísilinnihald kviku.





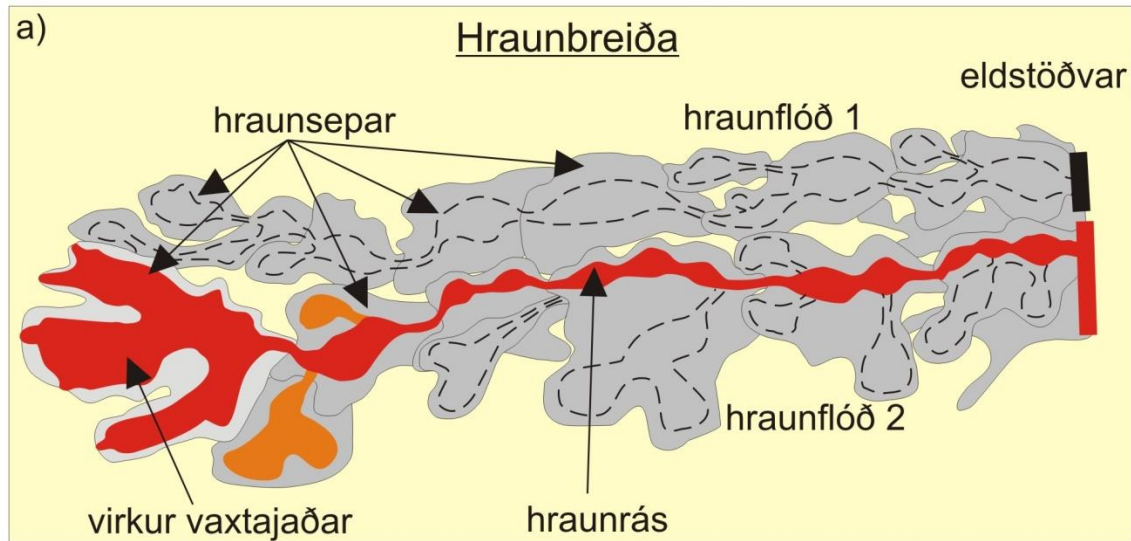
Þessi grunnflokkun endurspeglar seigju hraunkvikunnar sem er ekkert annað en mælikvarði á hversu auðveldlega kvikan flæðir frá upptökum og eftir yfirborði jarðar. Þegar kvika streymir upp um gosrás, ræðst seigja hennar fyrst og fremst af kísilinnihaldi og hitastigi kvikunnar, ásamt styrk rokgjarnra efna (Þorvaldur Þórðarson, 2013). Kvika sem myndar mjög súr hraun, kísilrík (<64% SiO<sub>2</sub>) og hlutfallslega köld (7-800 gráður). Slík hraun eru ólseig eða milljón til milljarð sinnum seigari en vatn. Þau hrúgast gjarnan upp í gúla yfir gosopinu og einkennast af háu formhlutfalli (>0,15; 12. mynd). Kvika sem myndar mjög basísk hraun, er kísilsnauð, kísilinnihald minna en 52% (kísildíoxíð, SiO<sub>2</sub>), og heit (1100-1200 gráður) og þess vegna er seigja hennar lítil, þ.e. hún er þunnfljótandi. Basísk kvika myndar því hlutfallslega þunn og útbreidd hraun með lágt formhlutfall (<0,03; mynd 12). Það er þó rétt að benda á, að þunnfljótandi basalhraun eru að jafnaði hundrað til þúsund sinnum seigari en vatn. Ísúrar hraunkvikur, með kísilinnihaldi frá 52% til 64% SiO<sub>2</sub>, mynda að jafnaði hraun sem falla á milli þessara jaðarforma. Að jafnaði styttest og þykkna hraun með vaxandi kísilmagni, það er aukinni seigju.

Öll hraunin á athugasvæðinu eru basísk og mynduð í sprungugosum eða dyngjugosum (s.br. mynd 2). Þrátt fyrir svipaða efnasamsetningu eru basalhraun langt frá því að vera einsleitir flokkur, og ásýnd þeirra er mjög breytileg. Sum basalhraun eru rennislétt hella og létt undir fæti, en önnur mjög úfin og ill yfirferðar. Svo eru hraun sem spanna allt þar á milli. Þetta er uppruni hinar klassísku skiptingar á basalhraunum í helluhraun og apalhraun. Fyrirnefnda nafngiftin vísar til hrauna sem einkennast af samfelldri hraunhellu, en síðarnefnda nafngiftin á við hraun umlukin lausum gjallkarga sem oft hefur safnast fyrir í óreglulega múga og hryggi. Hellu- og apalhraun eru í raun jaðartegundir í samfelldu rófi og þar á milli eru tegundir sem endurspeglar frábrugðin myndunarskilyrði, hitabúskap og rennislisferli. Klumpahraun eru eitt dæmi um slíka millitegund og einkennast af heilsteyptri botnskorpunni, en eru þakin yfirborðsbreksíu með blokkum og flekum úr brotinni helluhraunsskorpunni. Myndunarferli klumpahrauna er meira í ætt við myndunarferli helluhrauna, þó svo að við fyrstu sýn virðist yfirborð þeirra líkjast því sem einkennir apalhraun. Hraunbreiða Hrótagjárdyngjunnar er að hluta til klumpahraun og annað dæmi um slíkt hraun er vesturálma Skaftáreldahrauns. Það hefur einnig verið sýnt fram á að apalhraun myndast þegar kvikuútsreymi er hlutfallslega mikið, en helluhraun þegar það er tiltölulega lítið. Þannig myndast apalhraun þegar virknin einkennist af öflugri og óstöðugri kvikustrókvirkni, en helluhraun markast af hægu og stöðugu flæði frá gígum. Helluhraun og klumpahraun eru algengustu hraunategundirnar á Íslandi (Þorvaldur Þórðarson, 2013)

Hraunbreiður geta því orðið til í tveimur eða fleiri hraunflóðum eða hraunstraumum. Hraunflóð eru skilgreind sem hraun er myndast við flæði frá aðskildum gígum eða sprungum eða hraun sem kemur upp í mismunandi goshrinum. Hraunflóðin eru sjaldan einn samfelldur hrauntaumur heldur mynduð úr mörgum hraunsepum. Hraunsepi samsvarar einstakri kólnunareiningu sem hefur kólnað og storknað í einu lagi og er grundvallarbyggingareining hrauna (sjá mynd 13). Stærð hraunsepa er mjög breytileg frá einu hrauni til annars. Kemur þar til bæði seigja og stærð hraunanna, sem og framleiðnin í gosinu. Sem dæmi má nefna að þykkt hraunsepa í þunnfljótandi hraunum allt frá fáeinum sentímetrum upp í eitt hundrað metra, og lengdin frá nokkrum desímetrum upp í fáeina kílómetra. Að jafnaði er samræmi á milli stærðar hraunsepa og framleiðni í gosinu.



Hraunsepi myndast við útrennsli, þegar kvikan brýtur sér leið úr aðfærslukerfinu í gegnum hraunskorpuna (mynd 13). Þegar hraunkvikan brýst framundan virkum vaxtarjaðri, nefnist slíkt útrennsli undanhlaup, en yfirhlaup þegar kvikan kemur upp um sprungur og rennur ofan á hraunflóðinu. Hraunbelging vísar til þess þegar hraunsepar stækka og belgjast út á alla kanta vegna innræns flæðis undir einangrandi skorpu.



Mynd 13: Nafnakerfi yfir helstu byggingarþætti hrauna.

Hraun frá einu eldgosi kallast hraunbreiða og að jafnaði samanstendur hún af tveimur eða fleiri hraunflóðum, sem hvert um sig er byggt upp af mörgum hraunsepum. Hraunrás er aðfærslukerfið sem flytur hraunkviku frá eldstöðvum að virkum vaxtarjaðri og getur verið lokuð eða opin. Meginvöxtur hraunsins fer fram við virka vaxtaraðra og í helluhraunum einkennist vöxturinn af myndun sepa og innrænu flæði undir kyrrstæðri og heilsteyptri skorpu, en í apalhraunum stjórnast vöxturinn af útrænu flæði þar sem mismunarennisli rífur í sundur seiga yfirborðskviku og myndar ósamfellda skorpu sem flyst fram með flæðandi hrauninu.



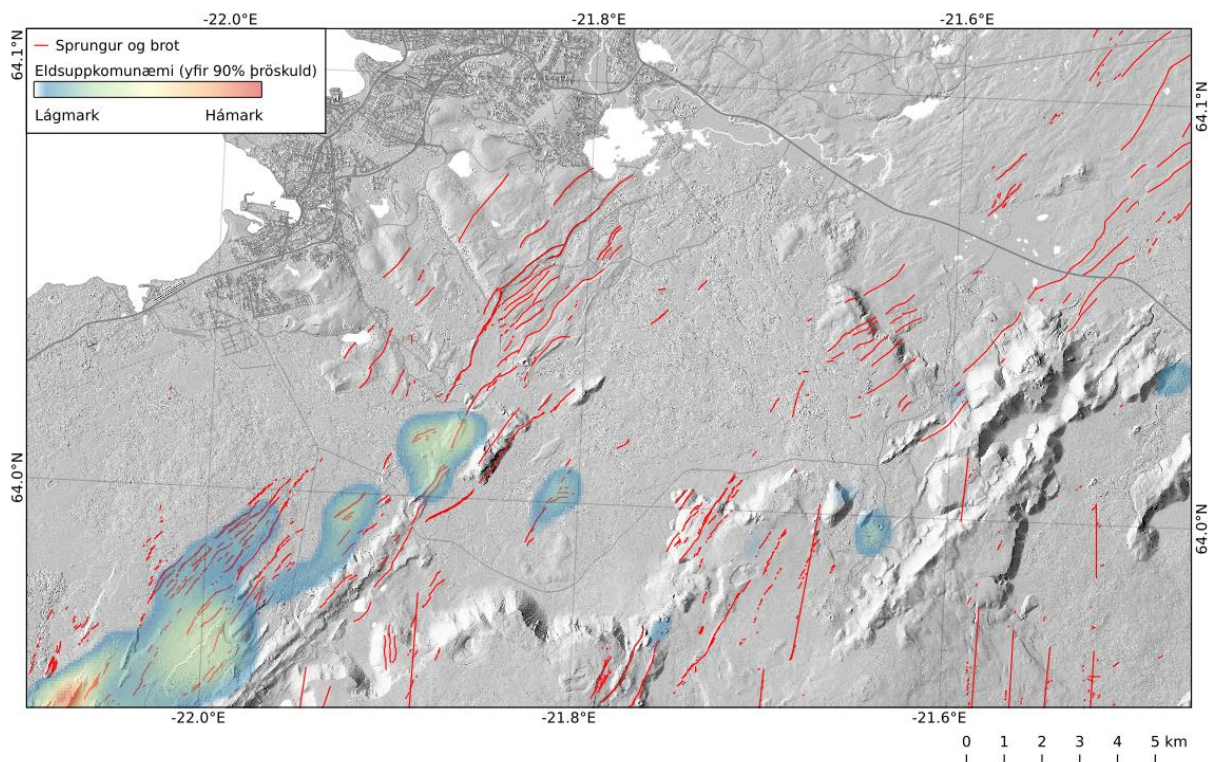
Hraun mótast af þremur megin byggingarþáttum. Aðfærslukerfið (1) sem veitir hrauni frá upptökum að vaxtarjöðrum (2) þar sem allur vöxtur hraunflóðsins fer fram. Þriðji þátturinn er svo sá hluti sem þegar er storknaður, sem á hverjum tíma er um það bil 40-70% af hraunbreiðunni. Aðfærslukerfi hrauna mynda samofið farvegakerfi sem tengir upptakagígana við vaxtarjaðrana hvar svo sem þeir eru í hrauninu. Aðfærslukerfið getur verið opið eða lokað. Hrauntröð er dæmi um opna rás, en innri hraunrásir (þ.e. hraunpípur/hraunhellar) eru lokaðar rásir. Aðgreining í lokað og opið farvegakerfi er mikilvæg vegna þess að það er mikill munur á varmabúskap þeirra. Í lokaðri rás er varmatapið vel undir einni gráðu á hvern kílómetra, en í opinni rás er það á bilinu tíu til yfir 100 gráður á hvern kílómetra. Varmafræðilegir útreikningar sýna, að það er mjög auðvelt fyrir hraun að mynda nokkur hundruð kílómetra langar innrænar/lokaðar rásir við mjög hóflega framleiðni, á meðan lengd opinna rása takmarkast við nokkra kílómetra við sömu skilyrði.

Framleiðnin, sér í lagi í upphafi goss, ræður mestu um hversu hratt hraun flæðir yfir landið, og í gosum þar sem framleiðnin er á bilinu 50-1000 rúmmetrar á sekúndu hefur rennslis hraðinn mælt á bilinu 30-70 km á klukkustund (t.d. Þorvaldur Þórðarson, 2013). Slíkt rennsli myndar yfirleitt apalhraun. Apalhraun tapa varma mjög hratt og flæða því aldrei langt. Lengstu apalhraun á Íslandi eru innan við 15 km. Þegar dregur úr framleiðninni, breytast skilyrðin þannig að helluhraun myndast. Aðfærslukerfið einangrast og innrænn vöxtur (þ.e. uppbelging hrauns) verður ráðandi. Þannig myndast kjöraðstæður fyrir myndun langra hrauna. Öll lengstu hraun Íslands eru helluhraun og það lengsta er um 140 km (Elsa Vilmundardóttir, 1977). Einangrað flutningskerfi getur flutt kviku um tugkílómetra veg, frá upptökum að vaxtarjöðrum, á tiltölulega skömmum tíma því flæðið í innri hraunrásunum er oft um 10-30 km á klukkustund. Innrænn vöxtur getur leitt til fimm- til tíuföldunar á þykkt einstakra helluhraunsepa og því tiltölulega auðvelt fyrir slík hraun að byggja sig yfir hindranir sem eru nokkrir metrar á hæð (Þorvaldur Þórðarson, 2013).



## Hraunflæðilíkur á fyrirhuguðu línusvæði

Við mat á hraunflæði og líkum á hvert hraun muni helst fara komi til eldgosanna innan Krýsuvíkur- og Bláfjallakerfisins er notast við eldsuppkomunæmi greiningu í grunnin. Eldsuppkomunæmið ræður úrslitum um hvar eldgos verði, komi til eldgoss í náninni framtíð. Þannig tekst okkur að takmarka umbrotasvæðið og forðast mannlega þáttinn í að velja framtíðar eldgosum stað. Við þetta mat miðum við við miðgildi næmigreiningarinnar og því nýtum við okkur ekki öll svæði sem koma fram í aðalgreiningu og takmörkum það flatarmál innan hvers eldgosin eiga sér stað, mynd 6 og 14.



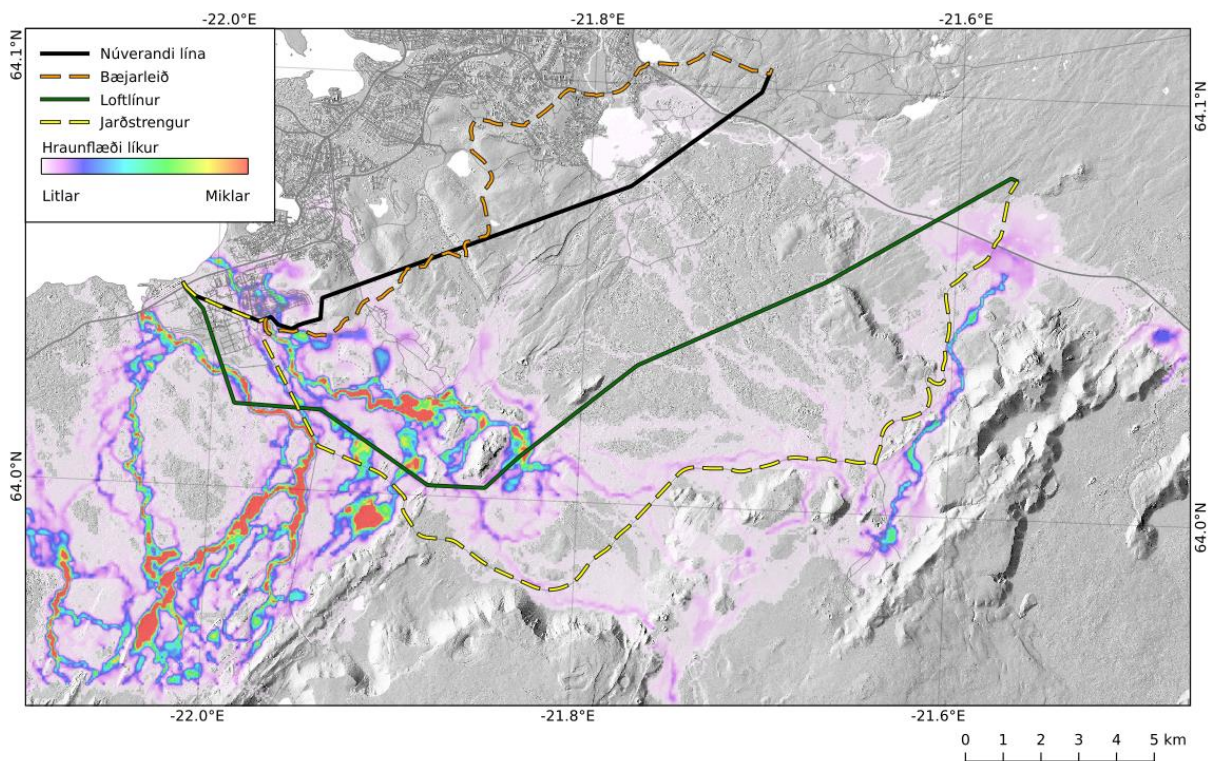
Mynd 14: Eldsuppkomunæmi á fyrirhuguðum línusvæðum. Miðað við mynd 4 hefur kortið verið einfaldað. Við hraunflæði líkinda reikninga tókum við bara tillit til þeirra svæða er komast yfir 90% þröskuld í eldsuppkomunæmi. Þau svæði er notuð voru við hraungosa hermun eru því ekki eins víðfeðm og á mynd 4. Innan þessara svæða er látið gjósa í reglulegu reitakerfi með 500 metra á milli gosopa. Hvert gosop er látið gjósa 1500 sinnum. Við vægireikninga hrauna og mat á endanlegri útkomu fá gígopin gildi í samræmi við eldsuppkomunæmið.

Á mynd 14 kemur fram að líklegustu svæði miðað við miðgildið eru innan Krýsuvíkurkerfisins, svæðin innan norður hluta Bláfjallakerfisins eru smærri að flatarmáli, við Draugahlíðar, Þríhnúka, Stóra Kóngsfell, Bláfjöll og norð-austur af Rauðhnúkum.

Við hraunflæði hermun er notast við kerfi Volcanbox (Marti et al 2020) en það er samsett úr mismunandi lausnum við mat á eldfjalla áhættu og leiðum til að nálgast þær. Volcanbox vinnur í GIS umhverfi og niðurstöður hermunar reiknaðar með PDF (probability density function) til greiningar á líkindum. Við hermun á hraunflæði notum við „Qlavha“ og keyrum innan þess hraunhermilíkanið „Flowgo“, en það tekur



tillit til storknunar hrauns á meðan að það rennur og ákvarðar þar með hversu langt hraunið getur runnið frá upptökum (Marti 2017, Mossoux et al. 2016, Harris og Rowland, 2001).



Mynd 15: Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 12. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku 300m<sup>3</sup>/s. Hraunhermun stoppar þegar hraun er orðið of kalt til að renna, eða það kemst ekki áfram sökum landslags. Hraunhermun dregur fram helstu leiðir sem hraun gætu runnið frá upptökum.

Uppsetning tilraunarinnar verður að standast tölfræðilega nálgun við hermun. Við þessa hermun er sett út net með gígum á 500 m millibili innan þeirra svæða sem sýnd eru á mynd 13. Gígar sem gjósa innan svæðanna fá mikilvægis gildi við tölfræði útreikninga samkvæmt niðurstöðum eldsuppkomunæmis. Hvert eldgos hefur útstreymi er nemur 300 m<sup>3</sup>/s (meðal stórt íslenskt eldgos). Hraun rennur frá gígopi eftir hæðargrunni byggðum á ArcDEM frá Landmælingum Íslands. Í hverju gígopi er látið gjósa 1500 sinnum, það tryggir tölfræðileg gildi greiningar. Hraun renna frá gígopi með hitastigið 1150°C, seigju uppá 100 Pas. Í upphafi er hraunið með 10% kristalla. Þegar hraunið hættir að geta runnið stoppar hver hermun. Hraunið getur stoppa af þrem orsökum; 1: vegna þess að það kólnar og verður of stíft til að renna, 2: það rennur í dældir sem það kemst ekki upp úr og 3: það kemur í sjó. Í landslagi leitar hraunið leiða með að skoða nærliggjandi myndflögu og streymir til þeirrar er hefur lægri gildi. Renni hraun í dæld, hefur það tvo möguleika til að koma sér upp úr henni; 1: leitar í allt að fjögurra myndflaga fjarlægð eftir lægra gildi, ef það finnst getur hraun haldið áfram að renna þangað, 2: getur aukið gildi á myndflögu sem það er í, um 20m, ef það dugir til að komast upp úr dæld heldur hraunið áfram. Í hverri keyrslu getur hraunið einungis notað annan möguleika af tveim til að koma sér úr hverri dæld, valið er slembival. Seigja stjórnar rennslisraða og kólnun stjórnar seigju, á endanum verður hraun of seigt til að renna og hermun hættir



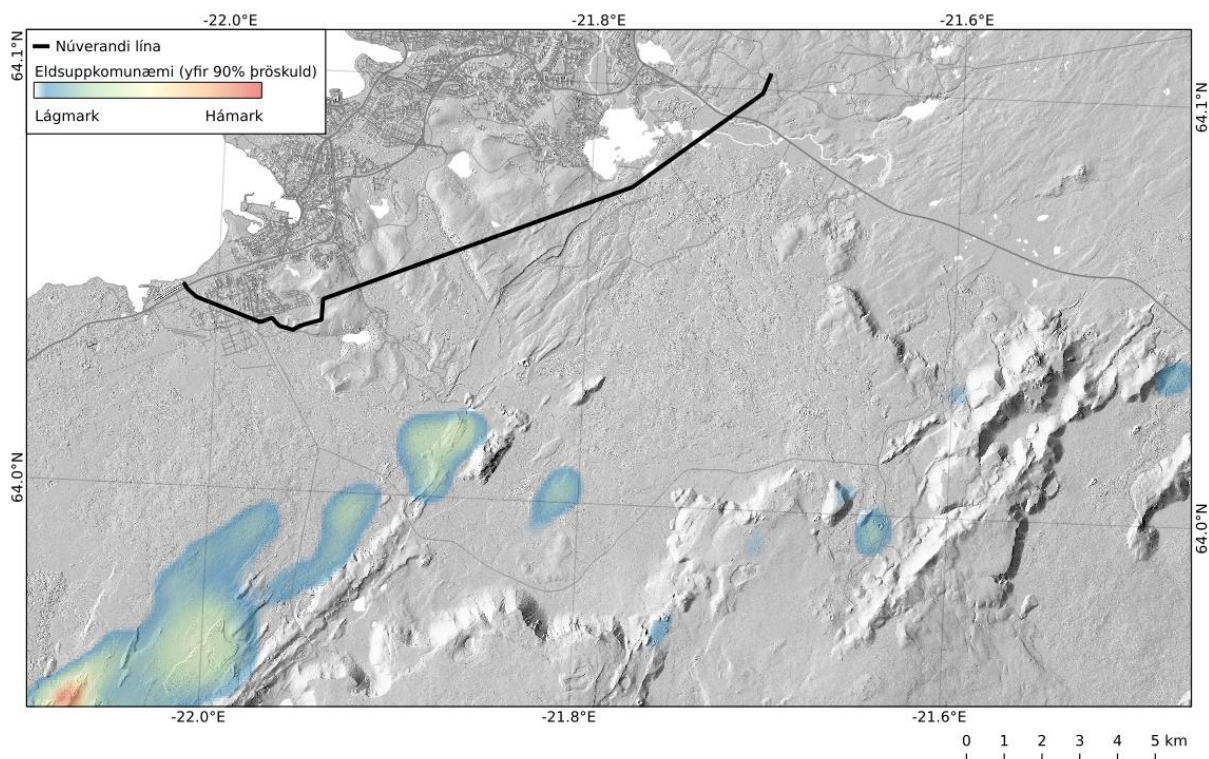
(Marti 2017 og Harris og Rowland 2001, Mossoux et al. 2016). Við mat á líkum hvert hraun fer, eru niðurstöður hermunar taldar fyrir hverja myndflögu. Líkur eru svo reiknaðar út frá því hversu oft hver myndflaga tekur við hrauni. Framsetning á myndum (mynd 15) er byggð á líkinda reikningi heildar hermunar. Því dekkri sem myndflögurnar verða þeim mun líklegri er að hraun fari þar um. Hafa ber í huga þegar niðurstöður eru skoðaðar, að ekki er verið að líkja eftir einu einstöku hrauni eða einstöku eldgosi. Þar sem við vitum ekki nákvæmlega hvar eldsupptök verða, látum við gjósa innan flatarmáls einingar. Niðurstöður myndar 14 er afleiðing um það bil 180 þúsund eldgosa í um 120 gígum. Tilgangur greiningarinnar er að sjá hvert hraun leita helst miðað við bestu landupplýsingar sem við höfum af svæðinu. Hermun dregur því fram helstu hraunrásir sem líklega munu myndast í framtíðar eldgosi á svæðinu. Hraunrásirnar sem sjást á mynd 14 draga til sín hraun frá flestum svæðum sem gýs á í hermum. Þar af leiðir að þar sem hraunrás myndast í hermum er áhætta á hraunflæði mikil og því æskilegt að meta kosti og afskriftar tíma mannvirkja á slíkum svæðum með tilliti til áhættunnar. Mynd 14 sýnir einnig að utan hraunrása falla líkindi á því að land hyljist hrauni hratt. Það þýðir að meta þarf hvort að mannvirki af þeirri gerð sem um er fjallað í þessari skýrslu séu betur sett utan hálíkinda svæði en innan. Miðað við þann gagnagrunn sem við notum hér geta nokkrir tugir metra skipt sköpun í hönnun mannvirkisins.

Þessi greiningar aðferð er byggir á langtíma eldsuppkomunæmi og hermum. Komi til atburða eins og gerðist veturinn 2021 á Reykjanesi, er langtímamatið endurkeyrt með þéttleikagreiningu á nýjum atburðum, það gefur okkur skammtíma mat á eldsuppkomu. Í þeim tilvikum bætum við inn gögnum sem gefa vísbendingu um hvar kvika leitar til yfirborðs, t.d. skjálftar og aflögun. Þá getum við þrengt svæðið til muna og byrjað að keyra skammtíma hermum sem verður nær raunveruleika í greiningu á skammtíma áhættusvæðum vegna hraunrennslis. Langtíma greiningin tekur til mun stærra flatarmáls og er því mun umfangsmeiri en skammtímagreiningin.



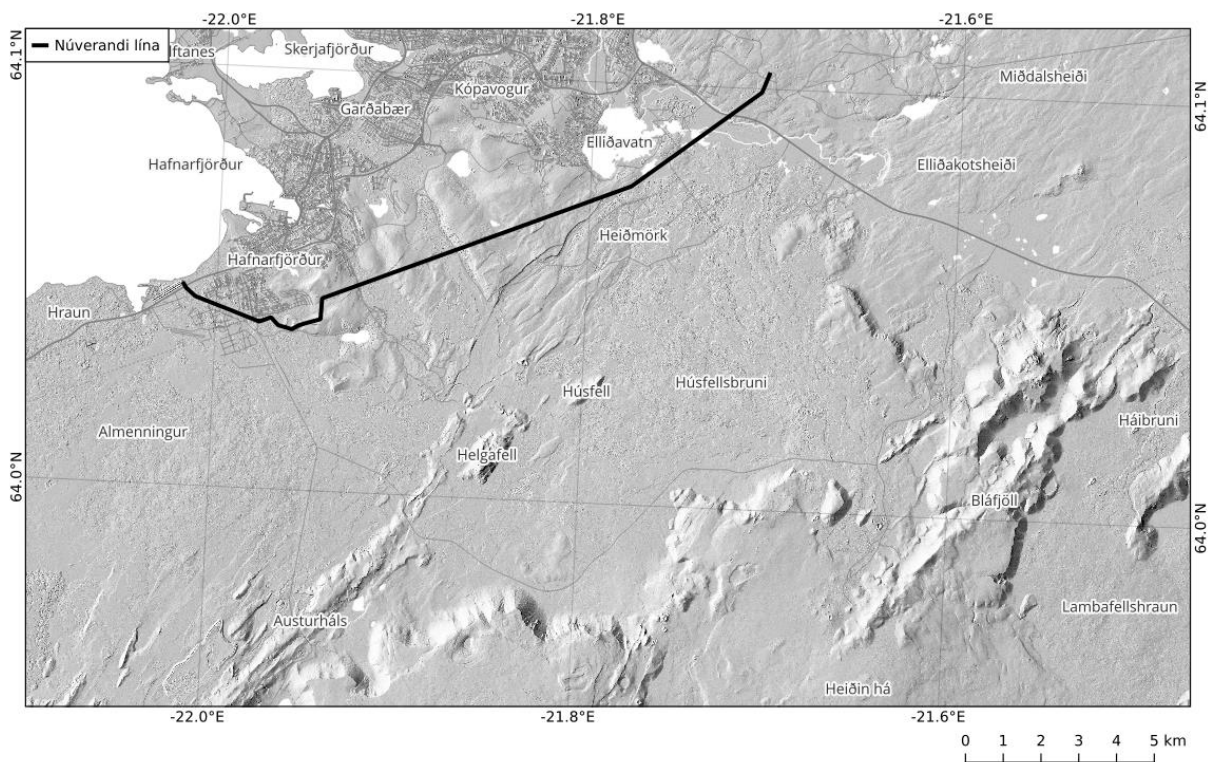
## Greining á línukostum miðað við hraunflæði greiningu

### Núverandi kostur

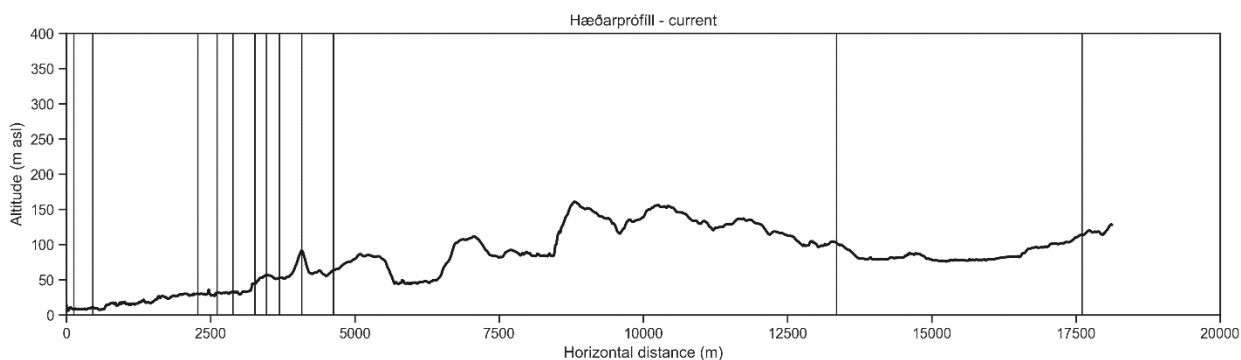


Mynd 16: Kort af línustæði núverandi loftlínu. Hér er eldsuppkomunæmi skoðað með tilliti til línustæðis núverandi línu. Líkur eru hverfandi á því að gosgígar eða gossprungur geti myndast á núverandi leið línunnar. Innan svæðanna sem koma fram munu gosgígar verða staðsettir í áframhaldandi hermun.

Halli lands frá þeim svæðum er koma fram í eldsuppkomunæmis greiningu, kemur til með að veita hraunflæði framtíðar frá þeim svæðum í átt til sjávar. Í þessari greiningu eru hraunrennslissvæðin uppruninn í eldsuppkomunæmum svæðum innan Krýsuvíkurerfis og Bláfjallakerfis. Samkvæmt greiningu er sá hluti núverandi línustæðisins sem liggur vestan Hjallanna í engri hættu vegna eldsuppkomu, þ.e. nær engar líkur eru á því að gígar eða sprungur komi til með að opnast á leið línunnar (mynd 16).



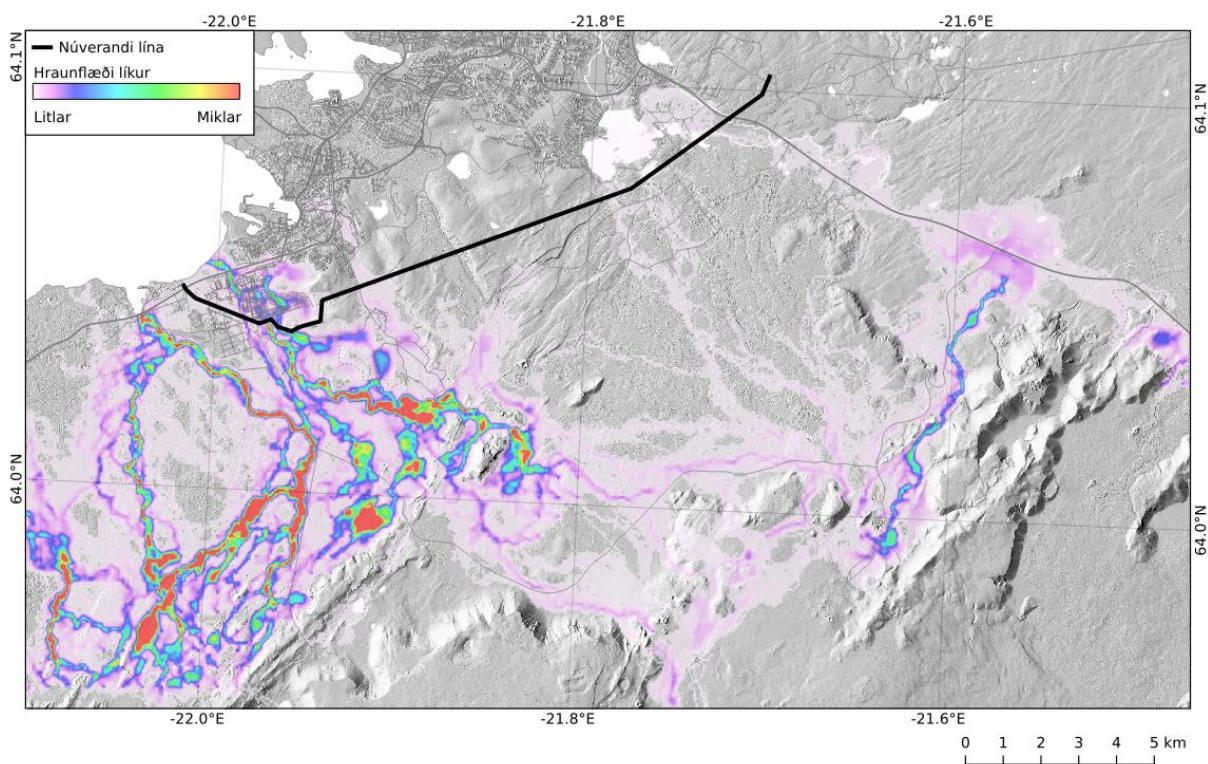
Mynd 17: Núverandi lína sett yfir skuggakort, en skuggakortið gefur til kynna það landslag sem línan fer yfir.



Mynd 18: Hæðarþversnið eftir línustæði núverandi loftlínu. Lægðir í landslagi eru kjör aðstæður fyrir hraunelfur. Svartar heilar línur gefa til kynna stefnubreytingu á línu. Þversnið er dregið frá Hafnarfirði (vinstra megin myndar) til Hólmsheiðar (hægri mörk myndar)

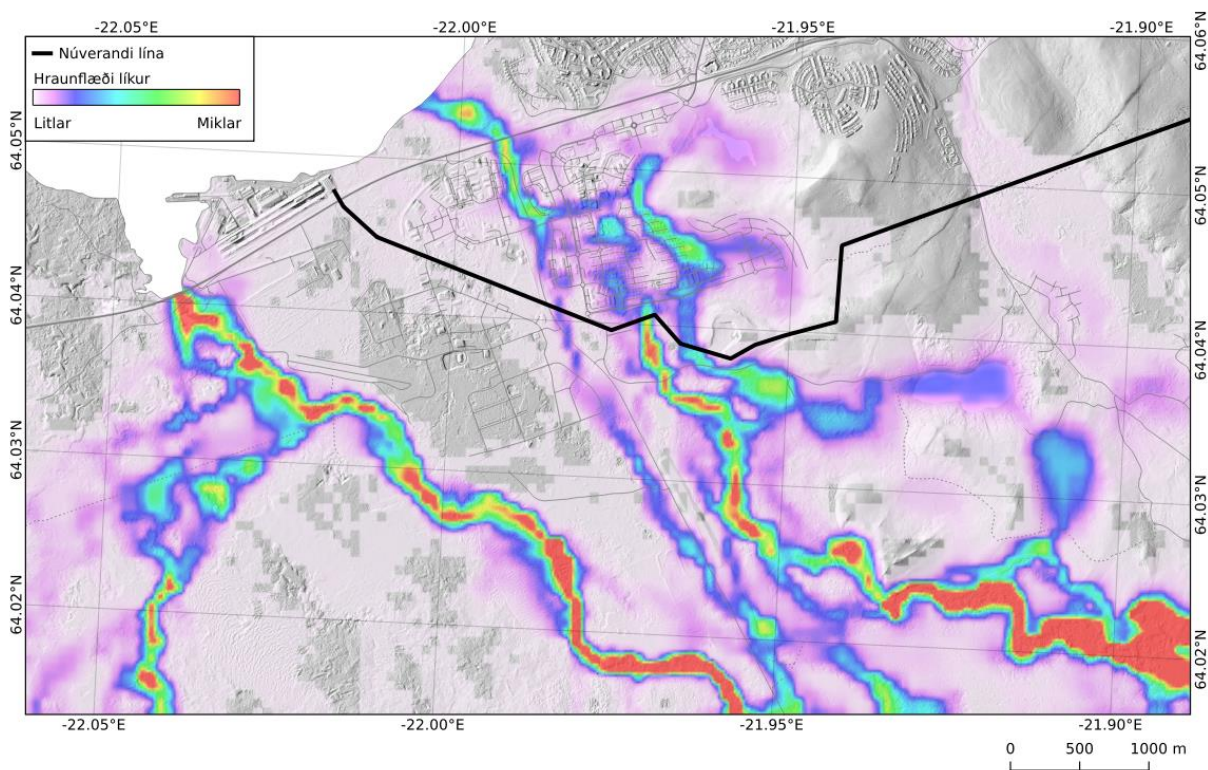
Landslag sem lína liggur um gefur hugmynd um hvar eru veik svæði með tilliti til flæðandi efna eins og hrauns. Á mynd 16 og 17 er greint landslag er línan liggur um. Á mynd 17 er hæðarþversnið dregið eftir núverandi línustæði. Lægðir í hæðarþversniði eru þau svæði þar sem hraun mun fyrst nálgast fyrirhugað línustæði.





Mynd 19: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til núverandi loftlínu. Þeim mun dekkri sem liturinn verður á hraunþekju kortsins, því líklegri er að hraun geti farið um það land. Samkvæmt þessari greiningu eru mestar líkur á að hraun leiti til sjávar um Helgafell og niður rás Óbrennishólabruna. Því er línustæði viðkvæmt þar sem það fer um Vallarhverfið í Hafnarfirði. Taka skal tillit til þess að þessar niðurstöður eru mat á líkum. Við útreikninga er notast við þúsundireldgosa á mismunandi svæðum, kortið sýnir því ekki raunhermun eins einstaks eldgoss.

Þegar niðurstaða hraunhermunar er borin saman við núverandi línustæði (mynd 18) er ljóst að núverandi línustæði ber lítil ógn af hraunrennsli á svæðinu frá Hólmsheiði að Bleiksteinshálsi í Hafnarfirði. Hinsvegar er svæðið frá Ásafjalli að spennustöð við Ásvallabraut mjög líklegt til að fara undir hraun í næstu umbrotahrinu í Krýsuvíkur-, Bláfjallakerfunum (mynd 18). Nærmynd af svæðinu vestan Ásvallabrautar sýnir að miklar líkur eru á myndun hraunrásar á tveim stöðum, aðrir tveir möguleikar koma fram, en eru síður líklegir (mynd 19).

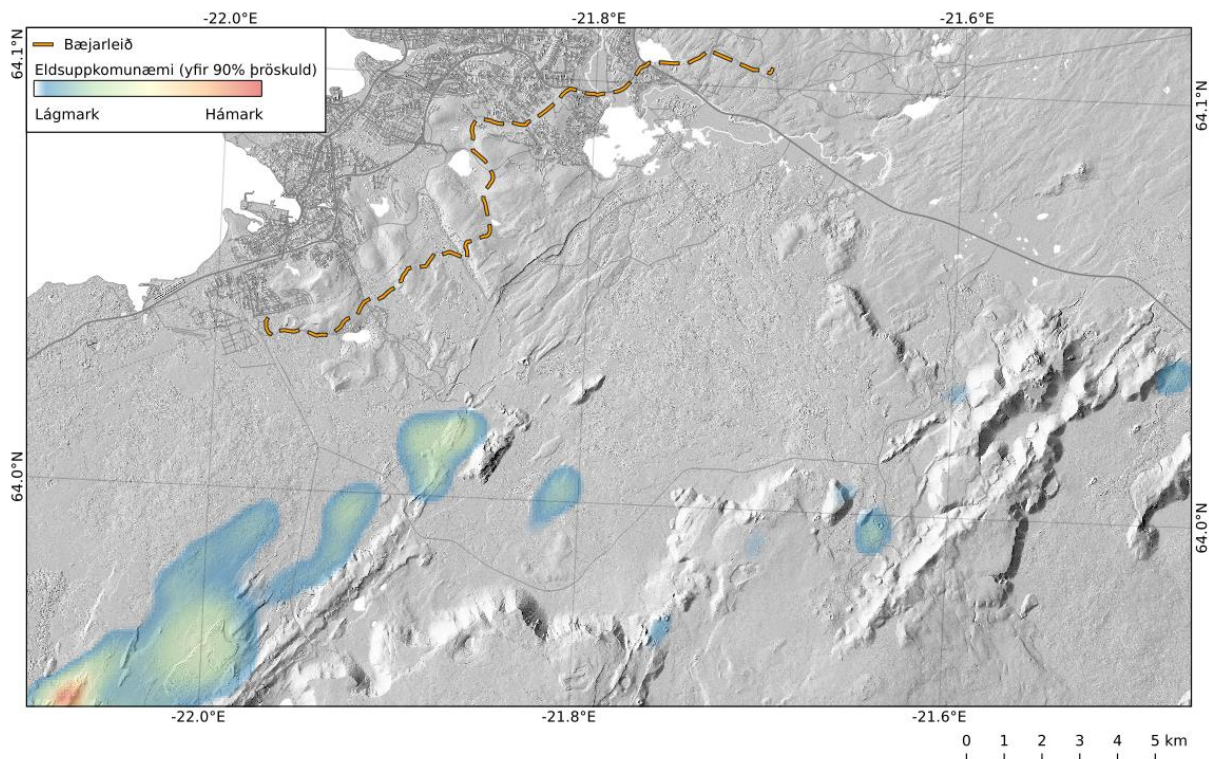


Mynd 20: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til núverandi loftlínu. Nærmynd af aðal áhættu svæði línunnar. Eins og sjá má er spennustöð við Ásvallabraut á svæði sem er á mjög viðkvæmum stað hvað varðar hraunflæðis greininguna.

Þegar nærmynd af svæðinu milli Helgafells og endastöðvar línunnar er skoðað (mynd 20), kemur fram að þegar línan kemur niður af Ásfjalli fer hún yfir þrjár megin hraunelfur er myndast við hermun. Greining eins og sett er fram á mynd 20 gefur mjög skýra mynd af því hvar hraun muni helst fara um í framtíðar eldsumbrotum í Krýsuvíkur- og Bláfjallakerfunum.

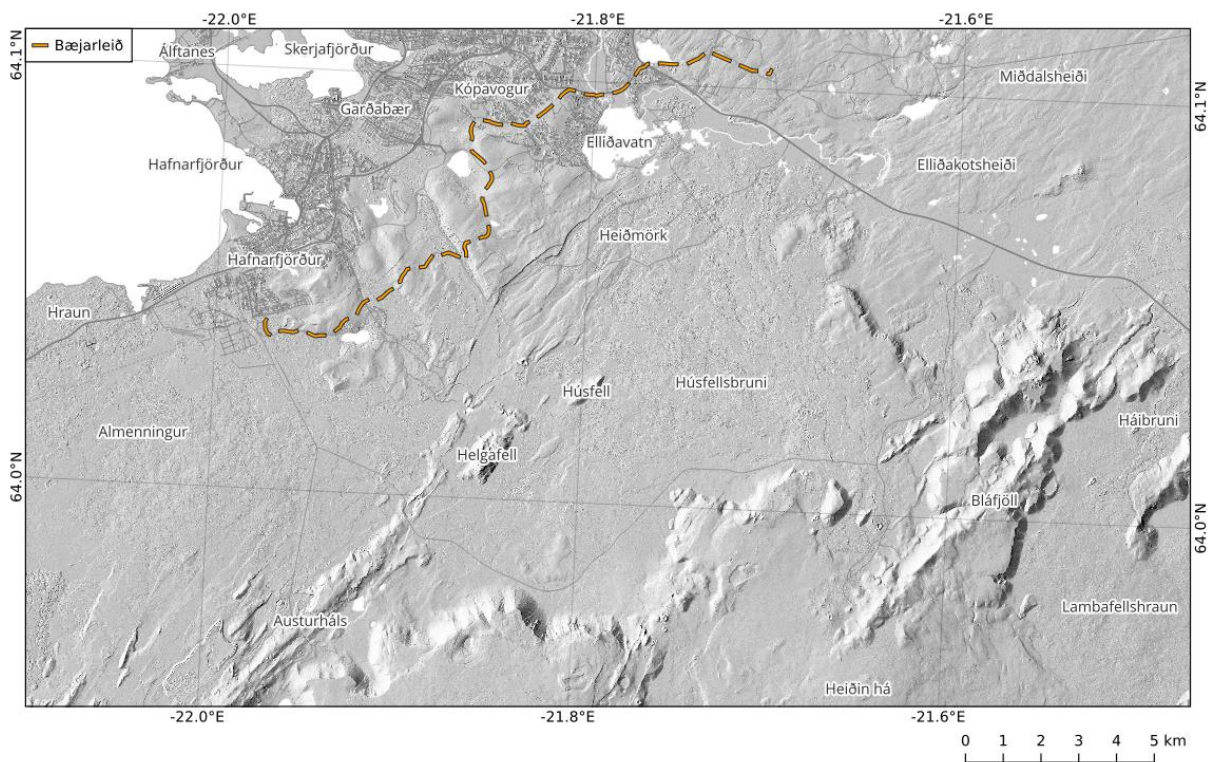


## Bæjarleið

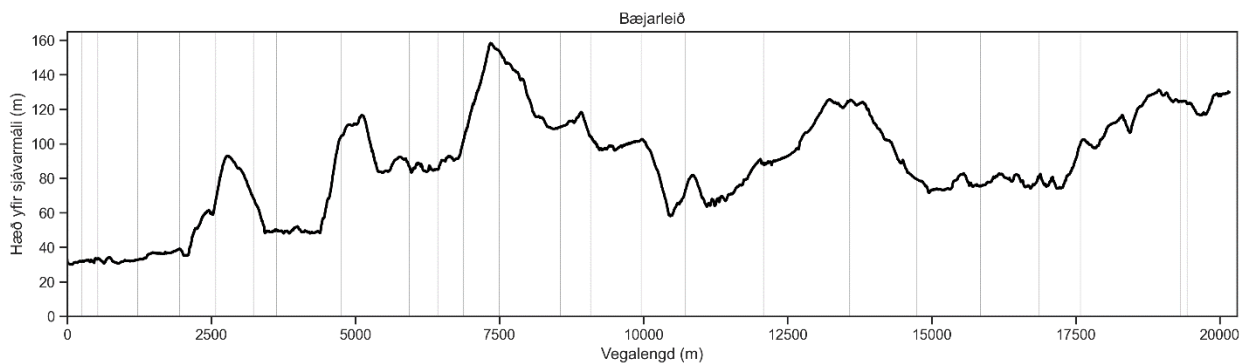


Mynd 21: Kort af línustæði valkosti Bæjarleiðar. Hér er eldsuppkomunæmi skoðað með tilliti til Bæjarleiðar. Líkur eru hverfandi á því að gosgígur eða gossprungur geti myndast á valkosti Bæjarleiðar. Innan svæðanna sem koma fram munu gosgígur verða staðsettir í áframhaldandi hermun

Halli lands frá þeim svæðum er koma fram í eldsuppkomunæmis greiningu, kemur til með að veita hraunflæði framtíðar frá þeim svæðum í átt til sjávar. Í þessari greiningu eru hraunrennissvæðin upprunnin í eldsuppkomunæmum svæðum innan Krýsuvíkurerfis og Bláfjallakerfis. Samkvæmt greiningu er sá hluti lands sem valkostur Bæjarleiðar fer um í engri hættu vegna eldsuppkomu, þ.e. nær engar líkur eru á því að gígur eða sprungur komi til með að opnast á leið línunnar (mynd 21).

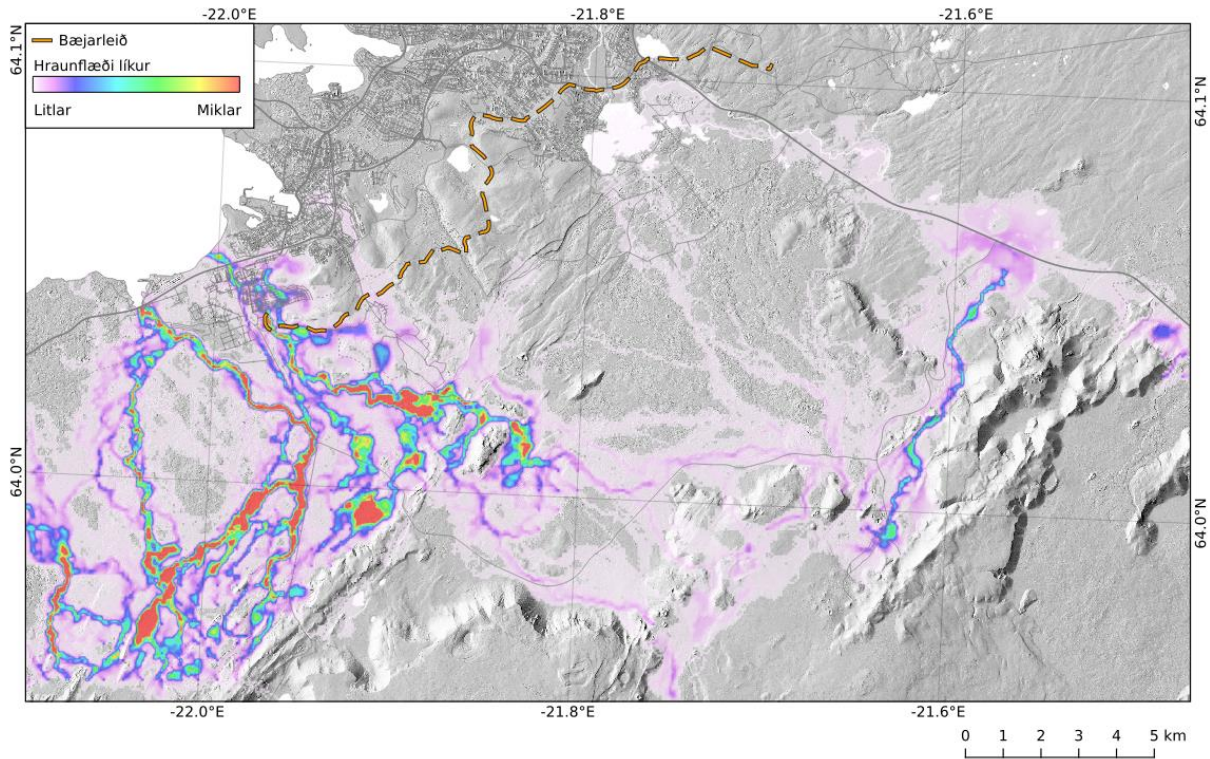


Mynd 22: Valkostur Bæjarleið sett yfir skuggakort, en skuggakortið gefur til kynna það landslag sem línan fer yfir.



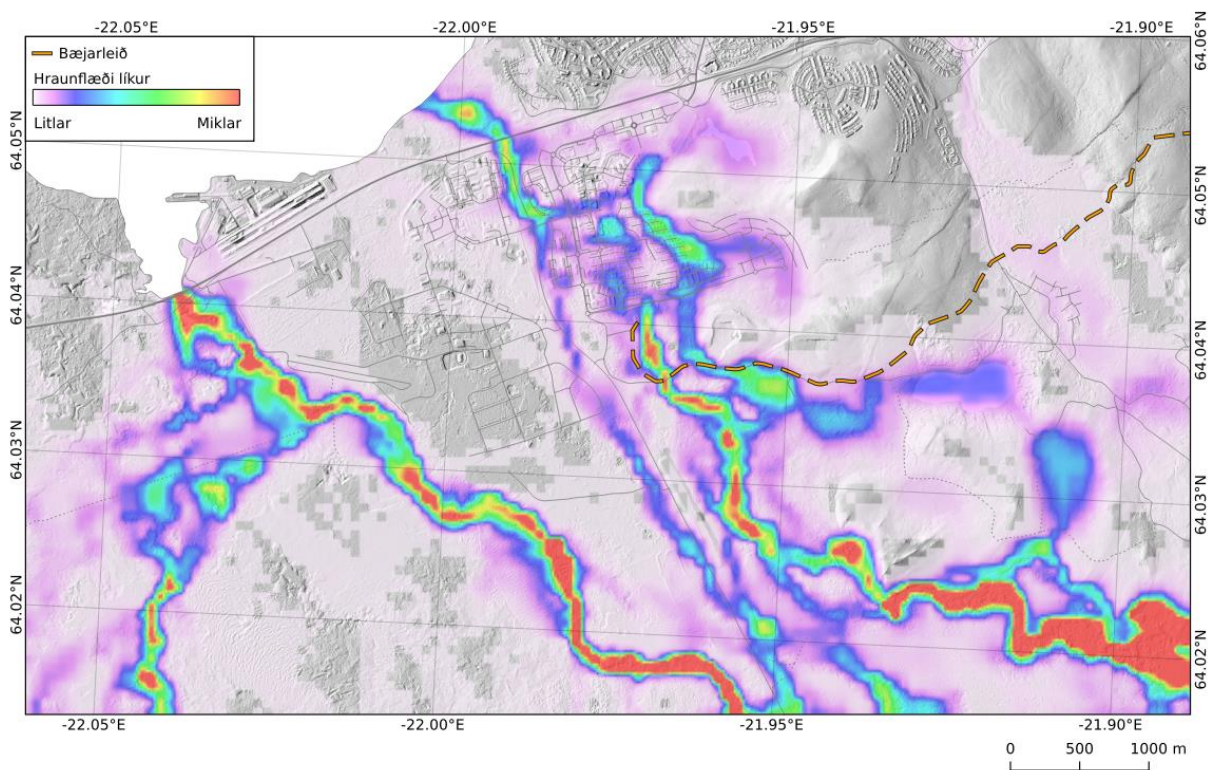
Mynd 23: Hæðarþversnið eftir línustæði Bæjarleiðar valkosta. Lægðir í landslagi eru kjör aðstæður fyrir hraunelfur. Svartar heilar línur gefa til kynna stefnubreytingu á línu. Þversnið er dregið frá Hafnarfirði (vinstra megin myndar) til Hólmsheiðar (hægri mörk myndar)

Landslag sem lína liggur um gefur hugmynd um hvar eru veik svæði með tilliti til flæðandi efna eins og hrauns. Á mynd 22 og 23 er greint landslag er línan liggur um. Á mynd 23 er hæðarþversnið dregið eftir núverandi línustæði. Lægðir í hæðarþversniði eru þau svæði þar sem hraun mun fyrst nálgast fyrirhugað línustæði.



Mynd 24: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til valkost Bæjarleið. Þeim mun dekkri sem liturinn verður á hraunþekju kortsins, því líklegra er að hraun geti farið um það land. Samkvæmt þessari greiningu eru mestar líkur á að hraun leiti til sjávar um Helgafell og niður rás Óbrennishólabruna. Því er línustæði Bæjarleiðar viðkvæmt þar sem það fer um Vallarhverfið í Hafnarfirði. Taka skal tillit til þess að þessar niðurstöður eru mat á líkum. Við útreikninga er notast við þúsundir eldgosa á mismunandi svæðum, kortið sýnir því ekki raunhermun eins einstaks eldgoss.

Þegar niðurstaða hraunhermunar er borin saman við valkost Bæjarleiðar (mynd 24) er ljóst að Bæjarleið ber lítil ógn af hraunrennsli á svæðinu frá Hólmsheiði að Ásfjalli í Hafnarfirði. Hinsvegar er svæðið frá Ásafjalli að spennustöð við Ásvallabraut mjög líklegt til að fara undir hraun í næstu umbrotahrinu í Krýsuvíkur-, Bláfjallakerfunum (mynd 24). Nærmynd af svæðinu vestan Ásvallabrautar sýnir að miklar líkur eru á myndun hraunrása á tveim stöðum, aðrir tveir möguleikar koma fram, en eru síður líklegir (mynd 25).

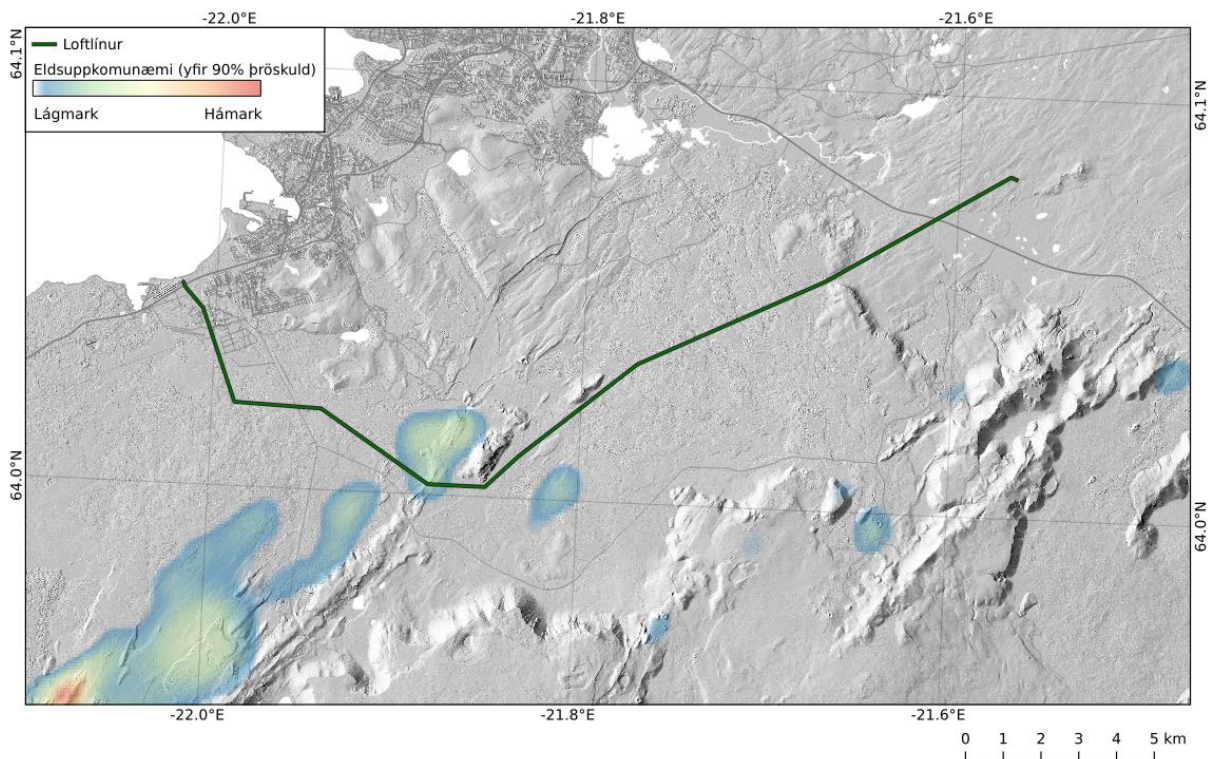


Mynd 25: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til valkosta Bæjarleið. Nærmynd af aðal áhættu svæði línunnar. Eins og sjá má er spennustöð við Ásvallabraut á svæði sem er á mjög viðkvæmum stað hvað varðar hraunflæðis greininguna.

Þegar nærmynd af svæðinu milli ásfjalls og endastöðvar línunnar er skoðað (mynd 25), kemur fram að línan þverar tvær hraunelfur og liggur jafnframt ofan í elfunum á köflum. Ef lína liggur eftir hraunelfu eru meiri líkur hitaáhrifum hrauns. Greining eins og sett er fram á mynd 25 gefur mjög skýra mynd af því hvar hraun muni helst fara um í framtíðar eldsumbrotum í Krýsuvíkur- og Bláfjallakerfunum.

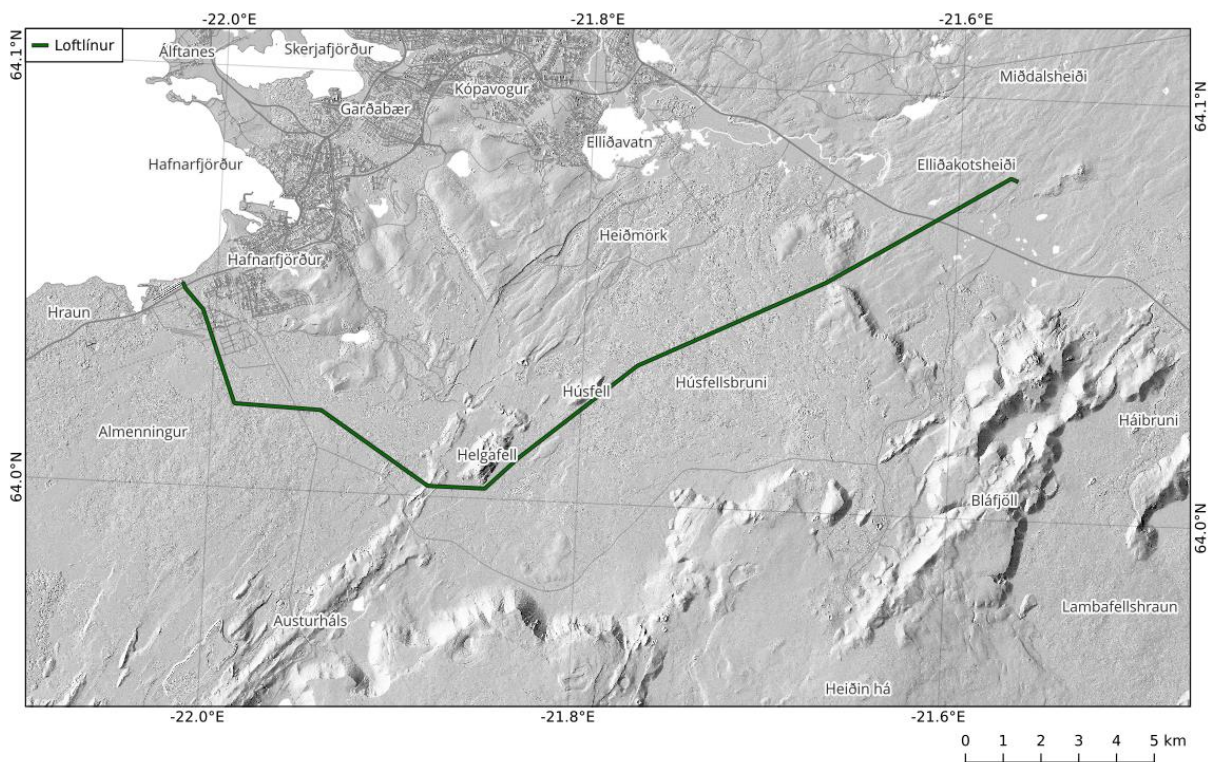


## Ný loftlína

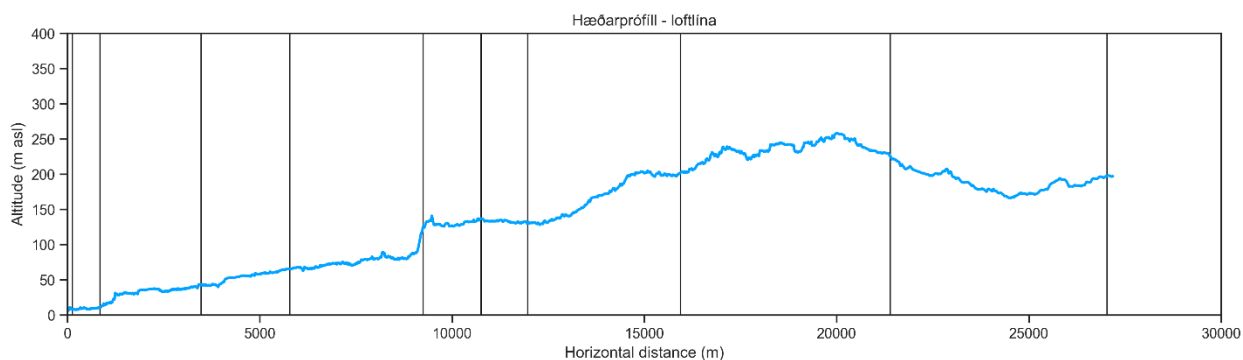


Mynd 26: Kort af fyrirhuguðu stæði nýrrar loftlínu samhliða Búrfellslínu 3, þar sem eldsuppkomunæmi er sett saman. Samkvæmt þessu mati er líklegt að gígar eða gossprungur geti myndast á línustæðinu vestanverðu, nánar tiltekið vestan Helgafells.

Halli lands frá þeim svæðum er koma fram í eldsuppkomunæmis greiningu, kemur til með að veita hraunflæði framtíðar frá þeim svæðum í átt til sjávar. Í þessari greiningu eru hraunrennissvæðin uppruninn í eldsuppkomunæmum svæðum innan Krýsuvíkurkerfis og Bláfjallakerfis. Samkvæmt greiningu er sá hluti nýrrar loftlínu sem liggur frá Lyklafelli að Helgafelli í lítilli sem engri hættu vegna eldsuppkomu, þ.e. nær engar líkur eru á því að gígar eða sprungur komi til með að opnast á þessari leið línunnar (mynd 26). Við Helgafell tekur línan stefnu til Hafnarfjarðar um Gvendarselshæð og niður Óbrennishólubruna. Þegar lína þverar Krýsuvíkurkerfið er ekki hægt að útiloka að gígar eða gossprungur muni opnast á línustæði. Raunar eru allmiklar líkur á því að gígar eða gossprungur muni opnast á um 1 km kafla þar sem lína fer hér um. Frá Óbrennishólum og til Hafnarfjarðar eru líkur á gíg eða gossprungu í línustæði nær engar (mynd 26).



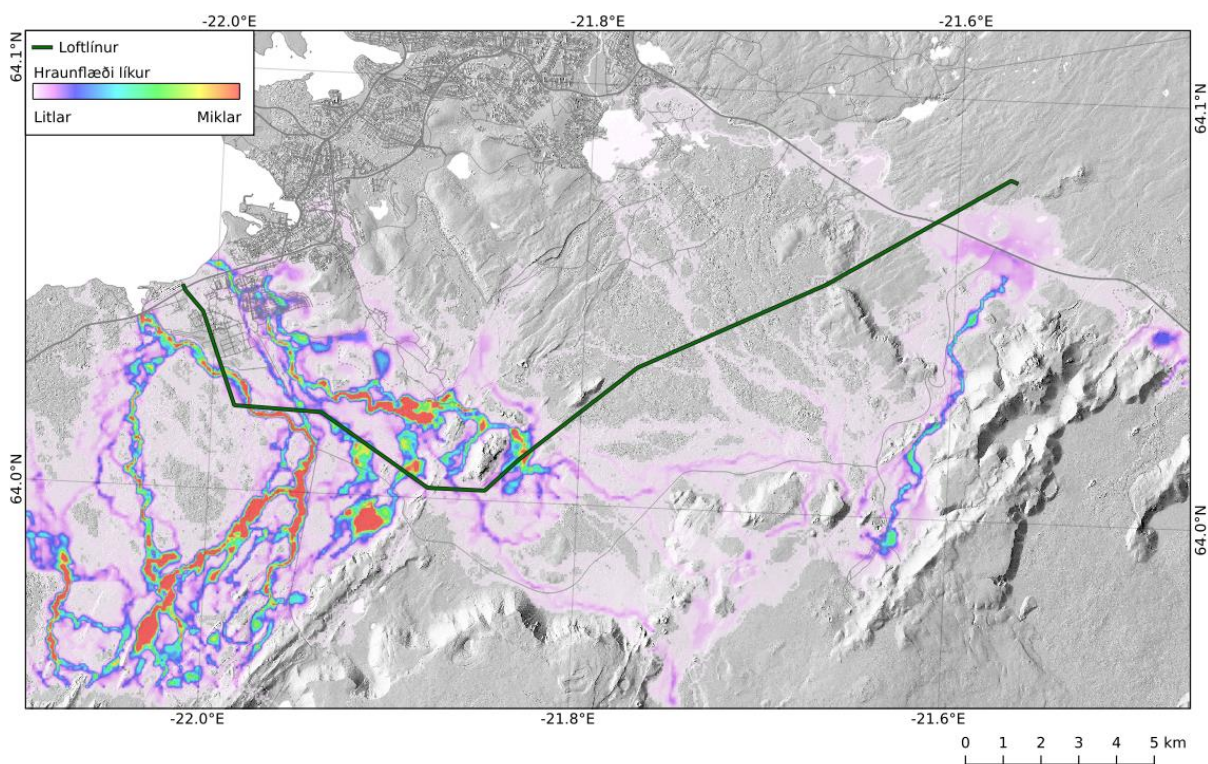
Mynd 27: Línustæði nýrrar loftlínu samsíða Búrfellslínu 3, sett ofan á skuggakort. Kortið gefur til kynna landslag sem línan fer um.



Mynd 28: Hæðarþversnið eftir stæði fyrirhugaðrar nýrrar loftlínu samsíða Búrfellslínu 3. Lægðir í hæðarþversniði eru þau svæði þar sem hraun mun fyrst nálgast fyrirhugað línustæði. Svartar heilar línur gefa til kynna stefnubreytingar á línu. Hæðarþversnið er dregið frá Hafnarfirði (vinstra megin) að Lyklafelli (hægra megin).

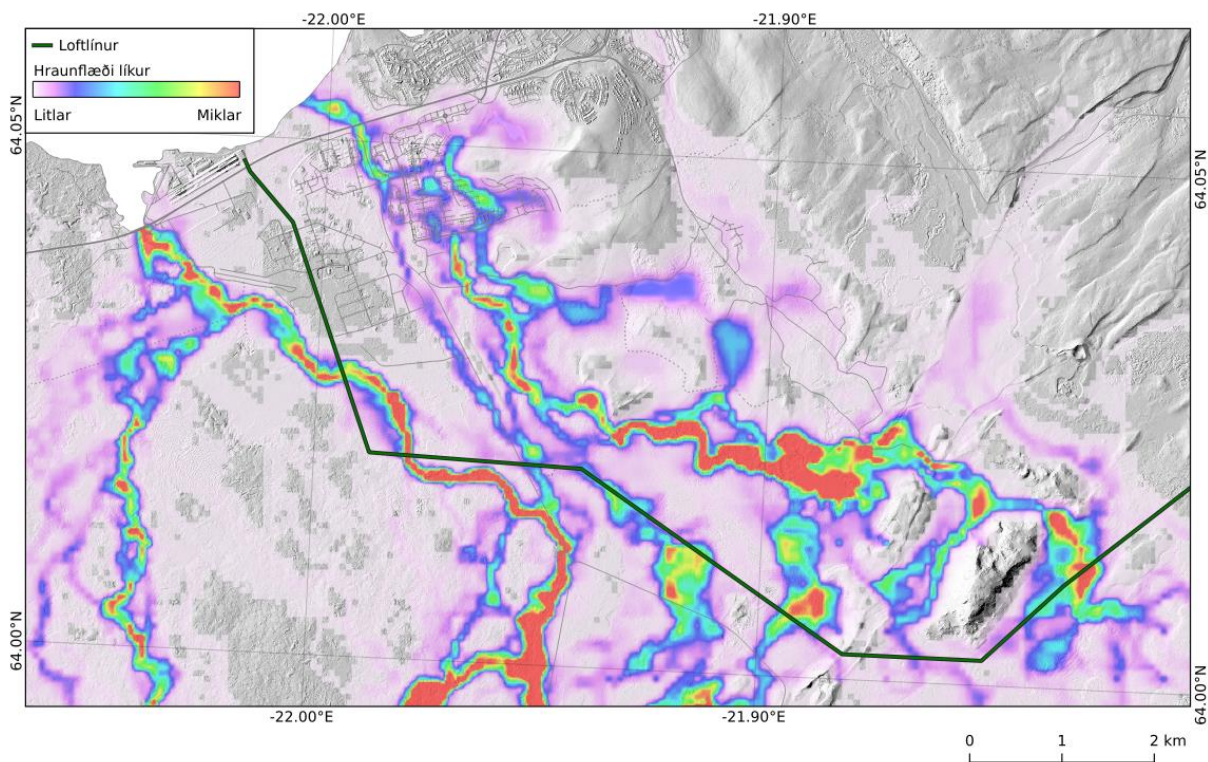
Landslag, um hvert nýrri loftlínu er áætlað að liggja, gefur hugmynd um hvar eru veik svæði með tilliti til flæðandi efna eins og hrauna. Á mynd 27 og 28 er greint landslag er ný lína mun liggja um. Á mynd 28 er hæðarþversnið dregið eftir fyrirhuguðu línustæði nýrrar línu. Lægðir í hæðarþversniði eru þau svæði þar sem hraun mun fyrst nálgast umræddan línuvalkost.





Mynd 29: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til valkost nýrrar loftlínu samsíða Búrfellslínu 3. Þeim mun dekkri sem liturinn verður á kortinu því líklegri er að hraun fari um það svæði í næstu umbrotahrinu. Loftlínan fer í gegnum mjög viðkvæm svæði við Helgafell og síðan niður eftir Óbrennishólabruna. Samkvæmt þessari greiningu eru mestar líkur á að hraun leiti til sjávar um Helgafell og niður rás Óbrennishólabruna. Ennfremur gæti hraun safnast fyrir á Sandskeiðs svæðinu komi til eldgosa innan Bláfjallakerfisins. Taka skal tillit til þess að þessar niðurstöður eru mat á líkum. Við útreikninga er notast við þúsundir eldgosa á mismunandi svæðum, kortið sýnir því ekki raunhermun eins einstaks eldgoss.

Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til áætlaðan nýjan loftlínu valkost, samsíða Búrfellslínu 3, eru settar fram á mynd 29. Samkvæmt þessari greiningu er töluverðar líkur á því að hraun safnast fyrir á Sandskeiðs svæðinu, komi til eldgosa í Bláfjallakerfinu. Hinsvegar er línustæðið frá Lyklafelli að Húsafelli á lág áhættusvæði. Þegar kemur að Helgafelli og allt til Hafnarfjarðar liggur línan um svæði sem eru mjög líklega til að mynda hraunrásir og bolla. Svæðið sunnan Helgafells tekur við hraunstraumum úr Bláfjallakerfinu. Miklar líkur eru til þess að hraun hlaðist upp í hrauntjarnir norð-austan við Helgafell.

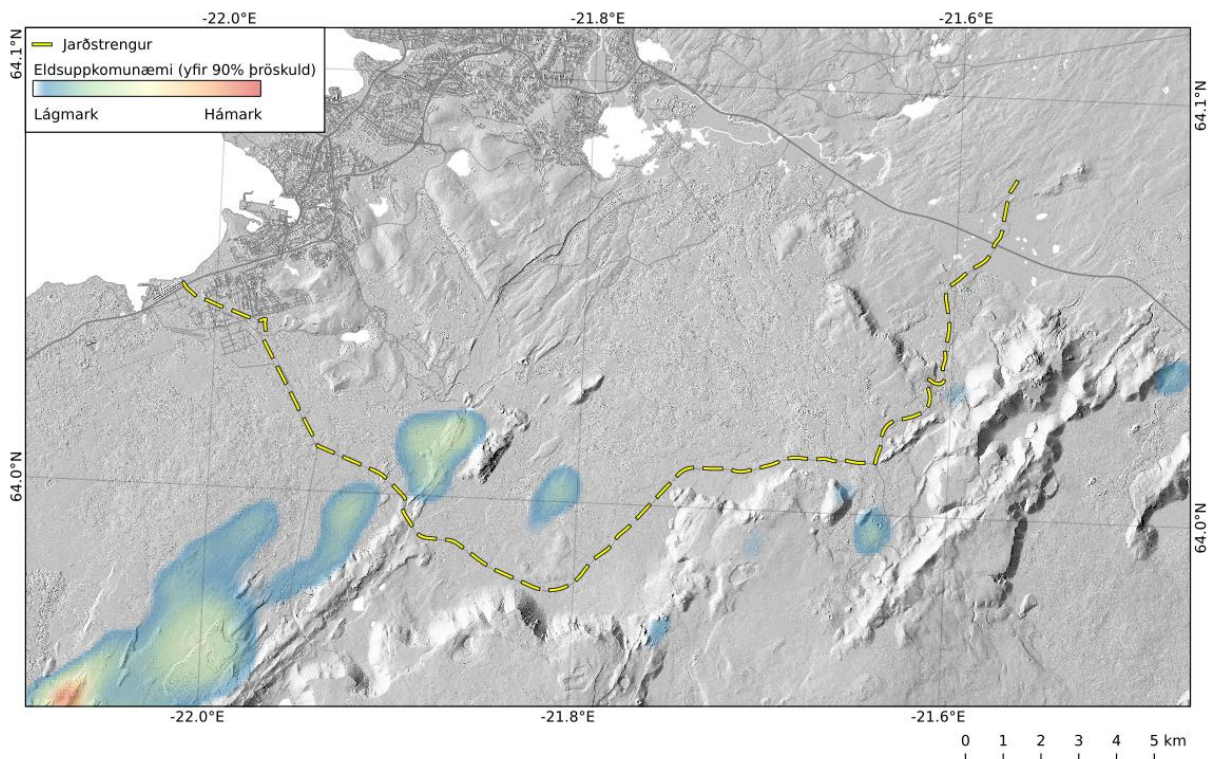


Mynd 30. Nærmynd af svæðinu frá Helgafelli um Gvendarselshæð og norður til sjávar um Óbrennishólalabruna. Myndin dregur vel fram þau viðkvæmu svæði er nýr loftlínu valkostur er fyrirhugaður á. Rétt er að taka fram að eins og línan er dregin, þverar hún sjö sinnum líklegar hraunrásir. Jafnframt liggur línan eftir einni af hraunrásunum á um 1.5 km kafla.

Þegar nærmynd af svæðinu milli Helgafells og endastöðvar línunnar er skoðað (mynd 30), má ætla að fyrirhuguðu línustæði mætti breyta með tilliti til þess að hún fari sem sjaldnast yfir líklegar hraunrásir. Greining eins og sett er fram á mynd 230 gefur mjög skýra mynd af því hvar hraun muni helst fara um í framtíðar eldsumbrotum í Krýsuvík- og Bláfjallakerfunum.

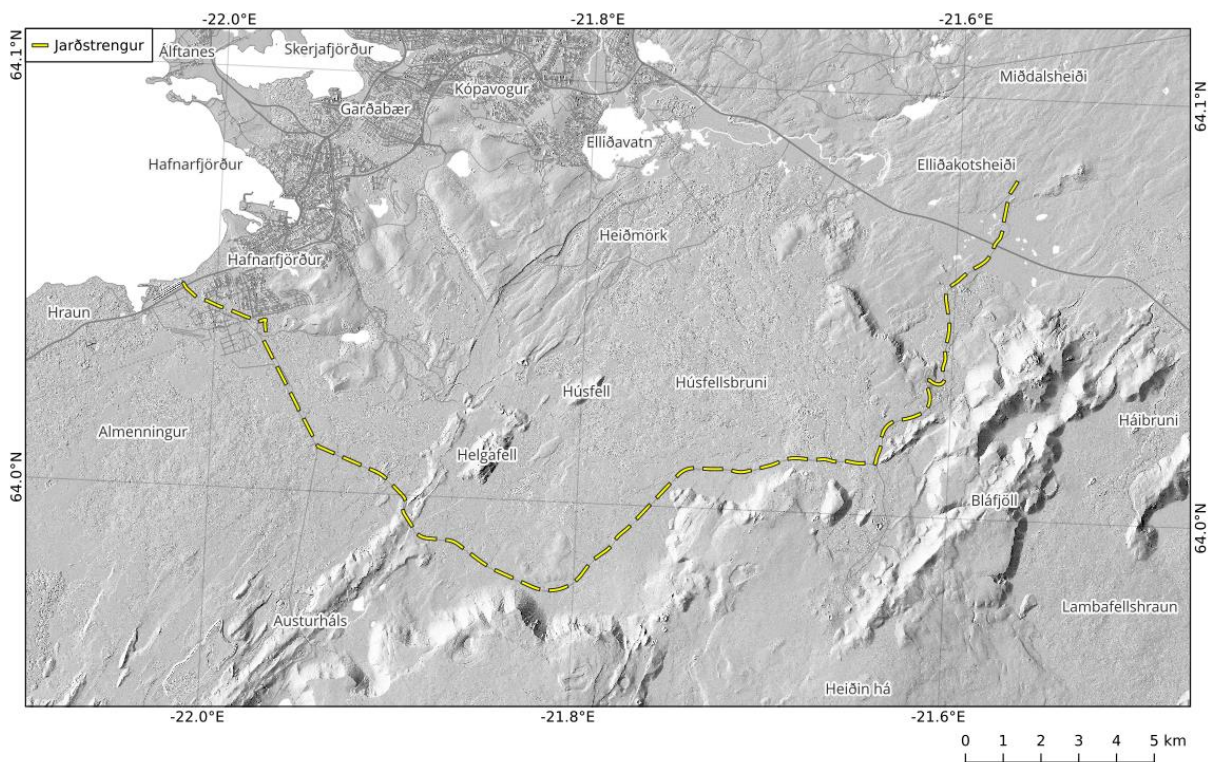


## Jarðstrengur

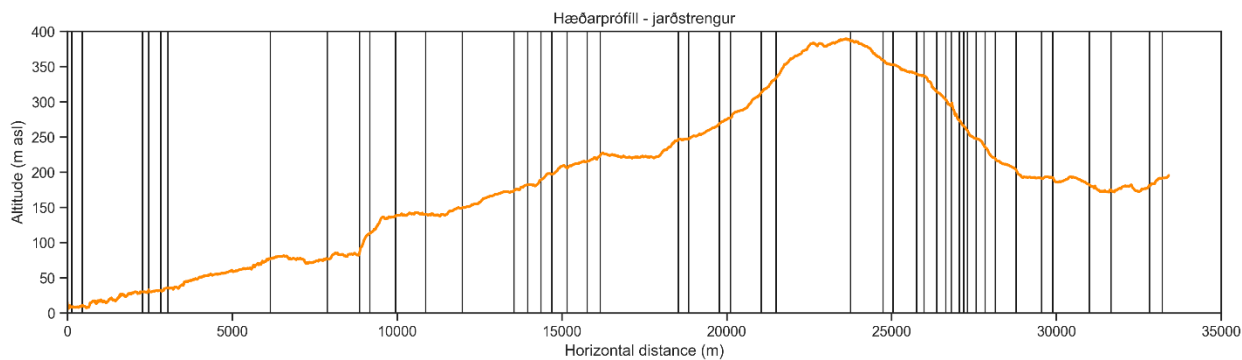


Mynd 31: Kort af jarðstrengs valkost meðfram Bláfjallavegi, þar sem eldsuppkomunæmi er sett saman. Jarðstrengur liggur utan í svæðum við bláfjöll hvar gígar og gossprungur gætu opnast. Hann fer síðan um skarðið við Gvendarselshæð, nærri Helgafelli.

Halli lands frá þeim svæðum er koma fram í eldsuppkomunæmis greiningu, kemur til með að veita hraunflæði framtíðar frá þeim svæðum í átt til sjávar. Í þessari greiningu eru hraunrennissvæðin uppruninn í eldsuppkomunæmum svæðum innan Krýsuvíkurkerfis og Bláfjallakerfis. Samkvæmt greiningu er sá hluti jarðstrengs sem liggur frá Lyklafelli að Rauðuhnúkum í lítilli sem engri hættu vegna eldsuppkomu, þ.e. nær engar líkur eru á því að gígar eða gossprungur komi til með að opnast á þessari leið línunnar (mynd 31). Við Rauðuhnúka aukast líkur á eldsuppkomu. Frá Rauðuhnúkum að Gvendarselshálsi eru litlar sem engar líkur á því að gígar eða gossprungur opnast á línustæði. Þegar lína þverar Krýsuvíkurkerfið, við Gvendarselshæð, er ekki hægt að útiloka að gígar eða gossprungur muni opnast á línustæði. Frá Óbrennishólum og til Hafnafjarðar eru líkur á gíg eða gossprungu í línustæði nær engar (mynd 31).

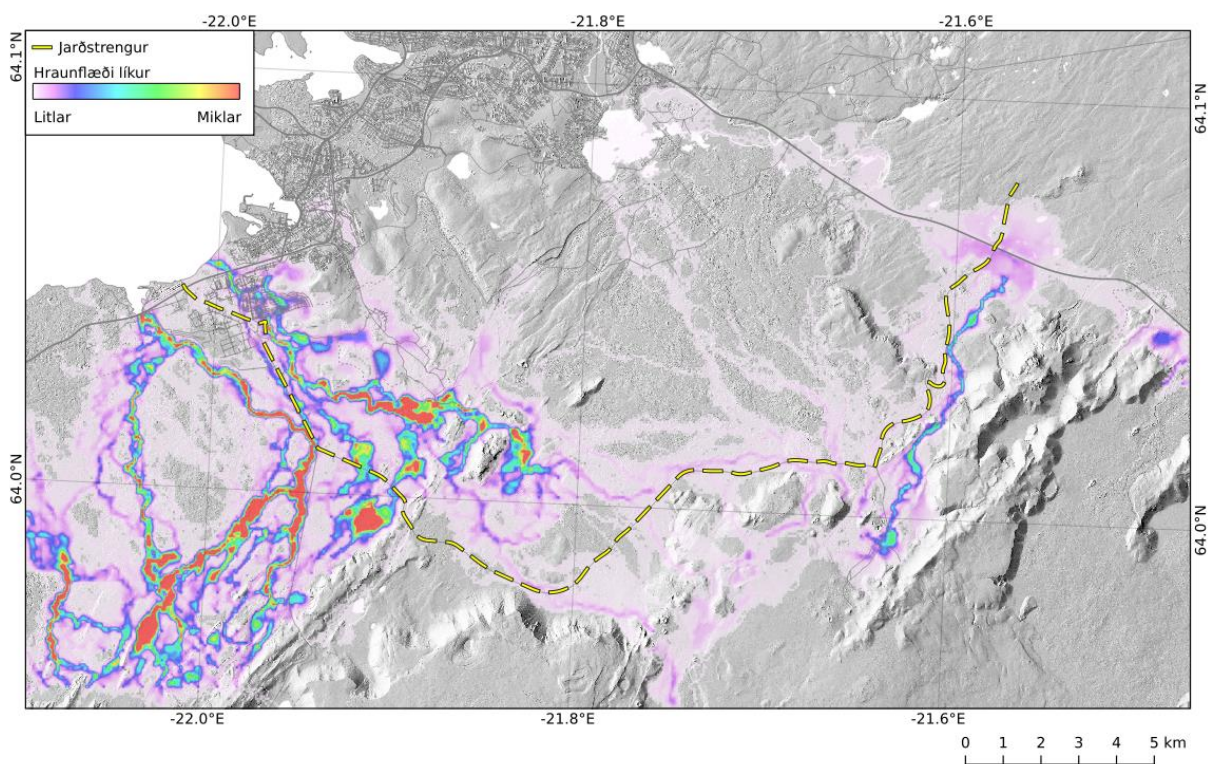


Mynd 32: Jarðstrengsvalkostur meðfram Bláfjallavegi lagður ofan á skuggakort. Gefur góða yfirsýn yfir það landslag sem strengurinn fer um.



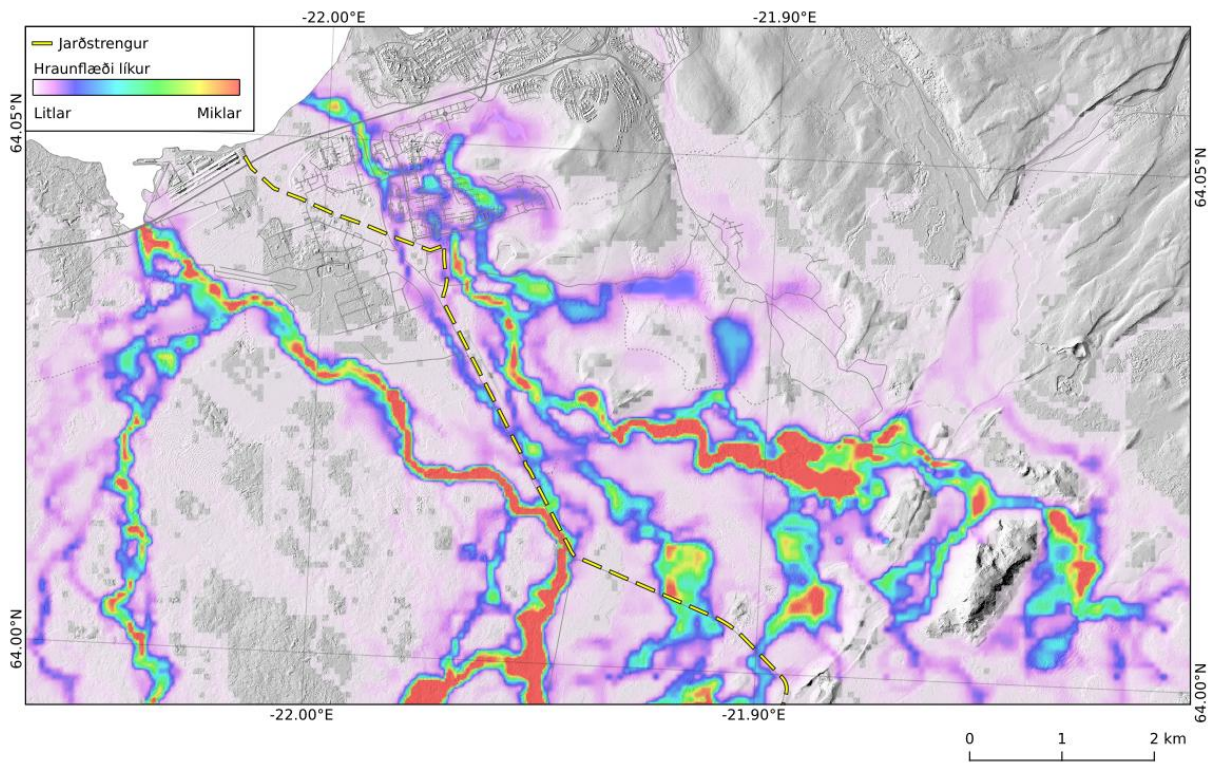
Mynd 33: Hæðarþversnið eftir línustæði jarðstrengsvalkosta meðfram Bláfjallavegi. Strengurinn fer hæðst í landslagi við Stóra Kóngsfell og Rauðuhnúka. Hæðarþversnið er dregið frá Hafnarfirði (vinstri megin) að Lyklafelli (hægra megin)

Landslag sem áætlað er að jarðstrengur liggi um gefur hugmynd um hvar eru veik svæði með tilliti til flæðandi efna eins og hrauna. Á mynd 32 og 33 er greint landslag er jarðstrengur mun liggja um. Á mynd 33 er hæðarþversnið dregið eftir fyrirhuguðu línustæði nýrrar línu. Lægðir í hæðarþversniði eru þau svæði þar sem hraun mun fyrst nálgast fyrirhugað línustæði.



Mynd 34: Niðurstöður hraunhermunar með tilliti til jarðstrengsvalkosta meðfram Bláfjallavegi. Þeim mun dekkri sem liturinn verður á kortinu því líklegri er að hraunelfa geti myndast. Loftlínan fer í gegnum mjög viðkvæm svæði við Helgafell og síðan niður eftir Óbrennishólalbruna. Samkvæmt þessari greiningu eru mestar líkur á að hraun leiti til sjávar um Helgafell og niður rás Óbrennishólalbruna. Taka skal tillit til þess að þessar niðurstöður eru mat á líkum. Við útreikninga er notast við þúsundir eldgosa á mismunandi svæðum, kortið sýnir því ekki raunhermun eins einstaks eldgoss.

Niðurstöður hraunhermana með tilliti til jarðstrengs eru settar fram á mynd 28. Jarðstrengurinn liggur frá Lyklafelli meðfram Bláfjallavegi að spennuvirki við Ásvallabraut í Hafnarfirði. Á þessari leið þverar strengurinn allt að 16 sinnum megin hraunrásir. Nær alla leið liggur strengurinn innan líklegra hraunflæðisvæða. Mestar eru líkur á að hann fari undir hraun frá Bláfjallakerfinu á Sandskeiði, við Stóra Kóngsfell og undir Lönguhlíð. Kaflinn frá Lyklafelli að Undirhlíðum tekur við hraunum er upp koma á gossvæðum í norður hluta Bláfjallakerfis, því verður að teljast líklegt að strengurinn fari að hluta undir hraun í næstu umbrota hrinu þess kerfis. Frá Undirhlíðum og að spennuvirki við Ásvallabraut þverar strengurinn Krýsuvíkurkerfið og fylgir síðan Óbrennishólalbruna til Hafnarfjarðar. Öll eldgos er verða innan Krýsuvíkurkerfisins koma til með að beina hraunstraumum niður Óbrennishólalbruna í átt til sjávar. Greining gefur til kynna að nokkrar megin hraunrásir geti myndast hér (mynd 34). Ef svæðið frá Helgafelli að Ásvallabraut er skoðað nánar kemur í ljós að strengurinn liggur full nærri svæðum, hvar miklar líkur eru á að hraun rásir myndist, eða hraun hylji land (mynd 35). Greining gefur til kynna að mögulega sé smávægileg tilfærsla á legu strengs geti minnkað líkur á að hann fari undir hraun í næstu umbrotahrinu Krýsuvíkurkerfis eða Bláfjallakerfis, þar sem hraunið sem kemur hér niður getur komið úr báðum kerfum.

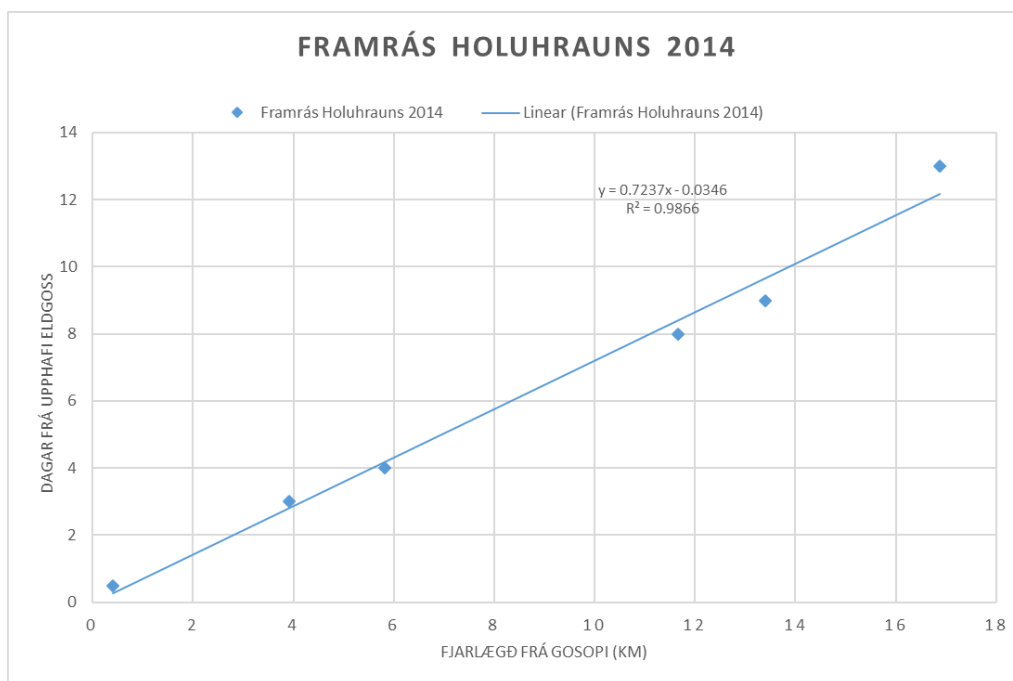


Mynd 35. Nærmynd af svæðinu frá Helgafelli-Undirhlíðum að Ásavallabraut. Eftir að jarðstrengur hefur þverað Krýsuvíkurkerfið, þverar hann þrjár megin hraunrásir. Að hluta liggur jarðstrengurinn eftir megin hraunrás, uns hann tengist spennuvirki, sem einnig er staðsett í hraunrás. Myndin sýnir líkur á hraunrásum og hraunflæði. Samkvæmt þessari greiningu þarf tiltölulega litla tilfærslu á streng til að koma honum á öruggari svæði.

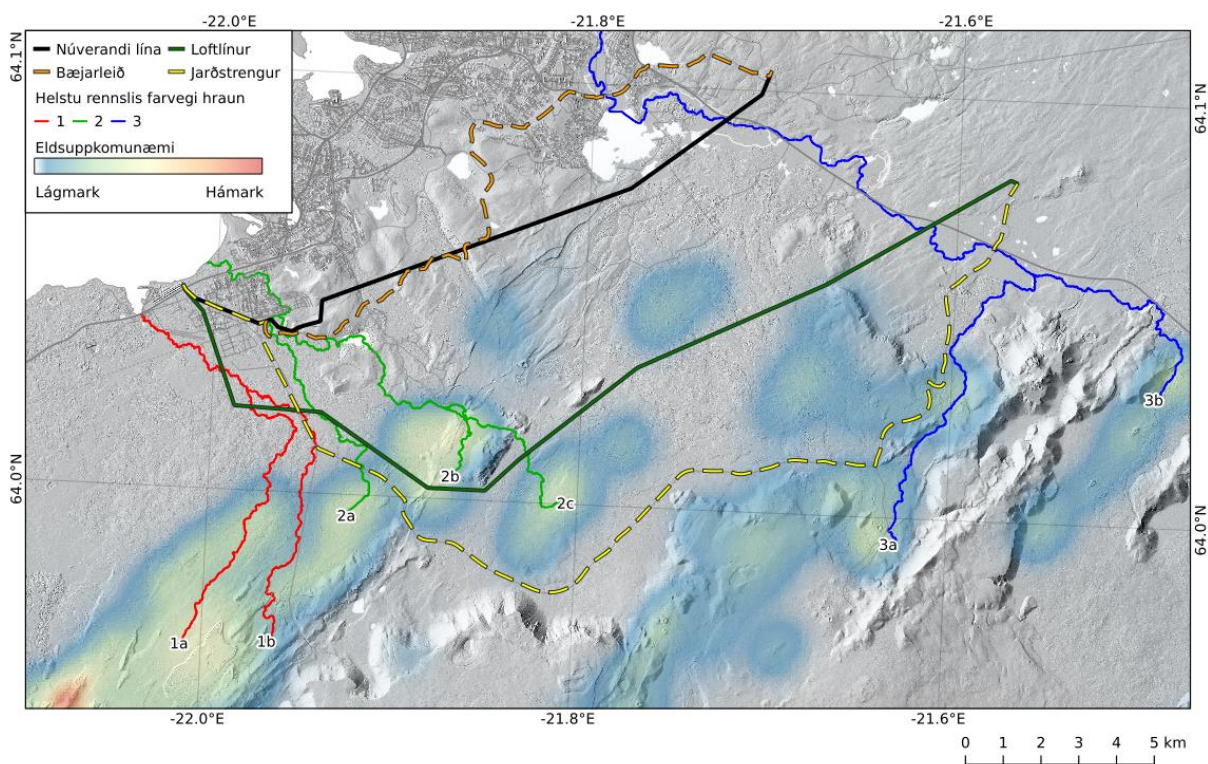


## Viðbragðstími (Hraunrennslisgreining)

Þar sem land á svæðinu í kringum fyrirhugað línustæði er tiltölulega flatt þá tekur mjög langan tíma að keyra hraunrennslismódel fyrir svæðið. Þess vegna notum við upplýsingar frá hraungosum á Íslandi sem viðmiðun um hve langan tíma það tekur hraunflóðið að ná að fyrirhuguðum línustæðum. Bestar upplýsingar um framrás hraunflæðis í upphafi atburðar er frá Holuhraunsgosinu 2014-15 (mynd 36). Þessi greining gefur til kynna meðalhraða flæðis í upphafi goss upp á 40-160 m/klst eða um 1-4 km á sólarhring.



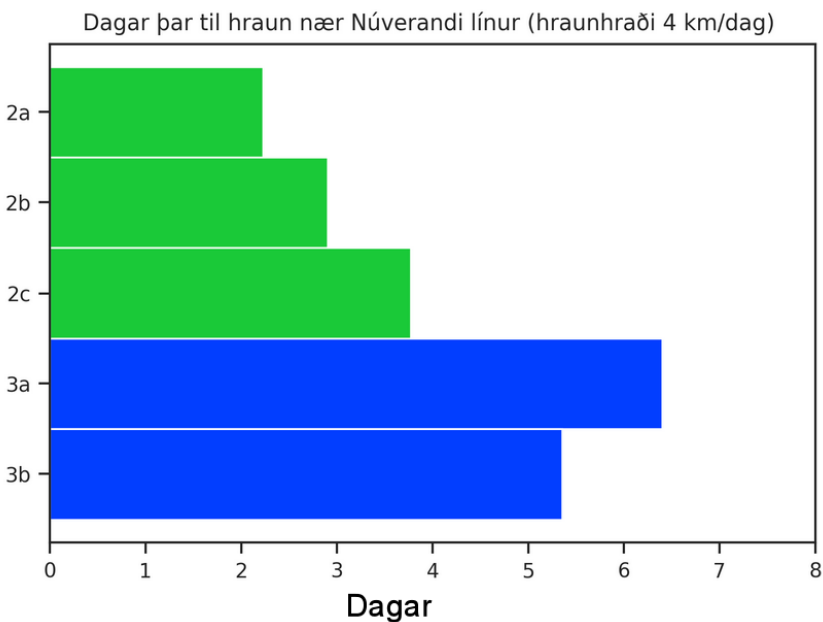
Mynd 36: Lenging hraunelfunnar í Holuhraunsgosinu 2014-15 fyrstu 14 dagana.



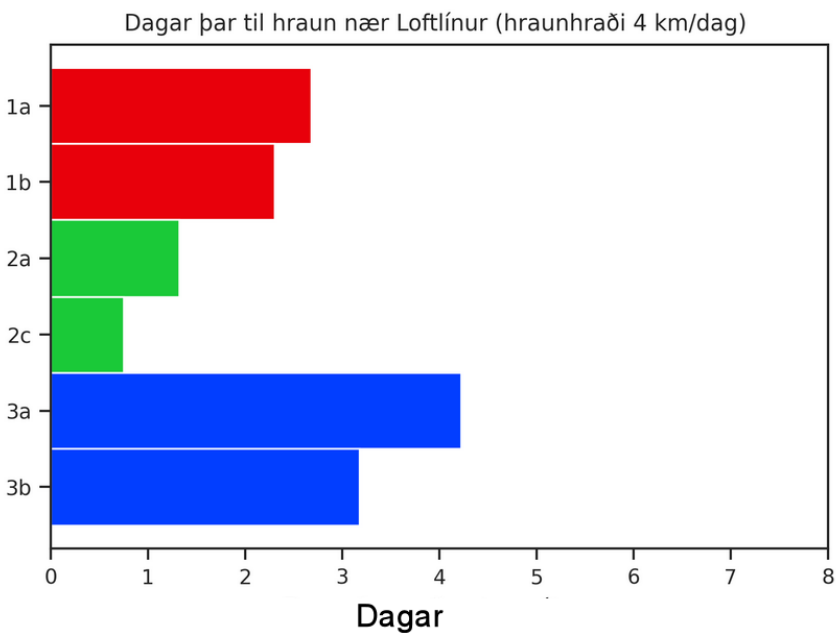
Mynd 37: Kort sem sýnir helstu rennslis farvegi hraun er upp koma í eldumbrotum innan þeirra svæða er greinast með mestu líkindi á eldsuppkomu. Línukostir eru; 1: núverandi lína, 2: Ný loftlína og 3: Jarðstrengur.

Á mynd 37 hafa helstu rennslisleiðir hrauna verið númeraðar og eru nýttar í myndum 38, 39 og 40. Vegalengdir frá upptökum og að línu stæðum eru reiknaðar og notaðar til að fá út hve langan tíma tekur hraun að ná línustæðunum miða við rennslisraða Holuhrauns. Tími er settur fram fyrir hverja og eina rás. Tíminn miðar við að hraunelfa nái að línustæðum innan þess tíma, þ.e. lágmarkstími.

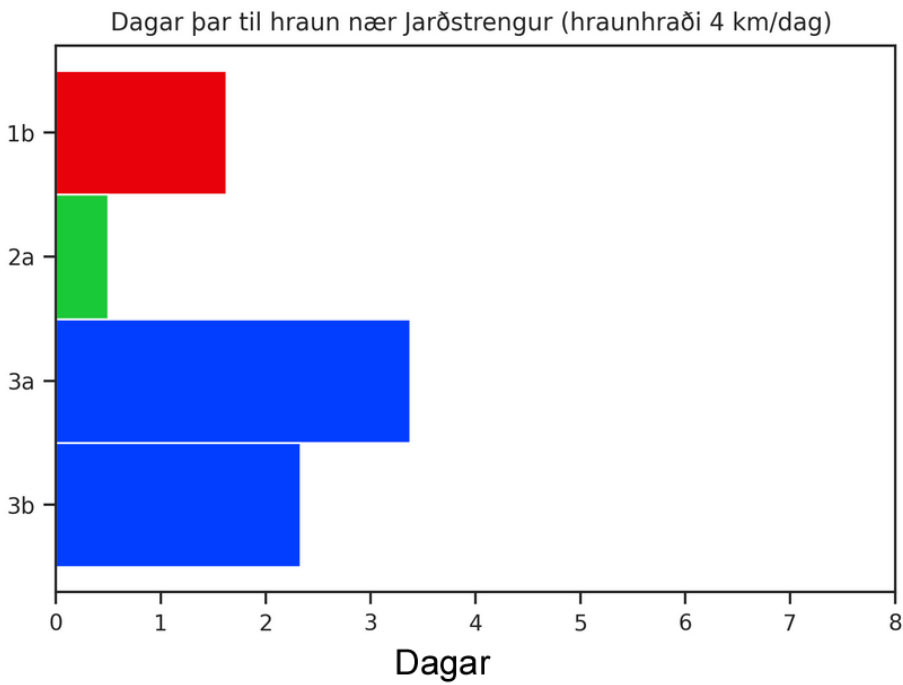




Mynd 38: Dagar þar til hraunelfa nær að núverandi línustæði, sem liggur samkvæmt mynd 37. Hraunelfur merktar samkvæmt mynd 37. Tekin er heildarvegalengd mögulegrar hraunrásar og hraun látið renna með hraðanum 4 km á dag. Gera má ráð fyrir að hraun renni hraðar í byrjun eldgoss.



Mynd 39: Dagar þar til að hraunelfan nær að línustæði nýrrar loftlínu, sem liggur samkvæmt mynd 37. Hraunelfur merktar samkvæmt mynd 37. Tekin er heildarvegalengd mögulegrar hraunrásar og hraun látið renna með hraðanum 4 km á dag. Gera má ráð fyrir að hraun renni hraðar í byrjun eldgoss.

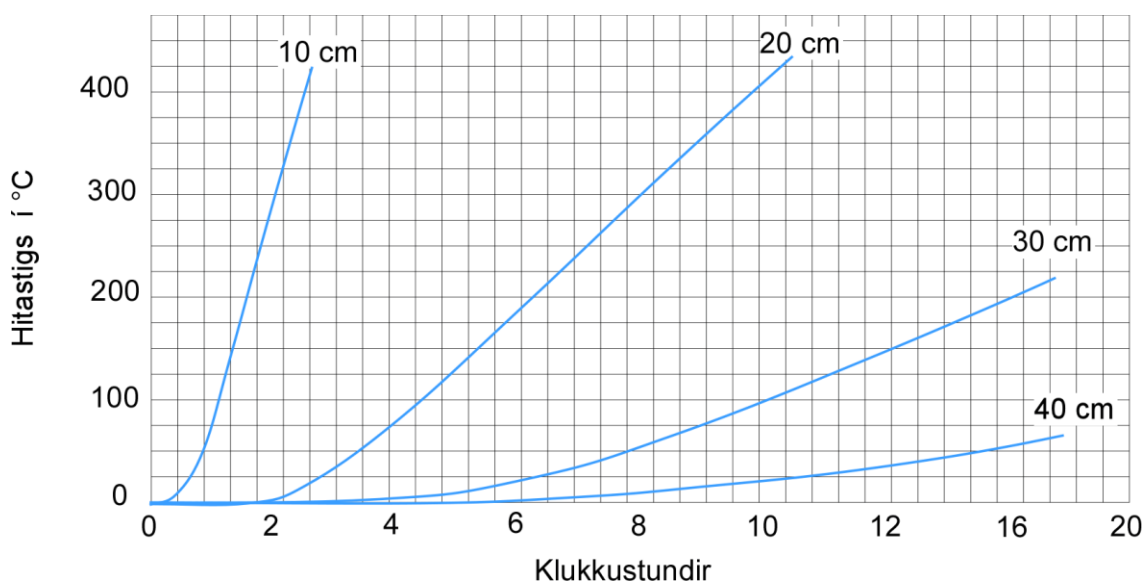


Mynd 40: Dagar þar til að hraunelfan nær að línustæði jarðstrengs sem liggur samkvæmt mynd 37. Hraunelfur merktar samkvæmt mynd 37. Tekin er heildarvegalengd mögulegrar hraunrásar og hraun látið renna með hraðanum 4 km á dag. Gera má ráð fyrir að hraun renni hraðar í byrjun eldgoss..



## Hitaáhrifhrauna

Hraun eru heitir vökvar sem gjarnan eru á bilinu 1000°C til 1200°C og tapa varma á formi varmaleiðni, útgeislunar og iðustreymis. Þar að auki getur rigning aukið á kólnunarhraða hrauna, þar sem vatn er með hærri varmarýmd en loft. Hraun hafa líka áhrif á undirlag sitt með því að hita það upp og stjórna það ferli af varmaleiðni hraunskorpunnar og berggrunnins. Leonard R. Ingersoll o. fl. 1958 sýndu að varmaflutningur í undirlagið er sterklega háður varmaleiðni undirlags. Mynd 41 sýnir upphitun berggrunnins á tilteknu dýpi sem fall af tíma eftir að hraun hefur lagst yfir svæðið. Gert er ráð fyrir að hraunið sé um 1200°C í þessu tilviki og undirlag um 4°C. Þessir útreikningar sýna að undirlag hraunsins hitnar í, rúmlega 400°C á 20 sentímetra dýpi eftir rúmar 10 klst.



Mynd 41: Graf af útreikningum, undirlag hrauns á um 20 sentímetra dýpi, rúmlega 400°C hita eftir rúmar 10 klst.

Ef að hraunið rennur stöðugt yfir undirlagið geta niðurstöður breyst því þá er hitagjafinn stöðugri. Sara A. Fagent og Ronald Greeley (2001) skoðuðu tilfelli hraunstraums er rennur með stöðugum hraða (1 m/s) yfir ákveðið svæði í sólarhring. Niðurstöður þeirra gefa til kynna að stórar og langvinnar hraunelfur geta haft veruleg áhrif á undirlag sitt, jafnvel svo að þær byrja að bræða upp berggrunninn.

Möstur loftlína á eldvirkum svæðum stendur ógn af hraunstraumum. Hraun kemur til með að umlykja möstur ef hraunin eru mjög þunnfljótandi, og hita upp. Séu möstrin úr tré munu þau brenna. Málmmöstur hitna og getur það haft áhrif á burðargetu málsins.

Heildarskurðdýpt vegna lagningar Jarðstrengs er um 1,3 m. Jarðstrengurinn sjálfur er lagður í leiðandi jarðefni á um 1 m dýpi. Varmaleiðandi jarðefni eru á um 0,7 m dýpi í skurðinum. Í kjölfar Geldingadala eldgoss, er hófst í mars 2021, hófust rannsóknir á hitaferlum í jarðvegi undir hraunum í samstarfi við Landsnet, Almannavarnir, Verkís, Tensor og Vatnaskil. Bráðabyrgða niðurstöður þeirra rannsókna er að vænta í lok árs 2021. Jaðarstrengur sem fer undir hraun mun klárlega verða var við hita frá hrauninu.



Hinsvegar eru ekki ljós enn hver áhrifin verða eða hversu löngum tíma eftir að strengur er hulinn hrauni þeirra gætir. Þar sem varma áhrif eru háð þykkt þess hrauns sem fer yfir og streymi í hraunrás er fer yfir strenginn. Í þeim tilvikum sem öflug hraunelfa rennur eftir/ofan línustæðis, getur hraunrennsli verið virk í marga daga eða vikur og því jarðstrengur farið fljótt yfir þau hitamörk er honum er ætlað að þola. Hraunrennslis greining sem hér hefur farið fram dregur einmitt fram slíka staði á rannsóknarsvæðinu.



## Niðurstöður:

Hér eru teknar saman helstu niðurstöður hættumatsins út þeirri greiningu sem er kynnt hér að framan. Hér skoðum við matið út frá einstökum línukostum og verður fjallað um hvern og einn fyrir sig út frá staðsetningu líklegra eldsupptaka, höggun og hraunflæði.

### Línukostur núverandi línustæði

**Eldsuptök:** Á svæðinu Hafnarfjörður-Hólmsheiði liggur núverandi loftlína vel utan líklegustu eldsupptakasvæða og þarf af leiðandi nánast engar líkur að loftlínan verði fyrir áhrifum af eldsupptöku.

**Höggun:** Svæðið Hafnarfjörður-Hólmsheiði er laust við misgengi og gliðnunarsprungur er hafa hreyft sig á nútíma, en aldursgreining á jarðlögum bendir til þess að umbrot á svæðinu hafi ekki átt sér stað síðastliðin 10.000 ár. Þar af leiðir að litlar líkur eru á skakkaföllum línustæðis.

**Hraunflæði:** Þó svo að svæðið Hafnarfjörður-Hólmsheiði liggja utan líklegra eldsupptökustaða og jarðskorpu er hefur verið höggud innan síðustu 10.000 ára, þá er líklegt að eldsuptök í Krýsuvíkurkerfinu sendi hraun í átt að Hafnarfirði og vestasta hluta fyrirhugaðs línustæðis. Þá eru mjög litlar líkur til þess að hraun frá eldvörpum innan Bláfjallakerfis nái að núverandi línustæði.

Þar sem vestari hluti fyrirhugaðs línustæðis við Velli, liggur í útjaðri Krýsuvíkurkerfisins má reikna með verulegri röskun vegna hraunflæðis á öllu svæðinu í næstu umbrotum.

Möstur loftlínu geta orðið fyrir hnjaski vegna hraunflæðis, málmöstur hitna og afmyndast meðan tré möstur brenna. Skynsamlegt væri að verja möstur með hitaþolnum og einangrandi efnum á þeim stöðum sem hraunflæði er líklegast. Þá er og ljóst að vont er að velja möstrum leið eftir hraunelfum. Greiningin sem hér hefur farið fram dregur slík svæði fram og gefur hugmyndir um tryggari leiðir.

Rennslisgreiningar gefa til kynna að hámarksviðbragðstími vegna hraunflæðis frá Krýsuvíkurkerfinu sé 2-4 dagar á Hafnarfjarðarsvæðinu og 5-7 dagar ef hraun renna frá Bláfjallasvæði að Elliðavatns svæði.



## Línukostur ný loftlína

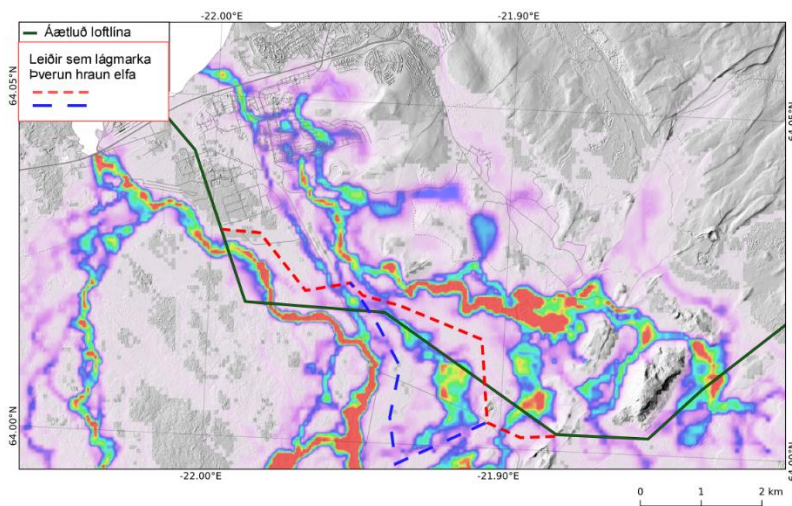
**Eldsupptök:** Á svæðinu Hafnafjörður-Lyklafell liggur fyrirhuguð loftlína að mestu utan líklegustu eldsupptakasvæða. Einungis við Helgafell fer fyrirhuguð lína yfir eldsuppkomunæm svæði Krýsuvíkurkerfisins.

**Höggun:** Svæðið Hafnafjörður-Lyklafell er að stórum hluta laust við misgengi og gliðunarsprungur. Aðeins þar sem línustæði þverar Krýsuvíkurkerfið gæti slík lína orðið fyrir skakkaföllum sökum höggunar. Lína sem þverar sigdældina verður fyrir áhrifum af sprunguhreyfingum siggengja sem og gliðunar sprungna.

**Hraunflæði:** Þó svo að svæðið Hafnafjörður-Lyklafell liggir að mestu utan líklegra eldsuppkomustaða og haggaðrar jarðskorpu, þá er líklegt að eldsupptök í Krýsuvíkurkerfinu sem og Bláfjallakerfinu sendi hraun í átt að línustæðinu.

Svæðið frá Helgafelli um Óbrennishólabrúna og til sjávar er mjög líklegt til að verða fyrir hraunflæði í næstu umbrotahrinu Krýsuvíkurkerfisins og Bláfjallakerfisins. Línustæðið liggur hér á mjög viðkvæmu svæði eins og það hefur verið dregið upp. Verst er að staðsetja línu í hraun rásunum og því ætti að vera hægt að minnka áhættu verulega með því að taka tillit til niðurstaðna hraunrennslis hermunar og færa línu út fyrir hraunrásirnar (mynd 42).

Rennslisgreiningar gefa til kynna að hámarksviðbragðstími vegna hraunflæðis frá Krýsuvíkurkerfinu sé 1 sólarhringur, 4-5 dagar ef til umbrota kemur í Bláfjallakerfinu.



Mynd 42: Leiðir til að lágmarka áhættu á að loftlína þveri hraunelfur er geta myndast í framtíðar umbrotum í Krýsuvíkur-Bláfjalla eldstöðvar kerfum.



## Jarðstrengur

**Eldsupptök:** Á svæðinu Hafnarfjörður-Lyklafell um Bláfjallaveg, liggur fyrirhugaður jarðstrengur. Strengurinn liggur utan í nyrstu líklegum eldsuppkomusvæðum innan Bláfjallakerfisins og þverar eldsupptakasvæði Krýsuvíkurkerfisins. Þrátt fyrir að leiða megi líkur til þess að Bláfjallakerfið muni ólíklega hafa áhrif á slíkan streng með tilliti til eldsuppkomu verður að teljast mjög líklegt að næsta umbrotahrina í Krýsuvíkurkerfinu muni geta haft veruleg áhrif.

**Höggun:** Svæðið Hafnarfjörður-Lyklafell um Bláfjallaveg er töluvert sprungið og þverar sigdali er tilheyra bæði Bláfjallakerfinu og Krýsuvíkurkerfinu. Þar af leiðir að töluverðar líkur eru á skakkaföllum á jarðstreng vegna höggunar er fylgir siggengis hreyfingum sem og gliðunar hreyfingum.

**Hraunflæði:** Svæðið Hafnarfjörður-Lyklafell um Bláfjallaveg liggur í jaðri og þverar líkleg eldsuppkomustaði. Línustæðið fer einnig um mjög haggaða jarðskorpu. Líklegt er að eldsupptök í Krýsuvíkurkerfinu sendi hraun í átt að Hafnarfirði um Óbrennishólabruna og til sjávar. Jafnframt geta eldsupptök í Bláfjallakerfinu veitt hraunum í sama farveg og þverað yfir fyrirhugaðan jarðstreng á milli Stóra Kóngsfells og Lönguhlíðar. Fyrirhuguð staðsetning á svæðinu frá Helgafelli til sjávar verður líka að teljast varhugaverð þar sem línan liggur eftir þeim megin farvegum hrauna er líklegast eru taldir myndast í næstu umbrotahrinu. Áhrif takmarkast við hugsanlega upphitun á efstu metrum berggrunnins vegna nýrra hrauna og því að strengur getur grafist undir tugum metra af hrauni.

Rennslisgreiningar gefa til kynna að hámarksviðbragðstími vegna hraunflæðis frá Krýsuvíkurkerfinu sé innan við sólahringur, 2-4 dagar ef hraun eiga upptök sín í Bláfjallakerfinu.

Benda má á að Bláfjallavegur er uppbyggður og myndar því manngerða hindrun, sem getur stjórnar hraunflæði tímabundið. Ef til jarðstrengs kemur eftir þessari leið er skynsamlegt að hafa fyrirhugað línustæði jarðstrengs norðan vegar, þ.e. hlémegin við hraunstrauma er koma ofan frá Bláfjallakerfinu. Þó verður að taka fram að jarðstreng er vart hægt að velja verri stað en kemur fram í tillögum og glögglega sést á hraunagreiningu (mynd 34). Strengurinn getur orðið fyrir áhrifum hraunrennslis og höggunar á þessari leið.



## Heimildir

- Ágúst Guðmundsson, 1987. Geometry, formation and development of tectonic fractures on the Reykjanes Peninsula, southwest Iceland. *Tectonophysics* 139, (3-4), 295-308.
- Ágúst Guðmundsson, 1986. Mechanical aspect of postglacial volcanism and tectonics of the Reykjanes Peninsula, SW Iceland. *J. Geophys. Res* 91, 12711-12721.
- Amy E. Clifton og Simon A. Kattenhorn. (2006). Structural architecture of a highly oblique divergent plate boundary segment. *Tectonophysics* 419, 27–40.
- Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson og Sigríður G. Björgvinsdóttir. Fissure swarms and fracture systems within the Western Volcanic Zone, Iceland - effects of spreading rates (2016). *Journal of Structural Geology* 91: 39-53. doi:10.1016/j.jsg.2016.08.007
- Bartolini, S., Sobradelo, R., and Martí, J.: ST-HASSET for volcanic hazard assessment: A Python tool for evaluating the evolution of unrest indicators, *Comput. Geosci.*, 93, 77–87, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.05.002>, 2016.
- Bevilacqua, A., Bursik, M., Patra, A., Pitman, E.B., Till, R., Bevilacqua, A., Bursik, M., Patra, A., Pitman, E.B., Till, R., 2017. Statistics in Volcanology Bayesian construction of a long-term vent opening map in the Long Valley volcanic region (CA, USA). <https://doi.org/10.5038/2163-338X.3.1>
- Becerril, L., Cappello, A., Galindo, I., Neri, M., Del Negro, C., 2013. Spatial probability distribution of future volcanic eruptions at El Hierro Island (Canary Islands, Spain). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 257. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.03.005>
- Cappello, A., M. Neri, V. Acocella, G. Gallo, A. Vicari, and C. Del Negro (2012), Spatial vent opening probability map of Etna volcano (Sicily, Italy), *Bull. Volcanol.*, 74, 2083–2094, doi:10.1007/s00445-012-0647-4.
- Elsa G. Vilmundardóttir. (1977). Tungnaárhraun, *Jarðfræðiskýrsla OS ROD 7702*, Orkustofnun, Reykjavík, 156 pp.
- Guðmundur Kjartansson 1973. Aldur Búrfellshrauns við Hafnarfjörð. *Náttúrufræðingurinn* 42. 159–183.
- Harris, A.J. og Rowland, S., 2001 FLOWGO: a kinematic thermo-rheological model for lava flow in a channel. *Bulletin og Volcanology*, 63, 20-44.
- Joan Martí og Alicia Felpeto. (2010). Methodology for the computation of volcanic susceptibility. An example for mafic and felsic eruptions on Tenerife (Canary Islands). *J Volcanol Geotherm Res* 195: 69–77.
- Jón Jónsson, 1963. Jarðfræðikort af Reykjanesi – Geoligical map of Reykjanes. Vermir S/F. Reykjavík, 1 kortblað í mælikvarða 1:30.000





- Jón Jónsson, 1978a. Jarðfræðikort af Reykjanesskaga I. Jarðfræðileg lýsing með sérkortum og ljósmyndum. Orkustofnun OS JHD 7831, 303 bls. + 30 ljósmyndasíður.
- Jón Jónsson, 1978b. Jarðfræðikort af Reykjanesskaga II. Jarðfræðikort 22 blöð. Mælikvarði 1:25.000. Orkustofnun, OS JHD 7831, 22 kortblöð
- Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson. Reykjanesskagi. (2013). Í Júlíus Sólnes (ritstjóri). Náttúruvá á Íslandi, eldgos og jarðskjálftar. Reykjavík: Viðurlagatryggingasjóður og Háskólaútgáfan.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Sigurður Garðar Kristinsson og Skúli Víkingsson. (2016). Jarðfræðikort af Suðvesturlandi, 1:100 000 (2. útgáfa). Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir.
- Leonard R. Ingersoll, Otto J. Zobel og Alfred C. Ingersoll. (1954). Heat conduction, with engineering, geological and other application. Oxford og IBH publishing Co. 236 pp.
- Landmælingar Íslands, ÍslandsDEM, útgáfa 1, <http://atlas.lmi.is/mapview/?application=DEM>
- Martí, J., 2017. Assessing Volcanic Hazard. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190676889.013.32>Páll Einarsson. (2008). Plate boundaries, rifts and transforms in Iceland. Jökull (58), 35- 58.
- Martí, J., Felpeto, A., 2010. Methodology for the computation of volcanic susceptibility. An example for mafic and felsic eruptions on Tenerife (Canary Islands). J. Volcanol. Geotherm. Res. 195, 69–77.  
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.06.008>
- Mossoux S, Saey M, Bartolini S, Poppe S, Canters F, Kervyn M (2016) Q-LAVHA: A flexible GIS plugin to simulate lava flows. Comput Geosci 97:98–109
- Sara A. Fagent og Ronald Greeley. (2001). Factors influencing lava-sustrate heat transfer and implications for thermomechanical erosion. Bull. Volcanol., 62:519-532.
- Silverman, B. W. (1986), Density Estimation for Statistics and Data Analysis, Chapman & Hall, London.
- Þorvaldur Þórðarsson. (2013). Hraun. ). Í Júlíus Sólnes (ritstjóri). Náttúruvá á Íslandi, eldgos og jarðskjálftar. Reykjavík: Viðurlagatryggingasjóður og Háskólaútgáfan. 2013; 105-12.
- Þorvaldur Þórðarsson og Ármann Höskuldsson. (2014). Iceland. Dunedin Academic Press, 2nd edition.
- Þorvaldur Þórðarsson og Ármann Höskuldsson. (2008). Postglacial volcanism in Iceland, Jökull (58), 197-228.
- Þorvaldur Þórðarsson og Guðrún Larsen. (2007). Volcanism in Iceland in Historical Time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. J. Geodyn., 43, 1, 118–152.
- Þorvaldur Þórðarsson og Stephen Self. (1993). The Laki (Skaftár Fires) and Grímsvötn eruptions in 1783-85. Bull Volc, 55: 233-63.



Þorvaldur Þórðarsson og Stephen Self. (2003). Atmospheric and environmental effects of the 1783-84 Laki eruption. *J Geophys Res-Atmosphere*, 108(D1), 10.1029/2001JD002042



Staðfræðikort af rannsóknarsvæði.

