

Langtímahættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns Hrauna-, gasmengunar- og gjóskufallsvá

Bergrún Arna Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti, Bogi B. Björnsson

Langtímahættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns Hrauna-, gasmengunar- og gjóskufallsvá

Bergrún Arna Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti, Bogi B. Björnsson

Skýrsla nr. 2023-003	Dags. Júní 2023	ISSN 1670-8261	Dreifing: Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
Heiti skýrslu: Langtímahættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns Hrauna-, gasmengunar- og gjóskufallsvá			Skilmálar: Upplag: Rafræn útgáfa Fjöldi síðna: 34 Framkvæmdastjóri sviðs: Matthew J. Roberts
Höfundar: Bergrún Arna Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti, Bogi Brynjar Björnsson			Verkefnisstjóri: Bergrún Arna Óladóttir Verknúmer: 3721-0-0004
Gerð skýrslu/verkstígr:			Málsnúmer:
Unnið fyrir: GOSVÁ			
Samvinnuaðilar:			
Útdráttur: Langtímahættumat hefur verið unnið vegna hraunrennslis-, gasmengunar- og gjóskufallsvár á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns. Hraunrennslisli var hermt frá nærliggjandi eldstöðvakerfum. Líklegra er að eldsuppkoma verði á sunnanverðum skaganum og mannvirki á því svæði geta orðið fyrir skemmdum vegna hraunrennslis. Að auki geta hraun runnið til norðurs verði eldsuppkoma nærri miðjum skaganum. Gasmengun var hermd frá vestustu eldstöðvakerfum Reykjanesskagans. Litlar líkur eru á alvarlegri gasmengun á Reykjanesskaga en þær aðstæður geta þó skapast að loftgæði verði slæm og að hættuástand skapist. Gjóskufall var hermt frá stöku gosopi suðvestur af Reykjanestá. Líklegast er að gjóskufall valdi einungis skammvinnum áhrifum en það dregur úr skyggni og getur stöðvað flugvallarstarfsemi í ákveðinn tíma. Mest áhrif eru af gjóskufalli í upphafi goss þegar gjóska fellur til jarðar en eftir að gjóskufalli lýkur getur gjóskufok haft slæm áhrif á skyggni og loftgæði í langan tíma.			
Lykilorð: Langtímahættumat, Reykjanesskagi, hraunrennslis, gasmengun, gjóskufall, líkanhermanir		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:	
		Undirskrift verkefnisstjóra:	
		Yfirlit af:	

Efnisyfirlit

Myndaskrá	5
Töfluskrá	5
Samantekt helstu niðurstaðna	6
1 Inngangur	8
2 Afmörkun verkefnis	8
3 Jarðfærði Reykjanesskaga – yfirlit.....	9
3.1 Möguleg atburðarás eldgosa – sviðsmyndir framtíðargosa	11
3.1.1 Reykjanes – Svartsengi	12
3.1.2 Fagradalsfjall – Krýsuvík.....	12
4 Staðsetning eldvirkni.....	13
5 Hraunrennsli.....	14
5.1 Hraunrennsli – hermanir	14
5.2 Afmörkun gossprungna sem veitt geta hrauni inn á áherslusvæði.....	14
5.3 Samantekt hraunhermana	20
6 Gasmengun.....	20
6.1 Gasmengun – hermanir	21
6.2 Gasmengun – dekkstu sviðsmyndir	25
6.3 Samantekt gashermana.....	25
7 Gjóskufall.....	26
7.1 Gjóskufall – hermanir	26
7.2 Áhrif gjóskufalls á skyggni og akstursskilyrði	29
7.3 Samantekt gjóskufallshermana	30
8 Mótvægisaðgerðir	31
8.1 Hraunrennsli.....	31
8.2 Gasmengun.....	32
8.3 Gjóskufall.....	32
Þakkarorð	33
Heimildir	34

Myndaskrá

Mynd 1. Yfirlit umfjöllunarsvæðis.....	11
Mynd 2. Reykjanesskagi, þekkt gosop og líklegri gosupptakasvæði.....	13
Mynd 3. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Grindavík og Þórkötlustaðahverfi.	15
Mynd 4. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Voga.....	16
Mynd 5. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Reykjanesbæ	17
Mynd 6. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Svartsengi og Bláa lónið	18
Mynd 7. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn á vatnstökusvæðið í Lágum	19
Mynd 8. Líkur á að klukkustundastyrkur SO ₂ mengunar við jörðu náí eða fari yfir vinnuverndarmörk	23
Mynd 10. Dekkstu sviðsmyndir SO ₂ mengunar í þúsundum µg/m ³ á hverja klukkustund eftir áherslusvæðum	24
Mynd 11. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er 0,1 km ³ og stendur í 72 klst með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá.....	27
Mynd 12. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er 0,1 km ³ og stendur í 4 klst með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá	28
Mynd 13. Litakóðaðar tímaraðir sem sýna breytingar á skyggni og áhrif þeirra á vegasamgöngur á fjórum svæðum á Reykjanesskaga, Keflavíkurflugvelli, Grindavík, Svartsengi og Reykjanesvirkjun	30

Töfluskrá

Tafla 1. Áherslusvæði sem merkt eru inn á líkindakort með númerum. Áherslusvæðum er skipt í þéttbýli, ferðamannastaði og virkjanir og iðnaðarsvæði.	9
--	---

Samantekt helstu niðurstaðna

Unnið hefur verið langtímahættumat vegna eldvirkni á Reykjaneskaga vestan Kleifarvatns sem veitir upplýsingar um væntanleg hættusvæði af völdum eldgosa: hraunrennsliss, gasmengunar og gjóskufalls. Áhersla er á hve útsett eða berskjölduð svæði eru fyrir hraunrennslis, gjóskufalli og gasmengun (SO_2) frá eldsumbrotum innan fjögurra eldstöðvakerfa á Reykjaneskaga, en kerfin eru Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall og Krýsuvík. Sérstaklega var litið til:

- 1) þéttbýlis, þ.e. Grindavík, Vogar, Reykjanesbær (Keflavík, Njarðvík, Ásbrú, Hafnir) og Suðurnesjabær (Sandgerði og Garður)
- 2) virkjana og iðnaðarsvæða (s.s. Svartsengi og Reykjanesvirkjun),
- 3) fjölsóttu ferðamannastaða (s.s. Keflavíkurlugvöll, Bláa lónið, Fagradalsfjall) og
- 4) neysluvatns (vatnstökusvæði í Lágum).

Helstu niðurstöður:

Gosupptök

Þau gosop sem þekkt eru á skaganum eru staðsett sunnan megin á skaganum, umhverfis meinta legu flekaskila Evrasíu og Norður-Ameríkuflékanna, og framleiðni kerfanna virðist mest þar sem sprungusveimar eldstöðvakerfa skagans þvera flekaskilin. Því er líklegt að framtíðargosop opnast einnig sunnan megin á skaganum þó svo að ekki sé hægt að útiloka kvikuhlaup til norðurs.

Hraunavá

Reykjaneskagi er byggður upp af hraunum og móbergsstöpum sem sýnir að hraun hafa runnið nánast hvar sem er á skaganum á einhverjum tímapunkti í myndunarsögunni. Jarðfræði Reykjaneskagans bendir til að hverfandi líkur séu á að gosupptök verði vestan við skilgreind mörk eldstöðvakerfis Reykjanes en þar eru þéttbýliskjarnar Reykjanesbæjar og Suðurnesjabæjar staðsettir. Hermd hraun sem hafa áhrif þar eiga því upptök innan skilgreindra eldstöðvakerfa og ná að renna inn í þéttbýlin. Keflavíkurlugvöllur er vel staðsettur á Miðnesheiði þar sem afar ólíklegt er að hraun hafi áhrif á innviði. Vogar eru staðsettir nyrst á skaganum og ólíklegt er að gosupptök verði þar í grennd. Hraunvá er því lítil í Reykjanesbæ, Suðurnesjabæ, Vogum og á Keflavíkurlugvelli.

Grindavík er eina þéttbýlið á Reykjaneskaga vestan Kleifarvatns sem er útsett fyrir hraunvá. Í ljósi þess að síðustu þrjú gos á Reykjaneskaga áttu sér stað í Fagradalsfjalli er það einnig líklegur hraunrennslisstaður. Bláa lónið, virkjanir í Svartsengi og á Reykjanesi og vatnstökusvæði í Lágum eru útsett fyrir hraunrennslis. Niðurstöður hraunhermana hafa verið notaðar til að afmarka þau upptakasvæði sem veitt geta hrauni inn í Grindavík, Þórkötlustadahverfi, Voga, Reykjanesbæ, Bláa lónið, Svartsengi og vatnstökusvæði í Lágum en upptök lítilla gosa sem náðu að veita hraunum inn á athugunarsvæðin voru mest í tæplega 3,5 km fjarlægð og upptök meðalstórra gosa í mest um 6 km fjarlægð.

Gasmengunarvá

Niðurstöður hermana gefa til kynna að litlar líkur séu á alvarlegri gasmengun á Reykjaneskaga. Jafnframt sýna þær að Miðnesheiði sé líklegasta svæðið til að verða fyrir gasmengun við jörðu vegna eldgosa frá eldstöðvakerfum Reykjanes, Svartsengis og Krýsuvíkur. Miðað við forsendur sem hermanir byggja á (magn losunar og veðurgögn) eru meiri líkur á víðfeðmum mengunaráhrifum frá gosum innan Krýsuvíkurerfisins en innan Reykjanes- og Svartsengiskerfanna. Gasmengun hefur ekki teljandi áhrif á innviði en veldur ama og getur haft áhrif á heilsu manna og dýra. Þó svo

að litlar líkur séu á að hættuástand skapist (þ.e. að styrkur SO₂ fari yfir 14.000 µg/m³) getur það gerst nánast hvar sem er skv. niðurstöðum einstakra hermana.

Gjósकुfallsvá

Miðað við þær forsendur sem gjóskudreifingarhermanir byggja á (upptök goss SV af Reykjanestá, stærð, gosmakkarhæð og veðurgögn) getur meira en 10 cm gjóskulag myndast vestast á Reykjanesskaga en meiri líkur eru á að þykkara gjóskufall myndast á skaganum sé gosmökkur lágur. Gjóskufall gæti valdið röskun á starfsemi Keflavíkurflugvallar og haft áhrif á viðnám á flugbrautum, gæti truflað löndun á hafnarsvæðum og orðið til þess að hráefni spillist standi það of lengi. Gjóskufall er ólíklegt til að hafa áhrif á virkjanir og vatnstökusvæði þar sem framleiðslukerfi eru lokuð. Gjóskufall heftir aðgengi að svæðum og spillir skyggni og eftir að gjóskufalli lýkur getur endurflutningur eða gjóskufok einnig spillt loftgæðum og skyggni. Gjóska getur hulið vegmerkingar og haft áhrif á viðnám gatna, en hefur ekki teljandi áhrif á innviði á þéttbýlissvæðum. Fólk sem dvelur utandyra í gjóskufalli getur upplifað öndunar og sjónerfiðleika í gjóskufalli og eins í roki og gjóskufoki stuttu eftir gjóskufall.

Frá langtímahættumati yfir í skammtímahættumat

Hver atburður er einstakur og þegar rauntímagögn úr eftirlitskerfi benda til að nýtt gos sé yfirvofandi tekur skammtímahættumat við. Þar eru stillingar líkana úr langtímahættumati nýttar, hermanir gerðar með nýjum forsendum (s.s. gosupptökum) og öll gögn uppfærð m.t.t. nýrra upplýsinga. Þannig fæst betri mynd af því hvaða svæði eru útsett fyrir hraunrennsli, gasmengun og gjóskufalli frá einstökum atburðum. Þegar eldgos hefst eru keyrðar gas- og gjóskudreifingarspár sem byggja á bestu fyrirliggjandi upplýsingum og nýjustu veðurspám en þær spár eru aðgengilegar á <https://dispersion.vedur.is>. Til að spá fyrir um framvindu hraunrennslis daga og vikur fram í tímann þarf að endurstilla líkön og keyra á ný með tilliti til nýrra upplýsinga.

Innviðir

Í aðdraganda goss í Fagradalsfjalli árið 2021 var stofnaður starfshópur á vegum Almannavarnardeildar ríkislögreglustjóra sem fór yfir varnir mikilvægra innviða og einn hluti niðurstaðna þess hóps var ýtarleg samantekt á innviðum á svæðinu umhverfis Grindavík og Voga (Dóra Hjálmarsdóttir, 2022; og minnisblöð). Innviðir á Reykjanesskaga sem gætu orðið fyrir áhrifum af eldgosum á skaganum eru þéttbýli, og allar tegundir innviða sem þar eru, rafmagns- og vatnsveita (heitt og kalt vatn), fráveita og lagnir að og frá byggðum, fjarskiptainnviðir, atvinnustarfsemi og samgöngumannvirki (vegir og flugvellir). Komi til eldsumbrota á óheppilegum stað á skaganum getur orðið umtalsvert tjón af völdum hraunrennslis. Gasmengun og gjóskufall hafa lítil áhrif á innviði sem slíka en geta valdið röskun á atvinnustarfsemi, samgöngum og valdið almennum ama.

1 Inngangur

Á Íslandi er mikil og margskonar eldvirkni en landið er strjálbýlt og flest virkustu eldstöðvakerfi landsins eru fjarri mannabyggð. Þó eru nokkur þéttbýli innan áhrifasvæða virkra eldstöðva s.s. byggð á höfuðborgarsvæðinu sem stendur á hraunum frá Krýsuvík og Brennisteinsfjöllum og Grindavík sem stendur á hrauni Svartsengiskerfinu. Mikilvægt er að almenningur í landinu geri sér grein fyrir þeim hættum sem fylgja því að búa í nágrenni við virkar eldstöðvar og umgangist þær skynsamlega. Besta forvörnin felst í þekkingu og því er mikilvægt að stunda rannsóknir á eldgosasögu landsins og nýta þá þekkingu sem við búum yfir til að kortleggja berskjölduð svæði, vinna hættumat og í kjölfar þess áhættumat.

Gott hættumat spáir fyrir um framtíðarvirkni svæðis en spáin byggir á yfirgripsmikilli þekkingu á hegðun þess svæðis sem unnið er með í hvert sinn. Hættumat vegna náttúruvár skiptist í langtíma- og skammtímahættumat. Langtímahættumat er unnið þegar eldstöð sýnir litla sem enga virkni og byggist á þekkingu á eldvirkni viðkomandi eldstöðva. Niðurstöður hjálpa til við skipulag byggðar og landnýtingar með það að markmiði að draga úr efnahagslegu tjóni af völdum eldgosa. Eins geta niðurstöður nýst við uppfærslu viðbragðsáætlana. Þegar eldstöð sýnir merki um aukna virkni fellur langtímahættumat úr gildi og skammtímahættumat tekur við. Skammtímahættumat byggir á langtímahættumati og tekur að auki tillit til allra nýjustu upplýsinga sem liggja fyrir hverju sinni. Sífellt er unnið að því að minnka líkur á manntjóni af völdum eldvirkni með óslitnu eftirliti með virkum eldstöðvum landsins.

Hér er kynntur hluti verkefnis er varðar langtímahættumat vegna eldgosa í nálægð við þéttbýli og unnið er með Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns. Verkefnið er eitt af mörgum verkefnum GOSVÁR en í því verki er unnið að heildaráhættumati vegna eldgosa á Íslandi. GOSVÁ er samvinnuverkefni Veðurstofu Íslands, Jarðvísindastofnunar Háskólans, Landgræðslu ríkisins, Vegagerðarinnar og Almannavarnadeildar ríkislögreglustjóra, leitt af Veðurstofu Íslands. Hættumatsvinna er undirstaða áhættumats en þar sem áhættuviðmið vegna eldgosa hafa ekki verið skilgreind á lögformlegan hátt eru ekki forsendur til að ljúka áhættumati svæðanna að sinni.

Vá af völdum eldvirkni er margþætt en hér verður fjallað um vá sem skapast af völdum hraunrennslis, gasmengunar og gjóskufalls. Megintilgangur verkefnisins er að vinna langtímahættumat, þ.e. að veita upplýsingar um væntanleg hættusvæði af völdum fyrrnefndra atriða.

2 Afmörkun verkefnis

Langtímahættumat af völdum eldvirkni fyrir Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns hefur verið unnið með það fyrir augum að afmarka upptakasvæði hraunrennslis sem getur flætt inn á ákveðin svæði og skoða hvaða svæði eru líkleg til að verða fyrir gasmengun (SO_2) og gjóskufalli frá eldsumbrotum á eldstöðvakerfum Reykjaness, Svartsengis, Fagradalsfjalls og Krýsuvíkur (hédan í frá einnig nefnt Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall og Krýsuvík). Einnig hafa dekkstu hermdu sviðsmyndir á ákveðnum svæðum verið settar fram. Megináhersla var á að skoða áhrif á innviði m.t.t. staðsetningar þeirra en þeir innviðir sem skoðaðir voru eru þéttbýli, vegir, alþjóðaflugvöllur, rafmagnsinnviðir, vatnsveita og vatnsból. Ekki var unnið með jarðskjálftavá en bent er á skýrslu um hættumat vegna eldgosa og jarðskjálfta í Hvassahrauni og heimildir þar (Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023a).

Ákveðin svæði eru merkt inn á líkindakort til að draga athygli að þeim svæðum m.t.t. aðsteðjandi vár en þeim svæðum er skipt í 1) þéttbýli, 2) ferðamannastaði og iðnaðarsvæði og 3) virkjanir (Tafla 1).

Tafla 1. Áherslusvæði sem merkt eru inn á líkindakort með númerum. Áherslusvæðum er skipt í þéttbýli, ferðamannastaði og virkjanir og iðnaðarsvæði.

	Nr.	Áherslusvæði		Nr.	Áherslusvæði		Nr.	Áherslusvæði
	Þéttbýli	10		Grindavík	Ferðamannastaðir		6	Keflavíkurflugvöllur
11		Þórkötlustaðahverfi	16	Bláa lónið		20	Reykjanesvirkjun	
1		Vogar	14	Fagradalsfjall		22	Lágar vatnstökusvæði	
2		Reykjanesbær-Njarðvík	13	Keilir		21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	
3		Reykjanesbær-Keflavík	17	Brimketill		5	Tengivirki Ásbrú	
4		Reykjanesbær-Ásbrú	12	Seltún		25	Hvassahraun	
7		Garður	18	Gunnhver-Reykjanesviti				
8		Sandgerði	19	Brú milli heimsálfa				
9		Reykjanesbær-Hafnir	23	Eldvörp				
			24	Þorbjörn				

Frá árinu 2021 hefur gosið þrisvar sinnum á Reykjaneskaga (árin 2021, 2022 og 2023) en fyrir það hafði ekki gosið á skaganum í um 800 ár. Því hefur einungis verið fylgst með þremur gosum með nútímaeftirliti. Óvissa í atburðarrás framtíðargosa er því mikil (mun gjósa? Hvar verður eldsuppkoma? Hve stórt verður gos? Hve lengi stendur gos? Hvernig verða áhrif veðurs o.s.frv.) og í raun er ekki raunhæft að gefa ákveðnar reiknaðar líkur á náttúruváratburðum sem þessum eða áhrifum þeirra á umhverfi sitt. Niðurstöður hættumats hraunrennslis, gasmengunar og gjóskufalls byggja því á fyrir fram ákveðnum sviðsmmyndum sem voru skilgreindar út frá þekktri virkni Reykjaneskagans.

Hér eru settar fram helstu niðurstöður verkefnisins en að auki hefur verið skrifuð tæknileg skýrsla um sama efni þar sem nálgast má frekari upplýsingar um fræðilegar forsendur, aðferðafræði og ýtarlegar niðurstöður sem þær niðurstöður sem hér eru birtar byggja á (Bergrún A. Óladóttir o.fl. 2023b).

3 Jarðfærði Reykjaneskaga – yfirlit

Ísland er einn fátta staða á jörðinni þar sem úthafshryggur rís upp yfir sjávarmál en möttulstrókur undir landinu lyftir úthafsskorpunni og orsakar mikla staðbundna eldvirkni. Flekaskil Evrasíu og Norður-Ameríkuflekanna, Norður-Atlantshafshryggurinn, liggja að landinu sunnanverðu um Reykjaneshrygg og norðanverðu um Kolbeinseyjarhrygg. Frárek úthafshryggjarins á landi á sér stað innan svokallaðra rekbelta en eldvirkni fylgir flekaskilunum og því er að jafnaði talað um eldvirku svæðin sem gosbelti. Gosbeltum landsins er skipt í mismunandi svæði, s.s. Norður- og Austurgosbelti og gosbeltin skiptast upp í mismunandi eldstöðvakerfi (Kristján Sæmundsson, 1979). Í gegnum jarðsöguna hafa rekbelti landsins hliðrast, til að viðhalda tengingu þeirra við möttulstrók Íslands. Við þessar hliðranir hafa stór þverbrotabelti myndast þar sem hjárek flekanna á sér stað. Annað þessara þverbrotabelta er brotabelti Suðurlands og Reykjanes sem er með virkustu jarðskjálftasvæðum landsins.

Höggun (tektóník) Reykjaneskagans er flókin en frárek Evrasíu og Norður-Ameríkuflekanna myndar gliðnun og hjárek flekanna myndar þverbrotabelti sem tengir Reykjaneskagagobeltið við Austurgosbeltið (t.d. Clifton & Kattenhorn, 2006; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Mynd 1). Gígar, gígaráðir, gjár og misgengi með NA-SV stefnu eru ummerki gliðunarinnar en minniháttar skástígar gjár eða kerfi sniðgengja með N-S stefnu eru ummerki

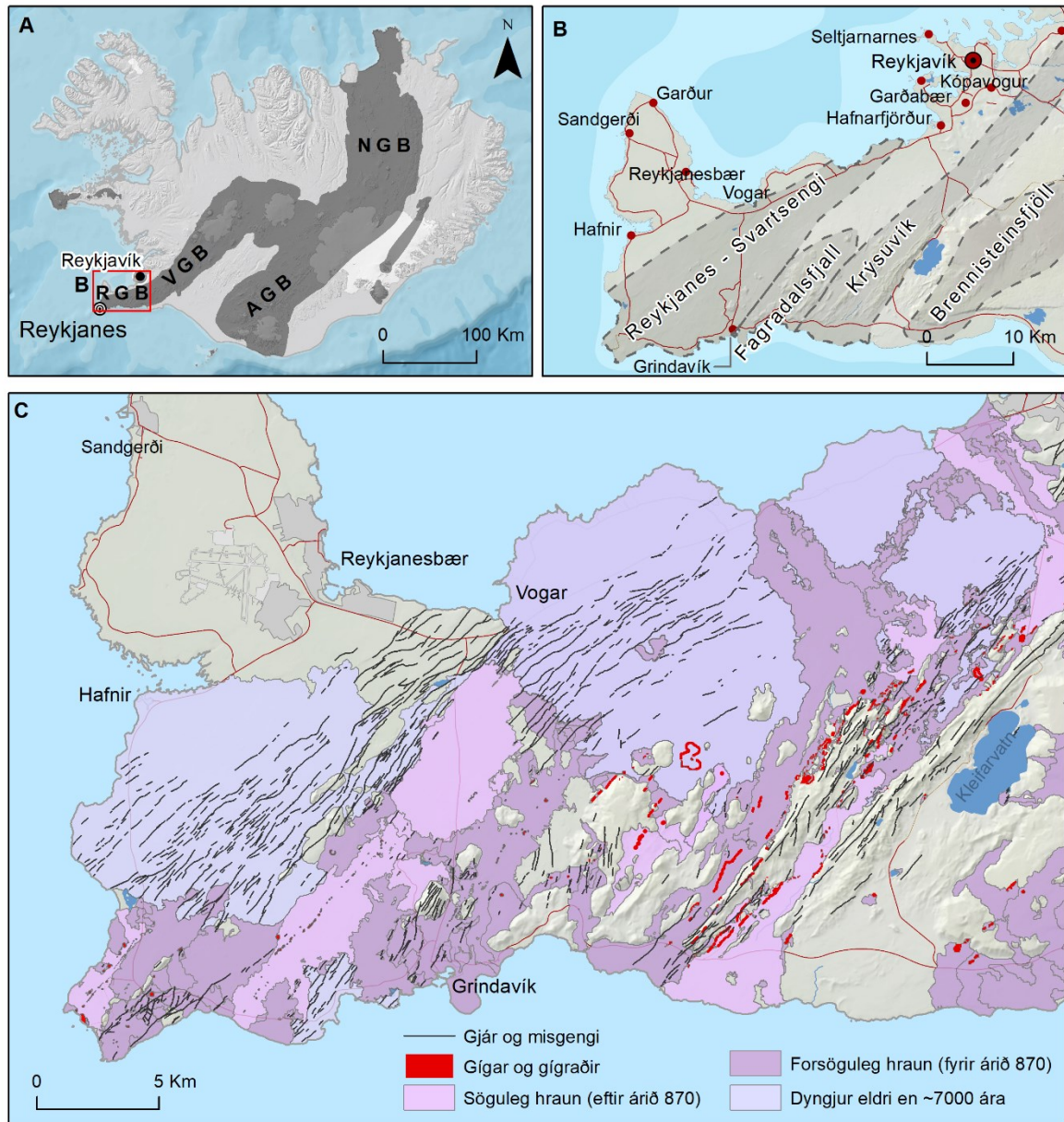
þverbrotabeltisins (Sigrún Hreinsdóttir o.fl., 2001; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Páll Einarsson, 2014; Steigerwald o.fl., 2020).

Þekking á virkni Reykjanesskagans síðustu ~4000 árin bendir til að þar skiptist á gosskeið sem standa í nokkur hundruð ár og mun lengri tímabil goshléa þar sem jarðskjálftavirkni þverbrotabeltisins er ríkjandi (t.d. Sigrún Hreinsdóttir o.fl., 2001; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Sveinbjörn Björnsson o.fl., 2020). Á gosskeiðum er gliðunarbeltið fyrst og fremst virkt en svokallaðir gíkkskjálftar, þ.e. skjálftar sem losa spennu sem safnast upp í jarðskorpunni af völdum kvikuinnskota, geta einnig orðið á þverbrotabeltinu. Jarðskjálftar á þverbrotabeltum eru jafnan stærri en þeir á gliðunarbeltum.

Á Reykjanesskaga eru fimm eldstöðvakerfi: Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll, nafngreind frá vestri (Mynd 1). Eldstöðvakerfi Hengils er á mörkum Reykjanesskagagossbeltisins og Vesturgosbeltisins og liggur austan við Brennisteinsfjöll. Hér er fjallað um fjögur vestustu kerfin en þau eru 5–15 km breið og 3050 km löng. Ekkert þeirra hefur skilgreinda megineldstöð en öll sýna mesta framleiðni þar sem sprungusveimar kerfanna þvera flekaskilin, en þar mætti segja að kjarni kerfanna væri staðsettur, og þar eru einnig jarðhitakerfi svæðanna. Fagradalsfjall er eina kerfið sem ekki hefur þróað háhitakerfi (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Út frá kjarna kerfanna liggja sprungusveimar sem ná oftast á norðurhluta Reykjanesskagans en þekktar gossprungur á sprungusveimunum eru aðeins sunnan megin á skaganum.

Goshlé einstakara eldstöðvakerfa eru allt að 1000 ára löng, mun lengri en goshlé Reykjanesskagans í heild sem eru 600–800 ár skv. þekktri gossögu. Svo virðist sem goslotur eða eldar gangi yfir öll kerfi Reykjanesskagans á svipuðum tíma og myndi eins konar hrinur. Vísbindingar eru um að virkni síðustu 3500 ára hafi hafist austan til á skaganum og flust vestur á bóginn. Brennisteinsfjöll virðist þannig hafa tilhneigingu til að hefja virknina, Krýsuvíkurkerfið fylgir svo í kjölfar þess, þá Svartsengiskerfið og loks Reykjaneskerfið (Kristján Sæmundsson & Haukur Jóhannesson, 2006; Kristján Sæmundsson, o.fl., 2020). Á síðasta gosskeiði, sem stóð frá ~800–1240 e.Kr., gaus á fjórum af fimm eldstöðvakerfum Reykjanesskaga en gosvirkni fluttist milli kerfa með 30–150 ára milli bili (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Þegar gos hófst í Fagradalsfjalli, um miðbik Reykjanesskaga, í mars 2021 sannaðist enn og aftur að þrátt fyrir að ákveðin mynstur séu sjáanleg í virkni og hegðun eldstöðva eru þau langt í frá ófrávikjanleg.

Einkennisgos eldstöðvakerfa Reykjanesskaga eru flæðigos en skaginn er lagður hraunum af mismunandi aldri. Grágrýtissyrpur frá hlýskeyðum ísaldar eru elstar en ísaldarjökullinn hefur máð út yfirborðseinkenni þeirra, á jökulskeyðum ísaldar mynduðust móbergshryggir og -stapar við gos undir jökli og eftir að ísa leysti hafa dyngjugos og sprungugos myndað yfirborðshraun (Mynd 1). Gos á Reykjanesskaga hafa verið flokkuð í stærðarflokka eftir magni gosefna þannig að lítil gos mynda <0,1 km³, meðalstór 0,1–0,5 km³ og stór >0,5 km³ (Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson, 2019). Flest hraun á Reykjanesskaga eru innan við 0,2 km³, þau stærstu 0,4–0,5 km³ og lengst hafa þau runnið um 15 km frá upptökum (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Eins eru flestar gossprungur innan við 2 km að lengd.



Mynd 1. Yfirlit umfjöllumarsvæðis. A) Ísland og staðsetning gosbelta landsins, RGB: Reykjaneskagagobelti, VGB: Vesturgosbelti, AGB: Austurgosbelti og NGB: Norðurgosbelti. Rauður ferhyrningur afmarkar svæði sem nánar er sýnt á mynd B. B) Útlínur eldstöðvakerfa á Reykjaneskaga. C) Reykjaneskagi, hraun sem hafa runnið á svæðinu, gjár, misgengi, gígar og gígaraðir. Svæði sem hér er sýnt er umfjöllun skýrslunnar þ.e. Reykjaneskagi vestan Kleifarvatns.

3.1 Möguleg atburðarás eldgosa – sviðsmyndir framtíðargosa

Settar hafa verið fram mögulegar atburðarásir framtíðargosa í eldstöðvakerfum landsins á Íslenskri eldfjallavefsja (www.islenskeldfjoll.is). Efnið sem þar er aðgengilegt var að hluta unnið í fyrsta áfanga GOSVÁR verkefnisins og eftirfarandi texti er tekinn nánast beint af vefsíðunni.

3.1.1 Reykjanes – Svartsengi

Mögulegar atburðarásir í eldgosum á Reykjanes og Svartsengis kerfunum eru teknar saman af Magnúsi Á. Sigurgeirssyni og Sigmundi Einarssyni (2019) en þar sem virkni kerfanna er að mörgu leyti lík er mögulegri atburðarás frá kerfunum tveimur lýst saman:

Lítill eldgos (gjóskufall og hraun <0,1 km³)

Gos af þessum toga eru sprungugos á landi eða að hluta í sjó við Reykjanes. Þau mynda lítið magn hrauns og gjósku. Þrjú gjóskulög úr litlum gosum hafa fallið á landi en tvö þeirra hafa takmarkaða dreifingu. Hæð gosmakkar er óþekkt en líklega <<10 km. Fyrirboðar og viðvörunartími er óþekktur en eru taldir svipaðir því sem sást fyrir upphaf goss í Fagradalsfjalli 2021 eða aukin skjálftavirkni og þensla dögum, vikum, mánuðum fyrir upphaf goss.

Meðalstór eldgos (gjóskufall og hraun 0,1–0,5 km³)

Meðalstór gos eru sprungugos, einkum á landi en gætu þó einnig náð í sjó við Reykjanes. Í gosinu árið 1226 var heildarrúmmál gjósku ~0,1 km³. Frá 1230 til 1240 mynduðust hraun í sprungugosum á Svartsengiskerfinu sem ná yfir 50 km² en rúmmál þeirra er >0,3 km³. Hæð gosmakka(r) er óþekkt en er líklega <<10 km. Fyrirboðar og viðvörunartími er óþekktur en eru taldir svipaðir því sem sást fyrir upphaf goss í Fagradalsfjalli 2021 eða aukin skjálftavirkni og þensla dögum, vikum, mánuðum fyrir upphaf goss.

Stór eldgos (gjóskufall og hraun >0,5 km³)

Ekki er vitað um nein stór eldgos frá Reykjanesi eða Svartsengi.

3.1.2 Fagradalsfjall – Krýsuvík

Mögulegar atburðarásir í eldgosum á Krýsuvíkurkerfinu voru teknar saman af Sigmundi Einarssyni (2019). Fagradalsfjall hefur oft verið talið hluti af Krýsuvíkurkerfinu og mögulegri atburðarás eldgosa frá kerfunum tveimur er lýst saman:

Lítill eldgos (hraun <0,1 km³; Meradalir 2022)

Gos af þessu tagi eru basísk sprungugos á landi sem vara í nokkra daga. Frá þeim koma lítil hraun og óveruleg gjóska. Rúm- og flatarmál litla hraunsins sem myndaðist árið 2022 var 0,01 km³ og 1,3 km². Gosmökkur getur risið í <1 km hæð og myndast úr vatnsgufu sem sameinast eldfjallagasi.

Fyrirboðar eru taldir svipaðir því sem sást fyrir upphaf goss í Fagradalsfjalli 2021 eða aukin skjálftavirkni og þensla dögum, vikum, mánuðum fyrir upphaf goss.

Meðalstór eldgos (hraun 0,1–0,5 km³; Geldingadalir 2021)

Fyrirboðar eru taldir svipaðir því sem sást fyrir upphaf goss í Fagradalsfjalli 2021 eða aukin skjálftavirkni og þensla dögum, vikum, mánuðum fyrir upphaf goss.

Gos af þessu tagi eru basísk sprungugos á landi sem vara í nokkra daga, vikur eða mánuði. Í þeim myndast meðalstórt hraun og óveruleg gjóska. Samanlagt rúm- og flatarmál hraunanna úr meðalstóru eldgosu í goslotu árið 2021 var 0,15 km³ og 4,85 km² en meðalþykkt hraunsins var 30 m enda fyllti það upp í dali í Fagradalsfjalli. Gosmökkur getur risið í <1km hæð og myndast úr vatnsgufu sem sameinast eldfjallagasi.

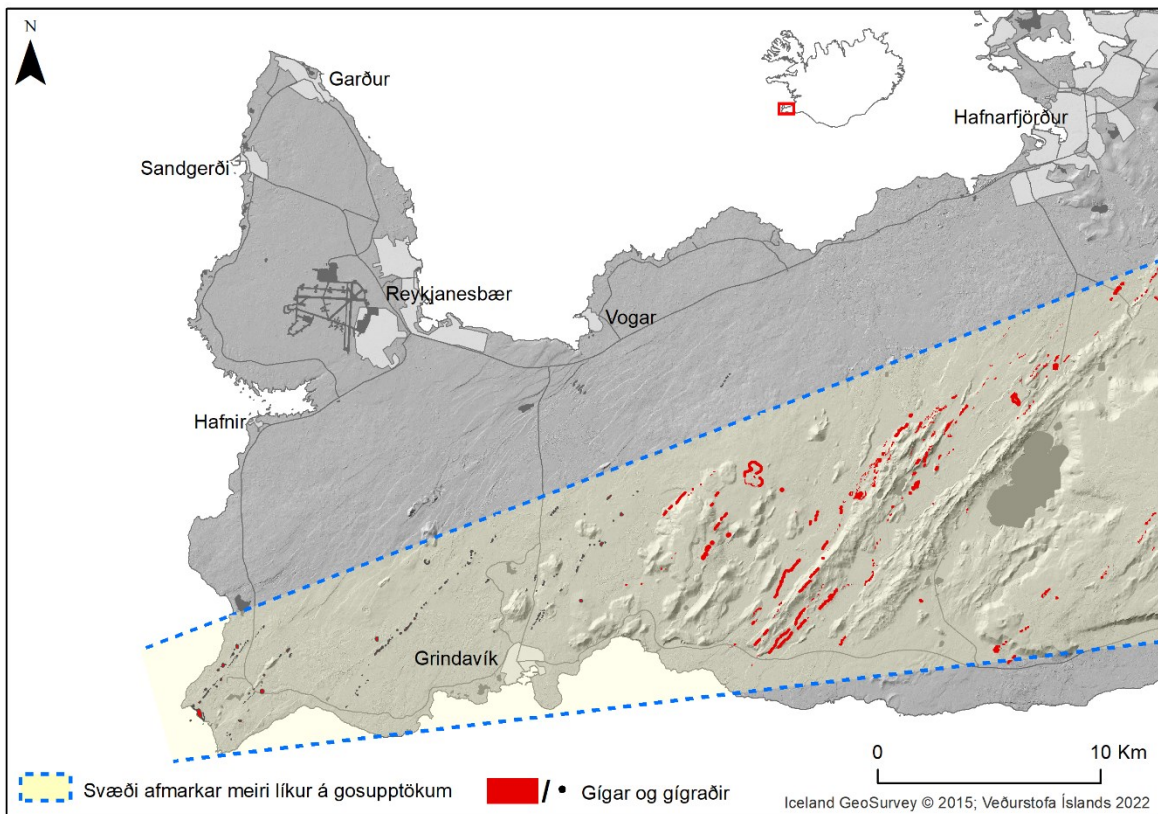
Hraun í þessum gosum getur haft tímabundin áhrif á fólk og gæti truflað samgöngur ef rygni yfir vegi.

Stór eldgos (hraun >0,5 km³)

Ekki er vitað til þess að gos af þessari stærðargráðu hafi átt sér stað á sögulegum tíma og er slíkur atburður talinn ólíklegur.

4 Staðsetning eldvirkni

Eitt það flóknasta við gerð langtímahættumats er að spá fyrir um staðsetningu framtíðargosopa en án þekktra upptaka er erfitt að skilgreina að hvaða svæðum vá stafar. Reykjanessskagi er byggður upp af hraunum og móbergsstöpum sem sýnir að hraun hafa runnið nánast hvar sem er á skaganum á einhverjum tímapunkti í myndunarsögunni. Þau gosop sem þekkt eru á skaganum eru staðsett sunnan megin (Mynd 1), umhverfis meinta legu flekaskila Evrasíu og Norður-Ameríkuflekanna, og framleiðni kerfanna virðist mest þar sem sprungusveimar þvera flekaskilin. Því er líklegt að framtíðargosop opnist einnig sunnan megin á skaganum (Mynd 2) þó ekki sé hægt að útiloka kvikuhlaup til norðurs. Með því að nota þekkt gosupptök og önnur jarðfræðigögn (sprungur, jarðhitakerfi) má gera tilraun til að skilgreina upptakasvæði frekar en niðurstöður slíkra tilraunar endurspeglast einungis af þeim upphafsgögnum sem notuð eru og taka því ekki tillit til þess að t.d. ung hraun geta hulið eldri gosop (sjá frekar Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023b) . Með góðu eftirlitskerfi geta rauntímagögn þrengt upptakasvæði þegar atburður fer í gang en þá er langtíma-hættumat fallið úr gildi og skammtímahættumat tekið við.



Mynd 2. Afmörkun líklegri gosupptakasvæða á Reykjanessskaga. Afmörkun byggir á þekktum gosupptökum (rauðir og svartir punktar), upptökum jarðskjálfta á Reykjanessskaga á árunum 1991–2023 (<https://skjalftalisa.vedur.is>) og fjarlægð frá meintum flekaskilum Evrasíu og Norður-Ameríkuflekanna.

5 Hraunrennsli

Hraunrennislisvá er mismikil eftir staðsetningum. Renni hraun að innviðum (eða yfir þá) getur það valdið miklu tjóni, jafnvel gjöreyðingu innviða sem eru staðsettir í farvegum þess og vegir geta lokast, a.m.k. tímabundið. Hætta af völdum hraunrennislis er í raun lítil m.t.t. mannlífa en hraungosum fylgir töluverð gasmengun (t.d. SO₂, CO₂, CO, H₂S) sem getur haft áhrif á heilsu manna og dýra.

Gosupptök eru líklegri sunnan megin á Reykjaneskaga og svæði þar eru því líklegri til að verða fyrir hraunrennsli en svæði norðanmegin. Svæði sem liggja lægst í landslagi eru líklegri til að verða fyrir hraunrennsli til langtíma lítið en gosupptök geta einnig orðið í fjallshlíðum og því er ekki útilokað að svæði sem liggja hátt í landslagi verði fyrir hraunrennsli í einstökum atburðum. Þeir innviðir sem eru staðsettir sunnan megin á skaganum eru meira útsettir fyrir hraunrennsli en hraun geta runnið til norðurs verði gosupptök nærri miðju skagans.

5.1 Hraunrennsli – hermanir

Hraunhermanir voru gerðar með hraunhermilíkaninu MrLavaLoba (de' Michieli Vitturi & Tarquini, 2018) frá hermigossprungum sem voru jafndreifðar á landi með 1 km millibili frá vesturmörkum Reykjaneskerfisins til austurmarka Krýsuvíkurkerfisins. Tvær stærðir hrauna voru skoðaðar: 0,02 km³ og 0,3 km³.

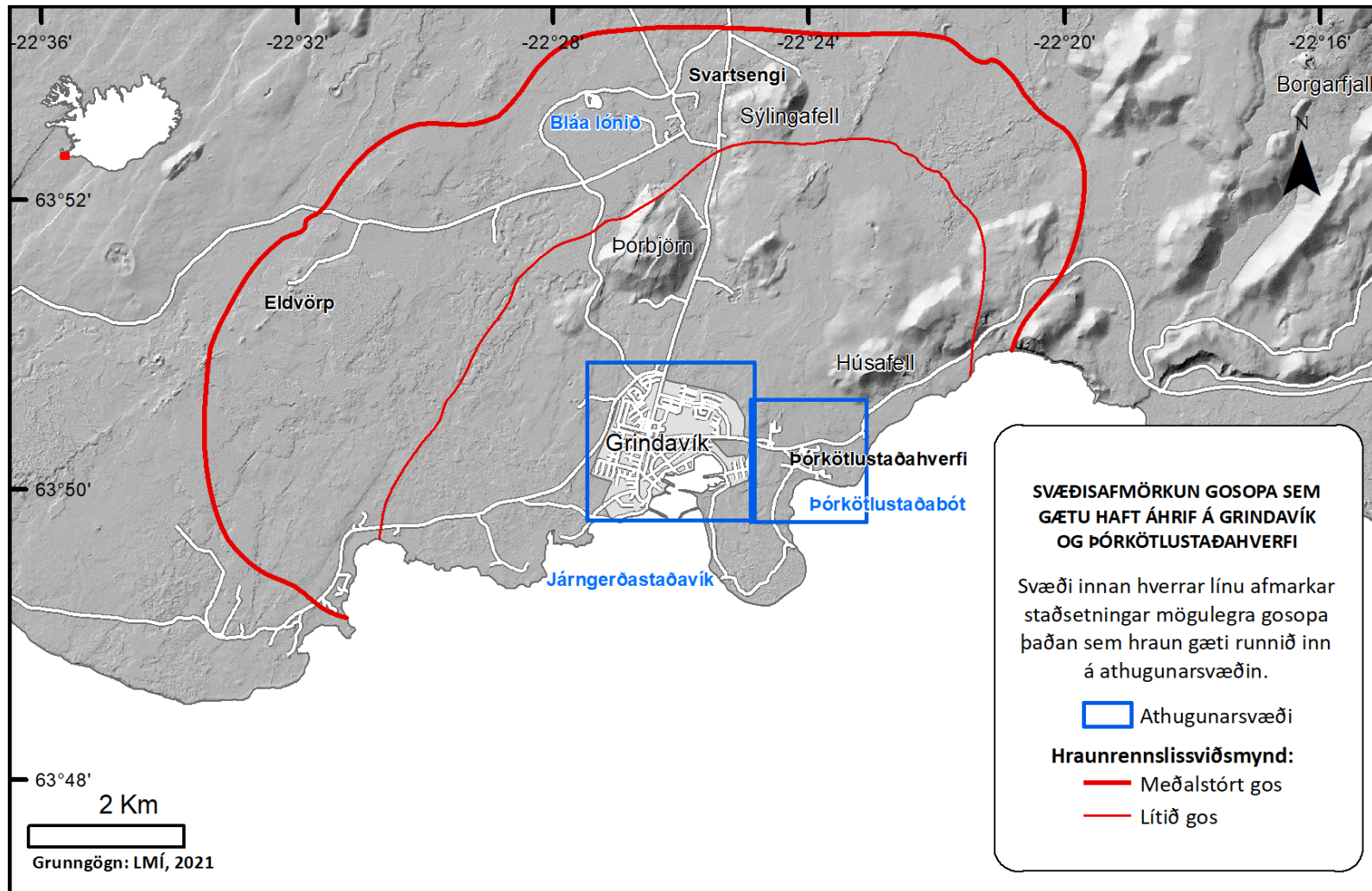
Niðurstöður hraunhermana benda til að Grindavík sé það þéttbýli á Reykjaneskaga sem er líklegast til að verða fyrir hraunrennsli. Vogar eru staðsettir norðan megin á skaganum og því fjarri líklegum gosupptökum en þó er ekki ómögulegt að hraun renni inn í þéttbýlið. Reykjanesbær (að meðtöldum Höfnum) og Suðurnesjabær (Sandgerði og Garður) eru staðsett vestanmegin við vesturmörk Reykjaneskerfisins og mjög ólíklegt er að gosupptök verði þar. Engar hraunhermanir voru gerðar utan skilgreindra eldstöðvakerfa. Það hermda hraunrennsli sem hefur möguleg áhrif á Reykjanesbæ og Suðurnesjabæ hefur því upptök innan skilgreindra eldstöðvakerfa og rennur þaðan að þéttbýlinu.

Keflavíkurflugvöllur er á Miðnesheiði þar sem er talið ólíklegt að gosupptök verði og afar ólíklegt er að hraunrennsli hafi áhrif á innviði þar. Af ferðamannastöðum sem skoðaðir voru varð Bláa lónið oftast fyrir hraunrennsli. Fari að gjósa í grennd við virkjanirnar í Svartsengi og á Reykjanesi er líklegt að þær verði fyrir hraunrennsli og það sama má segja um vatnstökusvæðið í Lágum en það liggur í lægd í landslagi og töluvert svæði getur skilað hrauni þangað skv. hermunum.

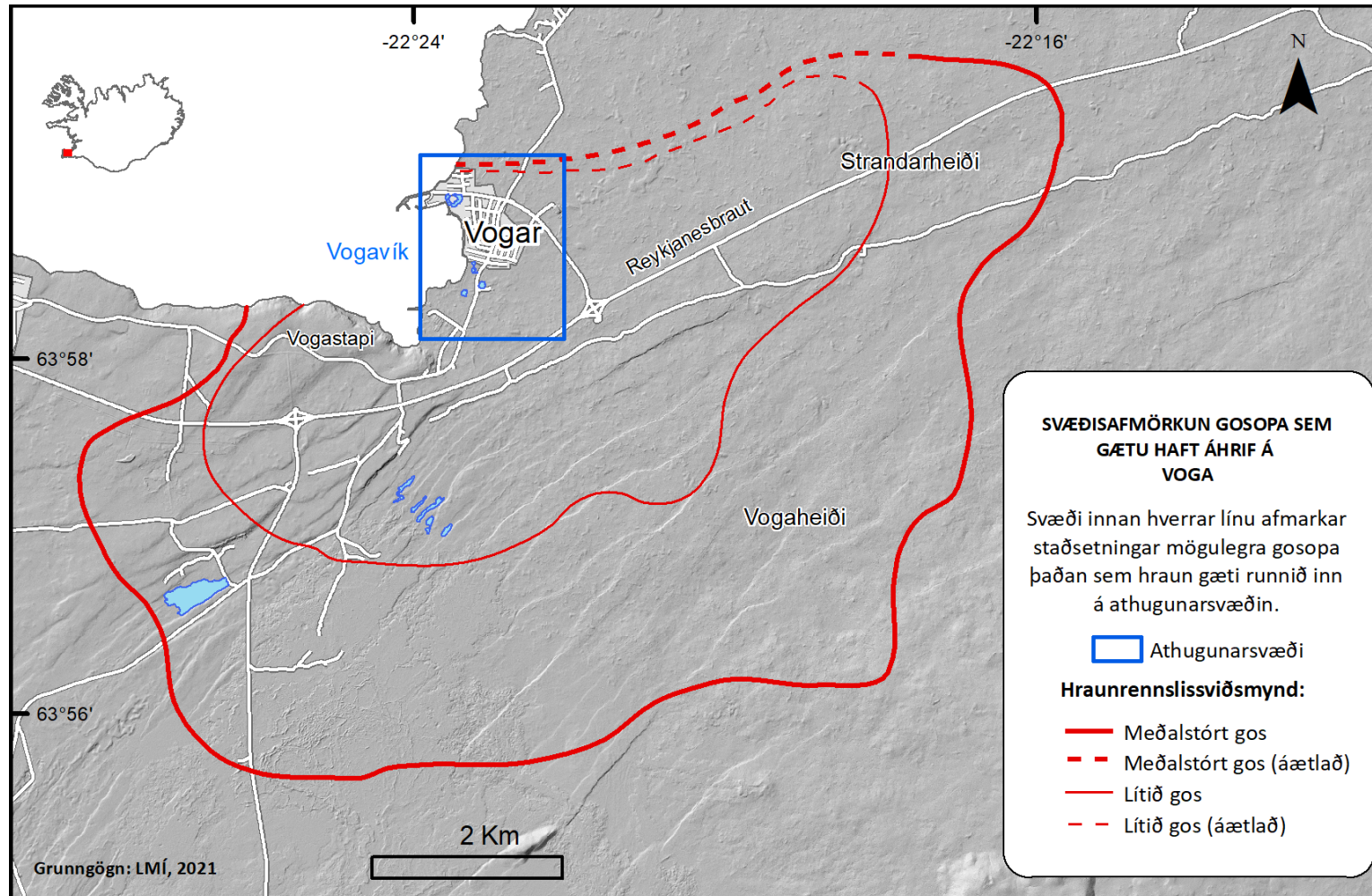
5.2 Afmörkun gossprungna sem veitt geta hrauni inn á áherslusvæði

Niðurstöður hraunhermana voru notaðar til að afmarka landfræðilega gosupptök lítilla (0,02 km³) og meðalstórra (0,3 km³) gosa sem geta veitt hrauni inn á fimm mikilvæg svæði á Reykjaneskaga. Nægilegt var að örlítill hluti hermids hraunrennislis kæmist inn á athugunarsvæði til að gosupptök lentu innan afmörkunar. Gosupptök lítilla gosa eru mest í um 3,5 km fjarlægð frá athugunarsvæði og meðalstórra gosa í um 6 km fjarlægð. Athugunarsvæðin sem áhersla var lögð á eru:

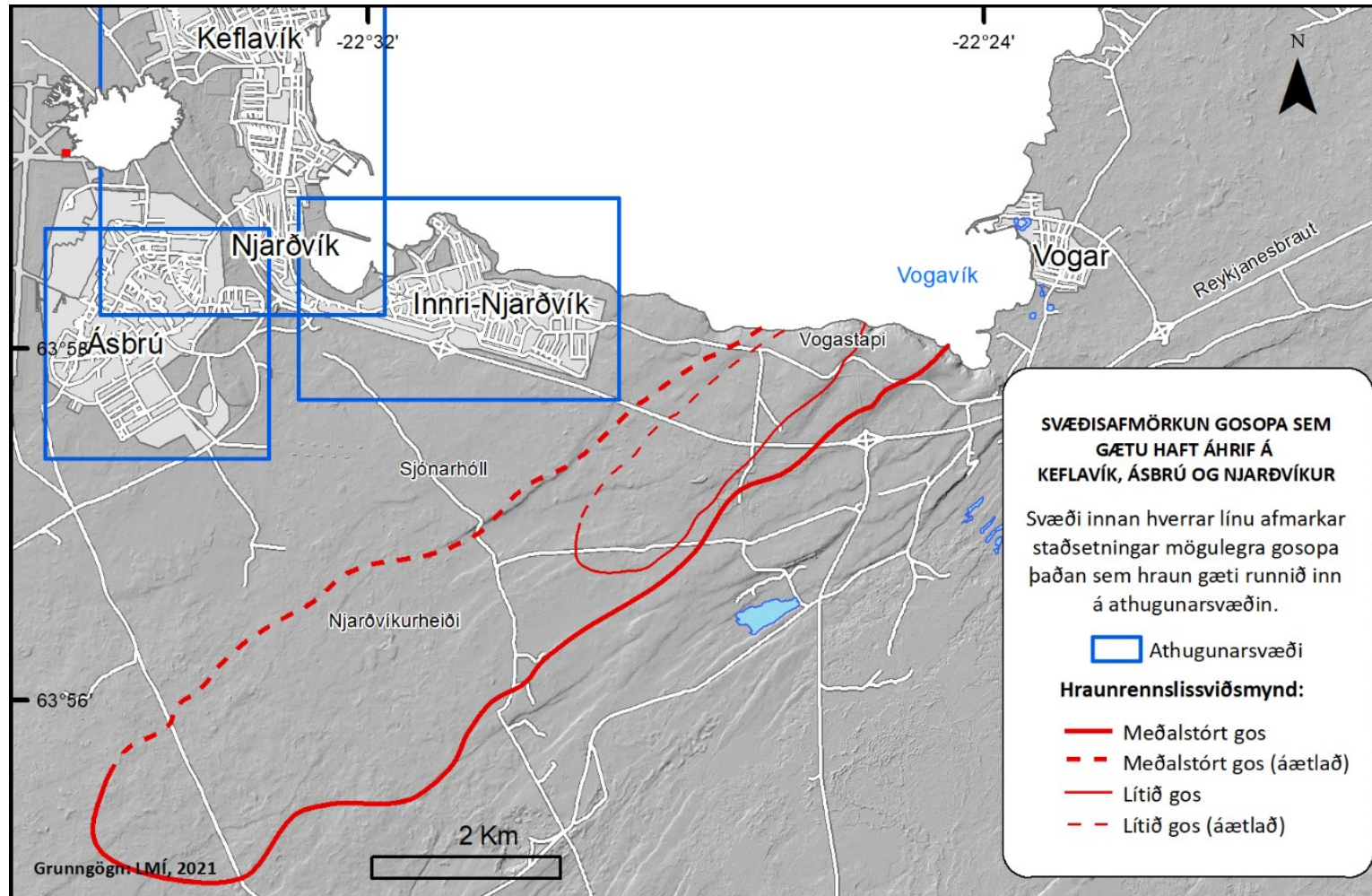
- 1) Grindavík og Þórkötlustaðahverfi (Mynd 3).
- 2) Vogar (Mynd 4).
- 3) Reykjanesbær (að Höfnum undanskildum; Mynd 5).
- 4) Svartsengi og Bláa lónið (Mynd 6).
- 5) Vatnstökusvæðið í Lágum (Mynd 7).



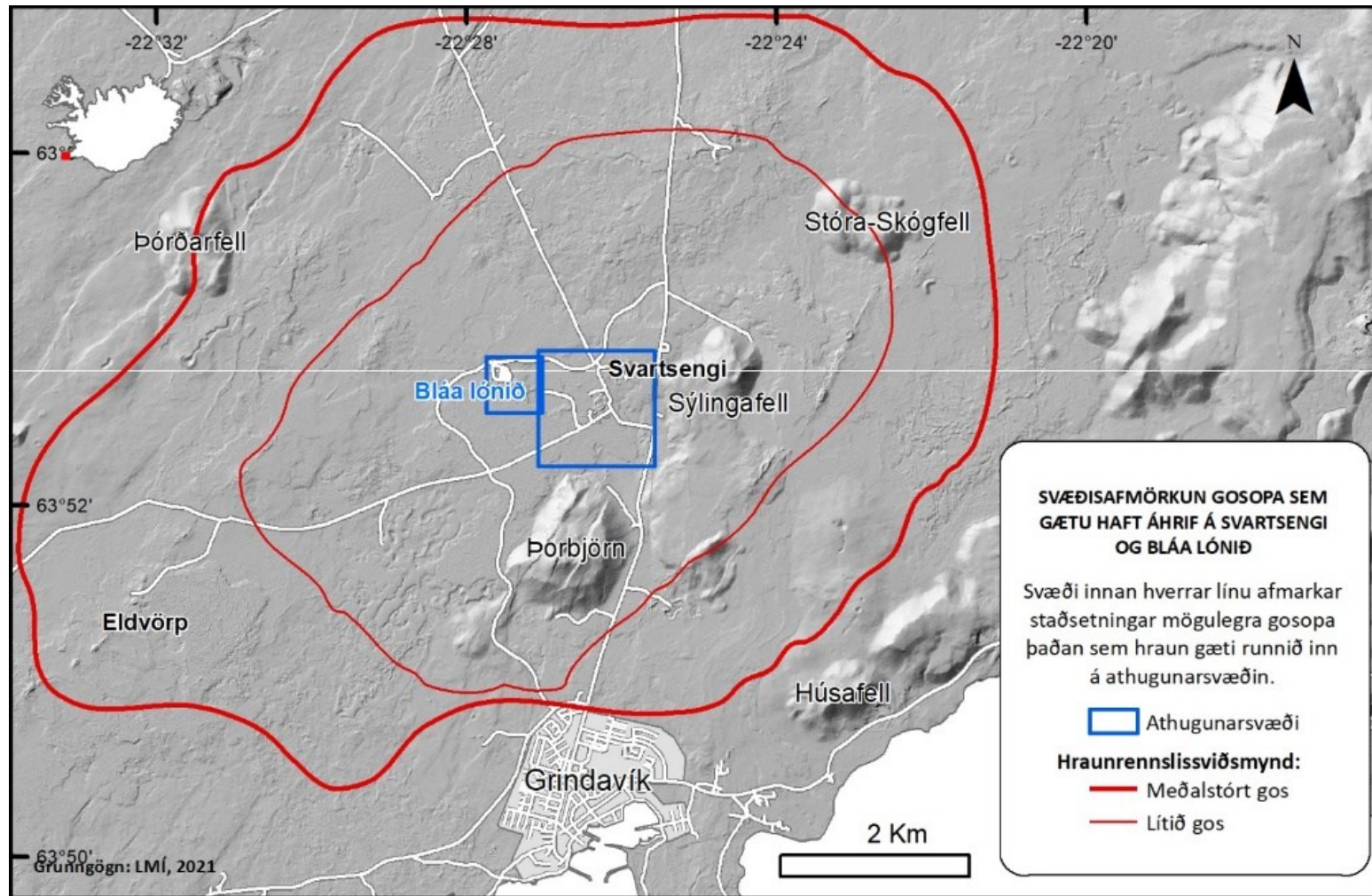
Mynd 3. Landfræðileg afmörkun gosprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Grindavík og Þórkötlustaðahverfi (bláir ferhyrningar). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ($0,3 \text{ km}^3$) og rauð mjó lína upptök lítilla hrauna ($0,02 \text{ km}^3$). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun af hermdum stærðum nái hvorki að renna inn í Grindavík né Þórkötlustaðahverfi.



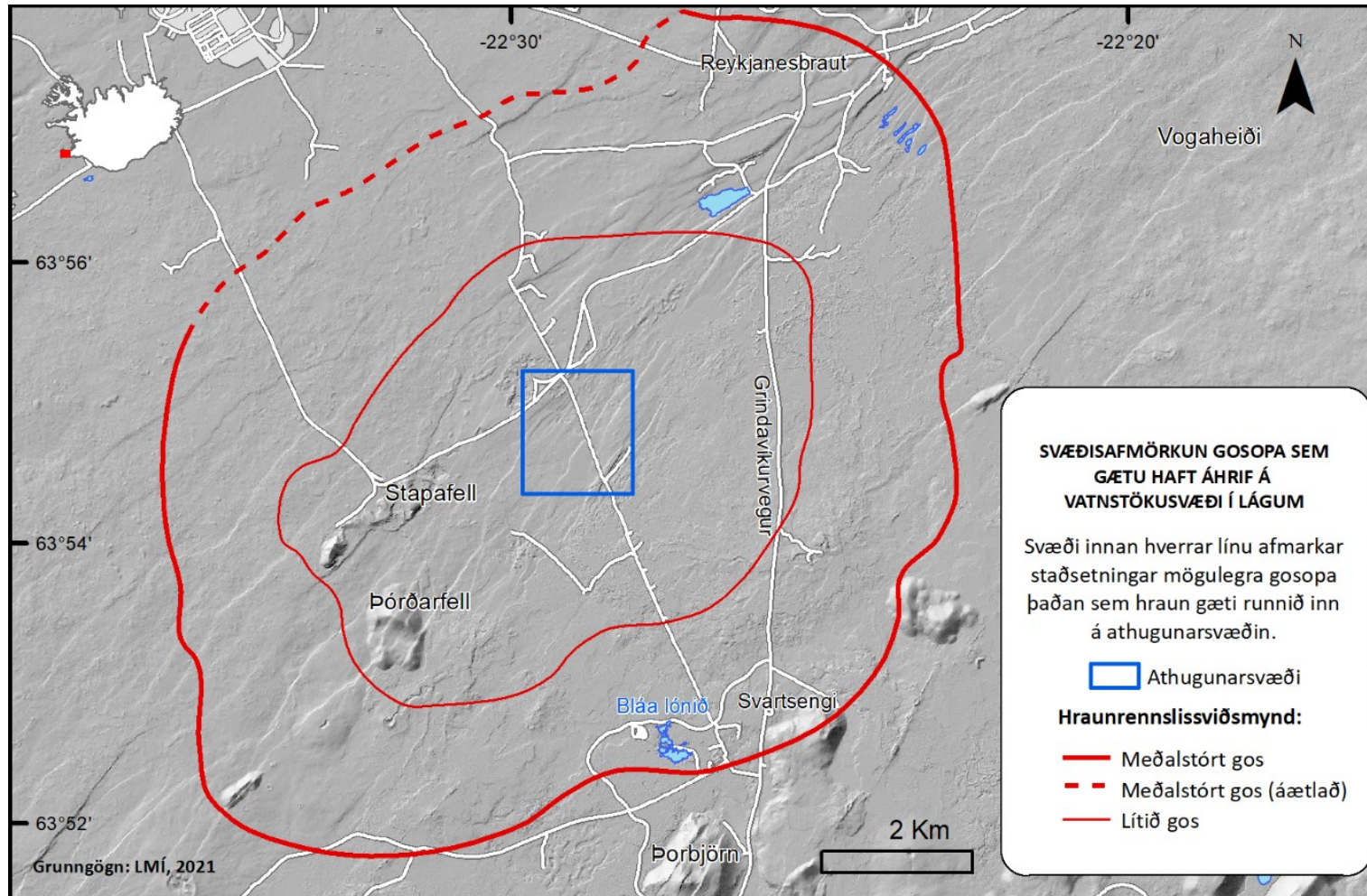
Mynd 4. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Voga (blár ferhyrningur). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ($0,3 \text{ km}^3$) og rauð mjó lína upptök lítilla hrauna ($0,02 \text{ km}^3$). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun af hermdum stærðum nái ekki að renna inn í Voga. Þar sem hluti Vatnsleysustrandar er utan Reykjaneskerfisins voru engar hermanir gerðar frá því svæði og því eru norðausturmörk afmörkunar sýnd með brotalínu.



Mynd 5. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Reykjanesbæ (Keflavík, Njarðvík eða Ásbrú; bláir ferhyrningar). Breið rauð lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ($0,3 \text{ km}^3$) og mjó lína upptök lítilla hrauna ($0,02 \text{ km}^3$). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun af hermdum stærðum nái ekki að renna inn á athugunarsvæðin. Norðvesturmörk svæðisins eru sýnd með brotalínu þar sem engar hermanir voru framkvæmdar vestan skilgreindra útmarka Reykjaneskerfisins.



Mynd 6. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Svartsengi og Bláa lónið (bláir ferhyrningar). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ($0,3 \text{ km}^3$) og rauð mjó lína upptök lítilla hrauna ($0,02 \text{ km}^3$). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun af hermdum stærðum nái hvorki að Svartsengi né Bláa lóninu.



Mynd 7. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn á vatnstökusvæðið í Lágum (blár ferhyrningur). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ($0,3 \text{ km}^3$) og rauð mjó lína upptök lítilla hrauna ($0,02 \text{ km}^3$). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun af hermdum stærðum nái ekki að renna inn á áherslusvæðið. Þar sem engar hraunhermanir voru framkvæmdar vestan skilgreindra útmarka Reykjaneskerfisins eru norðvestur mörk sýnd með brotalinu.

5.3 Samantekt hraunhermana

Líkur á gosupptökum eru mestar sunnan til á Reykjaneskaga og mannvirki á því svæði geta orðið fyrir skemmdum vegna hraunrennslis. Hraunhermanir hafa verið keyrðar fyrir tvær stærðir gosa (0,02 og 0,3 km³) frá þremur mislöngum gossprungum (stakur gígur, 2 km og 10 km). Niðurstöður benda til að:

- Til langtíma lítið eru lögðir í landinu mest útsettar fyrir hraunflæði en komi upp gos í fjallshlíðum geta svæði sem liggja ofar í landinu einnig orðið fyrir hrauni. Hraun geta runnið til norðurs frá gosupptökum um miðjan skagann.
- Þær gossprungur (stakar og 2 km langar) sem hermanir sýna að geta valdið hraunflæði inn í Grindavík, Þórkötlustaðahverfi, Bláa lónið, Svartsengi, Voga, vatnstökusvæðið í Lágum og Reykjanesbæ hafa verið landfræðilega afmarkaðar og eru mest í um 3,5 km fjarlægð frá athugunarsvæðum sé lítið gos hermt og mest í um 6 km fjarlægð í tilfelli meðalstórra hermdra gosa.

Hér hafa ákveðnar sviðsmyndir verið hermdar en hver atburður er einstakur og þegar rauntíma-gögn benda til þess að nýtt gos sé yfirvofandi þarf að nota þær stillingar sem hér hafa verið þróaðar og uppfæra þær m.t.t. nýrra gagna sem til verða. Þá þarf að keyra líkön á ný með nýjum upphafsstaðsetningum til að fá betri mynd af því hvaða svæði eru útsett fyrir hraunrennslis frá einstökum atburði. Til að skoða og spá fyrir um framvindu daga og vikur fram í tímann þarf að endurstilla líkön og keyra á ný út frá nýjustu upplýsingum á sama hátt og gert var meðan á eldgosum stóð í Fagradalsfjalli árin 2021, 2022 og 2023 í Geldingadölum, Meradölum og við Litla Hrút (t.d. útstreymishraða hrauns úr gíg).

6 Gasmengun

Eldfjallagös sem losna úr kviku valda mengun í andrúmslofti meðan á eldgosi stendur. Stærstur hluti eldfjallagasa losnar í gíg og rís í gosmekki en gös halda einnig áfram að losna úr bæði rennandi og stöðnuðu hrauni á meðan það kólnar (Simmons o.fl., 2017). Veður hefur mikil áhrif á hve mikillar mengunar verður vart og hvar, en vindur flytur gas frá upptökum og oft verður mestu gasmengunar, utan gosstöðvanna sjálfra, vart fjarri þeim m.a. vegna þess að heit gösin rísa frá gosstöðvum og hníga ekki til jarðar fyrr en þau hafa kólnað. Regn breytir dreifingarháttum gass í grundvallaratriðum miðað við dreifingu í þurru lofti en regn hefur sterka tilhneigingu til að skola gösum úr loftinu og til jarðar þar sem þau lenda í afrennslisvatni eða grunnvatni.

Mengun af völdum eldfjallagasa hefur bein áhrif á loftgæði og getur haft áhrif á heilsu manna og dýra, gróður og vatnsgæði (t.d. Hansell o.fl., 2006; Schmidt o.fl., 2011). Helstu áhrif SO₂ á heilsu manna eru erting í augum, hálsi og öndunarfærum og í háum styrk getur fólk fundið fyrir öndunarörðugleikum (www.ust.is/loft/eldgos/loftmengun-fra-eldgosum/) en við 100 ppm (260.000 µg/m³) verður efnið lífshættulegt. Gasmengunar getur gætt í grunnvatni á gosslóðum bæði vegna gasa sem falla til jarðar með regni og vegna gasútstreymis frá kviku í efri jarðlögum.

Daglegar SO₂ dreifingarspár, sem byggja á metinni losun SO₂ í gosi og veðurspám, eru keyrðar meðan á hraungosum stendur og eru aðgengilegar á <https://dispersion.vedur.is>. Ef þriggja klukkustunda meðaltal mældra SO₂ gilda á vöktunarstöðum fer yfir 500 µg/m³ eða 10 mínútna meðaltal fer yfir 9000 µg/m³ eru gefnar út aðvaranir skv. tilkynningarskildu vegna mengunar (reglugerð 920/2016).

6.1 Gasmengun – hermanir

Gasmengunar og -dreifingar hermanir voru keyrðar með líkaninu CALPUFF frá 2 km löngum hermigossprungum sem fylgja miðlínu Reykjaness-Svartsengis og Krýsuvíkur. Mengun var hermd frá tvenns konar gosum, með litla gaslosun (270 kg/s, gosmökkur 0–2 km hár) og mikla losun (1900 kg/s; gosmökkur 0–4 km hár). Veðurgögn áráanna 1981–1990 frá endurgreiningu Reiknimiðstöðvar evrópskra veðurstofa (ECMWF) sem kallast ERA-Interim voru notuð við hermanir en þau fela í sér tíðni vindáttu og vindhraða í mismunandi hæð yfir sjávarmáli yfir Reykjanesskaga auk upplýsinga um hita og úrkomu (ECMWF, 2011). Niðurstöður allra hermana voru lagðar saman til að meta líkur þess að mengunarstyrkur við jörðu næði eða færi yfir vinnuverndarmörk (2600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Mynd 8).

Líkur á mengun við jörðu á Reykjanesskaga eru meiri frá gosum með lítið gasflæði. Við meira gasflæði frá upptökum kemst gasið hærra upp í andrúmsloftið og þarf því lengri tíma til að hníga aftur til jarðar. Gasið getur því borist lengra frá upptökum og þynnast út en í gosum á Reykjanesskaga getur þetta þýtt að gasmengun berst út fyrir ströndina áður en hún nær jörðu aftur og veldur því ekki eins mikilli gasmengun á landi. Vindstyrkur hefur töluverð áhrif á hve langt frá upptökum gas hnígur aftur til jarðar og því hefur veðurfar mikil áhrif á hvar gasmengunar verður vart. Gera má ráð fyrir að gasmengunar gæti frekar nærri og nær upptökum í stilltu veðri.

Miðað við forsendur og veðurgögn sem notuð eru við gasdreifingarhermanir eru meiri líkur á víðfeðmum gasmengunaráhrifum við jörðu á Reykjanesskaga frá gosum á eldstöðvakerfi Krýsuvíkur en gosum frá Reykjanesi-Svartsengi (Mynd 8). Miðnesheiði er það svæði á Reykjanesskaga sem líklegast er til að verða fyrir gasmengun, sérstaklega nyrsti hluti hennar. Þar er mesta þéttbýli Reykjanesskagans en á sama tíma er auðveldast að skýla fólki fyrir mengun. Litlar líkur er á að hættuástand skapist (að mengunarstyrkur fari yfir 14.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dekkstu sviðsmyndir sýna þó að hættuástand getur skapast nánast hvar sem er (Mynd 9).

a

Lítið gasflæði
Reykjanes-Svartsengi

Likur á SO₂ mengun við jörð

Styrkur SO₂/kist: $\geq 2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$

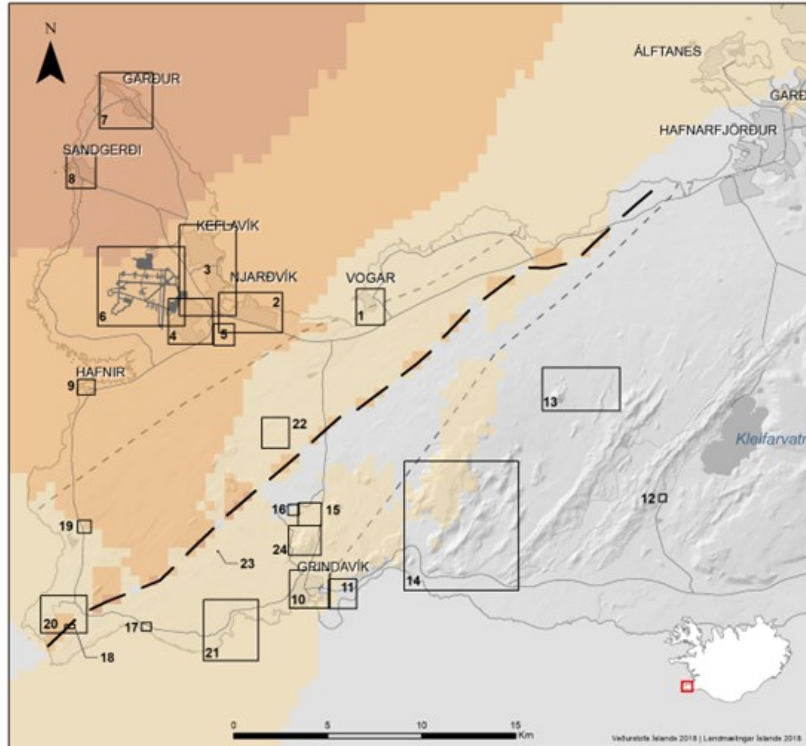
Flæði SO₂: 270 kg/s

- Áherslusvæði
 - Mörk sprunguveims
 - Gossprungna
- Likur á styrk mengunar (%)
- 4 - 6
 - 3 - 4
 - 2 - 3
 - 1 - 2
 - 0 - 1 (Litlaust)

Athugasemd:

Útlínur sprunguveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Vörðun: ISN93
Dagsetning: 13.06.2022
Kortagerð: Veðurstofa Íslands
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



b

Mikið gasflæði
Reykjanes-Svartsengi

Likur á SO₂ mengun við jörð

Styrkur SO₂/kist: $\geq 2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$

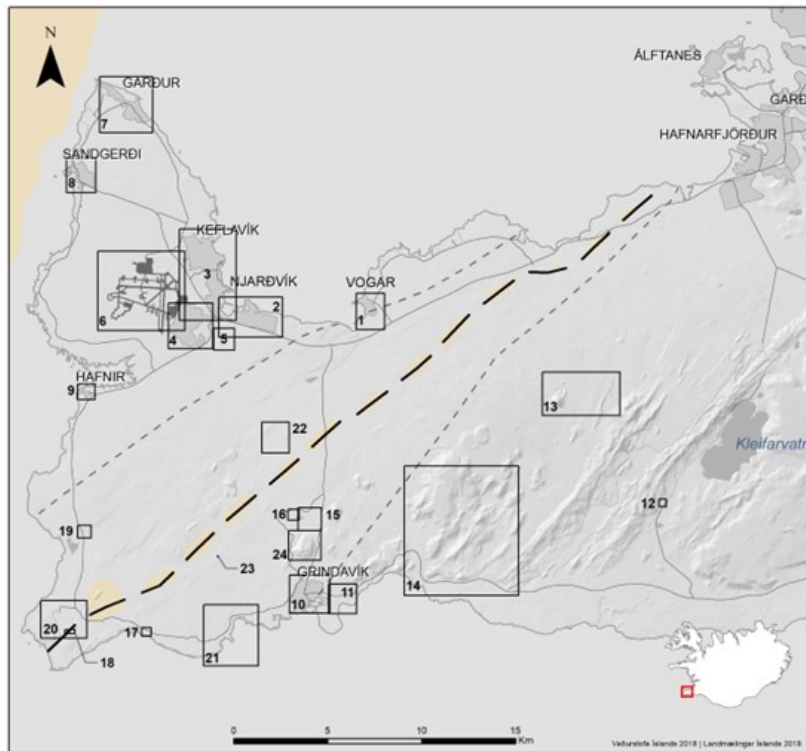
Flæði SO₂: 1900 kg/s

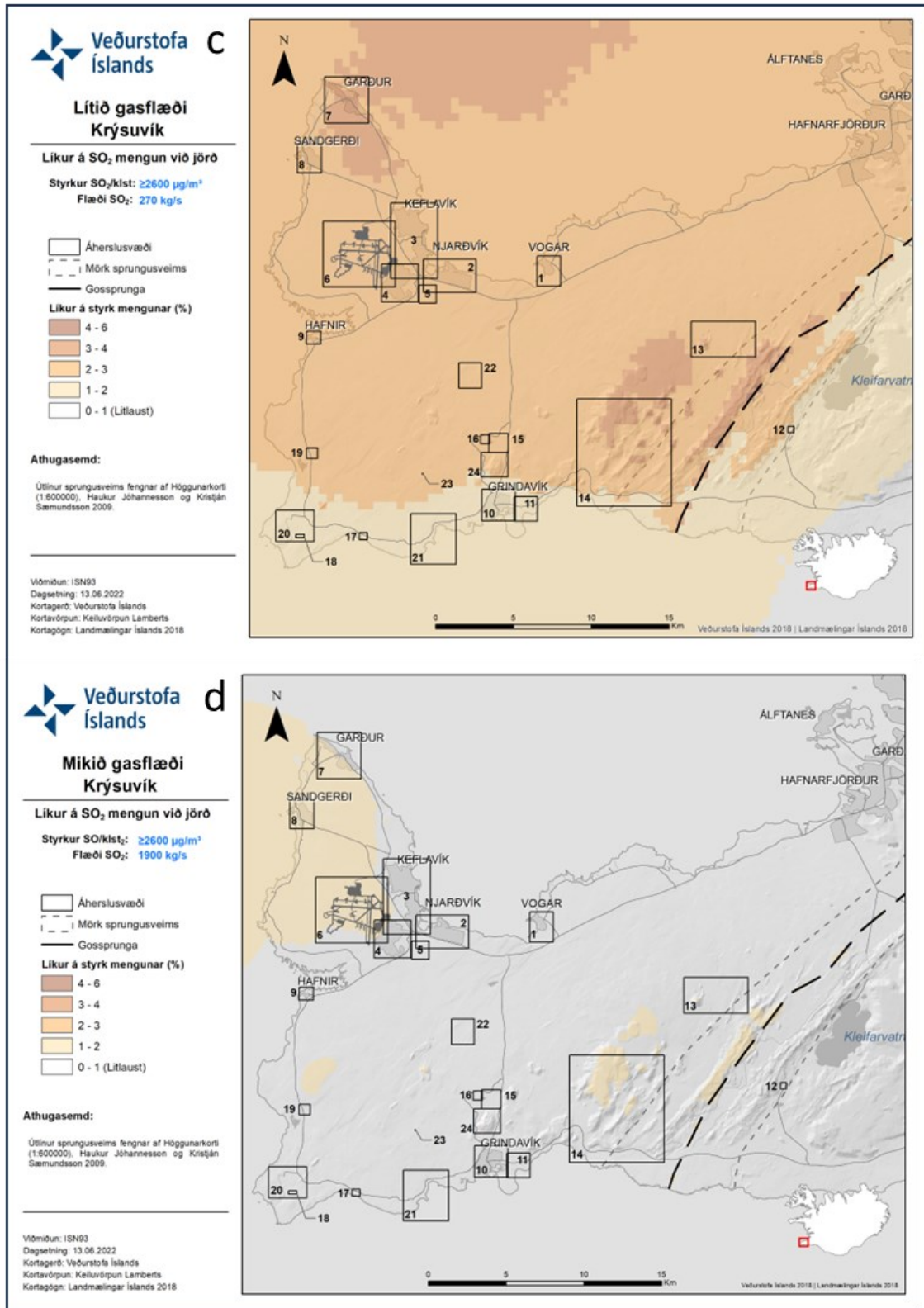
- Áherslusvæði
 - Mörk sprunguveims
 - Gossprungna
- Likur á styrk mengunar (%)
- 4 - 6
 - 3 - 4
 - 2 - 3
 - 1 - 2
 - 0 - 1 (Litlaust)

Athugasemd:

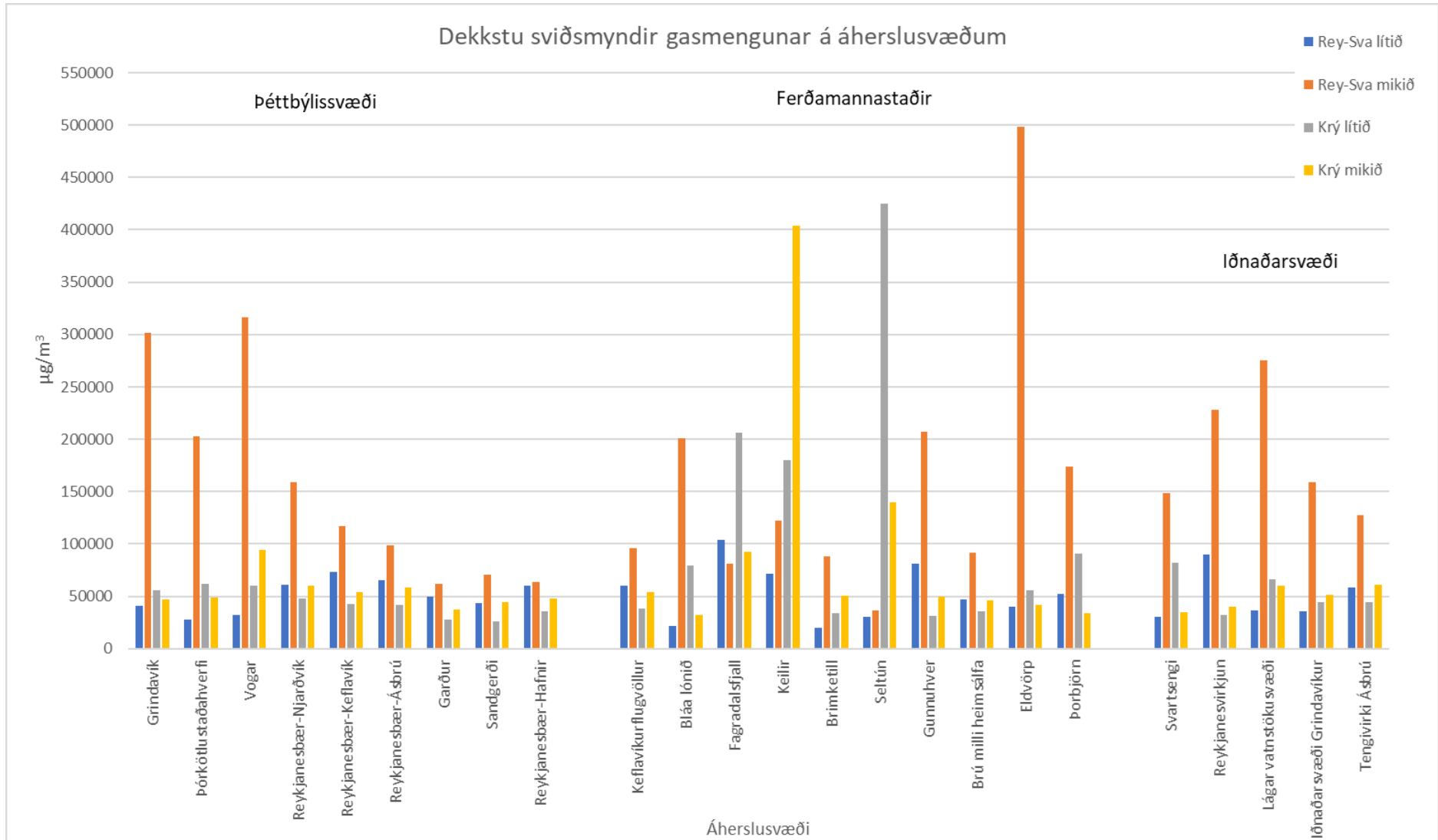
Útlínur sprunguveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Vörðun: ISN93
Dagsetning: 13.06.2022
Kortagerð: Veðurstofa Íslands
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018





Mynd 8. Likur á að klukkustundastyrkur SO₂ mengunar við jörðu nái eða fari yfir vinnuverndarmörk (2600 µg/m³) af völdum lítillar losunar SO₂ (270 kg/s, a og c) og mikillar losunar (1900 kg/s, b og d) frá miðlinu eldstöðvakerfa Reykjaness-Svartsengis (a og b) og Krýsuvíkur (c og d). Númer áherslusvæða má sjá í Töflu 1.



Mynd 9. Dekkstu sviðsmyndir SO_2 mengunar í þúsundum $\mu\text{g}/\text{m}^3$ á hverja klukkustund eftir áherslusvæðum. Miðað við litla (270 kg/s) og mikla (1900 kg/s) losun SO_2 frá eldstöðvakerfum Reykjanes-Svartsengis (Rey-Sva) og Krýsuvíkur (Krý).

6.2 Gasmengun – dekkstu sviðsmyndir

Dekkstu sviðsmyndir eru punktgreiningar sem sýna hæsta hermda klukkustundarstyrk á hverju svæði í einni ákveðinni vindátt sem þarf alls ekki að vera ríkjandi eða algeng. Ein hermun við mjög ólíklegar aðstæður nægir til að skrá dekkstu sviðsmynd. Fjarlægð frá upptökum og veður stjórnar því hvernig og hvar dekksta sviðsmynd verður hverju sinni. Landslag og regn hefur áhrif á hvar mesti gasstyrkur byggist upp en hærri styrkur gasmengunar verður oft hærra í landslagi enda nær gas fyrr til jarðar þar en í lögðum.

Niðurstöður sýna að dekkstu sviðsmyndir á nánast öllum stöðum sem voru skoðaðir hafa SO₂ gildi yfir hættumörkum (>14.000 µg/m³; Mynd 9) en 260.000 µg/m³ er talinn lífshættulegur styrkur. Dekkstu sviðsmyndir fyrir þéttbýli á Reykjanesskaga eru allar yfir 25 þúsund µg/m³ en Grindavík, Þórkötlustaðahverfi og Vogar fara yfir 200 þúsund µg/m³ í gosi frá gossprungum á Reykjanesi-Svartsengi í gosi með miklu gasflæði (Mynd 9). Ferðamannastaðirnir sem skoðaðir voru sýna ívið hærri styrk gasmengunar í dekkstu sviðsmyndum en þéttbýlin en dekkstu sviðsmyndir fyrir Eldvörp, Seltún, Keili, Fagradalsfjal, Gunnhver og Bláa lónið fara yfir 200 þús µg/m³. Sama má segja um Reykjanesvirkjun og vatnstökusvæðið í Lágum. Dekkstu sviðsmyndir eru oftast myndaðar í gosum með miklu gasflæði (1900 kg/s) á eldstöðvakerfum Reykjanes-Svartsengis þrátt fyrir að Reykjanesskagi sé líklegri til að verða fyrir gasmengun í lægri mengunarþröskuldum frá Krýsuvíkurkerfinu (sjá Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023b fyrir frekari útlistun á dekkstu sviðsmyndum).

6.3 Samantekt gashermana

Gasdreifingarhermanir (SO₂) voru keyrðar frá miðlínunum Reykjanes-Svartsengiskerfanna og Krýsuvíkurkerfisins, annars vegar frá gosi með litlu gasflæði (270 kg/s) og hins vegar gosi með miklu gasflæði (1900 kg/s). Niðurstöður benda til að:

- Vindátt og vindstyrkur ráða miklu um gasdreifingu.
- Mestar líkur eru á gasmengun vestan megin við gossprungur en athuga verður að veður hverju sinni stjórnar hvert mengun dreifist.
- Verstu sviðsmyndir geta myndast í vindáttum sem eru ekki ríkjandi.
- Í Eldvörpum, Seltúni og á Keili fara hermd SO₂ gildi dekkstu sviðsmynda frá gossprungum sunnan megin á skaganum upp fyrir lífshættulegan styrk (260.000 µg/m³).
- Í Grindavík og Vogum fara hermd SO₂ gildi dekkstu sviðsmynda einnig upp fyrir lífshættulegan styrk (260.000 µg/m³) en gosupptök sem valda þessum sviðsmyndum eru norðanmegin á skaganum og því talin ólíkleg.

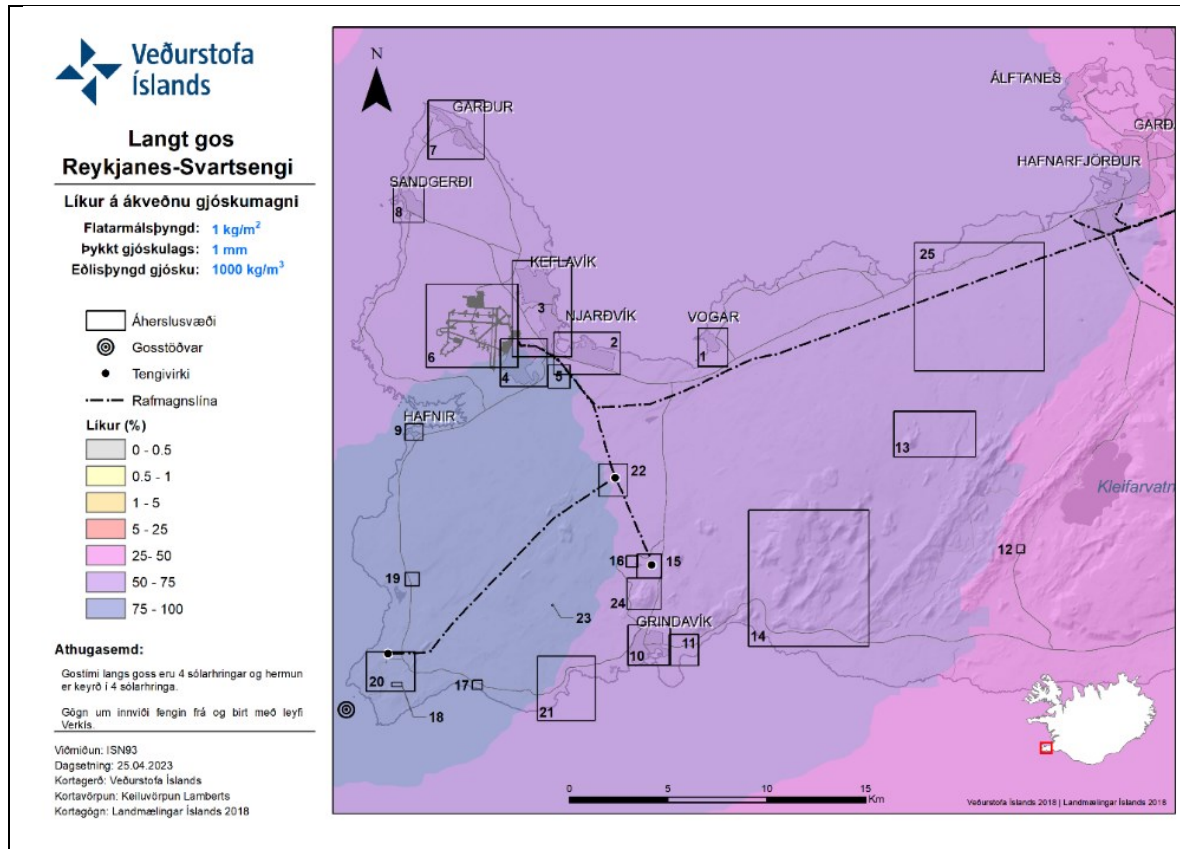
Hér hefur verið farið yfir hvaða svæði eru líklegust til að verða fyrir gasmengun m.t.t. niðurstaðna þeirra gasdreifingarhermana sem keyrðar hafa verið og miðað við þær forsendur sem gefnar voru. Hver atburður er einstakur og þegar rauntímagögn benda til þess að nýtt gos sé yfirvofandi þarf að nota þær stillingar sem hér hafa verið þróaðar og uppfæra þær m.t.t. nýrra gagna. Þá þarf að keyra líkönin á ný með nýjum upphafsstaðsetningum til að fá betri mynd af því hvar gasmengun er líklegust af völdum einstaks atburðar. Dæmi um forsendur sem gefnar voru við gasdreifingar hermanir er fast flæði SO₂ frá gíg á meðan gosi stendur en lærdómur af gosinu í Fagradalsfjalli árið 2021 sýnir að flæði er alls ekki alltaf stöðugt og þarf að taka það með í reikninginn í framtíðar hermunum.

7 Gjóskaufall

Gjóska getur flust langar vegalengdir frá gosupptökum en hæð gosmakkar og vindátt stýra dreifingu gjósku. Útbreiðsla gjósku verður meiri með hækkanði gosmekki þar sem gjóskukornin hafa lengri tíma til að berast undan vindi áður en þau falla aftur til jarðar. Áhrif gjósku geta verið töluverð þótt í litlu magni sé. Gjóska spillir loftgæðum, hefur áhrif á flugstarfsemi í lofti og á landi, dregur úr skyggni og breytir akstursskilyrðum á vegum. Auk þess getur hún valdið mengun í vatnsbólum og gróðri og haft áhrif á rafmagnsinnviði og þungi gjósku getur sligað þök og vegg. Gjóska hefur mest áhrif þegar hún fellur til jarðar en eftir gjóskufall getur tilflutningur hennar haft slæm áhrif á loftgæði og skyggni í langan tíma. Gjóskudreifingarspár eru aðgengilegar á <https://dispersion.vedur.is>.

7.1 Gjóskufall – hermanir

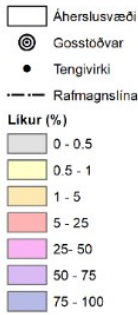
Gjóskudreifingarhermanir voru gerðar með líkaninu VOL-CALPUFF sem hermir dreifingu gosefna <6,4 cm í þvermál. Einungis var unnið með eina stærð goss (0,1 km³; fyrirmynd Miðaldalagið, stærsta þekhta gjóskulag á Reykjanesskaga; Magnús Á. Sigurgeirsson, 1992; 1995) og ein gosupptök sem staðsett voru 1,5 km SV af Reykjanestá. Annars vegar var hermt stutt gos með háan gosmökk (4 klst þar sem hæð gosmakkar nær 9–15 km) og hins vegar langt gos með lágan gosmökk (72 klst með 3–7 km gosmakkarhæð) en þar sem um sama magn gosefna er að ræða er útstremishraði mismunandi sem veldur því að gosmökkur verður mishár. Með því að leggja saman niðurstöður allra gjóskudreifingarhermana og skoða tíðni gjóskufalls á hvert svæði fengust líkur á gjóskufalli af ákveðnu magni (og þykkt).



Langt gos Reykjanes-Svartsengi

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: **10 kg/m²**
Þykkt gjóskulags: **1 cm**
Eðlisþyngd gjósku: **1000 kg/m³**

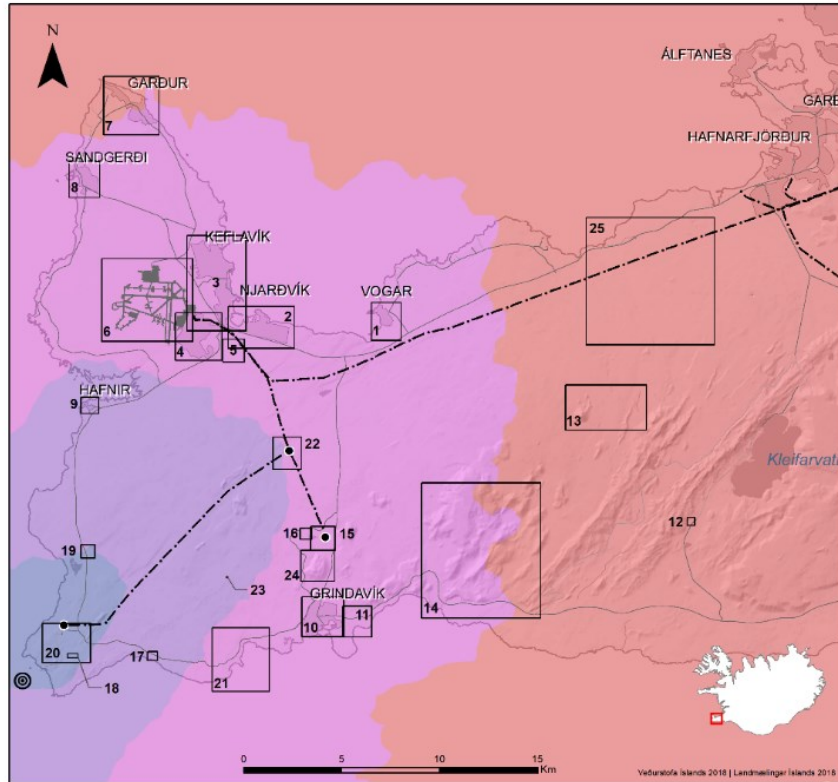


Athugasemd:

Gostími langs goss eru 4 sólarhringar og hermun er keyrð í 4 sólarhringa.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verktis.

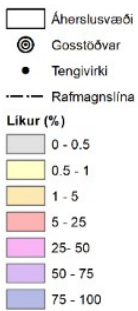
Viðmiðun: ISN93
Dagsetning: 25.04.2023
Kortagerð: Veðurstofa Íslands
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Langt gos Reykjanes-Svartsengi

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: **100 kg/m²**
Þykkt gjóskulags: **10 cm**
Eðlisþyngd gjósku: **1000 kg/m³**

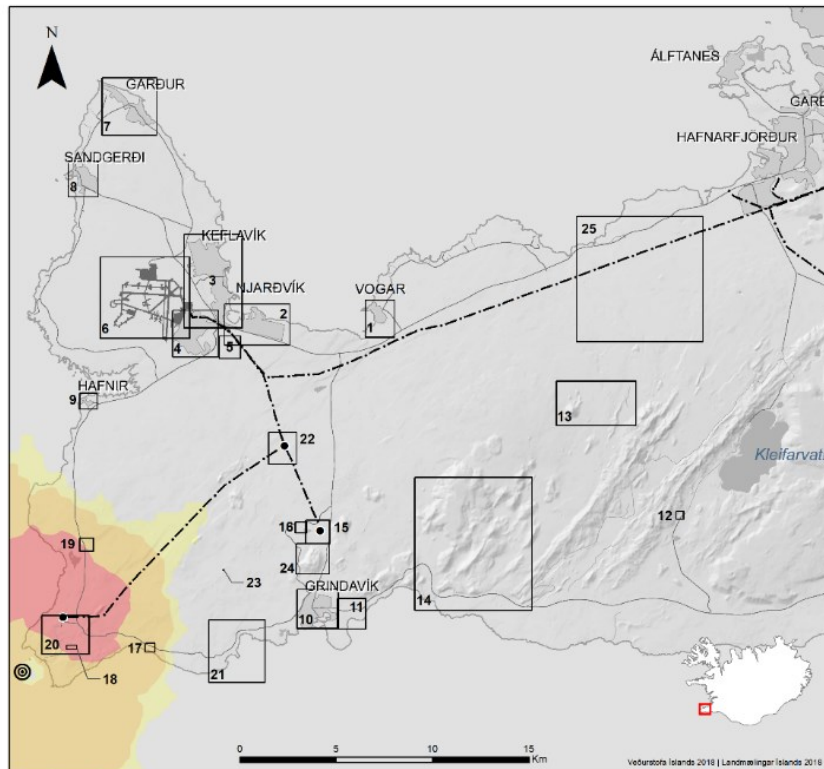


Athugasemd:

Gostími langs goss eru 4 sólarhringar og hermun er keyrð í 4 sólarhringa.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verktis.

Viðmiðun: ISN93
Dagsetning: 25.04.2023
Kortagerð: Veðurstofa Íslands
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 10. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er $0,1 \text{ km}^3$ og stendur í 72 klst (4 sólarhringa) með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá. Gosmökkur nær 3–7 km hæð. Þrjár gjóskuþykkir eru skoðaðar: 1 mm (efsta mynd), 10 mm (mið mynd) og 100 mm (neðsta mynd). Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 1).

**Stutt gos
Reykjanes-Svartsengi**

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: **1 kg/m²**

Þykkt gjóskulags: **1 mm**

Eðlisþyngd gjósku: **1000 kg/m³**

☐ Áherslusvæði

⊙ Gosstöðvar

• Tengivirkir

--- Rafmagnsliða

Líkur (%)

0 - 0.5

0.5 - 1

1 - 5

5 - 25

25 - 50

50 - 75

75 - 100

Athugasemd:

Gostlími stutts goss er 4 klst en hermun er keyrd í 48 klst.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkis.

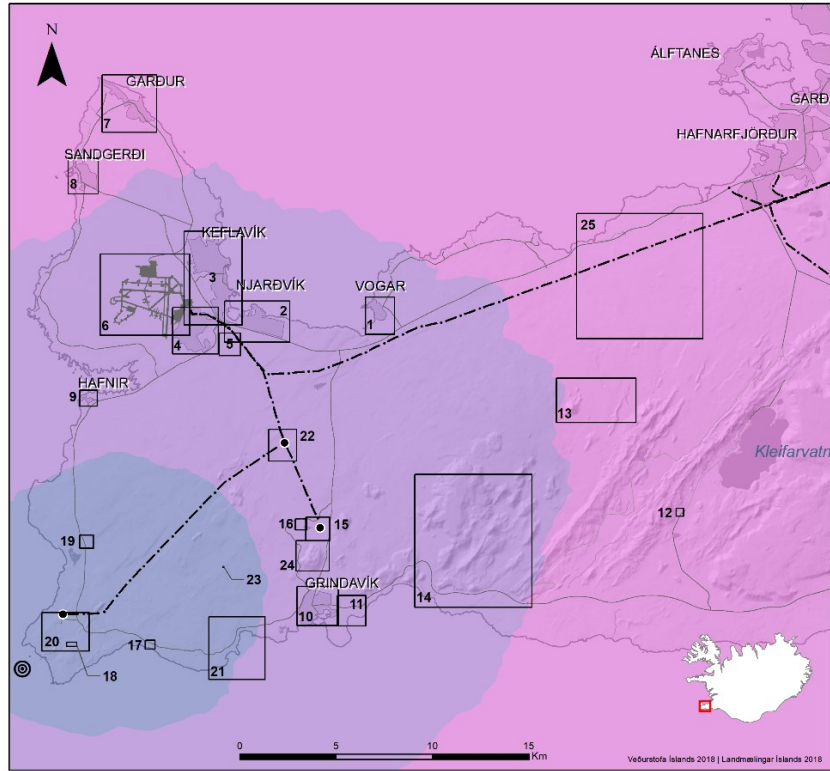
Víðmiðun: ISN93

Dagsetning: 25.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Stutt gos
Reykjanes-Svartsengi**

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: **10 kg/m²**

Þykkt gjóskulags: **1 cm**

Eðlisþyngd gjósku: **1000 kg/m³**

☐ Áherslusvæði

⊙ Gosstöðvar

• Tengivirkir

--- Rafmagnsliða

Líkur (%)

0 - 0.5

0.5 - 1

1 - 5

5 - 25

25 - 50

50 - 75

75 - 100

Athugasemd:

Gostlími stutts goss er 4 klst en hermun er keyrd í 48 klst.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkis.

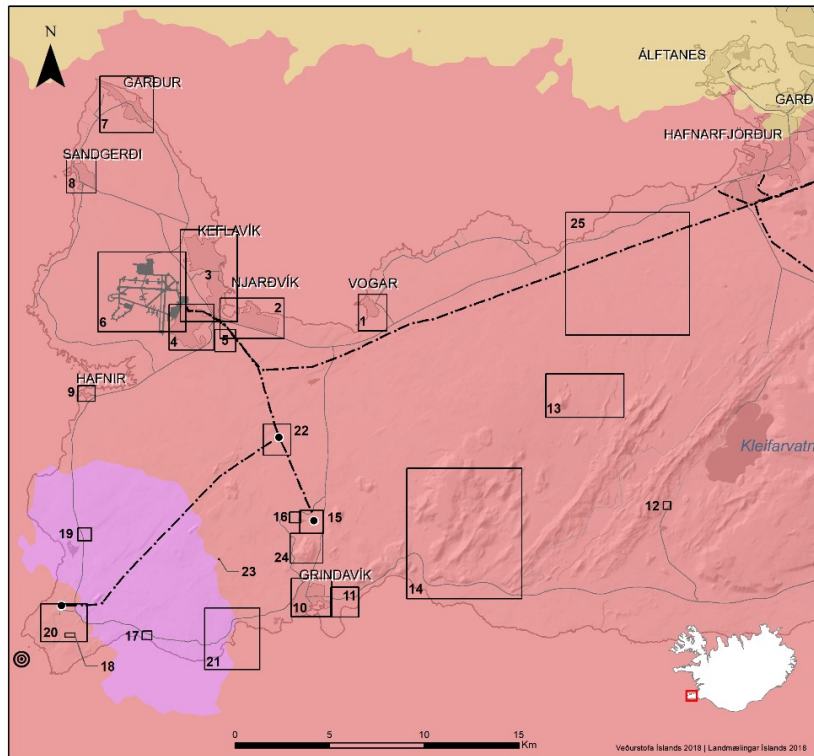
Víðmiðun: ISN93

Dagsetning: 25.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 11. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er 0,1 km³ og stendur í 4 klst með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá. Gosmökkur nær 9–15 km hæð. Tvær gjóskuþykkir eru skoðaðar: 1 mm (efri mynd) og 10 mm (neðri mynd). Líkur á 100 mm gjóskulagi eru hverfandi og því ekki sýndar. Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 1).

Miðað við þær forsendur sem gjóskudreifingarhermanir byggja á eru töluverðar líkur á að þéttbýli á Reykjanesskaga verði fyrir allt að 10 mm gjóskufalli hvort sem er frá sprengigosi með háan eða lágan gosmökk (Mynd 10, Mynd 11) en Hafnir eru eina þéttbýlissvæðið sem fellur innan þess svæðis sem hefur >75% líkur á að 1 mm gjóskulag myndist. Gjóskufall í þessu magni spillir skyggni og hefur áhrif á daglegt líf manna en hefur ekki teljandi áhrif á innviði á þéttbýlissvæðum. Eins mm þykkt gjóskulag hylur vegmerkingar og getur haft áhrif á viðnám gatna, hve mikið stjórnast af kornastærð gjóskunnar en viðnám minnkar með aukinni kornastærð. Þungi gjósku af 10 mm þykkt (10 kg/m^2 miðað við eðlisþyngd gjósku 1000 kg/m^3) er langt undir burðarþoli íbúðarhúsa (metið að meðaltali um 600 kg/m^2 í Grindavík, Melissa A. Pfeffer o.fl., 2020) en hún getur valdið ertingu í öndunarfærum ($400 \mu\text{g/m}^3$) og veldur almennum ama og óhreinindum og kallar á töluvert hreinsunarstarf. Þykkasta hermda gjóskufallið í Grindavík er rúmlega 40 mm (sjá Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023b). Sé gjóskan ekki fjarlægð getur hún fokið til, spillt skyggni á ný og valdið almennum óþægindum í nokkurn tíma eftir að gjóskufalli líkur. Gjóskufok getur valdið möttun á rúðum bifreiða og jafnvel flugvéla líka. Efni sem loða við gjóskukorn í gosmekki en skolast af í vatni gætu haft áhrif á grunnvatn og vatnsból.

Keflavíkurflugvöllur getur orðið fyrir gjóskufalli sem gæti valdið röskun á starfsemi flugvallarins en niðurstöður hermána langs goss (lágur gosmökkur) sýna >25% líkur á 10 mm þykkri gjósku (Mynd 10) en þetta þykkt gjóskulag getur haft áhrif á viðnám á flugbrautum. Dekksta sviðsmynd gjóskufalls á Keflavíkurflugvöll sýnir 45 mm þykkt lag. Töluverðar líkur eru á að skyggni spillist í gjóskufalli og jafnvel eftir að því líkur af völdum gjóskufoks. Aðrir fjölfarnir ferðamannastaðir eru álíka líklegir til að verða fyrir gjóskufalli en gjóskufall hefur ekki almenn áhrif á þá að öðru leyti en að aðgengi að þeim verður erfiðara og skyggni spillist.

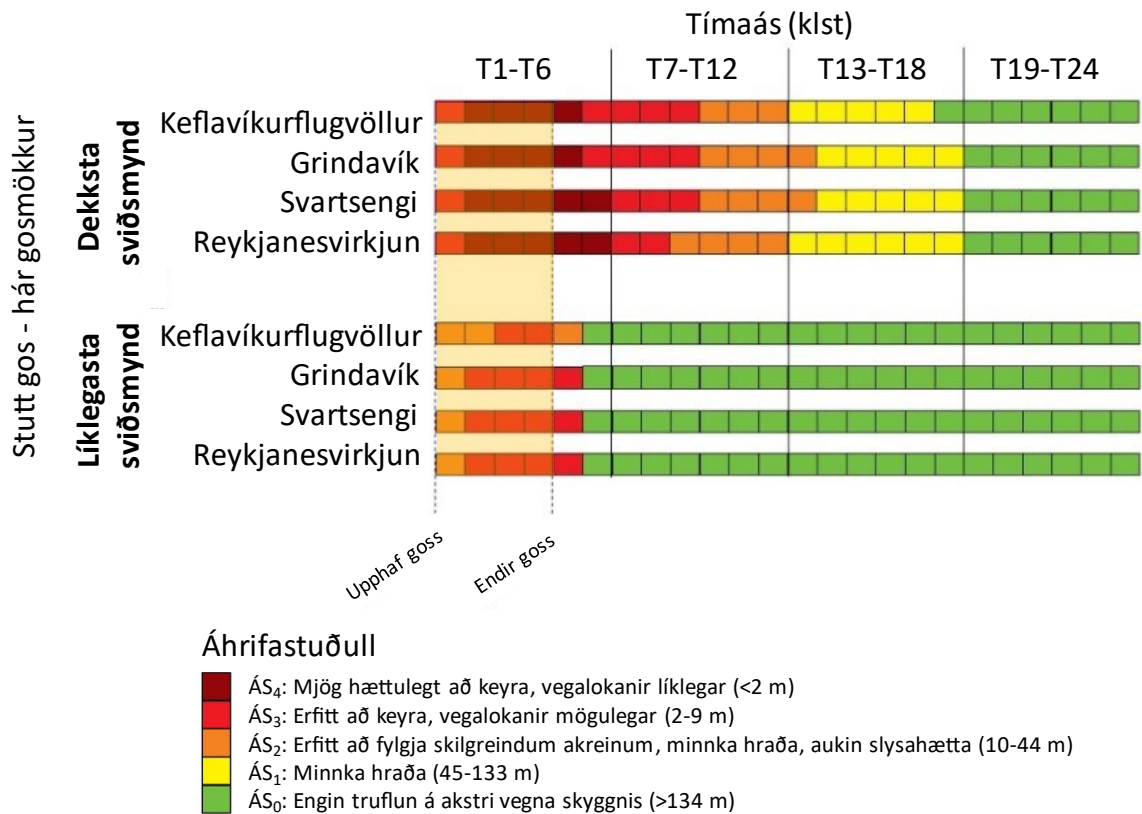
Gjóskufall af þessari stærðargráðu er ólíklegt til að hafa áhrif á iðnaðarsvæði (s.s. virkjanir og vatnstökusvæði) enda eru framleiðsluferfi lokuð en færð og skyggni getur spillt aðgengi að virkjunum, sérstaklega Reykjanesvirkjun sem er inn á svæði þar sem >75% líkur er á að ≤ 10 mm þykkt gjóskulag myndist (Mynd 10, Mynd 11) en dekksta sviðsmynd sýnir rúmlega 130 mm þykkt gjóskulag við Reykjanesvirkjun.

7.2 Áhrif gjóskufalls á skyggni og akstursskilyrði

Tilraunir með skyggni í gjóskufalli hafa verið gerðar á Nýja Sjálandi (Blake o.fl., 2017) þar sem skyggni er tengt við fallhraða gjósku (e. ash-settling rate) eða hve mikið magn gjósku sest á flatareiningu á tímaeiningu ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Út frá því voru skilgreindir áhrifastuðlar (ÁS, e. impact state) fyrir öryggi á vegum frá 0 upp í 4 þar sem 0 táknar engin áhrif á umferð og 4 mjög hættuleg akstursskilyrði (Mynd 12, Blake o.fl., 2017; Gupta, 2023).

Niðurstöður gjóskudreifingarhermána stutts goss (hár gosmökkur) voru unnar m.t.t. fallhraða gjósku, þ.e. magn gjósku sem fellur á flatareiningu á hverri klukkustund, og flokkaðar eftir nýsjálensku áhrifastuðlunum (Blake o.fl., 2017; Gupta, 2023). Á þann hátt má sjá hvaða áhrif gjóskufall hefur á vegakerfið á ákveðnum stað og tíma meðan á gosi stendur og þann tíma sem gjóskudreifing er hermd (Mynd 12). Annars vegar var gagnasafnið unnið út frá mesta hermda fallhraða á hverju svæði til að fá upplýsingar um dekkstu sviðsmynd og hins vegar út frá miðgildi fallhraða á hverju svæði sem endurspeglar líklegustu sviðsmynd.

Samkvæmt niðurstöðum er líklegt að það dragi úr skyggni í gjóskufalli meðan á gosi stendur og að það muni hafa áhrif á vegasamgöngur. Líklegasta sviðsmynd bendir til að slíkt ástand standi aðeins í nokkrar klukkustundir en dekkstu sviðsmyndir sýna að draga þarf úr hraða og erfitt getur verið að keyra í allt að 18 klst eftir upphaf gjóskufalls (Mynd 12).



Mynd 12. Litakóðaðar tímaráðir sem sýna breytingar á skyggni (sem afleiðu af fallhraða gjósku) og áhrif þeirra á vegasamgöngur á fjórum svæðum á Reykjanesskaga, Keflavíkurlflugvelli, Grindavík, Svartsengi og Reykjanesvirkjun. Niðurstöður byggja á hermun stutts goss (hár gosmökkur) sem stendur í 4 klst (skyggt svæði). Gjóskudreifingarhermun er látin ganga í 24 klst. T stendur fyrir klukkustund T1 er þá fyrsta hermdu klukkustund o.s.frv.

7.3 Samantekt gjóskufallshermana

Gjóskufall var hermt frá einum upptakastað, úr 0,1 km³ neðansjávargosi með upptök um 1,5 km SV af Reykjanestá. Tvær sviðsmyndir voru hermdar, stutt og langt gos (hár og lágur gosmökkur). Niðurstöður benda til að:

- Litlar líkur eru á miklu tjóni af völdum gjóskufalls.
- Verstu sviðsmyndir hermds gjóskufalls eru fjarri því að ógna burðarþoli innviða.
- Gjóskufall getur valdið tímabundnum ama og erfiðleikum og jafnvel orðið þess valdandi að loka þurfi vegum tímabundið vegna lélegs skyggis.
- Gjóskufall getur haft áhrif á hafnarvæðum með tilheyrandi truflun á löndun fiskjar og jafnvel spillingu hráefnis standi gjóskufall of lengi.
- Tilflutningur gjósku eftir að eiginlegu gjóskufalli lýkur getur haft neikvæð áhrif á loftgæði og skyggni.

Hér hefur verið farið yfir hvaða svæði eru líkleg til að verða fyrir gjóskufalli m.t.t. niðurstaðna þeirra gjóskudreifingar og gjóskufalls hermana sem keyrðar hafa verið. Þegar rauntímagögn benda til þess að nýtt gos sé yfirvofandi þarf að nota þær stillingar sem hér hafa verið þróaðar og uppfæra þær m.t.t. nýrra gagna sem til verða. Veðurstofan keyrir gjóskudreifingar og gjósku-

fallspá 48 klst fram í tímann (<https://dispersion.vedur.is/>) og þegar gos eru ekki í gangi eru hermd ímynduð gos til að viðhalda þekkingu á öllum stigum. Um leið og líkur eru á að gos sé að hefjast eru líkön keyrð á ný með nýjum upphafsstaðsetningum til að fá betri mynd af því hvert gjóska dreifist og hvaða svæði eru líkleg til að verða fyrir gjóskufalli frá einstökum atburði.

8 Mótægisaðgerðir

Í þessum kafla er farið gróflega yfir mótægisaðgerðir til að draga úr áhrifum af völdum gosa með upptök innan eldstöðvakerfa Reykjanesskagans. Í viðbúnaði er unnið með mismunandi tímaramma, langtímaaðgerðir taka yfir ár og áratugi, miðlungs tímafrekar aðgerðir taka yfir vikur til ár og skyndiaðgerðir ná til klukkustunda og daga. Í ljósi eldgosasögunnar er nýtt gostímabil hafið á Reykjanesskaganum. Það hófst með aðdragandanum að því að gos tók sig upp í Fagradalsfjalli hinn 19. mars 2021 og síðan þá hefur gosið þar tvisvar (árin 2022 og 2023). Það þýðir að líklega muni gjósa á skaganum á ný á næstu árum eða áratugum. Því er aðkallandi að koma viðbrögðum við eldgos á Reykjanesskaga inn í langtímaaðgerðir (ár og áratugir) og samfélagið á skaganum þarf að aðlagast nýjum veruleika og búa sig undir að lifa eðlilegu lífi með aukinni skjálftavirkni og endurteknum innskotstímabilum sem geta staðið yfir í vikur, mánuði og jafnvel ár. Gott er að hafa í huga að oftast en ekki storkna kvikuinnskot í jarðskorpunni og ná ekki til yfirborðs. Þegar kvika nær til yfirborðs og gos hefst taka skyndiaðgerðir við, þ.e. aðgerðir á klukkustunda- og dagaskalanum.

Innviðir á Reykjanesskaga eru allar tegundir mannvirkja í þéttbýli svæðisins, rafmagns- og vatnsveita (heitt og kalt vatn) og lagnir að og frá byggðum, fráveitur, fjarskiptainnviðir, samgöngumannvirki (vegir og flugvellir) auk atvinnustarfsemi. Eldri mannvirki eru ekki öll hönnuð og byggð með tilliti til náttúruvá almennt og því eru allar byggðir að hluta til veikar fyrir. Í aðdraganda goss í Fagradalsfjalli árið 2021 var settur saman starfshópur um varnir mikilvægra innviða fyrir tilstilli Almannavarnadeildar ríkislögreglustjóra. Þessi hópur gerði m.a. ýtarleg samantekt á innviðum á svæðinu umhverfis Grindavík og Voga (Dóra Hjálmarsdóttir, 2022, sjá MB-16). Komi til eldsumbrota á Reykjanesskaga getur orðið umtalsvert tjón af völdum hraunrennslis, en ekki eru taldar miklar líkur á að gas og gjóska hafi áhrif á innviði sem slíka en það getur valdið ama og erfiðleikum og haft áhrif á heilsu meðan á gosi stendur og í kjölfar goss. Reyna má að draga úr tjóni með mótægisaðgerðum en hvernig það er gert og hvenær er á höndum stjórnvalda. Hér að neðan eru sett fram dæmi um mótægisaðgerðir og mikið er vísað í starf og niðurstöður starfshóps um varnir mikilvægra innviða.

8.1 Hraunrennslisli

Hönnun og bygging mannvirkja þarf að taka tillit til þeirrar eldfjallavár sem til staðar er á hverjum stað og eins er eðlilegt að styðjast við hættumat við skipulagningu framtíðar byggðar. Þegar horft er til hraunrennslisvár eru innviðir í Svartsengi og Reykjanessvirkjun líklegir til að verða fyrir hraunrennslisli en þessir staðir eru mikilvægir fyrir þéttbýli á svæðinu m.t.t. raforku og hitaveitu. Lagnir og veitukerfi má reyna að verja með það fyrir augum að þær þoli álag af hraunrennslisli (Dóra Hjálmarsdóttir, 2022, MB-8 og MB-9). Grindavík, þéttbýli með rúma 3500 íbúa og ýmiskonar atvinnustarfsemi, er einnig útsett fyrir hraunflæði. Komi til eldgoss í grennd þessara svæða (og annarra) þarf að taka ákvörðun um hvort reyna eigi að verja þau.

Í Fagradalsfjallsgosinu 2021 voru gerðar tilraunir með hraunvarnargarða og lesa má um þær tilraunir í minnisblöðum vinnuhóps um varnir mikilvægra innviða (Dóra Hjálmarsdóttir, 2022). Þegar gos er hafið má reyna að tefja framgang rennandi hrauns eða leiða það af sinni náttúrulegu

leið með byggingu varnargarða en erfitt er og ómarkvisst að byggja varnargarða fyrir fram því óvíst er hvar gosupptök verða. Í verstu tilfellum gæti varnargarður virkað sem leiðigarður hrauns yfir þá innviði sem átti upphaflega að vernda. Skynsamleg lausn er því að sjá til þess að efni í varnargarða sé aðgengilegt og að hægt sé að koma hlutum fyrir á þann hátt að byggja megi varnargarða fljótt og örugglega þegar upptök hættu eru þekkt. Hafa ber í huga að jafnvel þó hraunvarnargarðar séu byggðir er ekki hægt að treysta því að þeir komi í veg fyrir tjón af völdum hraunrennslis, þeir geta einungis skapað viðbragðstíma sem stundum er nægur ef gos hættir áður en þeir gefa sig eða hraun flæðir yfir þá.

8.2 Gasmengun

Gasmengun hefur ekki teljanleg áhrif á innviði, a.m.k. ekki í stuttan tíma og hér hefur ekki verið farið yfir áhrif varanlegrar gasmengunar af völdum eldvirkni á innviði (svo sem tæringu rafmagnsinnviða). Eldfjallagas getur haft áhrif á heilsu og mikilvægt er að vakta sérstaklega álag vegna mögulegra áhrifa á vatnsból. Ef vatn með háum styrk málmsambanda eða flúors kemst í grunnvatn sem notað er til mann- og/eða dýraeldis getur það valdið alvarlegu heilsutjóni. Mælingar á úrkomu gefa vísbendingar um þau efni sem mikilvægast er að vakta. Vöktun stöðuvatna er mikilvæg í þessu samhengi en þau geta gefið skýrar vísbendingar um hækkun mengandi efna sem borist gætu í neysluvatn á svæðinu. Vatnsveitur á svæðinu og á höfuðborgarsvæðinu mæla leiðni, pH og einnig ýmis efnasambönd á sínu svæði. Mikilvægt er að samræma vöktun út frá þeim gögnum sem safnast og meta mikilvægustu efnin sem stjórna gæði neysluvatns. Sjá þarf til þess að grunngildi efnasambanda í vatni séu þekkt svo mengunaráhrif af völdum eldfjallagasa greinist sem fyrst.

8.3 Gjóskufall

Hermt gjóskufall er ekki talið líklegt til að hafa áhrif á burðarþol bygginga á Reykjanesskaga. Engu að síður er eðlilegt að fylgjast með gjóskuþykkt á þökum og ef hún nálgast burðarþol bygginga er æskilegt að hreinsa þök eða styrkja þau. Það hermda gjóskufall sem hér hefur reiknast er líklegra til að valda skammtíma áhrifum, á meðan á gjóskufalli stendur getur skyggni orðið afar slæmt og þannig getur aðgengi að ákveðnum svæðum (s.s. Reykjanesvirkjun) orðið slæmt. Gjóska getur haft áhrif á aksturskilyrði bæði á vegum og á flugbrautum, svo huga þarf að hreinsun þeirra. Tilfok gjósku eftir að gjóskufalli líkur getur einnig dregið mjög úr skyggni og aksturskilyrðum, því er eðlilegt að reyna að þrifa vegi og rykbinda gjósku þar sem hún er þykkust næst vegum.

Þakkarorð

Vinna að langtímahættumati fyrir Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns hefur staðið yfir með hléum í nokkur ár. Hópur fólks hefur komið óbeint að verkefninu í gegnum árin með ýmsum hætti. Við þökkum sérstaklega Magnúsi Á. Sigurgeirssyni og Kristjáni Sæmundssyni fyrir umræður um jarðfræði Reykjanesskaga á upphafsárum verkefnisins, ÍSOR fyrir velvilja í garð verkefnisins og aðgengi að gögnum af jarðfræðikortum sem voru notuð við ýmsa útreikninga. Simone Tarquini og Mattia De'Michieli Vitturi (INGV) fá sérstakar þakkir fyrir að keyra hraunhermunarmódelið MrLavaLoba og Manuel Titos fyrir hjálp við úrvinnslu gagna. Réne Gupta vann áhrif gjóskufalls á skyggni. Jacqueline Clare Mallet (HR) kom að verkefninu á seinni stigum og veitti aðgang og aðstoð með keyrslu MrLavaLoba á tölvum hér á landi. Gerður Stefánsdóttir vann að upplýsingum um efnaálág vegna eldgosa, Magnús Tumi Guðmundsson hafði aðkomu að gerð atburðagreiningar eldstöðvakerfa á Reykjanesskaga, Guðrún Nína Petersen vann vindrósir fyrir svæðið og fá þau öll bestu þakkir. Sigurlaugu Gunnlaugsdóttur þökkum við fyrir yfirlestur og uppsetningu. Stýrihópi verkefnisins er þakkað fyrir aðhald og ábendingar á meðan á verkefninu stóð, góðar ráðleggingar og lagfæringar. Í stýrihópi sátu aðilar frá: 1) lögreglustjóranum á Suðurnesjum (Ólafur Helgi Kjartansson, Grímur Hergeirsson, Úlfar Lúðvíksson og Gunnar Schram), 2) almannavarnadeild ríkislögreglustjóra (Ágúst Gunnar Gylfason, Björn Oddsson), 3) almannavarnanefnd Grindavíkur (Ásmundur Jónsson, Atli Geir Júlíusson, Fannar Jónasson, Einar Sveinn Jónsson, Pétur Már Benediktsson), 4) HS Orka (Marín Ósk Hafnadóttir, Guðjón Helgi Eggertsson, Hallgrímur Smári Þorvaldsson, Vigdís Louise Jónsdóttir), 5) Markaðsstofa Reykjaness (Þuríður Halldóra Aradóttir), 6) Jarðfræðingarnir Bjarni Richer (ÍSOR) og Páll Imsland, 7) Vegagerðinni (Guðmundur Valur Guðmundsson) og 8) Veðurstofu Íslands (Bergrún Arna Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti, Sigrún Karlsdóttir).

Heimildir

- Bergrún A. Óladóttir, Benedikt Halldórsson, Pfeffer, M.A., Barsotti, S., Björn B. Björnsson (2023a). *Hvassahraun. Hættumat vegna eldgosa og jarðskjálfta*. Skýrsla Veðurstofu Íslands nr. 2023-001
- Bergrún A. Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti, Bogi Brynjar Björnsson, Manuel Titos, Gerður Stefánsdóttir, Simone Tarquini, Mattia De' Michieli Vitturi (2023b). Langtímahættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns. Hrauna-, gas- og gjóskuvá. Greinargerð Veðurstofu Íslands BAÓ/ofl/2023-01.
- Blake, D.M., Wilson, T., Cole, J., Deligne, N., Lindsay, J. (2017). Impact of Volcanic Ash on Road and Airfield Surface Skid Resistance. *Sustainability* 9(8). 1389. doi:10.3390/su9081389.
- Clifton A.E., Kattenhorn S.A. (2006). Structural architecture of a highly oblique divergent plate boundary segment. *Tectonophysics*, 419, 27-40. doi.org/10.1016/j.tecto.2006.03.016.
- de' Michieli Vitturi, M., Tarquini, S. (2018). MrLavaLoba: A new probabilistic model for the simulation of lava flows as a settling process. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 349. 323-334. doi:10.1016/j.jvolgeores.2017.11.016.
- Dóra Hjálmarasdóttir (2022). Varnir mikilvægra Innviða á Reykjanesi gegn hraunflæði. Samantekt. Minnisblöð 1-32, mismunandi höfundar. Vinnuhópur Varnir mikilvægra innviða. Unnið af Verkís fyrir Almannavarnadeild ríkislögreglustjóra.
- ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast – Reiknimiðstöð evrópskra veðurstofa) (2011). The ERA-Interim reanalysis dataset, Copernicus Climate Change Service (C3S) www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim.
- Gupta, R. (2023). Quantifying visibility reduction during an explosive eruption, insights from Reykjanes volcanic system, Iceland. Part of unpublished Masters Thesis, Uppsala University, Sweden.
- Hansell A.L., Horwell C.J., Oppenheimer C. (2006). The Health Hazards of Volcanoes and Geothermal areas. *Occup Environ Med*, 63, 149-156. doi.org/10.1136/oem.2005.022459
- Kristján Sæmundsson & Haukur Jóhannesson (2006). *Varðar líkur á hraunrennsli og öskufalli milli Hafnarfjarðar og Keflavíkur*. ÍSOR-06006. Íslenskar orkurannsóknir, Reykjavík.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson (2013). Reykjanesskagi. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Kristján Sæmundsson (1979). Outline of the geology of Iceland. (Yfirlit um jarðfræði Íslands). *Jökull* 29. 7-28.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson (2020). Geology and structure of the Reykjanes volcanic system, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391. doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.11.022
- Magnús Á. Sigurgeirsson (1995). Miðaldarlagið. Björn Hróarsson, Dagur Jónsson og Sigurður Sveinn Jónsson (ritnefnd): *Eyjar í Eldhafi*. Reykjavík, Skákprent.
- Magnús Á. Sigurgeirsson, Sigmundur Einarsson (15. nóvember 2019). Reykjanes og Svartsengi. Í: Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson. *Íslensk eldfjallavefsjá*. Veðurstofa Íslands, Háskóli Íslands og Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra. Sótt af <http://islenskeldfjoll.is/?volcano=REY>.
- Magnús Á. Sigurgeirsson. (1992). Gjóskumyndanir á Reykjanesi. Óbirt meistara-ritgerð við Háskóla Íslands. Reykjavík. 114 bls.

- Melissa A. Pfeffer, Sara Barsotti, Sigrún Karlsdóttir, Esther Hlíðar Jensen, Emmanuel Pierre Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson, Guðrún Jóhannesdóttir, Ármann Höskuldsson, Laura Sandri, Jacopo Selva, Simone Tarquini, Mattia de' Michieli Vitturi, Ingibjörg Jónsdóttir, Davíð Egilsson, Marine Giroud, Bergrún A. Óladóttir, Matthew J. Roberts, Kristín Vogfjörð, Jórunn Harðardóttir. (2020). *An Initial Volcanic Hazard Assessment of the Vestmannaeyjar Volcanic System: Impacts of Lava Flow and Tephra Deposit on Heimaey*. Veðurstofa Íslands. Skýrsla Veðurstofu Íslands nr. 2020-011.
- Páll Einarsson (2014). Mechanisms of Earthquakes in Iceland. In: Beer M, Kougioumtzoglou IA, Patelli E, Au IS-K (eds) *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 1–15.
- Reglugerð um brennisteinsdíoxíð, köfnunarefnisdíoxíð og köfnunarefnisoxíð, bensen, kolsýring, svifrík og blý í andrúmsloftinu, styrk ósons við yfirborð jarðar og um upplýsingar til almennings. reglugerð 920/2016 <https://island.is/reglugerdir/nr/0920-2016>, sótt á vefinn 17. mars 2023.
- Schmidt A., Ostro B., Carslaw K.S., Wilson M., Thordarson Th., Mann G.W., Simmons A.J. (2011). Excess mortality in Europe following a future Laki-style Icelandic eruption. *PNAS*, 108, 38. doi.org/10.1073/pnas.1108569108.
- Sigmundur Einarsson (15. nóvember 2019). Krýsuvík-Trölladyngja. Í: Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson. *Íslensk eldfjallavefsjá*. Veðurstofa Íslands, Háskóli Íslands og Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra. Sótt af <http://islenskeldfjoll.is/?volcano=KRY>.
- Sigrún Hreinsdóttir, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson (2001). Crustal deformation at the oblique spreading Reykjanes Peninsula, SW Iceland: GPS measurements from 1993-1998. *Journal of Geophysical Research* 106(B7). 13803-13816.
- Simmons, I.C., Pfeffer, M.A., Calder, E.S., Galle, B., Arellano, S., Coppola, D., Barsotti, S. (2017). Extended SO₂ outgassing from the 2014-2015 Holuhraun lava flow field, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 79. 79. doi.org/10.1007/s00445-017-1160-6.
- Steigerwald L., Einarsson P., Hjartardóttir Á.R. (2020). Fault kinematics at the Hengill Triple Junction, SW-Iceland, derived from surface fracture pattern. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391, 106439. doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.08.017.
- Sveinbjörn Björnsson, Páll Einarsson, Helga Tulinius, Ásta Rut Hjartardóttir (2020). Seismicity of the Reykjanes Peninsula 1971–1976. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391, 106369.