



Náttúru- og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogar

Mat á eldgosavá með tilliti til jarðhræringa á Reykjanesi
2021

Ármann Höskuldsson, William M. Moreland, Muhammad Aúfaristama, Þorvaldur Þórðarson, Ingibjörg Jónsdóttir, og Þóra Björg Andrésardóttir.

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands.

Reykjavík apríl 2022

Gert fyrir sveitarfélagið Voga



Náttúru- og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogar
Mat á eldgosavá með tilliti til jarðhræringa á Reykjanesi 2021
Skýrsla unnin fyrir sveitarfélagið Voga

Höfundarréttur © 2021 Ármann Höskuldsson, William Moreland, Muhammad AUFARISTAMA ÞORVALDUR ÞÓRÐARSON,
Ingibjörg Jónsdóttir, Þóra Björg Andrésardóttir.

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 AUFARISTAMA ÞORVALDUR ÞÓRÐARSON, Þóra Björg Andrésardóttir
og Ingibjörg Jónsdóttir, 2021, Náttúru- og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogar. Mat á eldgosavá með tilliti til
jarðhræringa á Reykjanesi 2021
Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands, XX bls.

ISBN XX

Prentun: Háskóli Íslands, Jarðvísindastofnun
Reykjavík, mars 2022





Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	4
Inngangur	7
Eldvirkni á Reykjaneskaga.....	8
Gögn.....	9
Aðferðarfræði	10
Jarðfræði, eldvirkni og staðfræði	11
Greining.....	13
Eldsuppkomunæmi	13
Lega með tilliti til höggunar	15
Greiningar á sértækum þáttum innan sveitarfélagsins Vogar	18
Þéttbýlið Vogar og Vatnsleysuströnd.....	18
Hraunrennsli.....	19
Almennt yfirlit	19
Hraunflæði greining innan marka sveitarfélagsins Vogar	23
Hraunflæði hermun og líkur á hraunhulu á landi.	23
Hraunflæðigreining, eldsuppkomunæmi $>6 \times 10^{-5}$	25
Samantekt um hættusvæði vegna hraunflæðis.....	27
Hraunflæðigreining, eldsuppkomunæmi $>1 \times 10^{-5}$	28
Samantekt á helstu áhrifasvæðum í byggð.....	31
Flokkun hættusvæða innan sveitarfélagsins Vogar.	34
Niðurstöður:.....	36
Sveitarfélagið Vogar	36
Eldsupptök:	36
Höggun:	36
Hraunflæði:	36



Heimildir.....37



Myndir:

Mynd 1: Eldstöðvakerfin á Reykjanesskaga	9
Mynd 2: Jarðfræðikort af athugunarsvæðinu.....	11
Mynd 3: Staðfræðikort af rannsóknarsvæði.....	12
Mynd 4: Eldsuppkomunæmi greining á Reykjanesi.....	13
Mynd 5: Langtímagreining á eldsuppkomunæmi í og við sveitarfélagið Voga.....	14
Mynd 6: Höggunarkort af sveitarfélaginu Vogar	16
Mynd 7: Sprungupéttleikakort fyrir svæðið innan sveitarfélagsins Voga.....	17
Mynd 8: Sprungukort fyrir þéttbýlið Vogar og austasta hluta rannsóknarsvæðisins.....	18
Mynd 9: Form og formhlutfall hrauna	19
Mynd 10: Nafnakerfi yfir helstu byggingarþætti hrauna.....	21
Mynd 11: Eldsuppkomunæmi innan sveitarfélagsins Voga 6×10^{-5}	25
Mynd 12: Niðurstöður hraunhermunar $300 \text{ m}^3/\text{s}$	26
Mynd 13: Niðurstöður hraunhermunar $10 \text{ m}^3/\text{s}$	27
Mynd 14: Eldsuppkomunæmi innan sveitarfélagsins Voga 1×10^{-5}	28
Mynd 15: Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum $300 \text{ m}^3/\text{s}$	29
Mynd 16: Niðurstöður hraunhermunar $10 \text{ m}^3/\text{s}$	30
Mynd 17: Nærmynd af svæðinu við Reiðskarð og þéttbýliskjarnanum Vogar	31
Mynd 18. Nærmynd af svæðinu við Vatnsleysuvík.....	32
Mynd 19: Kort með tillögum að hættuskiptingu innan sveitarfélagsins Voga.....	34



Inngangur

Á haustdögum 2020 óskaði sveitarstjórn Voga eftir ráðgjöf starfshóps Eldfjallafræði og náttúruvár við Háskóla Íslands. Óskað var eftir að hópurinn færi yfir eldgosa og náttúruvá innan sveitarfélagsins í ljósi atburða á Reykjanesi árið 2021. Þá var og óskað eftir því að lagt yrði mat á nýja línukosti sem fyrirhugaðir eru innan sveitarfélagsins.

Á virkum eldfjallasvæðum er nauðsynlegt að meta langtíma hættu 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 hættu.

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 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 verður eldgos, 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 eldvirknin er einkennandi fyrir einstök svæði og setja því ákveðinn ramma utan um líklegustu sviðsmyndir.

Við langtíma mat á eldgosasvá er beitt aðferðarfræði sem styðst við jarðfræðilegar upplýsingar innan afmarkaðs rannsóknarsvæðis. Þessar upplýsingar eru notaðar til þess að meta viðkvæmni svæðisins fyrir eldgosum og jarðhræringum þeim samfara og afmarka sérstaklega þá hluta svæðisins sem hafa háar líkur á viðburði. 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 Reykjanesskaga

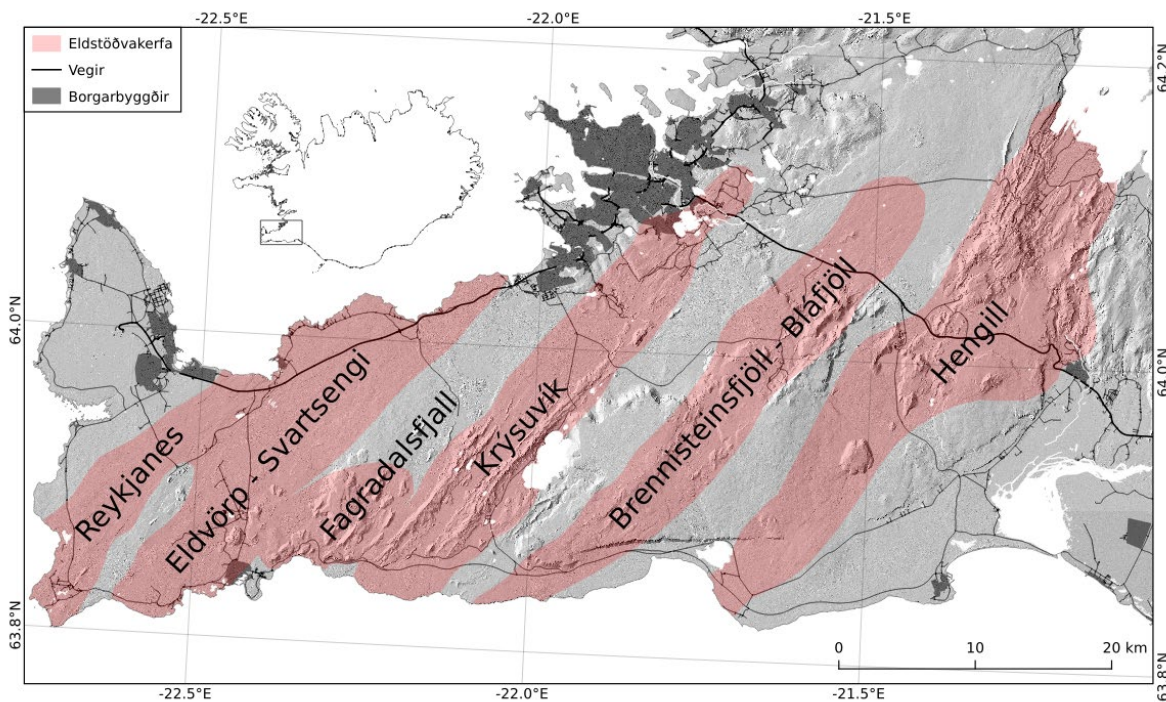
Reykjanesgosbeltið er sniðreksbelti, sem er hvortveggja í senn þverbrotabelti og gliðnunarbelti. Þverbrotabeltið lýsir sér í sprungum með norður-suður stefnu (Nakamura 1970, Ágúst Guðmundsson 1986 og 1987, Amy Clifton og Simon Kattenhorn, 2006; Páll Einarsson, 2008). Gliðnunarbeltin hafa stefnu suðvestur – norðaustur sem er auðþekkjanleg á loftmyndum út frá stefnu móbergsfjallagarða, gígaraða og sprungusveima.

Þrjú eldstöðvakerfi hafa verið tilgreind á Reykjanesi og nefnast þau Reykjanes, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll (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 Reykjanesskaga skiptast upp í gosvirknitímabil, þar sem einstök gosskeið sem hafa staðið yfir í 400 til 500 ár. Gosskeiðin eru aðskilin af 600-1200 ára löngum goslausum tímabilum. Þrjú slík gosskeið hafa verið á Reykjanesskaga 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 Reykjanesskaga og hefur því raunhæft spágildi/-vægi fyrir eldgos framtíðarinnar.

Í desember 2019 hófst skjálftahrina á Reykjanesi. Snemma árs 2020 varð vart við óvenjulegt landris á svæðinu við Þorbjörn. Þessu landrisi fylgdi áframhaldandi skjálftavirkni með hléum. Snemma árs 2021 hófst mikil og löng hrina skjálftavirkni á Reykjanesi er leiddi til eldgoss við Fagradalsfjall, 19 mars sama ár. Eldgosið stóð yfir í um sex mánuði, en þó má leiða að því líkum að það hafi verið virkt fram að jólum 2021, en fram að þeim tíma var vart við miklar sveiflur í varmageislun frá gosstöðvunum og jafnframt sýndu vefmyndavélar tímabil með aukinni glóð í gígbörmum. Jarðskjálftahrina hófst 21 desember 2021 og stóð í nokkra daga. Samfara þessari skjálftahrinu hefur varmageislun frá eldstöðvunum fallið jafnt og þétt og því ljóst að kvikustreymi er hætt og eldgosinu í Fagradalsfjalli þar með lokið.

Atburðarrás er hófst á Reykjanesi í desember 2019 verður að teljast upphaf á nýju eldgosa tímabili á Reykjanesi eftir um 800 ára hlé.



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 gosbeltinu.

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 og jarðfræðikortum. Einnig hefur verið bætt í gagnasafnið með vettvangsvinnu og nánari úrvinnslu loftmynda af svæðinu.



Aðferðarfræði

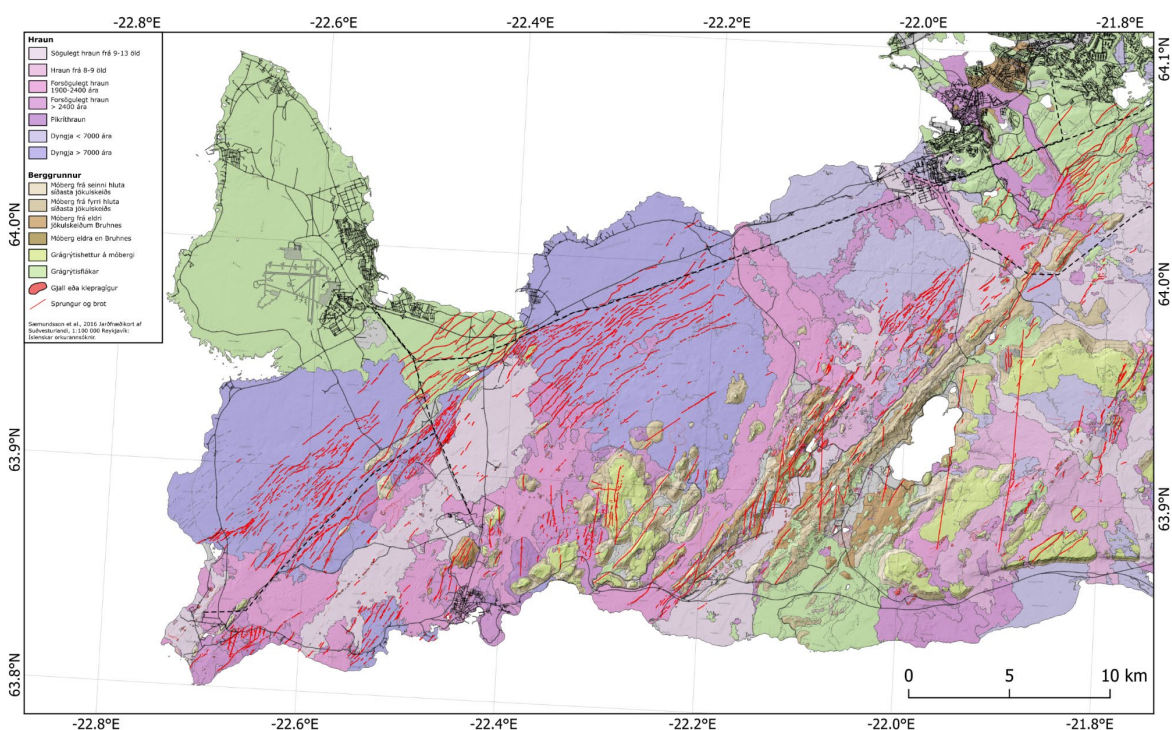
Við greiningu á Eldsuppkomunæmi svæðisins er notast við þéttleikafall líkinda (Probability Density Function skammstafað PDF). Hvert gagnasett er skoðað, gossprungur, gígar og þeim skipt upp eftir aldri. PDF-ið er greint með Cauchy reikniaðferð, þar sem reiknað er í tvívíðu rúmi staðbundið endurkomu hlutfall í ákveðnum punkti (Joan Martí og Alicia Felpedo, 2010). Útkoman úr PDF reikningum 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 gosop 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.

Við mat á líkum á hraunflæði innan rannsóknarsvæðisins er notast við greiningu á eldsuppkomunæmi. Hraunflæði innan rannsóknarsvæðis er metið út frá hermilíkönum. Þau líkön sem hér er notast við er annarsvegar líkan nefnt QLAVHA en það greinir tölfræðilegar líkur á að landsvæði innan rannsóknarsvæðis fari undir hraun að gefnum forsendum (Mossoux og fl. 2016, Bartolini og fl. 2013, Felpeto og fl. 2001, Tarquini og Favalli 2011, Sobradelo og fl 2014). Hraunrennslis hermir sem notaður er við þessa greiningu nefnist FLOWGO, en í þeim hermireikningum er tekið tillit til eðliseiginleika hrauna, s.s. seigja, hiti, varmatap, þykknun og breytileika í eiginleikum miða við hitaháðar breytingar (Harris og Rowland 2001).



Jarðfræði, eldvirkni og staðfræði

Berggrunnurinn á rannsóknarsvæðinu er sýndur á mynd 2. Mikilvægt er að skoða jarðfræði svæðisins til að átta sig á aldri undirlagsins. Að mestu liggur rannsóknarsvæðið um hraun sem eru mynduð á síðustu 10000 árum. Undanskilin er Vogastapi (þ.e. Njarðvíkurheiðin), en hann er að mestu gerður úr hraunum frá síðasta hlýskeyði, sem eru þá eldri en 100.000 ára. Þegar jarðfræðigreining er borin saman við höggun svæðisins kemur í ljós aldur hreyfinga á sprungum og misgengjum. Meginþorri misgengjanna á uppruna sinn að rekja til forsögulegs tíma, þó svo að sú aldursgreining útilokar ekki hreyfingu á þessum misgengjum síðan land var numið (mynd 2). Þessar upplýsingar eru líka mikilvægar í þeim tilgangi að greina svæði sem hafa orðið fyrir lítilli sem engri höggun undanförunum 10.000 árum. Ekki er hægt að útiloka hreyfingar á slíkum svæðum en þær verða að teljast mun ólíklegri en á þeim svæðum sem eru mikið sprungin.



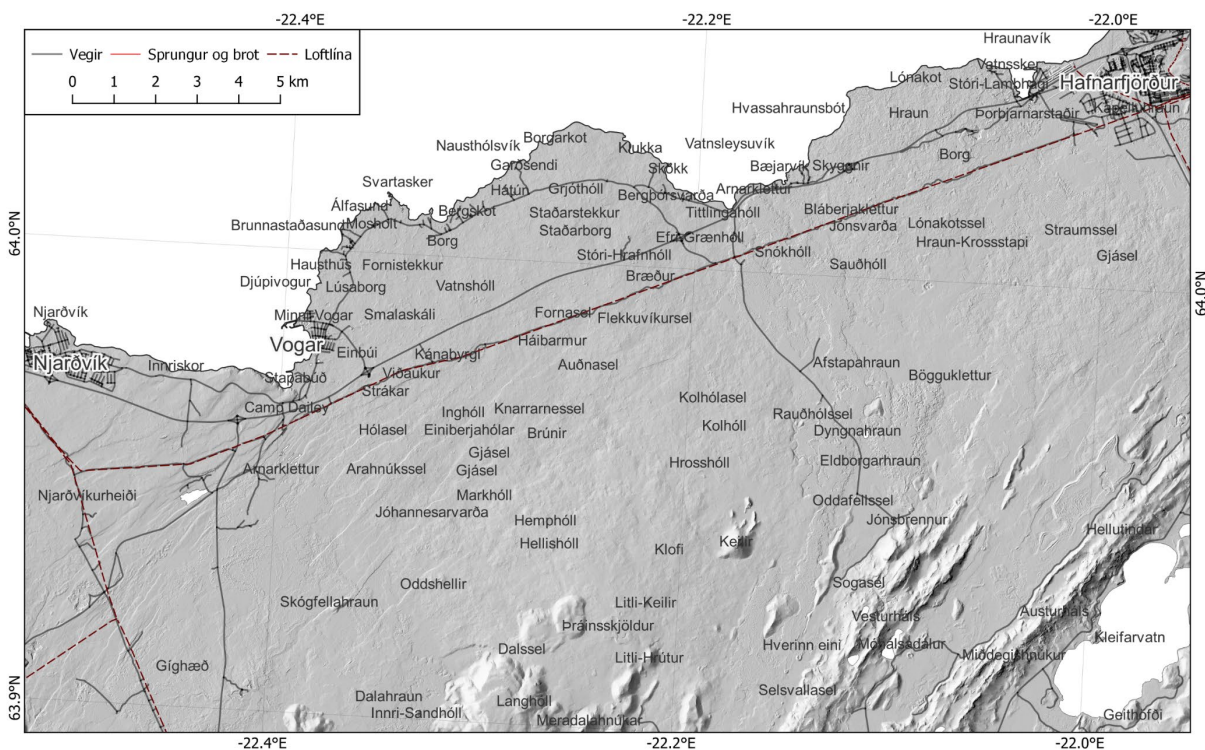
Mynd 2: Jarðfræðikort af athugunarsvæðinu. Aldur hrauna og lega gliðnunarprungna og misgengja á rannsóknarsvæðinu. Brúnir og grænir litir tákna jarðmyndanir eldri en 10-14 þúsund ára. Bláir til rauðir litir merkja hraun frá því eftir ísöld og fram að síðustu sögulegu goshrinu, sem hófst í kringum 900. Söguleg hraun eru ljós fjólublá. Kort byggt á Jarðfræðikorti ÍSOR (Kristján Sæmundsson og fl. 2016).

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 gliðunarhrinur,



þ.e. séð færri tímabil eldgosa og höggunar. Að sama skapi eru gömul hraun lítt eða ekki brotin að gefa til kynna að höggunarhreyfingar séu ekki tíðar á þeim svæðum.

Á mynd 3 eru sýnd helstu staðfræði heiti sem að vísað er í texta. Svæðið er ríkt örnefna enda ekki langt frá byggðu bóli. Hér horfum við fyrst og fremst til sveitarfélagsins Voga.



Mynd 3: Staðfræðikort af rannsóknarsvæði. Einungis helstu örnefni sem nefnd eru í texta eru sýnd hér, lesanda til glöggvunar. Hins vegar er bent á örnefnakort Landmælinga Íslands til nánari glöggvunar (Imi.is).

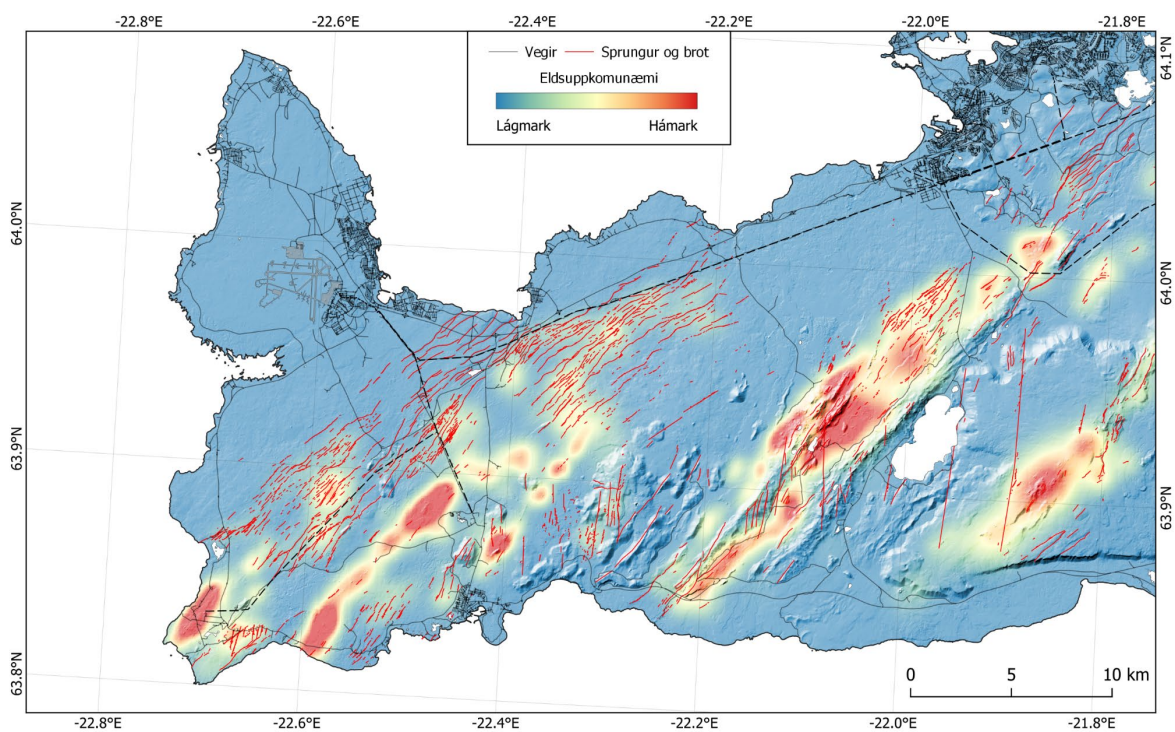
Þegar litið er til innviða á rannsóknarsvæðinu kemur fram að helstu innviðir eru staðsettir í norður hluta sveitarfélagsins og að mestu norðan Reykjanesbrautar (mynd 3).



Greining

Eldsuppkomunæmi

Líkur eldsuppkomu eru metnar út frá gagnasöfunum um fyrri eldsuppkomur, sprungur og misgengi. Vægi hvers gagnasafns er síðan metið af sérfræðingum. Niðurstöður slíkrar greiningar, er tekur tillit til 9 mismunandi gagnasetta, eru settar fram í Eldsuppkomunæmis korti. Eldsuppkomunæmiskortið sýnir líkindadreifinguna á staðsetningu eldgoss á Reykjaneseskaga eftir greiningu á fyrirbyggjandi jarðfræðilegum gögnum um svæðið (mynd 4).

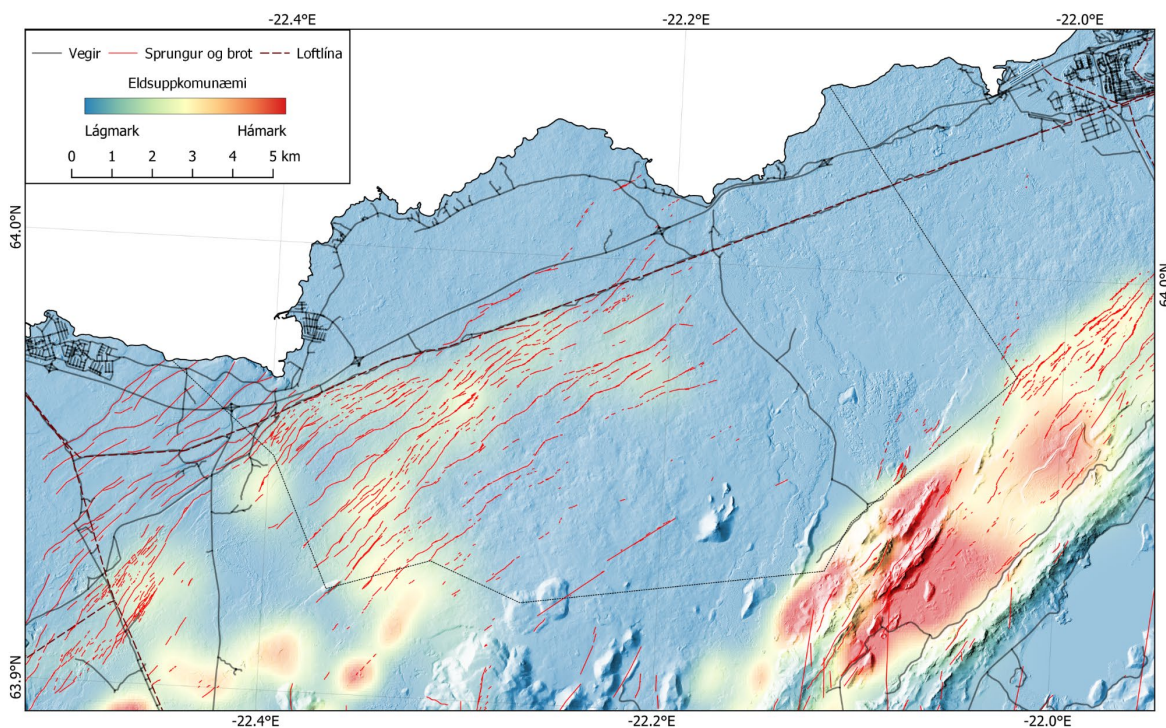


Mynd 4: Eldsuppkomunæmi greining á Reykjanesi sem gefur til kynna hvar líklegast er að gosop myndist í framtíðinni. Því rauðari sem liturinn er, þeim mun meiri líkur eru á að þar muni myndast gígar og eða gígaraðir.

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 og eldsuppkomunæmi innan einstakra kerfa er ekki einsleitt. Þetta mat gefur okkur upplýsingar um hvar sé að vænta nýrra gígopa og eða nýrra gossprungna í framtíðinni og er grundvöllur áframhaldandi vinnu við



mat á eldgosavá. Í þessum þætti skoðum við vanna aðeins með tilliti til hraungosa, þar sem sprengigos er afa ólíkleg á svæðinu.



Mynd 5: Langtímagreining á eldsuppkomunæmi í og við sveitarfélagið Voga. Eldsuppkomunæmi leggur mat á hvar líklegast sé að eldur komi upp í framtíðar jarðhræringum á svæðinu. Helstu innviðir, svo sem vegir og rafmagnslínur eru sýndar á kortinu. Útlínur sveitarfélagsins Voga eru jafnframt dregnar á kortið.

Eldsuppkomunæmi innan sveitarfélagsins Voga er bundið við svæði sunnan Reykjanesbrautar. Ekki eru miklar líkur á að gossprungur eða gígar komi til með að myndast norðan Reykjanesbrautarinnar samkvæmt þessari greiningu. Helstu innviðir á svæðinu eru utan megin eldsuppkomunæmis svæða, að undanskildri rafmagnslínu er liggur frá Hafnarfirði til Reykjanesbæjar. Greiningin sýnir jafnframt að svæði hvar mestar líkur eru á myndun nýrra gosopa liggja mjög nærri sveitarfélagsmörkum. Þessi svæði gætu, í framtíðar eldgosi, haft í för með sér að hraun renni frá þeim og inn fyrir sveitarfélagsmörk Voga. Nánar verður fjallað um það í kafla um hraunrennslis hermanir.



Lega með tilliti til höggunar

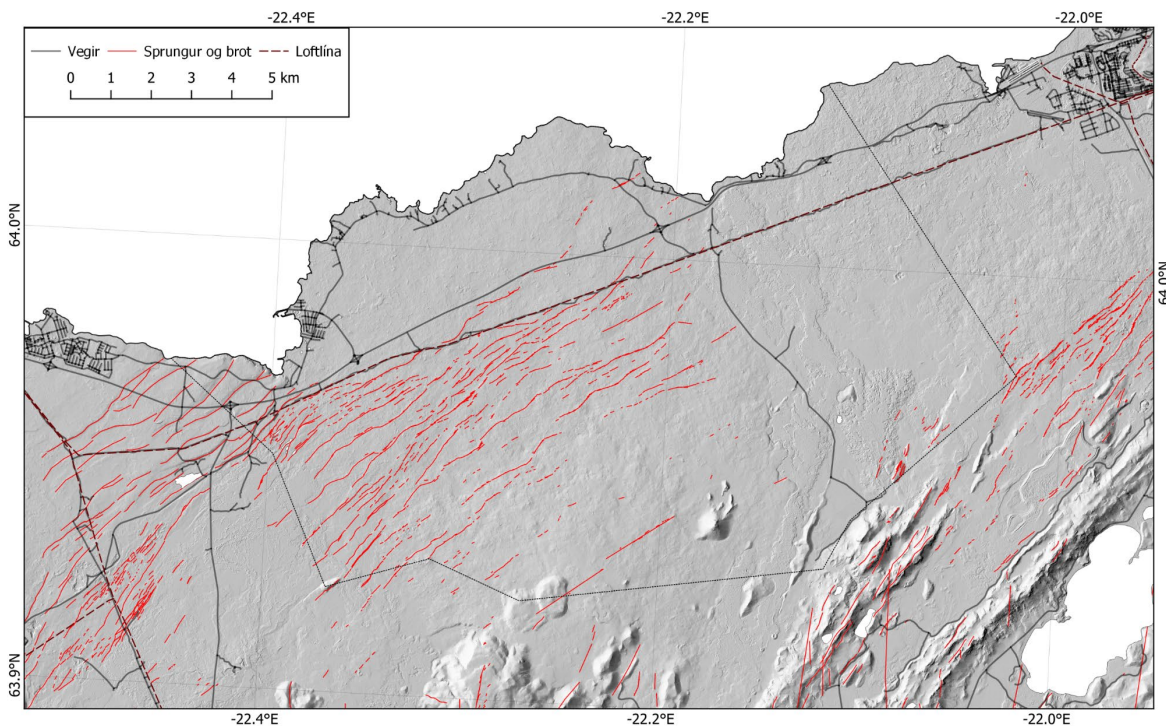
Höggun, er skilgreind sem allar hreyfingar í landinu er leiða til þess að myndist sprungur og misgengi (mynd 6). Misgengi á Reykjanesi eru af þrennu tagi. Í fyrsta lagi með fall til austurs og í öðru lagi með fall til vesturs og loks í þriðja lagi eru norður suður sniðgengi.

Sniðgengi er að finna suður af mörkum sveitarfélagsins, við Fagradalsfjall og Trölladyngju. Ekki hafa verið greind sniðgengi svo óyggjandi sé innan marka sveitarfélagsins.

Misgengi með fall til austurs og vesturs móta sigdali eldstöðvarkerfanna sem kennd eru við Eldvörp-Svartsengi og Krýsuvík. Mesta uppsafnað fall um þessi misgengi er tugir metrar og sést það glögglega í eldri jarðmyndunum, þ.e. hlýskeyðsmýnduninni er myndar Vogastapa. Stærst eru misgengin í elstu jarðmyndunum, hlýskeyðshraunin er mynda Vogastapa eru margsprungin og gengin á mis, mynduðum fyrir meira en 100 þúsund árum. Tími hreyfingar á þessum misgengjum má meta út frá hvaða berg þau brjóta. Bjalla misgengin, en þau eru austast á þessu svæði, brjóta upp Sandfellshæðar hraunin er runnu fyrir rúmum 13 þúsund árum síðan. Af því má ráða að þau hafa verið virk á nútíma. Frá Bjalla misgengjum og austur í Brúnir er fjöldi misgengja er skera allar jarðmyndanir á svæðinu, þéttust eru þau í Þráinnskjaldarhrauni er myndaðist fyrir um 14 þúsund árum, og bera því vott um mikla virkni frá myndun Þráinnskjaldar til okkar daga. Öll þessi misgengi

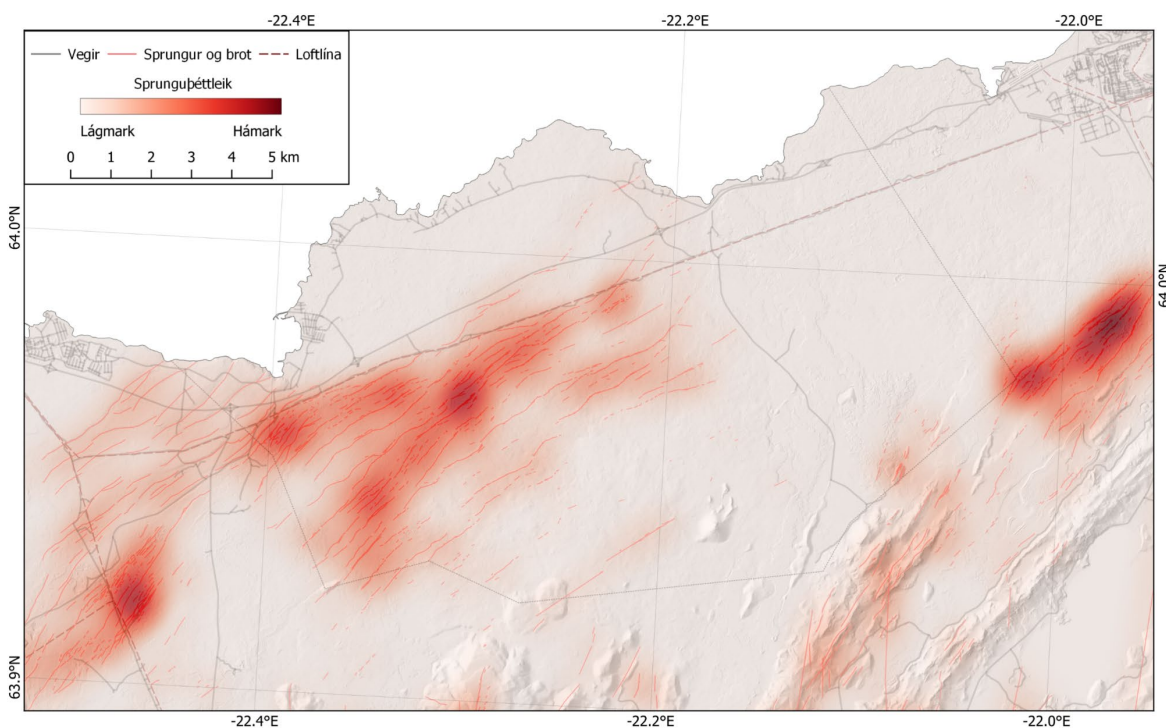


tilheyra Eldvarpa-Svartsengis eldstöðvarkerfinu. Fjöldi gliðunarsprungur er einnig á svæðinu, en slíkar sprungur hafa eingöngu hreyfingu í pláni og gliðna til suðaustur og norðvesturs.



Mynd 6: Höggunarkort af sveitarfélaginu Vogar. Glöggk kemur fram að sprungur og misgengi eru að mestu bundin við svæðið sunnan Reykjanesbrautar. Svæðið norðan Reykjanesbrautar er að mestu laust við sprungur og misgengi að frátöldu svæðinu við Vatnsleysuvík.

Á mynd 6 rannsóknarsvæðið sett í samhengi við höggun er greind hefur verið á þessum hluta Reykjaneskaga og innan sveitarfélaga marka.



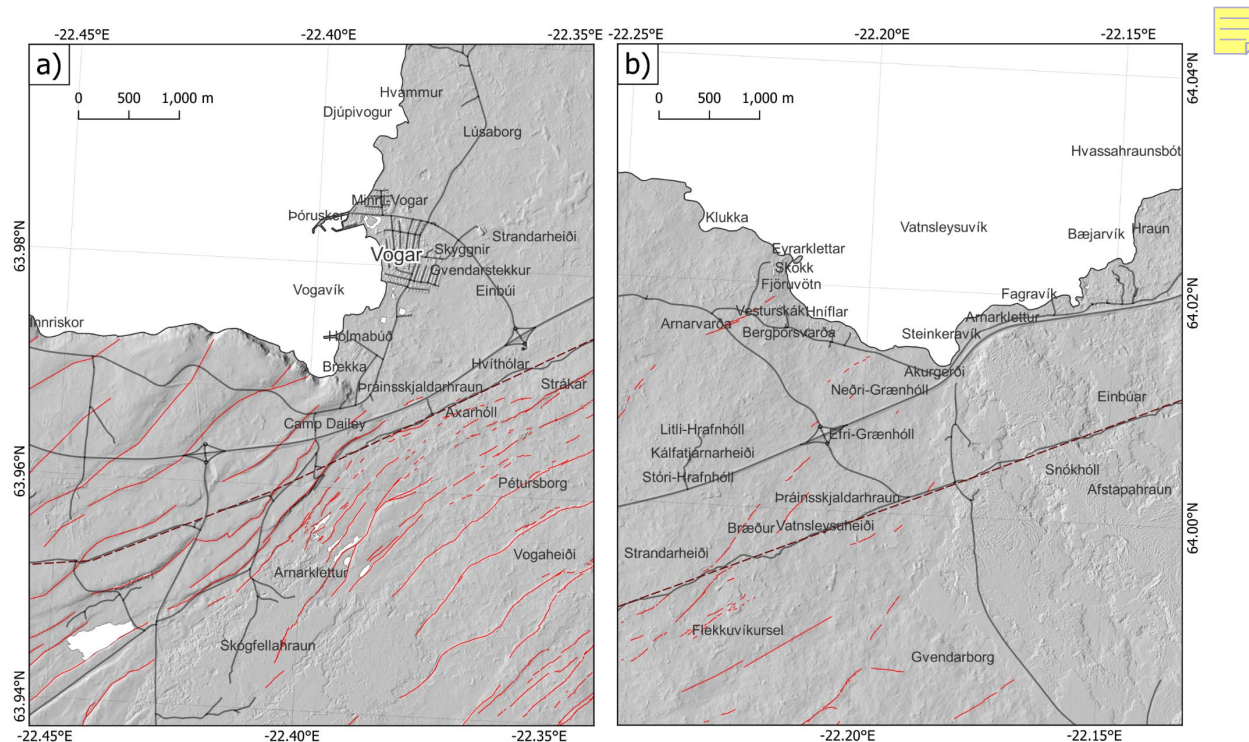
Mynd 7: Sprunguþéttleikakort fyrir svæðið innan sveitarfélagsins Voga og næsta umhverfi. Helstu innviðir, vegir, rafmagnslínur og vatnsleiðslur eru sýndar á kortinu. Útlínur sveitarfélagsins Voga eru dregnar á kortið.

Almennt þá eru sprungur og misgengi þéttust um miðbik sveitarfélagsins, þ.e. á Voga- og Strandaheiði (mynd 7). Sprungum og misgengjum fækkar þegar komið er að Brúnum og norðan Reykjanesbrautar, á Vatnsleysustrandar svæðinu, hvar sprungur eru nær óþekktar. Norðan Reykjanesbrautar er einungis hægt að finna sprungur á landi við Vatnsleysuvík (Hrafnagjá). Á mynd 7 er sett fram þéttleika greining á sprungunum og misgengjum. Nokkur mjög þétt svæði koma fram, Vörðugjá-Bjallar, Hrafnagjá og Stóra Aragjá-Klifgjá (mynd 3 og 7). Á eystri mörkum sveitarfélagsins, við Markhelluhól og norður af Trölladyngju, er þétt sprungu og misgengja þyrping sem tengist Krísuvíkur eldstöðvarkerfinu. Öll þessi svæði hafa verið virk á nútíma. Það vekur sérstaka athygli þegar mynd 7 er skoðuð hversu lítið er af sprungum innan sögulegu hraunflákanna og Afstapahrauns, en þetta bendir til þess að litlar hreyfingar hafa verið á svæðinu síðan á 9. til 13. öld. Eina svæðið sem er þar undanskilið er Arnarseturshraun, og þá einskorðaðar við eldstöðvar kerfið Eldvörp-Svartsengi. Samanborið við önnur söguleg hraun á Reykjaneskaga er Arnarseturshraun töluvert brotið, sem bendir til meiri hreyfinga þar síðustu 700 ár.



Greiningar á sértækum þáttum innan sveitarfélagsins Voga

Þéttbýlið Vogar og Vatnsleysuströnd



Mynd 8: Sprungukort fyrir þéttbýlið Vogar og austasta hluta rannsóknarsvæðisins. Kortið sýnir allar gliðunarsprungur, sniðgengi og misgengi.

Þéttbýlissvæði innan sveitarfélagsins eru öll norðan Reykjanesbrautar. Eins og kemur fram á mynd 8, eru sprungur og misgengi á þessu svæði tengd Eldvarpa-Svartsengis kerfunum. Allt svæðið norðan Reykjanesbrautar er hulið hrauni er rann fyrir um 14 þúsund árum. Aðeins finnst sprungur í þessum hraunfláka við Reiðskarð og austur í Vatnsleysuvík. Líkur á því að misgengishreyfingar komi fram á þessu svæði í næstu hrinu hreyfinga innan Eldvarpa–Svartsengis kerfisins eru því mjög litlar að undanskildum Reiðskarði og landinu vestur af Vatnsleysuvík.



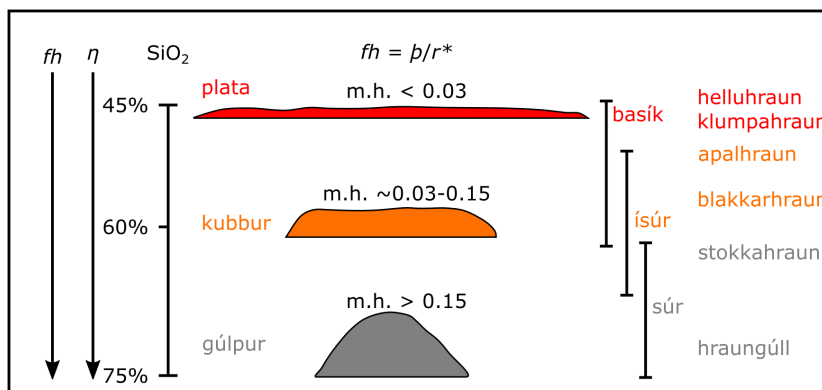
Hraunrennsli

Almennt yfirlit

Oft er vísað til þess að hraungos hættuminnstu atburðir íslenskrar eldvirkni, en réttast er að varast fara varlega með 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 9). Hraun af basískri samsetningu eru lang 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 9: 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 rok gjarnra efna (Þorvaldur Þórðarson, 2013). Kvika sem myndar mjög súr hraun, kísilrík (<64% SiO₂) 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; 16. mynd). Kvika sem myndar mjög basísk hraun, er kísilsnauð, kísilinnihald minna en 52% (kísildíoxíð, SiO₂), 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 16). 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% SiO₂, mynda að jafnaði hraun sem falla á milli þessara jaðarforma. Að jafnaði styttast og þykkna hraun með vaxandi kísilmagni, það er aukinni seigju.

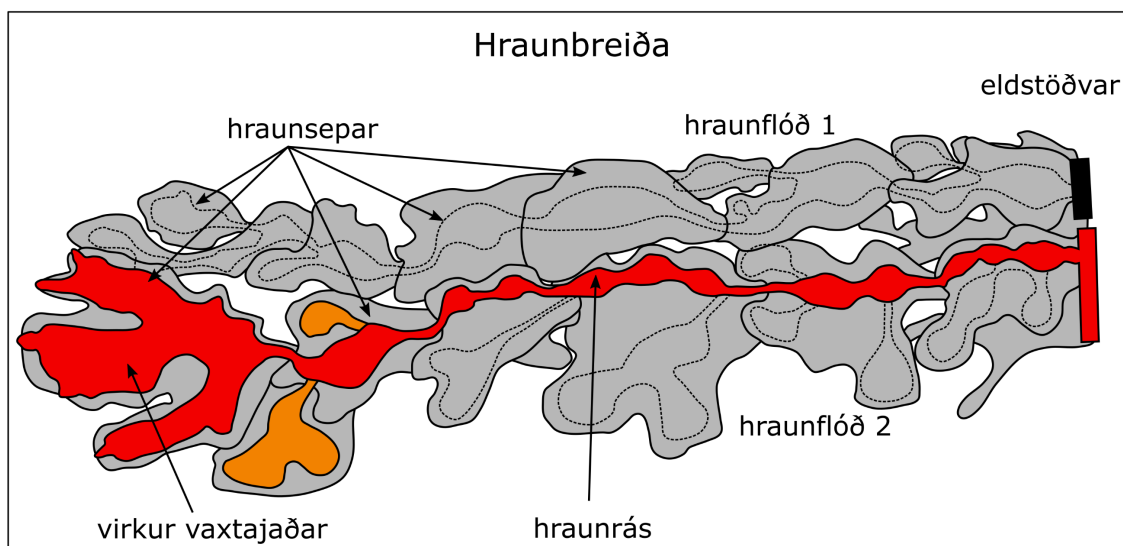
Öll hraunin á athugunarsvæðinu eru basísk og mynduð í sprungugosum eða dyngjugosum (s.br. mynd 2). Þrátt fyrir svipaða efnasamsetningu eru basalhraun langt frá því að vera einsleitir flokkur, og ásýnd þeirra er mjög breytileg. Sum basalhraun eru rennislétt hella og létt undir fæti, en önnur mjög úfin og ill yfirferðar. Svo eru hraun sem spanna rófið þar á milli. Þetta er uppruni hinar klassísku skiptingar á basalhraunum í helluhraun og apalhraun. Fyrirnefnda nafngiftin vísar til hrauna sem einkennast af samfelldri hraunhella, 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 botnskorpu, en eru þakin yfirborðsbreksíu með blokkum og flekum úr brotinni helluhraunsskorpu. Myndunarferli klumpahrauna er meira í ætt við myndunarferli helluhrauna, þó svo að við fyrstu sýn virðist yfirborð þeirra líkjast því sem einkennir apalhraun. Hraunbreiða Hrutagjárdyngjunnar 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 kvikuústreymi 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 10). 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 10). 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 10: 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 lokað 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 rifur 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. Varmfræðilegir 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.

Framleiðni, sér í lagi í upphafi goss, ræður mestu um hversu hratt hraun flæðir yfir landið, og í gosum þar sem framleiðni er á bilinu 50-1000 rúmmetrar á sekúndu hefur rennslishraðinn mælst 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 framleiðinni, 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 tífoldunar 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).



Hraunflæði greining innan marka sveitarfélagsins Voga

Hraunflæði hermun og líkur á hraunhulu á landi.

Við mat á hraunflæði og líkum á hvert hraun muni helst fara komi til eldgosa innan Eldvarpa-Svartsengis og Krýsuvíkurkerfisins er notast við eldsuppkomunæmi greiningu í grunnin. Eldsuppkomunæmið ræður úrslitum um hvar eldgos verði, komi til eldgoss í náinni framtíð. Þannig tekst okkur að takmarka umbrotasvæðið og forðast mannlega þáttinn í að velja framtíðar eldgosum stað. Við þetta mat miðum við gildi sem eru hærri en 1×10^{-5} (60% þröskuldur) og hærri en 6×10^{-5} (90% þröskuldur) næmigreiningarinnar og því nýtum við okkur ekki öll svæði sem koma upp í aðalgreiningu. Þannig er matið gert með tilliti til há-hættu svæða og lægri hættu. Innan þeirra svæða sem þannig eru afmörkuð er bil milli gígopa 500 m.

Við hraunflæði hermun er notast við kerfi Volcanbox (Marti et al 2020) en það er samsett úr mismunandi lausnum við mat á eldfjalla hættu 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).

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 11 og 14. Gígar sem gjósa innan svæðanna fá mikilvægis gildi við tölfræði útreikninga samkvæmt niðurstöðum eldsuppkomunæmis. Við hermun er annarsvegar gert ráð fyrir útstreymi er nemur $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (meðal stórt íslenskt eldgos) og hinsvegar útstreymi er nemur $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (meðaltal fyrir eldgosíð í Fagradalsfjalli. 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,



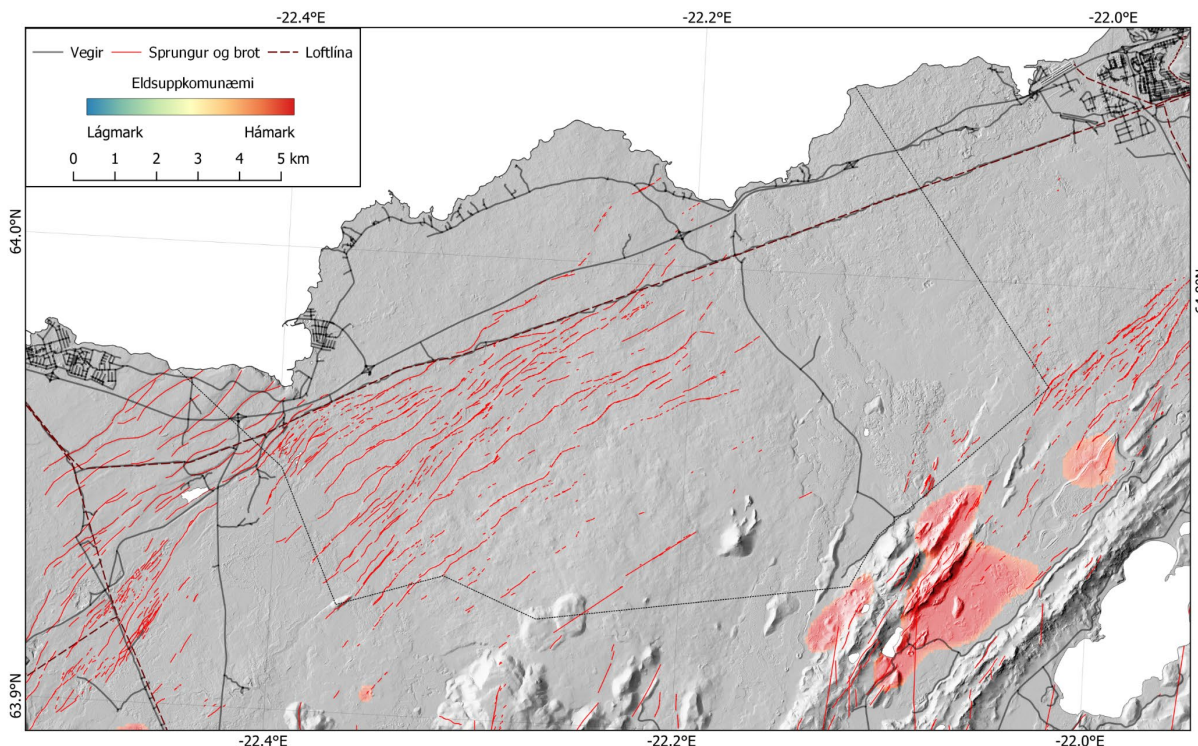
Mossoux et al. 2016). Við mat á líkum hvert hraun fer, eru niðurstöður hermunar taldar fyrir hverja myndflögu. Líkur eru svo reiknaðar út frá því hversu oft hver myndflaga tekur við hrauni. Framsetning á myndum (mynd 12) er byggð á líkinda reikningi heildar hermunar. Því dekkri sem myndflögurnar verða þeim mun líklegra 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 12 og 13 er afleiðing af um það bil 54 þúsund eldgosum í um 36 gígum (6×10^{-5} viðmiðunar gildi). Seinni keyrslan er gerð við lægri viðmiðunar gildi í eldsuppkomunæmis greiningu eða 1×10^{-5} . Í þessu tilviki er það 404 gígar sem að gjósa og hver þeirra gýs 1500 sinnum, eða alls niðurstaða 606 þúsund eldgosa. 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 12, 13, 15 og 16 draga til sín hraun frá flestum svæðum sem gýs á í hermun. Þar af leiðir að þar sem hraunrás myndast í hermun er hætta á hraunflæði mjög mikil og því æskilegt að meta kosti, afskriftar tíma og viðbrögð til varnar mannvirkja innan þessara svæða. Mynd 12, 13, 15 og 16 sýna einnig að utan hraunrása falla líkindi á því að land hyljist hrauni hratt. Það þýðir að meta þarf hvort að mannvirki séu betur sett utan hálíkinda svæði en innan. Miða við þann gagnagrunn sem við notum hér geta tugir metra skipt sköpun í hönnun mannvirkisins.

Þessi greiningar aðferð er byggir á langtíma eldsuppkomunæmi og hermun er jafnframt mjög gagnleg þegar nær dregur atburðum. Í þeim tilvikum er bætt við gögnum sem gefa vísbendingu um hvar kvika leitar til yfirborðs, t.d. skjálftar og aflögun. Þá getum við þrengt eldsuppkomusvæðið til muna og byrjað að keyra skammtíma hermun sem enn frekar takmarkar mögulegt áhrifasvæði.



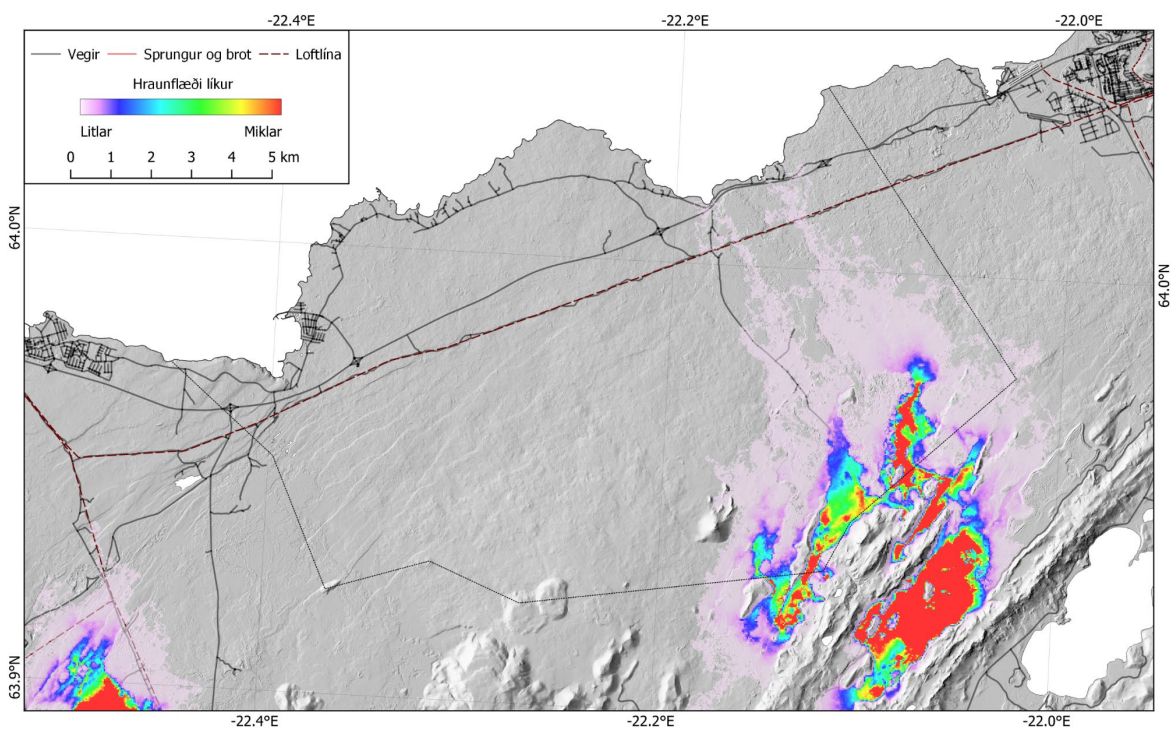
Hraunflæðigreining, eldsuppkomunæmi $>6 \times 10^{-5}$.

Við fyrstu hraunhermi keyrslu er notast við þau svæði sem koma fram í eldsuppkomunæmi greiningu og ákvarðast af líkinda gildum sem eru $>6 \times 10^{-5}$. Þannig drögum við fram allra líklegustu svæði er koma til með að hýsa gossprungur eða gíga í framtíðar eldsumbrotum.

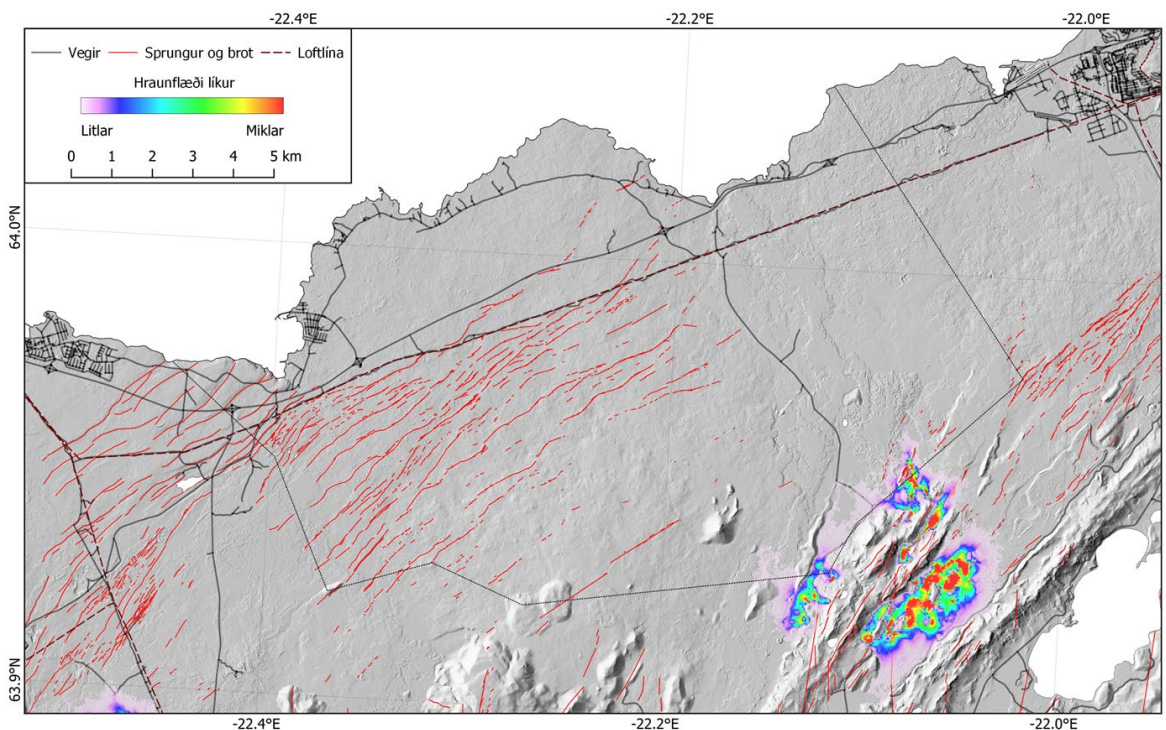


Mynd 11: Eldsuppkomunæmi innan sveitarfélagsins Voga. Hér er dregin út þau svæði sem afmarkast af gildinu 6×10^{-5} . Við hraunflæði líkinda reikninga tókum við bara tillit til þeirra svæða er komast yfir 90% þröskuld í eldsuppkomunæmi. Þau svæði er notuð voru við hraungosa hermun eru því ekki eins viðfeðm og á mynd 4. Innan þessara svæða er látið gjósa í reglulegu reitakerfi með 500 metra á milli gosopa (36 gígar). Hvert gosop er látið gjósa 1500 sinnum (54 þúsund eldgos). Við vægireikninga hrauna og mat á endanlegri útkomu fá gígopin gildi í samræmi við eldsuppkomunæmið.

Á mynd 11 kemur fram að líklegustu eldsumbrotasvæði miðað við líkindagildið $>6 \times 10^{-5}$ eru á suðurmörkum sveitarfélagsins, innan Krýsuvíkurkerfisins. Svæðin utan sveitarfélagsins eru innan Eldvarpa-Svartsengis, en þau eru smærri að flatarmáli, við Svartsengi og milli Litla- og Stóra Skógfells.



Mynd 12: Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 13. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku $300\text{m}^3/\text{s}$. 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.



Mynd 13: Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 13. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku $10\text{m}^3/\text{s}$. 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.

Samantekt um hættusvæði vegna hraunflæðis.

Ef litið er til hættusvæða sem myndast við greiningu út frá aðal eldsuppkomu svæðum sem koma fram við eldsuppkomunæmis greiningu er ljóst að sveitarfélaginu Vogum stafar lítil hætta af hraunflæði. Ef til eldgoss kemur sem er af sömu stærðargráðu og eldgosíð í Fagradalsfjalli 2021 eru aðeins syðstu mörk sveitarfélagsins viðkvæm fyrir hraunflæði. Á þeim svæðum eru ekki neinir innviðir sem stafar hætta af hraunflæði.

Hins vegar sé litið til meðalstórs íslensks sprungugos með rúmstreymi að $300\text{m}^3/\text{s}$ stækkar hættusvæðið. Enn eru það syðstu hlutar sveitarfélagsins sem eru útsettir fyrir hraunflæði. Hrauntaumar geta runnið til sjávar beggja vegna Afstapahrauns. Á þeirri leið er Reykjanesbraut og núverandi rafmagnslína er færir orku til Suðurnesja. Aðal þéttbýlissvæði Voga stendur ekki ógn af hraunstraumum er eiga uppruna sinn frá þessum svæðum.

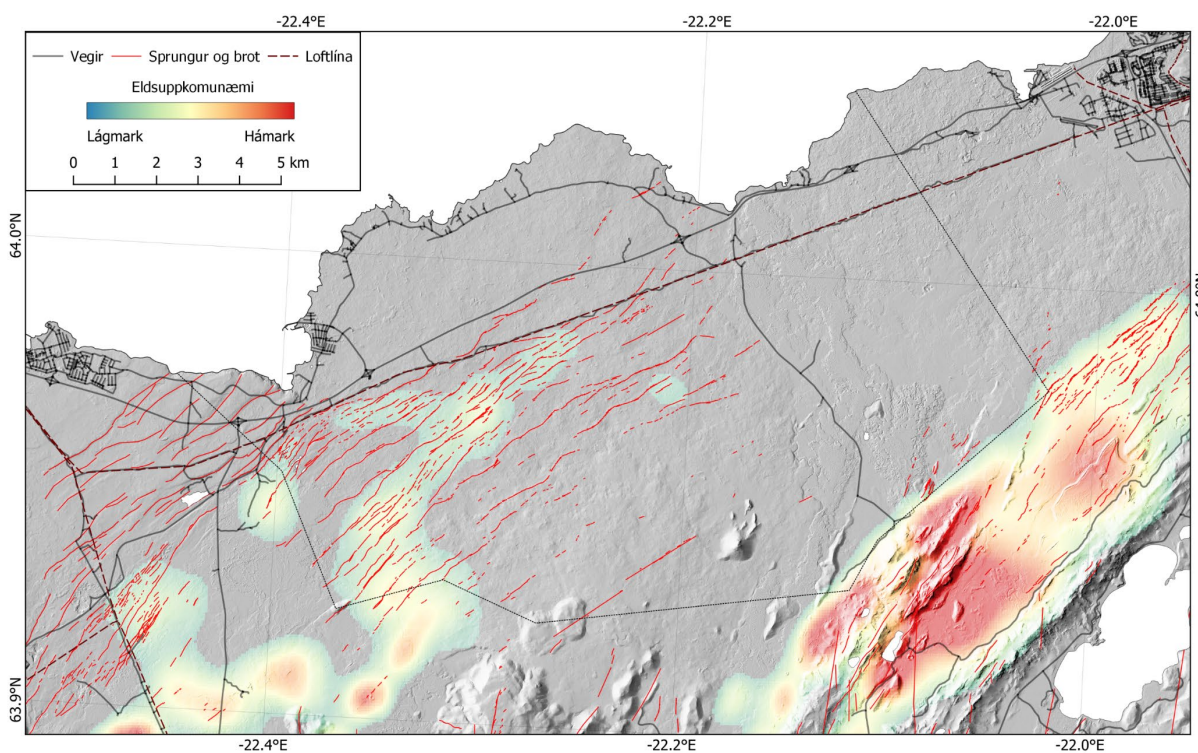
Mikilvægt er að hafa í huga þegar svona greining er skoðuð að litirnir í kortunum tákna hvert hraun vilja helst fara. Þannig eru litir frá bláu í rautt helstu hættusvæði, en lillaðir litir tákna mun ólíklegri leiðir hrauna. Ennfremur skal hafa í huga að þegar svona greining er gerð þá tókum við saman niðurstöður nokkurra þúsunda eldgosa er eiga upptök sín á mismunandi svæðum innan



eldsuppkomunæmis svæðanna. Þegar til eldgoss kemur er staðsetning gossprungunnar nákvæmlega þekkt og þá dregst áhrifasvæðið saman til muna.

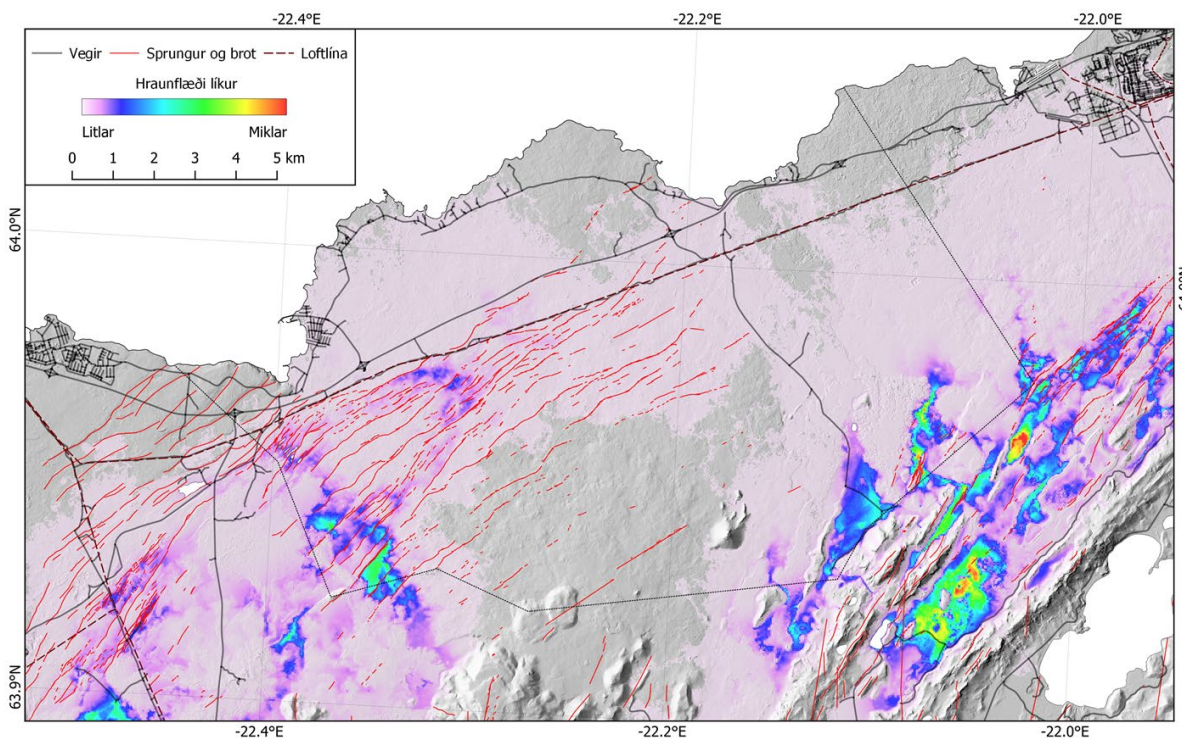
Hraunflæðigreining, eldsuppkomunæmi $>1 \times 10^{-5}$

Við seinni hraunhermi keyrslu er notast við þau svæði sem koma fram í eldsuppkomunæmi greiningu og ákvarðast af líkinda gildum sem eru $>1 \times 10^{-5}$. Þannig drögum við fram stærra svæði sem mögulega kemur til með að hýsa gossprungur eða gíga í framtíðar eldsumbrotum (mynd 14).



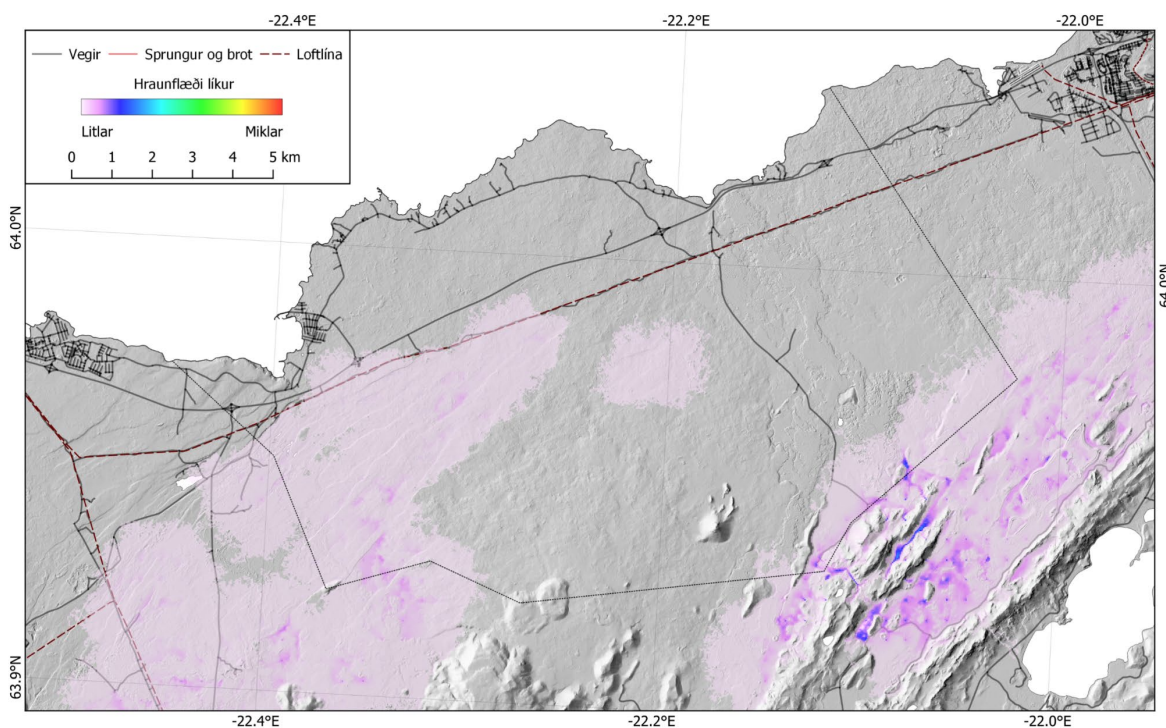
Mynd 14: Eldsuppkomunæmi innan sveitarfélagsins Voga. Hér er dregin út þau svæði sem afmarkast af gildinu 1×10^{-5} . Við hraunflæði líkinda reikninga tókum við bara tillit til þeirra svæða er komast yfir 90% þröskuld í eldsuppkomunæmi. Þau svæði er notuð voru við hraungosa hermun eru því ekki eins víðfeðm og á mynd 4. Innan þessara svæða er látið gjósa í reglulegu reitakerfi með 500 metra á milli gosopa (404 gígar). Hvert gosop er látið gjósa 1500 sinnum (606 þúsund eldgos). Við vægireikninga hrauna og mat á endanlegri útkomu fá gígopin gildi í samræmi við eldsuppkomunæmið.

Þegar litið er til lægri stuðulsins eldgosanæmis greiningar stækkar það svæði sem mögulega getur hýst gossprungur og gíga (mynd 14). Enn eru öll möguleg svæði sunnan Reykjanesbrautar og bundin við eldgoskerfi Eldvarpa-Svartsengis, Krísuvíkur auk Sundhnúks. Fyrst skoðum við tilvik við þar sem eldgos eru meðal stór á íslenskan máta, eða um $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (mynd 15).



Mynd 15: Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 16. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku $300\text{m}^3/\text{s}$. 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.

Í samanburði við hraunhermun sem sett er fram á 12 mynd, hefur áhrifasvæði hraun aukist mikið. Eðlilega eru mestar líkur á hraunhulu innan gosupptaksvæða, sem sett eru fram á mynd 14. En hér er mikilvægt að líta eftir hvert hraunhulan teygir sig út fyrir þau svæði. Austast á svæði sveitafélagsins koma fram líkur á því að hraun teygir sig í átt að Afstapahrauni og geti þannig náð til sjávar. Allt hraun sem eiga upptök sín í Krísuvíkurerfinu. Vestur mörk sveitarfélagsins verða hins vegar fyrir mestum áhrifum af hraunum sem eiga upptök sín í kerfum Eldvarpa-Svartsengis og Sundhnúks. Hraunstraumar þaðan teygja sig í átt að Reiðskarði og austur út Strandarheiði. Sigdalur Eldvarpa-Svartsengis er einnig líklegur til að geta tekið við töluverðu magni hrauns. Í þessari hermun kemur fram að hraun mögulega kæmst norður fyrir Reykjanesbraut. Hins vegar eru líkur á því frekar litlar að undanskildum svæðunum við Reiðskarð, Kúagerði og miðbik Reykjanesbrautar nærri Fornaseli (mynd 15).



Mynd 16: Niðurstöður hraunhermunar út frá gigaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 16. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku $10\text{m}^3/\text{s}$. 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.

Nú skulum við skoða hver möguleg áhrifsvæði væru ef eldgos á þessum slóðum yrði svipað því og átti sér stað við Fagradalsfjall 2021. Slík eldgos eru smá og í lægri afl kantinum á því sem við þekkjum fyrir Ísland. Meðal útstreymi kviku var um $10\text{m}^3/\text{s}$. Við beitum sömu aðferð og áður og byggjum staðsetningu eldsuppkomu á mynd 14. Niðurstaða þessarar greiningar er töluvert frábrugðin þeirri niðurstöðu sem sett er fram á mynd 13. Áhrifsvæði hrauna er mun umfangsminna en áður.

Í suðaustur hluta sveitarfélagsins geta hraun frá Krísuvíkurkerfinu náð inn fyrir sveitarfélagsmörk, en svæðið er óbyggt og því lítil hættu fyrir innviði. Hins vegar mótast fyrir hraun elfum hér sem báðar teygja sig í átt niður til sjávar sín hvoru megin við Afstapahraun.

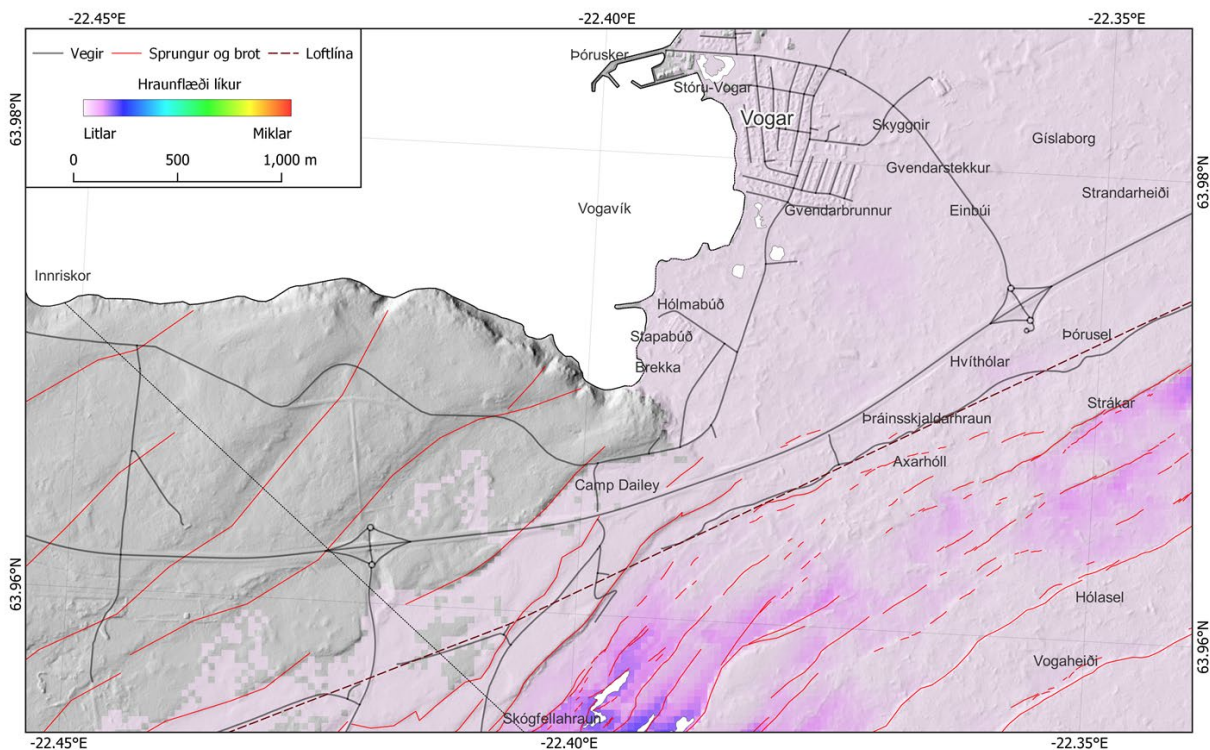
Í vesturhluta sveitarfélagsins gætir áhrifa frá eldgosum er eiga upptök sín í Eldvarpa-Svartsengis kerfinu og Sundhnúks kerfinu. Greiningin gerir ráð fyrir að einungis kæmst hraun norður fyrir Reykjanesbraut við Reiðskarð. Að öðru leiti eru það svæði Vogaheiðar og Strandaheiðar sem gætu orðið fyrir hraunrennsli, allt óbyggt svæði. Sé litið nánar til innviða innan sveitarfélagsins kemur í ljós að það er helst rafmagnslína til Suðurnesja sem getur orðið fyrir áhrifum af hraunflæði. Reykjanesbraut er einnig útsett fyrir hraunflæði frá afleggjara til Voga og að Reiðskarði.



Mikilvægt er að hafa í huga þegar svona greining er skoðuð að litirnir í kortunum tákna hvert hraun vilja helst fara. Þannig eru litir frá bláu í rautt helstu hættusvæði, en lillaðir litir tákna mun ólíklegri leiðir hrauna. Enn fremur skal hafa í huga að þegar svona greining er gerð þá tókum við saman niðurstöður nokkurra þúsunda eldgosa er eiga upptök sín á mismunandi svæðum innan eldsuppkomunæmis svæðanna. Þegar til eldgoss kemur er staðsetning gossprungunnar nákvæmlega þekkt og þá dregst áhrifsvæðið saman til muna.

Samantekt á helstu áhrifsvæðum í byggð.

Í þessum kafla skulum við skoða nánar niðurstöður hermunar innan virkra innviða og byggðar í sveitarfélaginu Vogar. Til að átta okkur betur á aðstæðum stækkum við upp svæðið við Reiðskörð og þéttbýlið Voga (mynd 17) og svo aftur svæðið við Vatnsleysuvík og Kúagerði (mynd 18).

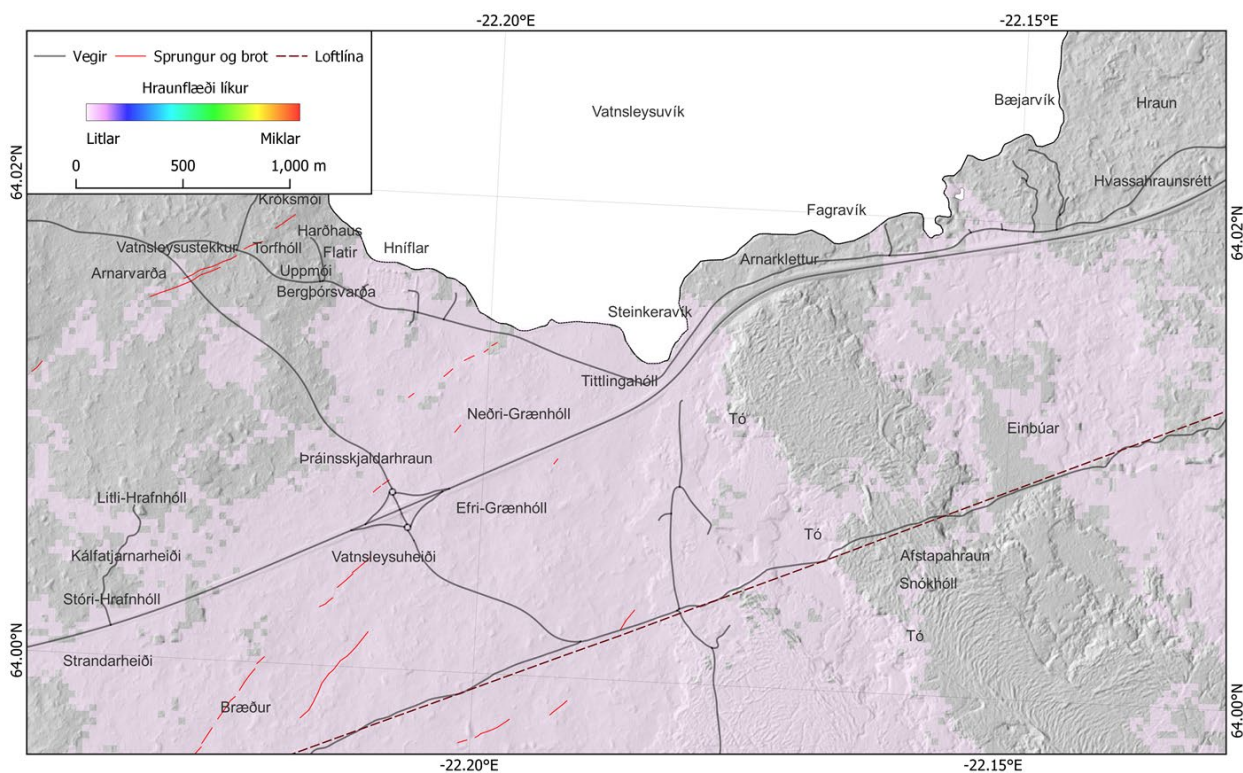


Mynd 17: Nærmynd af svæðinu við Reiðskarð og þéttbýliskjarnanum Vogar. Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 13. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku $300\text{m}^3/\text{s}$. Hraunhermun stoppar þegar hraun er orðið of kalt til að renna, eða það kemst ekki áfram sökum landslags. Hraunhermun dregur fram helstu leiðir sem hraun gætu runnið frá upptökum.

Í þeim hermunu sem hér eru keyrðar kemur fram að einungis ef við notum viðmiðunarstuðulinn 1×10^{-5} út frá eldsuppkomunæmis greiningu eru líkur á því að byggðu bóli og virkum innviðum innan vestanverðs sveitarfélagsins geti verið ógnað (mynd 17). Fram kemur í báðum greiningum,



þ.e. hraunstreymi á gígasvæði er $10\text{m}^3/\text{s}$ annarsvegar og $300\text{m}^3/\text{s}$ hins vegar. Í báðum tilvikum rennur hraun innan sigdalsins norðan Reykjanesbrautar og niður til sjávar um vegtengingu við Voga og Reiðskörð. Mest er hættan sunnan Reykjanesbrautar. En líkur eru á að hraun gæti farið norður fyrir hana. Svæðið norðan við sem er líklegast til að verða fyrir áhrifum hrauna er að mestu óbyggt (mynd 17). Reykjanesbraut og rafmagnslínu á þessu svæði er ógnað af hraunrennsli sem og af mögulegum hreyfingum um sprungur og misgengi.



Mynd 18. Nærmynd af svæðinu við Vatnsleysuvík. Niðurstöður hraunhermunar út frá gígaopum staðsettum innan svæða sem sýnd eru á mynd 13. Við hraunhermun er rúmstreymi kviku $300\text{m}^3/\text{s}$. 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.

Á svæðinu við Vatnsleysuvík, Kúagerði og Fögruvík kemur fram annað hættusvæði innan sveitarfélagsins sem er með virka innviði. Af fjórum hermi-uppsetningum skila þrjár þeirra hraunum inn á þetta svæði. Báðar keyrslur er miða við eldsuppkomunæmi stuðul 1×10^{-5} og kviku streymi, $10\text{m}^3/\text{s}$ og $300\text{m}^3/\text{s}$ sýna að hraun hafa tilhneigingu til að renna inn á þetta svæði (mynd 15 og 16). Aðeins hermi keyrsla með $300\text{m}^3/\text{s}$ og eldsuppkomunæmi stuðli 6×10^{-5} skilar hraunum niður á þetta svæði (mynd 12). Helstu virku innviðir á þessu svæði í dag eru Reykjanesbraut og rafmagnslína er flytur orku til Suðurnesja. Báðum þessum innviðum stafar ógn af hraunrennsli. Byggð á svæðinu er á Minni Vatnsleysu og Stóru Vatnsleysu en byggðin er innan hættusvæðisins.



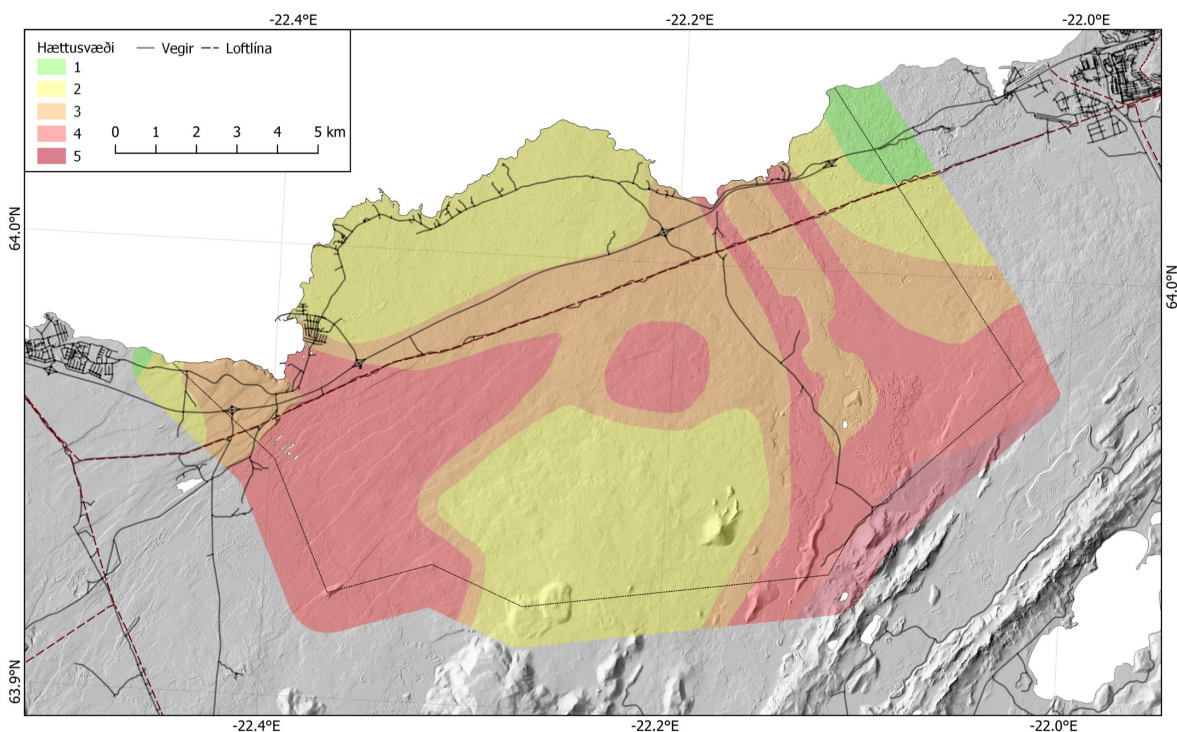
Sprungur og misgengi á svæðinu ná ekki inn í Afstapahraun. Aldur hraunsins er ekki fyllilega skýr. Jón Jónsson (1983) telur hraunið frá 14 öld en Kristján Sæmundsson og Magnús Á Sigurgeirsson (2016) telja það aftur vera um 2000 ára. Aldur Afstapahrauns gefur þannig til kynna hvenær síðustu sprungu myndanir áttu sér stað á svæðinu.

Ef tekið er tillit til núverandi innviða verða þessi svæði að teljast áhættusömustu svæðin innan sveitarfélagsins Vogar.



Flokkun hættusvæða innan sveitarfélagsins Vogar.


Að lokinni þessari greiningu getum við skipt sveitarfélaginu upp í mismunandi svæði að teknu tilliti til þeirrar hættu greiningar er hér hefur verið gerð. Við hættumatsgreiningu er ekki lagt mat á innviði og er hún því ekki mat á mögulegu eignartjóni á innviðum, þ.e. ekki áhættumat. Svæðaskiptingin tekur þó tillit til þess hvort mikilvægir innviðir eru á svæðinu sem og þeim möguleikum sem fram koma við þessa greiningu og draga mið af því hversu líklegt er að hraun renni inn á svæðið og hversu líklegt sé að hreyfingar verði um sprungur og misgengi.



Mynd 19: Kort með tillögum að hættuskiptingu innan sveitarfélagsins Voga.

Á mynd 19 er sett fram svæðaskipting sveitarfélagsins miðað við þá hættu sem greind hefur verið út frá sprunguvirkni og hraunflæði. Hættusvæðum er skipt upp í fimm mismunandi svæði. **Svæði 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. **Svæði 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.



Svæði 3 (appelsínugul svæði). Svæðið er undan halla frá mögulegum hraun flæði svæðum. Svæðið getur verið í byggð og innan svæðisins geta verið mikilvægir innviðir. Svæðið er jaðarsvæði við herra hættusvæði. **Svæði 4** (rauð svæði). Svæðið er jaðarsvæði við há-hættusvæði. Innan svæðisins eru gígar og gossprungur. Svæðið er innan mögulegra áhrifasvæða hrauna. **Svæði 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. 



Niðurstöður:

Hér eru teknar saman helstu niðurstöður hættumatsins út frá þeirri greiningu sem er kynnt hér að framan. Hér skoðum við matið út frá staðsetningu sveitarfélagsins á Reykjanesi. Greining á staðsetningu líklegra eldsupptaka, höggun og hraunflæði eru lykillinn að skilning á þeim hættum sem að sveitarfélaginu stafa.

Sveitarfélagið Vogar

Eldsupptök: Líklegustu svæði eldsupptaka liggja utan sveitarfélagsins. Um mitt sveitarfélagið, á Vogaheiði, Strandarheiði og Vatnsleysuheiði er möguleiki á að gossprungur og gígar myndist á yfirborði. Engir mikilvægir innviðir eru innan mögulegra eldsupptakasvæða að undanskilinni rafmagnslínu til Suðurnesja er liggur á norður jaðri þess svæðis.

Höggun: Þéttur sprungusveimur liggur um mitt sveitarfélagið. Þéttastur er hann við Reiðskarð, á Vogaheiði og Strandarheiði. Sprungusveimurinn sker bæði Reykjanesbraut og rafmagnslínu til Suðurnesja.

Hraunflæði: Mestar líkur eru á að hraunstreymi afmarkist sunnan Reykjanesbrautar í sigdal Eldvarpa-Svartsengis kerfisins. Miklar líkur eru á að hraun geti runnið til sjávar í Vogavík og Vatnsleysuvík. Mikilvægum innviðum eins og Reykjanesbraut og rafmagnslínu til Suðurnesja stendur ógn af hraunrennsli á þessum svæðum. Hins vegar er staðsetning þeirra í norður jaðri til bóta og því er ekki hætt á að þessir innviðir verði gjör eyddir. Jafnframt kemur fram að ef hraun rennur í Vogavík er ekki líkur á að hraun renni jafnframt í Vatnsleysuvík, þar sem mismundandi eldstöðvarkerfi fæða þessi svæði.



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., Cappello, A., Marti, J., Del Negro, C. (2013), QVAST: a new Quantum GIS plugin for estimating volcanic susceptibility. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 13, 3031-3042*
- 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.
- Felpeo et al. (2001), Assessment and modelling of lava flow hazard on Lanzarote (Canary Islands), Nat. Hazards, 23, 247-257*
- Harris, A.J. og Rowland, S., 2001 FLOWGO: a kinematic therrmo-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 Reykjannesskaga I. Jarðfræðileg lýsing með sérkortum og ljósmyndum. Orkustofnun OS JHD 7831, 303 bls. + 30 ljósmyndasíður.
- Jón Jónsson, 1978b. Jarðfræðikort af Reykjannesskaga II. Jarðfræðikort 22 blöð. Mælikvarði 1:25.000. Orkustofnun, OS JHD 7831, 22 kortblöð
- Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson. Reykjannesskagi. (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 thrmomechanical erosion. *Bull. Volcanol.*, 62:519-532.
- Sobradelo, R., Bartolini, S., and Martí, J.* (2014), HASSET: a probability event tree tool to evaluate future volcanic scenarios using Bayesian inference presented as a plugin for QGIS. *Bull. Volcanol.* 76, 770
- Silverman, B. W. (1986), *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman & Hall, London.
- Tarquini, S., Favalli, M.* (2011), Mapping and DOWNFLOW simulation of recent lava flow fields at Mount Etna, *J Volcanol Geotherm Res*, 204, 27-39



- Þorvaldur Þórðarsson. (2013). Hraun.). Í Júlíus Sólmes (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