

# Langtímahættumat fyrir Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns Hrauna-, gasmengunar- og gjóskuvá Tækniskýrsla

Bergrún Arna Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti,  
Bogi Brynjar Björnsson, Manuel Titos, Réne Gupta, Gerður  
Stefánsdóttir, Simone Tarquini, Mattia De'Michieli Vitturi

**LYKILSÍÐA**

<b>Greinargerð nr.</b> BAÓ/ofl/2023-01	<b>Dags.</b> Júní 2023	<b>Dreifing:</b> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
		<b>Skilmálar:</b>
<b>Heiti greinargerðar:</b> Langtímahættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns Hrauna-, gas- og gjóskuvá Tækniskýrsla	<b>Upplag:</b> Rafræn útgáfa	
	<b>Fjöldi síðna:</b> 114	
<b>Höfundar:</b> Bergrún Arna Óladóttir, Melissa Anne Pfeffer, Sara Barsotti, Bogi Brynjar Björnsson, Manuel Titos, Réne Gupta, Gerður Stefánsdóttir, Simone Tarquini, Mattia De'Michieli Vitturi	<b>Framkvæmdastjóri sviðs:</b> Matthew J. Roberts	
	<b>Verkefnisstjóri:</b> Bergrún Arna Óladóttir	
<b>Gerð greinargerðar/verkstig:</b>	<b>Verknúmer:</b> 3721-0-0004	
	<b>Málsnúmer:</b>	
<b>Unnið fyrir:</b> GOSVÁ		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Langtímahættumat hefur verið unnið vegna hraunrennslis-, gasmengunar- og gjóskufallsvá á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns. Hraunrennslis- og gjóskufallsvá var hermt frá eldstöðvakerfunum Reykjanesi-Svartsengi, Fagradalsfjalli og Krýsuvík. Líklegast 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 eldstöðvakerfunum Reykjanesi-Svartsengi og Krýsuvík. Litlar líkur eru á alvarlegri gasmengun á Reykjanesskaga en þær aðstæður geta þó skapast að hættuástand skapist (>14.000 µg/m <sup>3</sup> ). Gjóskufall var hermt frá einum gosupptökum sem staðsett voru suðvestur af Reykjanestá. Líklegast er að gjóskufall valdi einungis skammvinnum áhrifum á Reykjanesskaga 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.		
<b>Lykilorð:</b> Langtímahættumat, Reykjanesskagi, hraunrennslis-, gasmengun, gjóskufall, líkanhermanir	<b>Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:</b>	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>	
	<b>Yfirfarið af:</b>	

# Efnisyfirlit

MYNDASKRÁ .....	5
TÖFLUSKRÁ .....	6
ÁGRIP .....	7
1 INNGANGUR.....	10
1.1 Hættumat vegna eldfjallavár.....	10
1.2 Munur á langtíma- og skammtímahættumati.....	11
1.3 Hættumatskort (e. hazard map).....	12
1.4 Afmörkun verkefnis og yfirlit.....	12
1.5 Skilgreiningar hugtaka.....	13
2 REYKJANESSKAGI, JARÐFRÆÐI OG GOSSAGA .....	16
2.1 Eldstöðvakerfi á Reykjanessaga .....	16
2.1.1 Möguleg atburðarás eldgosa á Reykjanes-Svartsengiskerfunum .....	20
2.1.2 Möguleg atburðarás eldgosa á Krýsuvík- og Fagradalsfjallskerfunum .....	20
2.1.3 Atburðagreining.....	21
2.2 Ríkjandi vindafar á Reykjanesskaga.....	24
2.3 Forboðar og staða eftirlits.....	26
3 ÁHRIF ELDGOSS Á REYKJANESSKAGA .....	27
3.1 Líkleg gossvæði á Reykjanesskaga.....	28
3.2 Hraunrennsli .....	30
3.2.1 Forsendur og aðferðir líkanhermana .....	30
3.2.2 Svæði sem gætu orðið fyrir hraunrennsli .....	31
3.2.3 Hraunvá eftir áherslusvæðum.....	35
3.2.4 Afmörkun gossprungna sem veitt geta hrauni inn á áherslusvæði .....	35
3.2.5 Hraunvá – samantekt.....	47
3.3 Gas .....	47
3.3.1 Forsendur og aðferðir líkanhermana .....	48
3.3.2 Reykjanes-Svartsengi .....	51
3.3.3 Krýsuvík .....	57
3.3.4 Gasvá eftir áherslusvæðum og innviðum .....	63
3.3.5 Dekkstu sviðsmyndir eftir áherslusvæðum .....	64
3.3.6 Gasvá – samantekt.....	67
3.3.7 Gasspár og hvernig þær raungerðust (m.v. gosið í Fagradalsfjalli) .....	68
3.4 Gjóska .....	69
3.4.1 Forsendur og aðferðir líkanhermana .....	69

3.4.2	Gjóskuvá eftir áherslusvæðum og innviðum.....	73
3.4.3	Áhrif gjóskufalls á skyggni og aksturskilyrði.....	74
3.4.4	Dekkstu sviðsmyndir gjóskufalls á áherslusvæðum.....	75
3.4.5	Gjóskuvá – samantekt .....	77
4	MÓTVÆGISADGERÐIR .....	78
4.1	Innviðir .....	78
4.1.1	Hraunrennsli .....	78
4.1.2	Gasmengun.....	79
4.1.3	Gjóskufall .....	79
5	SAMANTEKT .....	80
6	HEIMILDIR.....	82
VIÐAUKI I.	Eldstöðvakerfi á Reykjanesskaga og aðsteðjandi eldfjallavá .....	90
	Reykjanes og Svartsengi.....	90
	Krýsuvík .....	91
	Fagradalsfjall .....	91
	Hraun.....	92
	Gas og efnamengun.....	93
	Efnaálag .....	94
	Gjóska og gjóskufall .....	95
VIÐAUKI II.	Aðferðir/hermanir.....	97
	Líklegar staðsetningar framtíðargosa – MatHaz .....	97
	Hraun - MrLavaLoba .....	98
	Gas - CALPUFF.....	100
	Gjóska –VOL-CALPUFF .....	101
VIÐAUKI III.	Dekkstu sviðsmyndir SO <sub>2</sub> .....	102
VIÐAUKI IV.	Líkur á að svæði á Reykjanesskaga verði fyrir hrauni skv. niðurstöðum hraunhermana – stór kort.....	107

# Myndaskrá

Mynd 1. Yfirlit umfjöllunarsvæðis.....	17
Mynd 2. Atburðagreining Reykjaness.....	22
Mynd 3. Atburðagreining Svartsengis og Krýsuvíkur .....	23
Mynd 4. Atburðagreining Fagradalsfjalls.....	24
Mynd 5. Tíðni vindáttá og vindhraði nærri Reykjanesskaga á fjórum þrýstiflötum .....	25
Mynd 6. Tíðni vindáttá og vindhraði úr veðurmælingum í 10 m hæð yfir landi á fjórum stöðum á Reykjanesskaga, Keflavíkflugvelli, Garðskagavita, Grindavík og Straumsvík .....	26
Mynd 7. Reykjanesskagi, þekkir gígar og gígaraðir .....	29
Mynd 8. Afstæðar líkur á framtíðar gosupptökum á vestanverðum Reykjanesskaga .....	30
Mynd 9. Jafndreifð hermigosupptök frá vesturmörkum Reykjaneskerfisins að austurmörkum Krýsuvíkurkerfisins .....	32
Mynd 10. Vegnar líkur á að svæði á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns verði fyrir hraunrennsli skv. hermunum á litlu hraungosi og meðalstóru hraungosi.....	35
Mynd 11. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Grindavík og Þórkötlustaðahverfi .....	36
Mynd 12. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Voga .....	37
Mynd 13. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Keflavík, Njarðvík eða Ásbrú.....	38
Mynd 14. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í Svartsengi og Bláa lónið.....	39
Mynd 15. Landfræðileg afmörkun gossprungna sem geta veitt hrauni inn í vatnstökusvæðið í Lágum.....	40
Mynd 16. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði. Grindavík .....	41
Mynd 17. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði. Þórkötlustaðahverfi .....	42
Mynd 18. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði. Vogaheiði.....	43
Mynd 19. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði. Bláa lónið .....	44
Mynd 20. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði. Svartsengi.....	45
Mynd 21. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði. Í Lágum.....	46
Mynd 22. Líkur á gosupptökum innan eldstöðvakerfis Reykjaness-Svartsengis og Krýsuvíkur skv. MatHaz líkaninu .....	49
Mynd 23. Yfirlit yfir gossprungur sem notaðar voru sem hermigosupptök í CALPUFF líkanið við hermun gasdreifingar og styrks gasmengunar við jörðu. ....	50
Mynd 24. Líkur á gasmengun af völdum goss með litlu gasflæði frá Reykjanesi-Svartsengi. Fimm mismunandi gasmengunarstyrkir eru skoðaðir .....	54
Mynd 25. Líkur á gasmengun af völdum goss með miklu gasflæði frá Reykjanesi-Svartsengi .....	57
Mynd 26. Líkur á gasmengun af völdum goss með litlu gasflæði frá Krýsuvíkurkerfinu .....	60
Mynd 27. Líkur á gasmengun af völdum goss með miklu gasflæði frá Krýsuvíkurkerfinu ....	62

Mynd 28. Dekkstu sviðsmyndir SO <sub>2</sub> mengunar í þúsundum µg/m <sup>3</sup> á hverja klukkustund eftir áherslusvæðum .....	67
Mynd 29. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er 0,1 km <sup>3</sup> og stendur í 72 klst með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá .....	71
Mynd 30. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er 0,1 km <sup>3</sup> og stendur í 4 klst með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá .....	73
Mynd 31. Litakóðaðar tímaraðir sem sýna breytingar á skyggni og áhrif þeirra á vegasamgöngur á fjórum svæðum á Reykjanesskaga, Keflavíkurlugvelli, Grindavík, Svartsengi og Reykjanesvirkjun.....	74
Mynd 32 Mismunandi tegundir hrauna .....	93

## Töfluskrá

Tafla 1. Hugtök um hættumat og notkun þeirra .....	13
Tafla 2. Eldstöðvakerfi á Reykjanesskaga.....	18
Tafla 3. Stærðir hrauna úr sprungugosum á Reykjanesskaga frá síðustu 3500 árum.....	19
Tafla 4. Áherslusvæði sem merkt eru inn á líkindakort með númerum. Áherslusvæðum er skipt í þéttbýli, ferðamannastaði og virkjanir og iðnaðarsvæði. ....	28
Tafla 5. Jarðfræðimenjar á yfirborði, flokkun þeirra og vægi sem notað var við mat á líklegum staðsetningum framtíðargosupptaka með MatHaz kóðanum. ....	29
Tafla 6. Yfirlit sviðsmynda sem hermdar voru með hraunhermunarlíkaninu MrLavaLoba ....	31
Tafla 7. Fjöldi hermigossprungna og hermanna innan hvers eldstöðvakerfis.....	31
Tafla 8. Lýsing á loftgæðum og áhrifum SO <sub>2</sub> á heilsufar miðað við styrk í 10–15 mínútur....	48
Tafla 9. Yfirlit sviðsmynda sem hermdar voru með CALPUFF líkaninu, fjöldi gossprungna og heildarfjöldi hermanna. ....	50
Tafla 10. Dekkstu sviðsmyndir gasmengunar frá hermigossprungum innan eldstöðvakerfa Reykjaness-Svartsengis .....	64
Tafla 11. Dekkstu sviðsmyndir gasmengunar á hverju áherslusvæði skv. hermunum frá hermigossprungum innan eldstöðvakerfis Krýsuvíkur.....	66
Tafla 12. Upphafsforsendur og kennistærðir sem notaðar eru við hermun gjóskudreifingar...	69
Tafla 13. Dekkstu sviðsmyndir fyrir gjóskufall úr löngu gosi (72 klst).....	76
Tafla 14. Dekkstu sviðsmyndir fyrir gjóskufall úr stuttu gosi (4 klst). ....	77
Tafla 15. Dæmi um mismunandi áhrif gjóskufalls.....	96

# Ágrip

Megintilgangur verkefnisins er að vinna langtímahættumat vegna eldvirkni á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns, þ.e. að veita upplýsingar um væntanleg hættusvæði af völdum eldgosa: hraunrennslis, gasmengunar og gjóskufalls.

Áhersla er lögð á það hve útsett svæði eru fyrir hraunrennslis, gjóskufalli og gasmengun ( $\text{SO}_2$ ) frá eldsumbrotum á eldstöðvakerfum Reykjaness, Svartsengis, Fagradalsfjalls og Krýsuvíkur. Einnig eru settar fram dekkstu sviðsmyndir fyrir ákveðin svæði. Megináhersla er á innviði m.t.t. staðsetningar en áhrif á þéttbýli, vegi, alþjóðaflugvöll, rafmagnsinnviði, vatnsveitu og vatnsból eru skoðuð. Einnig eru loftgæði vegna gjóskufalls og gasmengunar skoðuð og vikið er að mögulegu álagi vegna mengunarefna sem falla til jarðar með úrkomu.

Hættumat er unnið fyrir:

- 1) þéttbýliskjarna á Reykjanesskaga, þ.e. Grindavík, Voga, Reykjanesbæ (Keflavík, Njarðvík, Ásbrú, Hafnir) og Suðurnesjabæ (Sandgerði og Garð)
- 2) virkjanir og iðnaðarsvæði (s.s. Svartsengi og Reykjanesvirkjun)
- 3) fjölsóttu ferðamannastaði (s.s. Keflavíkurflugvöll, Bláa lónið, Fagradalsfjall)
- 4) neysluvatn.

Langtímahættumat er unnið þegar eldstöð sýnir litla sem enga virkni. Í því eru settar fram sviðsmyndir mögulegra atburða sem byggja á upplýsingum, sögulegum og jarðfræðilegum, og metið hvaða sviðsmynd er líklegust til að eiga sér stað. Langtímahættumat byggir á þekkingu á virkni þeirrar eldstöðvar/eldstöðvakerfis sem um ræðir. Líkön eru keyrð og áhrif líklegrar goshegðunar eru metin. Eins má draga fram dekkstu sviðsmyndir með líkankeyrslum fyrir mismunandi staði en passa verður að leggja ekki ofuráherslu á dekkstu sviðsmyndir því það getur orðið til þess að skipulagðar mótvægisáðgerðir verði óþarflega miklar. Niðurstöður langtímahættumats eru mikilvægar í skipulagsmálum og við gerð viðbragðsáætlana. Mikilvægt er að vinna langtímagreiningu vel á tímum þegar virkni eldstöðvar er lítil sem engin. Þá er úrvinnslutími nægur en tími gefst ekki alltaf til að vinna nákvæma heimildavinnu þegar eldstöð er farin að sýna aukna virkni.

## Helstu niðurstöður

### Gosupptök

Þau gosop sem þekkt eru á skaganum eru staðsett sunnan megin á skaganum, umhverfis meinta legu flekaskila Evrasíu og Norður-Ameríkuflekanna, 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

Reykjanesskagi er byggður upp af hraunum og móbergsstöpum sem sýnir að hraun hafa runnið nánast hvar sem er á skaganum á einhverjum tímamarki í myndunarsögunni. Jarðfræði Reykjanesskagans bendir til að hverfandi líkur séu á að gosupptök verði vestan við skilgreind mörk eldstöðvakerfis Reykjaness 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. Keflavíkurflugvöllur 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 Keflavíkurflugvelli.

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 hraunrennsli. Niðurstöður hraunhermana hafa verið notaðar til að afmarka þau upptakasvæði sem veitt geta hrauni inn í Grindavík, Þórkötlustaðahverfi, 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 jörðuvegna 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 Krýsuvíkurkerfisins 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 SO<sub>2</sub> fari yfir 14.000 µg/m<sup>3</sup>) getur það gerst nánast hvar sem er skv. niðurstöðum einstakra hermana.

### **Gjóskufallsvá**

Miðað við þær forsendur sem gjóskudreifingarhermanir byggja á (upptök goss SV af Reykjanesá, stærð, gosmakkarhæð og veðurgögn) getur meira en 10 cm gjóskulag myndast vestast á Reykjaneskaga 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 Almanna- varnadeildar 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 Reykjaneskaga 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, fjarskiptainniðir, 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 frá eldstöðvakerfum Reykjaness-Svartsengis. 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. Sífellt er unnið að því að minnka líkur á manntjóni af völdum eldvirkni með virku, óslitnu eftirliti með virkum eldstöðvum landsins. Niðurstöður hættumats vegna náttúruvár má nýta við skipulag byggðar og landnýtingar með það að markmiði að draga úr efnahagslegu tjóni af völdum eldgosa.

Hér er kynntur hluti verkefnis er varðar langtímahættumat vegna eldgosa í nálægð við þéttbýli. Verkefnið er eitt af mörgum verkefnum GOSVÁr en í því verki er unnið að heildaráhættumati vegna eldgosa á Íslandi. GOSVÁ er samvinnuverkefni Veðurstofu Íslands, Jarðvísindastofnunar Háskólans, Landgræðslu Ríkisins, Vegagerðarinnar og Almanna- og Almannavarnardeildar ríkislögreglustjóra, leitt af Veðurstofu Íslands. Yfirmarkmið forgreiningaverkefna hættumats vegna eldgosa er að skilgreina aðferðafræði við hættumat eldvirkra svæða á Íslandi, skilgreina nauðsynlega þættir í slíkri vinnu, hvaða atriði skal leggja áherslu á og hvað skal varast. Tvö svæði, þar sem byggð stendur á eða nærri ungum hraunum, voru valin til að prófa mismunandi aðferðir við gerð hættumats. Þessi svæði eru annars vegar Vestmannaeyjar (Pfeffer o.fl., 2020; 2021) og hins vegar Reykjanesskagi sem þessi greinagerð fjallar um en helstu niðurstöður verkefnisins eru aðgengilegar í skýrslu Veðurstofu Íslands *Langtímahættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns. Hrauna-, gasmengunar- og gjóskufallsvá* (Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023a). 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 á þessu stigi.

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. Þær munu nýtast sveitafélögum og stjórnvöldum við skipulagsvinnu og við gerð og/eða uppfærslur viðbragðsáætla.

## 1.1 Hættumat vegna eldfjallavár

Eldvirkni hér á landi er fjölbreytt og þar af leiðandi þarf að huga að margskonar eldfjallavá til að geta dregið úr áhrifum hennar á árangursríkan hátt. Nærtækustu dæmi um eldfjallavá sem við Íslendingar þekkjum frá síðustu árum eru hraunflæði (t.d. Fagradalsfjall 2021, 2022 og 2023, Holuhraun 2014–2015 og Fimmvörðuháls 2010) og gasmengun af völdum eldgoss (t.d. Fagradalsfjalls gosin þrjú og Holuhraun 2014–2015) en gas getur mengað bæði andrúmsloft og vatn (yfirborðsvatn, grunnvatn, regnvatn), gjóskufall (t.d. Grímsvötn 2011, Eyjafjallajökull 2010) og jökulhlaup (t.d. Skeiðarárhlaup 1996). Auk þess þekkjum við dæmi um jarðskjálfta sem tengjast eldvirkni (t.d. skjálftahrina í aðdraganda gosa í Fagradalsfjalli 2021–2023), eðjuflóð (t.d. Eyjafjallajökull 2010) og þá vá sem fylgir hraunbombum, en þó nokkur dæmi voru um íkveikjur af völdum hraunbomba í Heimaeyjargosinu 1973. Eldingar sem myndast í tengslum við eldsumbrot hafa valdið manntjóni á Íslandi (t.d. í Skaftártungu vegna Kötlugoss árið 1755) og

flóðbylgjur geta myndast (t.d. flóðbylgja í Vík sem fylgdi jökulhlaupi frá Kötlu árið 1720). Gjóskuflóð og gushlaup, sem myndast þegar gosmökkur hrynur og flæðir á ógnarhraða eftir landslagi, eru með hættulegustu atburðum sem tengjast eldvirkni. Blessunarlega þekkjum við ekki mörg dæmi um stóra slíka atburði hérlendis en þeir eru þó alls ekki óþekktir (t.d. í Örafajökulsgosi árið 1362) og smærri gjóskuflóð sáust t.d. í Eyjafjallajökli árið 2010 (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2011).

Hættumat eldfjallavár er úttekt á hugsanlegri hættu í tengslum við endurtekna eldvirkni á tilteknum svæðum og snýst um líklegar staðsetningar framtíðar gosa, stærð, gerð, útbreiðslu og tíðni atburða en reynir í raun ekki að spá fyrir um nákvæmlega hvenær atburðir munu eiga sér stað né hversu lengi hver atburður muni standa. Vá af völdum eldvirkni getur hafist skyndilega og því er mikilvægt að þekkja líklegustu vá og ákjósanlegt er að geta varað við yfirvofandi hættu áður en hún skellur á. Til að það sé mögulegt þarf að þekkja tíðni- og stærðardreifingu eldri atburða, eðli þeirra s.s. gerðir, stærðir, staðsetningar, tímalengdir og umfang, og það svæði sem líklegt er að verði fyrir áhrifum (t.d. Selva et al., 2012; Páll Imsland, 2013). Með öðrum orðum má segja að eldgosahættumat svæðis feli í sér tilraun til að svara því hvar og hvernig næsta gos ákveðinnar eldstöðvar verður. Bestu mögulegu svör við þessum spurningum fást með því að skoða jarðfræðileg, jarðefnafræðileg og jarðeðlisfræðileg gögn fortíðar og nota þau til að herma framtíðarhegðun. Líkindafræðilegri nálgun er beitt til að meta hvaða sviðsmynd fortíðar er líklegust að endurtaki sig í framtíð, án þess þó að gleyma að eldstöð getur alltaf breytt út af vana sínum og ómögulegt er að útiloka hið ólíklega. Hættumat vegna eldvirkni hefur ekki verið unnið fyrir marga staði á landinu hingað til en nokkur hættumatsvinna hefur farið fram á mismunandi stöðum á Reykjanesskaga (t.d. Wood o.fl., 1992; Páll Imsland, 1998; Kristján Sæmundsson og Haukur Jóhannesson, 2006; Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2015; Þóra Björg Andrésdóttir, 2018; Ármann Höskuldsson o.fl., 2022).

Þegar goshlé eru löng, jafnvel allt upp í 1000 ár, er auðvelt að gera lítið úr eldfjallavá og draga úr viðbúnaði en til að ná árangri í vörnum gegn náttúruhamförum þarf hættumat að vera í sífelldri endurskoðun og aðlögun með tilkomu nýrra gagna. Hættumat má aðlaga að notendum s.s. almannavörnum, skipulagsyfirvöldum, og er breytilegt eftir fyrirséðum notendum og virknistöðu eldstöðvar. Áhættumat byggir á hættumati og tekur á því hvað er efnahagslega í húfi steðji hætta að.

Í eftirfarandi skrifum höfum við reynt að fylgja bestu starfsvenjum við gerð hættumats sem settar voru fram í kjölfar alþjóðlegra vinnustofa (Pallister o.fl., 2019) en þar er mælt til þess að: 1) hermanir sem hættumat byggir á séu gerðar aðgengilegar á stafrænu formi, 2) mikilvægir innviðir og svokallaðar líflínur samfélaga (rafmagn, vatn, o.s.frv.) séu dregnar fram á hættumatskortum, 3) gæta þess að hið ólíklega gleymist ekki og 4) tryggja að dekkstu sviðsmyndir fái ekki of mikið vægi.

## 1.2 Munur á langtíma- og skammtímahættumati

Langtíma- (e. long-term hazard assessment) og skammtímahættumat (e. short-term hazard assessment) er tvenns konar aðkoma að hættumati sem stjórnast af því hversu virk eldstöð er.

*Langtímahættumat* er unnið þegar eldstöð sýnir litla sem enga virkni, þá eru sviðsmyndir mögulegra atburða settar fram og líkindi þess metin hvaða sviðsmynd er líklegust til að eiga sér stað í framtíðinni. Langtímahættumatið byggir á upplýsingum, sögulegum og jarðfræðilegum, um virkni þeirrar eldstöðvar sem um ræðir og mögulegar sviðsmyndir eldgosa eru dregnar upp oftast frá þekktum gosupptökum. Líkön eru keyrð og áhrif þekktrar goshegðunar eru metin. Eins má draga fram dekkstu sviðsmyndir líkankeyrslna á mismunandi stöðum en gæta verður að því að leggja ekki ofuráherslu á dekkstu sviðsmyndir því það getur orðið til þess að skipulagðar

mótvægisáðgerðir verði of miklar (Pallister o.fl., 2019). Niðurstöður langtímahættumats eru mikilvægar í skipulagsmálum og við gerð viðbragðsáætla. Mikilvægt er að vinna langtímagreiningu vel á tímum þegar virkni eldstöðvar er lítil sem engin. Þá er úrvinnslutími nægur en tími gefst ekki alltaf til að vinna nákvæma heimildavinnu þegar eldstöð fer að sýna aukna virkni.

Þegar eldstöð sýnir merki um aukna virkni tekur við *skammtímahættumat*. Það byggir á langtímahættumati og tekur að auki tillit til allra nýjustu upplýsinga sem liggja fyrir hverju sinni. Skammtímahættumat gerir kleift að þrengja svæði eldsuppkomu og draga úr fjölda mögulegra sviðsmynda eldgosavár. Með auknum upplýsingum er stefnt að því að komast að líklegustu sviðsmynd. Í skammtímahættumati eru líkön keyrð á ný með uppfærðum forsendum sem fylgja því sem fram kemur í eftirlitskerfi eldstöðvar (t.d. Marzocchi o.fl., 2004; Selva et al., 2012; Marti 2017; Pallister et al., 2019). Niðurstöður skammtímahættumats beinast því að ákveðnum sviðsmyndum og nýtast við undirbúning afmarkaðri viðbragðs- og rýmingaráætla. Mikilvægt er að uppfæra bæði langtíma- og skammtímahættumat reglulega og í hvert skipti sem nýjar upplýsingar verða aðgengilegar.

### 1.3 Hættumatskort (e. hazard map)

Hættumatskort (e. hazard map) sýna niðurstöður hættumatsvinnu og gefa góða yfirsýn yfir landfræðilega dreifingu vár. Þau eru því góð leið til að miðla upplýsingum um náttúruvá mismunandi svæða (t.d. Calder o.fl., 2015; Pallister o.fl., 2019). Á hættumatskortum má leggja áherlu á breytilega þætti s.s. íbúabyggð og svokallaðar líflínur þéttbýlissvæða, vegi, raforkukerfi og vatnsból. Einföldustu kortin afmarka einungis ákveðinn radius umhverfis eldstöð en þau flóknustu sýna breytilegar líkur á vá eftir svæðum sem eru metnar út frá þekkingu á svæðinu og niðurstöðum líkankeyrslna. Á hættumatskortum má sýna fyrirfram ákveðnar forsendur eða niðurstöður eins hermds atburðar (e. deterministic hazard map) eða líkindi þess að fyrirfram skilgreindur atburður hafi áhrif á ákveðin svæði miðað við breytilegar forsendur (probabilistic hazard maps), en á slíkum kortum eru niðurstöður margra hermána dregnar saman í eitt kort (<https://volcanichazardmaps.org/the-diversity-of-volcanic-hazard-maps/>). Líkankeyrslur byggja á þeirri þekkingu sem liggur fyrir um fyrri atburði og unnið er með eins stóra gagnabanka og mögulegt er hverju sinni. Æskilegt er að niðurstöður líkankeyrslna séu aðgengilegar og leitanlegar í stafrænum gagnagrunni (Pallister o.fl., 2019).

### 1.4 Afmörkun verkefnis og yfirlit

Unnið hefur verið langtímahættumat af völdum eldvirkni fyrir Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns með það fyrir augum að sjá hvaða svæði eru líkleg til að verða fyrir hraunrennsli, gasmengun (SO<sub>2</sub>) og gjóskufalli frá eldsumbrotum á eldstöðvakerfum Reykjaness-Svartsengis, Fagradalsfjalls og Krýsuvíkur (hédan í frá einnig nefnt Reykjaness-Svartsengi, Fagradalsfjall og Krýsuvík). Einnig hafa dekkstu 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. Hugað var að hugsanlegu álagi á gróður og vatn vegna mengunarefna úr gosmekki sem falla með úrkomu. Ekki var unnið með jarðskjálftavá hér en bent er á skýrslu um hættumat vegna eldgosa og jarðskjálfta í Hvassahrauni og heimildir þar (Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023b).

Hættumat af völdum hraunrennslis, gasmengunar og gjóskufalls var unnið fyrir:

- 1) þéttbýli á Reykjaneskaga, þ.e. Grindavík, Voga, Reykjanesbæ (Keflavík, Njarðvík, Ásbrú, Hafnir) og Suðurnesjabæ (Sandgerði og Garð)
- 2) virkjanir og iðnaðarsvæði (s.s. Svartsengi, Reykjanesvirkjun)
- 3) fjölsóttu ferðamannastaði (s.s. Keflavíkurlugvöll, Bláa lónið, Fagradalsfjall)
- 4) neysluvatn (vatnstökusvæði í Lágum)

Í viðaukum má nálgast upplýsingar um eldfjallavá (Viðauki I), aðferðir og líkön sem notuð eru í verkefninu (Viðauki II) og ýtarlegri niðurstöður en birtar eru í meginmáli (Viðauki III og IV).

Helstu niðurstöður eru birtar í skýrslu Veðurstofu Íslands *Langtímahættumat Reykjaneskaga vestan Kleifarvatns. Hrauna-, gasmengunar- og gjóskufallsvá*, (Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023a) en hér eru fræðilegar forsendur, aðferðafræði og ýtarlegar niðurstöður líkankeyrslna og útreikninga sett fram.

## 1.5 Skilgreiningar hugtaka

Skilgreiningar hugtaka sem notuð eru í eftirfarandi skrifum er að finna í töflu 1.

*Tafla 1. Hugtök um hættumat og notkun þeirra (í stafrófsröð). Skilgreiningar byggja á orðasafni almannavarna (<https://www.almannavarnir.is/almannavarnir/hugtok/>) sem unnið var með hliðsjón af orðasafni Sameinuðu þjóðanna. Þýðingar byggja að hluta á vinnu Trausta Jónssonar (2002).*

<b>Áfallapol (e. resilience)</b>
Geta kerfis, eða samfélags, sem stendur andspænis hættu, til þess að forðast, draga úr, eða komast yfir áföll vegna hvers konar vár, með viðbúnaði jafnt með fyrirbyggjandi aðgerðum sem og viðbrögðum. Áfallapol einnig nefnt aðlögunarhæfni/seigla/viðnámsþróttur/pól, segir til um möguleika samfélags til að takast á við, jafna sig á og komast yfir hamfarir með viðbúnaði t.d. spám um náttúruhamfarir, innviðum almannavarna, tryggingum og varnaraðgerðum t.d. varnargörðum.
<b>Áhætta (e. risk)</b>
Það tjón sem ákveðin ógn veldur á ákveðnu svæði/yfir ákveðið viðmiðunartímabil vegna samspils tjónmættis og tjónnæmis. Áhættan er samspil á ógn, vörnum og veikleikum. Einnig er tekið tillit til útsetningar.
<b>Áhættumat (e. risk assesement)</b>
Heildarferli sem felur í sér að finna, átta sig á og lýsa, og gera sér grein fyrir áhættu. Ákvörðun umfangs og eðlis áhættu eða áhættuþátta (afleiðingar og líkur) og samanburður á niðurstöðum við áhættuviðmið til að ákvarða hvort áhættan og/eða umfang hennar sé ásættanleg eða þolanleg. Ferli til að meta eðli og umfang.
<b>Áhættuviðmið (e. critical risk)</b>
Viðmið sem eru sett um ásættanlega áhættu og endurspeгла gildi, stefnu og markmið.
<b>Ásættanleg áhætta (e. acceptable risk)</b>
Sú áhætta sem samfélag telur ásættanlega miðað við félags-, efnahags-, stjórn mála-, menningar-, tækni- og umhverfislegar aðstæður á hverjum stað og tíma. Gjarnan sett sem viðmið í reglugerðir og staðla.
<b>Hætta (e. hazard)</b>
Fyrirbæri, efni, mannlegar gjörðir eða ástand sem getur valdið skaða, svo sem dauða, meiðslum, heilsutapi, eignaspjöllum, tapi á lífsviðurværi, skerðingu nauðsynlegrar þjónustu, félagslegum eða efnahagslegum óstöðugleika eða umhverfisspjöllum.

<b>Hættumat (e. hazard assessment)</b>
Tilgreina, meta og flokka mögulegar hættur sem eru fyrir hendi við skilgreindar aðstæður eða kennistærðir. Áhættugreiningar og áhættumat byggjast á hættumati. Hættumat á náttúruhamförum og umfangi þeirra, einnig mat á öðrum hættum t.d. tæknivá, stríðsástandi o.s.frv. Hugtakið er mikið notað hér á landi, en er ekki skilgreint sérstaklega í orðalista Sameinuðu þjóðanna og Alþjóða veðurfræðistofnunarinnar ( <a href="http://www.unisdr.org">www.unisdr.org</a> ).
<b>Hættumatskort sem sýnir líkindi (e. probabilistic hazard map)</b>
Kort sem sýnir líkur m.v. ákveðnar breytur, t.d. líkur þess að gjóskulag af ákveðinni þykkt falli frá eldstöð m.v. breytileg veðurfræðigögn.
<b>Hættumatskort miðað við ákveðnar forsendur (e. deterministic hazard map)</b>
Kort sem sýnir líkur miðað við ákveðnar forsendur sem gefnar eru, t.d. gjóskudreifingu miðað við ákveðin veðurskilyrði.
<b>Langtímahættumat/langtímagreining/langtímavá (e. long-term hazard assessment)</b>
Langtímahættumat er metið með líkankeyrslum byggðum á þeim upplýsingum sem til eru um hegðun eldstöðvar og eldstöðvakerfis (sögulegar og jarðfræðilegar). Langtímagreining er unnin þegar eldstöðvakerfi sýnir engin merki um virkni og nýtist í skipulagsvinnu og við gerð/uppfærslur viðbragðsáætlana. Í langtímahættumati eru líklegar atburðarásir skilgreindar.
<b>Mikilvægir innviðir (e. critical infrastructure)</b>
Ómissandi innviðir samfélagsins, s.s. vegir, veitukerfi, brýr, sjúkrahús, skólar, lögregla, stjórnsýsla, o.s.frv. Það er innviðir sem eru nauðsynlegir til að tryggja eðlilegan gang samfélaga bæði félags- og fjárhagslega.
<b>Mótvægisáðgerðir (e. mitigation)</b>
Áðgerðir sem miða að því að milda, draga úr eða koma í veg fyrir að almenningur, eignir, umhverfi eða samfélag verði fyrir skaða vegna hamfara af völdum náttúrunnar eða af mannlegum toga. Það er hægt að gera t.d. með reglugerðum eða með fræðslu um hvernig er hægt að haga ákveðnum hlutum. Varnaraðgerðir á borð við varnargarða vegna snjóflóða- eða flóðahættu eru einnig dæmi um mótvægisáðgerðir til að draga úr hættu og varna skaða eða tjóni.
<b>Skammtímahættumat/bráðagreining/bráðavá (e. short-term hazard assessment)</b>
Skammtímahættumat byggir á langtímahættumati auk nýrra upplýsinga um eldstöð, jafnvel rauntímaupplýsinga sem berast í gegnum eftirlitskerfi eldfjallavöktunar. Skammtímahættumat er unnið þegar virkni af hvaða tegund sem er (landris, jarðskjálftar, aukið gasútstreymi, o.s.frv.) hefst í eldstöð/eldstöðvakerfi. Skammtímahættumat er notað til að spá frekar fyrir um hvaða fyrirfram skilgreind atburðarás úr langtímahættumati er líklegust m.v. þær upplýsingar sem liggja fyrir um atburð s.s. um staðsetningu gosuppkomu, gosgerð o.s.frv.
<b>Snemmvíðvörðunarkerfi (e. early warning system)</b>
Upplýsingar, sem komið er til skila með markvissum hætti tímalega til að koma í veg fyrir eða draga úr tjóni og gefa almenningi, samfélögum og stofnunum tækifæri til að undirbúa sig á viðeigandi hátt til að draga úr skaða eða tjóni (e. early warning system). Snemmvíðvörðunarkerfi fyrir margar hættur er kerfi sem er hannað til að spá fyrir um og hrinda af stað mótvægisáðgerðum við yfirvofandi slysum, áföllum eða hamförum (e. multihazard early warning system).
<b>Tjónmætti (e. damage potential)</b>
Flokkun á hversu mikið tjón getur orðið vegna náttúruváratburðar. Byggist á stærð, afli og varanda (lengd) náttúruváratburðar og hversu mikil líkindi eru á því að hann eigi sér stað, óháð því hvort byggð eða mannvirki séu til staðar. Varnarvirki, svo sem varnargarðar, sem bægja flóðum frá byggð eða breytt skipulag landnotkunar geta minnkað tjónmætti atburða.

<b>Tjónnæmi (e. vulnerability)</b>
Viðkvæmni/berskjöldun samfélagsins, innviða og kerfa gagnvart tjóni sem hlýst af náttúruhamförum, mæld í prósentum (0–100%). Tjónið getur verið m.a. manntjón, slys, eignatjón og samfélagslegs eðlis. Tjónnæmi er á sama hátt og tjónmætti háð mótvægisaðgerðum, t.d. varnargörðum. Breytingar á skipulagi byggðar og byggingarlagi, viðbragðsáætlanir, viðbúnaður og fræðsla geta líka minnkað tjónnæmi.
<b>Viðvera eða nánd (e. exposure)</b>
Stundum nefnt berstaða, berskjöldun eða að vera úttsett/ur. Fólk, eignir, innviðir geta orðið fyrir hættu/vá sem veldur tjóni/skaða, eru útsettir fyrir hættunni.

## 2 Reykjanesskagi, jarðfræði og gossaga

Yst á Reykjanesskaga tengjast Norður-Atlantshafshryggurinn og gosbelti Íslands, en Ísland er einn fárra staða á jörðinni þar sem úthafshryggur rís upp yfir sjávarmál. Gosbeltum landsins er skipt í mismunandi svæði, s.s. Norður- og Austurgosbelti, en skilgreiningar svæðanna og nafngiftir hafa verið á reiki (sjá t.d. Freysteinn Sigmundsson o.fl., 2013). Hér verður stuðst við þá skilgreiningu að Reykjanesskaginn sé á Reykjanesskagagosbeltinu. Innan gosbeltanna eru eldstöðvakerfi en þau samanstanda af megineldstöð og/eða sprungusveimi (Kristján Sæmundsson, 1979; Mynd 1).

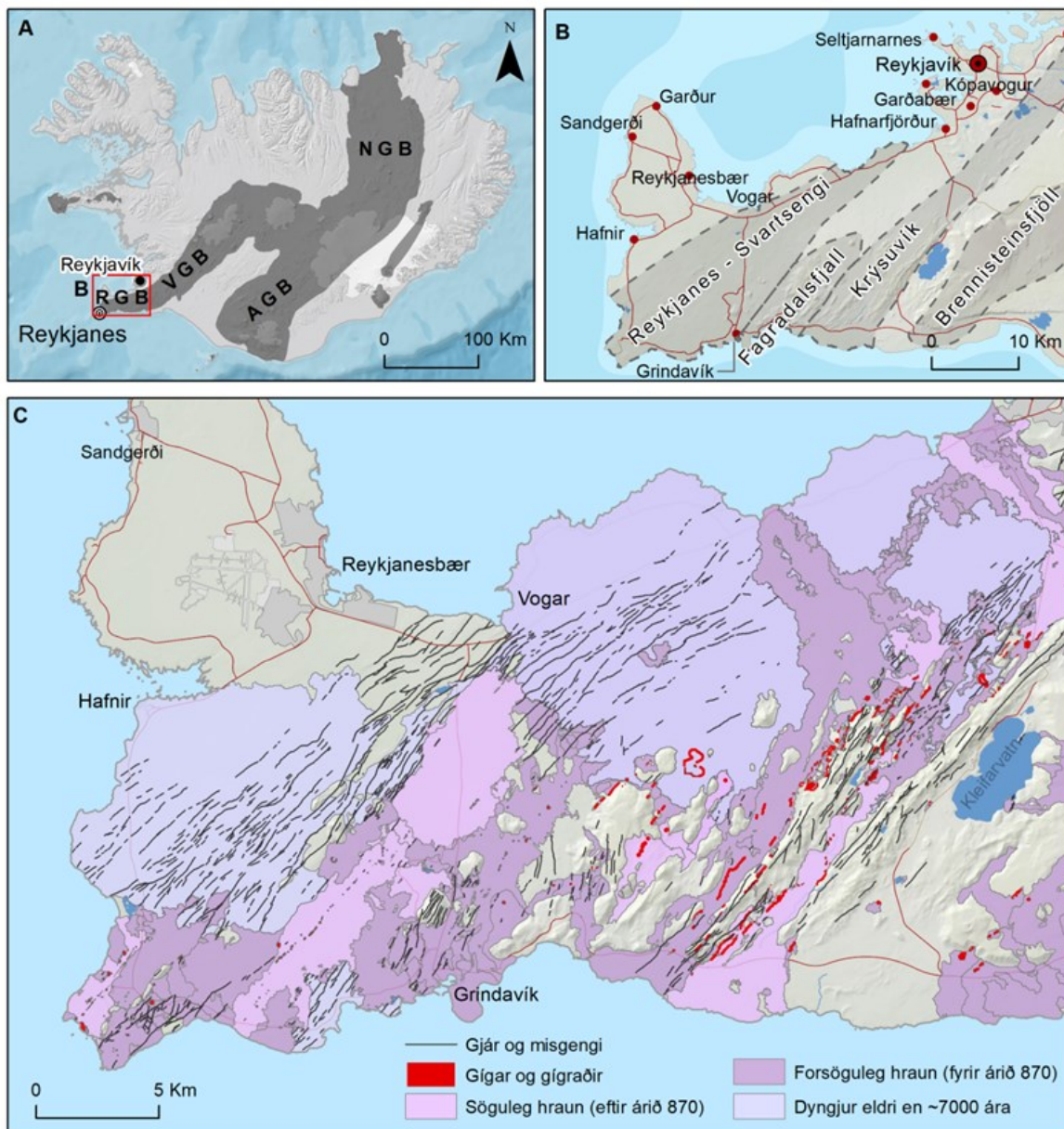
Grágrýtissyrpur sem mynduðust á hlýskeyðum ísaldar eru elstu hlutar Reykjanesskaga. Grágrýtið myndaðist í dyngjugosum sem voru virk um margra ára eða áratuga skeið á hlýskeyðum ísaldar og ísaldarjökullinn hefur máð út flestar ójöfnur og yfirborðseinkenni hraunanna. Á jökulskeyðum ísaldar mynduðust móbergshryggir og -stapar við gos undir jökli og þessi móbergsfjöll, t.d. Keilir og Stóra-Skógfell, mynda næstelsta hluta bergrunns skagans. Eftir að ísa leysti af Reykjanesskaganum, líklegast að mestu fyrir um 14 þúsund árum (t.d. Kristján Sæmundsson, 1995; Hreggviður Norðdahl & Halldór G. Pétursson, 2005), hafa dyngjugos og sprungugos myndað yfirborðshraun. Elstu dyngjurnar sem mynduðust eftir að ísa leysti eru Þráinskjöldur (um 14 þúsund ára,  $\sim 5 \text{ km}^3$ ) og Sandfellshæð (um 13,6 þúsund ára,  $\sim 6 \text{ km}^3$ ). Alls eru þekkt um 20 dyngjugos á Reykjanesskaga þar af 12 frá því ísa leysti (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013) en um fjórðungur skagans er þakinn hraunum úr sprungugosum.

Höggun (tektóník) Reykjanesskagans er flókin og er skilgreind sem sniðreksbelti, þ.e. þar er samspil gliðunarbeltis, af völdum fráreks Evrasíu og Ameríkuflékanna, og þverbrotabeltis sem tengir Reykjanesskagagobeltið við Austurgosbeltið (t.d. Clifton & Kattenhorn, 2006; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Mynd 1). Gliðnunin kemur fram sem gígar og gígaráðir, gjár og misgengi með NA-SV stefnu innan eldstöðvakerfa en þverbrotabeltið sést sem minniháttar skástígar gjár eða kerfi sniðgengja með N-S stefnu (Sigrún Hreinsdóttir o.fl., 2001; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Gróflega má segja að virkni á þessum tveimur höggunarfyribærum skiptist á, annars vegar eru gosskeyð þar sem kvikutengd gliðnartímabil og/eða eldvirkni gengur yfir NA-SV stefnu eldstöðvakerfin, og hins vegar skjálftatímabil þegar virkni er á N-S sprungum (t.d. Sigrún Hreinsdóttir o.fl., 2001). Gliðnartímabilin virðast standa í fáein hundruð ár en skjálftatímabilin eru mun lengri og eru lotubundin (Sveinbjörn Björnsson o.fl., 2020; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013).

### 2.1 Eldstöðvakerfi á Reykjanessaga

Á Reykjanesskagagobeltinu eru eldstöðvakerfin Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll, nafngreind frá vestri. Eldstöðvakerfi Hengils er á mörkum Reykjanesskagagobeltisins og Vesturgobeltisins og liggur austan við Brennisteinsfjöll. Í eftirfarandi skrifum verður fjallað um vestustu kerfin, Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall og Krýsuvík, og þau áhrif sem þau hafa á eldgosavá á Reykjanesskaga. Fagradalsfjall hefur ýmist verið skilgreint sem sérstakt kerfi eða hluti af kerfi Krýsuvíkur. Í ljósi þess að gosvirkni hófst á Reykjanesskaga eftir um 800 ára langt goshlé með gosi í Fagradalsfjalli árin 2021, 2022 og 2023 er hér fjallað um Fagradalsfjall sem sérstakt kerfi.





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

Reykjanes, Svartsengi og Krýsuvík hafa öll stefnu í kringum  $40^\circ$  austur þó hún sé aðeins breytileg milli kerfa. Þau liggja því öll á ská yfir Reykjanesskagagobeltið sem hefur stefnuna  $70\text{--}80$  gráður austur. Eldstöðvakerfin eru  $5\text{--}15$  km breið og  $30\text{--}50$  km löng (Tafla 2), ekkert þeirra inniheldur megineldstöð en virknimiðjur eða vísir að megineldstöðvum eru þar sem sprungu-sveimarnir þvera flekaskilin (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Kerfin hafa öll þróuð háhitakerfi í virknimiðjum og jarðhitavinnsla er bæði á Reykjanesi og í Svartsengi. Gossprungur einskorðast við suðurhluta kerfanna en norður hluti þeirra einkennist af misgengjum og gjám (t.d. Kristján Sæmundsson o.fl., 2016; 2020) þar sem kvika hefur að öllum líkindum storknað í skorpunni og myndað bergganga. GPS mælingar sýna að minni aflögun á sér stað

norðan til í kerfunum (Freysteinn Sigmundsson o.fl., 2020). Reykjanes og Svartsengi eru um margt lík kerfi og hefur þeim stundum verið lýst saman.

Fagradalsfjall sker sig frá hinum kerfunum þremur en þar er hvorki jarðhiti né vel afmarkaður sprungusveimur og mætti því líta á það sem vanþróaðra kerfi en hin þrjú (Kristján Sæmundsson o.fl., 2020) sem útskýrir að hluta hvers vegna það hefur ekki alltaf verið skilgreint sem sérstakt eldstöðvakerfi. Sprungur og sprungukerfi hafa norðlægari stefnu í Fagradalsfjalli en hinum kerfum Reykjaneskagans en meðalstefna sprungna er 13° austur (Vigfús Eyjólfsón, 1998) og sprungusveimur Fagradalsfjalls hefur verið skilgreindur með N-S stefnu (Kristján Sæmundsson og Ingvar Birgir Friðleifsson, 1980). Þó má nefna að móbergshryggir á svæðinu liggja samhliða móbergshryggjum Krýsuvíkurkerfisins og hafa því sömu meginstefnu og önnur kerfi á Reykjaneskaganum (Kristján Sæmundsson o.fl., 2010). Kerfi Fagradalsfjalls einkennist af stöpum, stuttum móbergshryggjum og litlum nútímahraunum sem eru ýmist pikrít eða ólívín þóleiit (Kristján Sæmundsson o.fl., 2020). Þráinsskjöldur, ein stærsta dyngja Reykjaneskaga (~5 km<sup>3</sup> og um 14 þúsund ára) er mynduð í Fagradalsfjallskerfinu og Fagradalsfjall sjálf er stapi sem hefur myndast í dyngjugosi á síðasta jökulskeiði (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013).

Virgni á eldstöðvakerfum Reykjaneskaga er tiltölulega vel þekkt síðustu u.þ.b. 3500 ár en á þeim tíma hafa skipst á gosskeið (samtals 400–500 ára löng) og goshlé (600–800 ára löng), sem gengu yfir eldstöðvakerfi skagans. Goshlé einstakara eldstöðvakerfa eru þó lengri eða allt að 1000 árum. Svo virðist sem goslotur eða eldar gangi yfir öll kerfi Reykjaneskagans á svipuðum tíma og myndi eins konar hrinu. Vísbendingar eru um að virgni 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 og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Þegar gos hófst í Fagradalsfjalli 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.

Gos á Reykjaneskaga hafa verið flokkuð í stærðarflokka eftir magni gosefna þannig að lítil gos mynda <0,1 km<sup>3</sup>, meðalstór 0,1–0,5 km<sup>3</sup> og stór >0,5 km<sup>3</sup> (Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson, 2019). Í síðustu goslotum á Reykjaneskaga, þegar Krýsuvíkureldar (1155–1188 e.Kr) og Reykjaneseldar (1210–1240 e.Kr) áttu sér stað gaus í stökum gosum innan goslotunnar annars vegar undir 0,1 km<sup>3</sup> af gosefnum, og hins vegar á bilinu 0,1 til 0,5 km<sup>3</sup> (Tafla 3). Flest hraun á Reykjaneskaga eru innan við 0,2 km<sup>3</sup>, þau stærstu 0,4–0,5 km<sup>3</sup> og lengst hafa þau runnið um 15 km frá upptökum (Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Eins eru flestar gossprungur innan við 2 km að lengd.

*Tafla 2. Eldstöðvakerfi á Reykjaneskaga. Taflan sýnir stærðir kerfanna, fjölda nútímagosa (e. Holocene) og samsetningu gosefna (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson, 2019; Sigmundur Einarsson, 2019).*

Eldstöðvakerfi	Lengd (km)	Breidd (km)	Lengdir gossprungna á landi (km)	Fjöldi gosa á nútíma	Samsetning gosefna
Reykjanes	~45	5-15	1-5	≥15	Basalt
Svartsengi	≥30	~7	1-10	12-15	Basalt
Fagradalsfjall	~15	~5	<1	~10	Basalt
Krýsuvík	≥50	~8	1-10	≥10	Basalt

Tafla 3. Stærðir hrauna úr sprungugosum á Reykjanesskaga frá síðustu 3500 árum. Söguleg hraun eru svartletruð og upphafsár þeirra fylgja en forsöguleg hraun eru gráletruð og aldur þeirra er gefinn.

Hraun	Eldar	Aldur / Upphafsr	Flatarmál (km <sup>2</sup> )	Áætluð meðal þykkt (m)	Áætlað rúmmál (km <sup>3</sup> )
<b>Reykjanes</b>					
Yngra Stampahraun	Reykjaneseldar	1211*	4*	4*	0,016*
Sýrfellshraun (Tjaldastaðagjrhraun) og Eldra Stampahraun		~1900~	15~	5~	0,1~
Gunnuhraun		3100-3200 <sup>†</sup>			
<b>Svartsengi</b>					
Arnarseturshraun	Reykjaneseldar	<i>u.þ.b. 1235</i>	22,7 <sup>+</sup>	14 <sup>^</sup>	0,32 <sup>^</sup>
Illahraun	Reykjaneseldar	<i>u.þ.b. 1235</i>	2,8 <sup>+</sup>	10 <sup>^</sup>	0,03 <sup>^</sup>
Eldvarpahraun yngra	Reykjaneseldar	1226-1240	18,3 <sup>+</sup>	10 <sup>^</sup>	0,21 <sup>^</sup>
Háahraun		~2200	3 <sup>^</sup>	10 <sup>^</sup>	0,03 <sup>^</sup>
Blettahraun		~2200	7,9 <sup>^</sup>	10 <sup>^</sup>	0,07 <sup>^</sup>
Berghraun		~2200			
Klofningahraun		~2200	7,8 <sup>#</sup>	20 <sup>#</sup>	0,16 <sup>#</sup>
Sundhnúkahraun		~2400	26,5 <sup>^</sup>	9 <sup>^</sup>	0,18 <sup>^</sup>
<b>Fagradalsfjall</b>					
Fagradalshraun (Geldingadalir)	Fagradalseldar	2021	4,85 <sup>°</sup>	30	0,15 <sup>°</sup>
Fagradalshraun (Meradalir)	Fagradalseldar	2022	1,3 <sup>°°</sup>	8-9	0,011 <sup>°°</sup>
Fagradalshraun (Litli Hrutur)	Fagradalseldar	2023	1,5 <sup>°°°</sup>		0,015 <sup>°°°</sup>
<b>Krýsuvík</b>					
Ögmundarhraun	Krýsuvíkureldar	1151	18,6 <sup>§</sup>	7 <sup>§</sup>	0,13 <sup>§</sup>
Lækjavallahraun	Krýsuvíkureldar	1151	0,5 <sup>§</sup>	2 <sup>§</sup>	0,001 <sup>§</sup>
Kapelluhraun (Háibruni)	Krýsuvíkureldar	1151	13,7 <sup>§</sup>	5 <sup>§</sup>	0,07 <sup>§</sup>
Mávahlíðahraun	Krýsuvíkureldar	1188	3,7 <sup>§</sup>	5 <sup>§</sup>	0,02 <sup>§</sup>
Hrútafellshraun		<i>u.þ.b. 800</i>			
Afstapahraun		>1400			
Óbrinnishólshraun		2100			

\*Magnús Á. Sigurgeirsson, 1995a; ~Magnús Á. Sigurgeirsson, 2004; <sup>+</sup>www.islenskeldfjoll.is, Kristján Sæmundsson o.fl., 2010; <sup>†</sup>Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; <sup>^</sup>Páll Imsland & Bjarni Richter, 1997 og 2020; <sup>#</sup>Jón Jónsson 1978; <sup>§</sup>Sigmundur Einarsson o.fl., 1991; Kristján Sæmundsson o.fl., 2016; Pedersen o.fl., 2022, Gunnarson ofl., 2022, [http://jardvis.hi.is/eldgos\\_i\\_meradolom](http://jardvis.hi.is/eldgos_i_meradolom), <https://jardvis.hi.is/is/eldgos-vid-litla-hrut-nidurstodur-maelinga-31-juli>.

Engin sprungugos stærri en 0,5 km<sup>3</sup> eru þekkt á nútíma frá kerfunum fjórum en stærsta þekkt gos kerfanna er dyngjugos sem myndaði Sandfellshæð (~6 km<sup>3</sup>) fyrir um 13,6 þúsund árum (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Yfirlit yfir aldur, flatarmál og rúmmál nokkurra hrauna sem myndast hafa á síðustu 3500 árum á kerfum Reykjaness, Svartsengis, Fagradalsfjalls og Krýsuvíkur er gefið í Töflu 3 en mat á flatarmáli og rúmmáli gamalla hrauna

er oft hlutlægt vegna túlkunar á illa mælanlegum stærðum t.d. hvar nákvæmlega gamlir hraunjaðrar liggja og hver meðalþykkt gamals hrauns er. Jafnvel þó borað sé í gegnum hraun og þykkt þess sé nákvæmlega mæld gefur það einungis þykktarmælingu á einum stað. Þetta útskýrir hvers vegna flatar- og rúmmálstölur hrauna eru mismunandi eftir rannsóknum. Páll Imsland og Bjarni Richter (1997 og 2020) hafa tekið saman og gert samanburð á þykktar-, flatarmáls- og rúmmálstölum nokkurra rannsókna á völdum hraunum á Reykjanesskaga en hér er einungis gefin ein tala og heimild hennar.

### **2.1.1 Möguleg atburðarás eldgosa á Reykjanessvartsengiskerfunum – sviðsmyndir framtíðargosa**

Settar hafa verið fram mögulegar atburðarásir framtíðargosa í eldstöðvakerfum landsins á Íslenskri eldfjallavefsjá ([www.islenskeldfjoll.is](http://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. Kaflinn er ritaður af Magnúsi Á. Sigurgeirssyni og Sigmundi Einarssyni (2019) og í honum er Reykjanesi og Svartsengi lýst saman:

#### **Lítill eldgos (gjóskufall og hraun <0,1 km<sup>3</sup>)**

Gos af þessum toga eru sprungugos á landi eða að hluta í sjó við Reykjaness. 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 viðvörðunartími 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 km<sup>3</sup>)**

Meðalstór gos eru sprungugos, einkum á landi en gætu þó einnig náð í sjó við Reykjaness. Í gosinu árið 1226 var heildarrúmmál gjósku ~0,1 km<sup>3</sup>. Frá 1230 til 1240 mynduðust hraun í sprungugosum á Svartsengiskerfinu sem ná yfir 50 km<sup>2</sup> en rúmmál þeirra er >0,3 km<sup>3</sup>. Hæð gosmakka(r) er óþekkt en er líklega <<10 km. Fyrirboðar og viðvörðunartími 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 km<sup>3</sup>)**

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

### **2.1.2 Möguleg atburðarás eldgosa á Krýsuvíkur- og Fagradalsfjallskerfunum – sviðsmyndir framtíðargosa**

Mögulegar atburðarásir í eldgosum á Krýsuvíkurkerfinu voru teknar saman af Sigmundi Einarssyni (2019) við vinnslu efnis á vefsíðuna Íslensk eldfjallavefsjá ([www.islenskeldfjoll.is](http://www.islenskeldfjoll.is)) og efnið er sett fram hér á nánast sama hátt. Fagradalsfjall hefur oft verið talið hluti af Krýsuvíkurkerfinu og mögulegri atburðarás eldgosa frá kerfunum tveimur er lýst saman:

#### **Lítill eldgos (hraun <0,1 km<sup>3</sup>; 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 km<sup>3</sup> og 1,3 km<sup>2</sup>. 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 km<sup>3</sup>; 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 eldgosi í goslotu árið 2021 var 0,15 km<sup>3</sup> og 4,85 km<sup>2</sup> 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 rynni yfir vegi.

### **Stór eldgos (hraun >0,5 km<sup>3</sup>)**

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

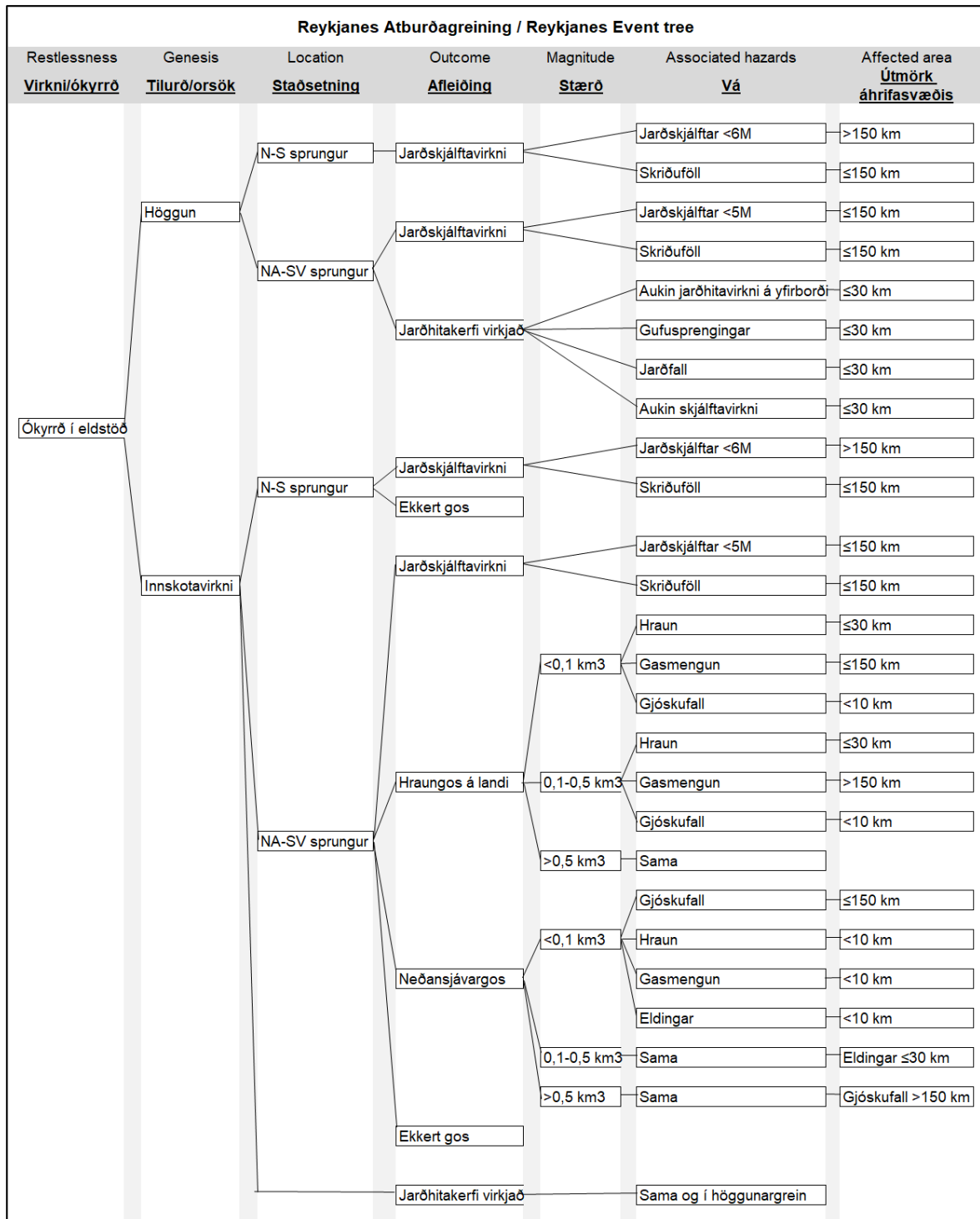
## **2.1.3 Atburðagreining**

Atburðagreining er aðferð til að fá myndrænt yfirlit yfir eldgosavá tengda eldstöðvum/-eldstöðvakerfum. Í raun má segja að um sé að ræða kortlagningu þekkrar hegðunar þess kerfis sem unnið er með í hvert skipti (t.d. Newhall & Hoblitt, 2002).

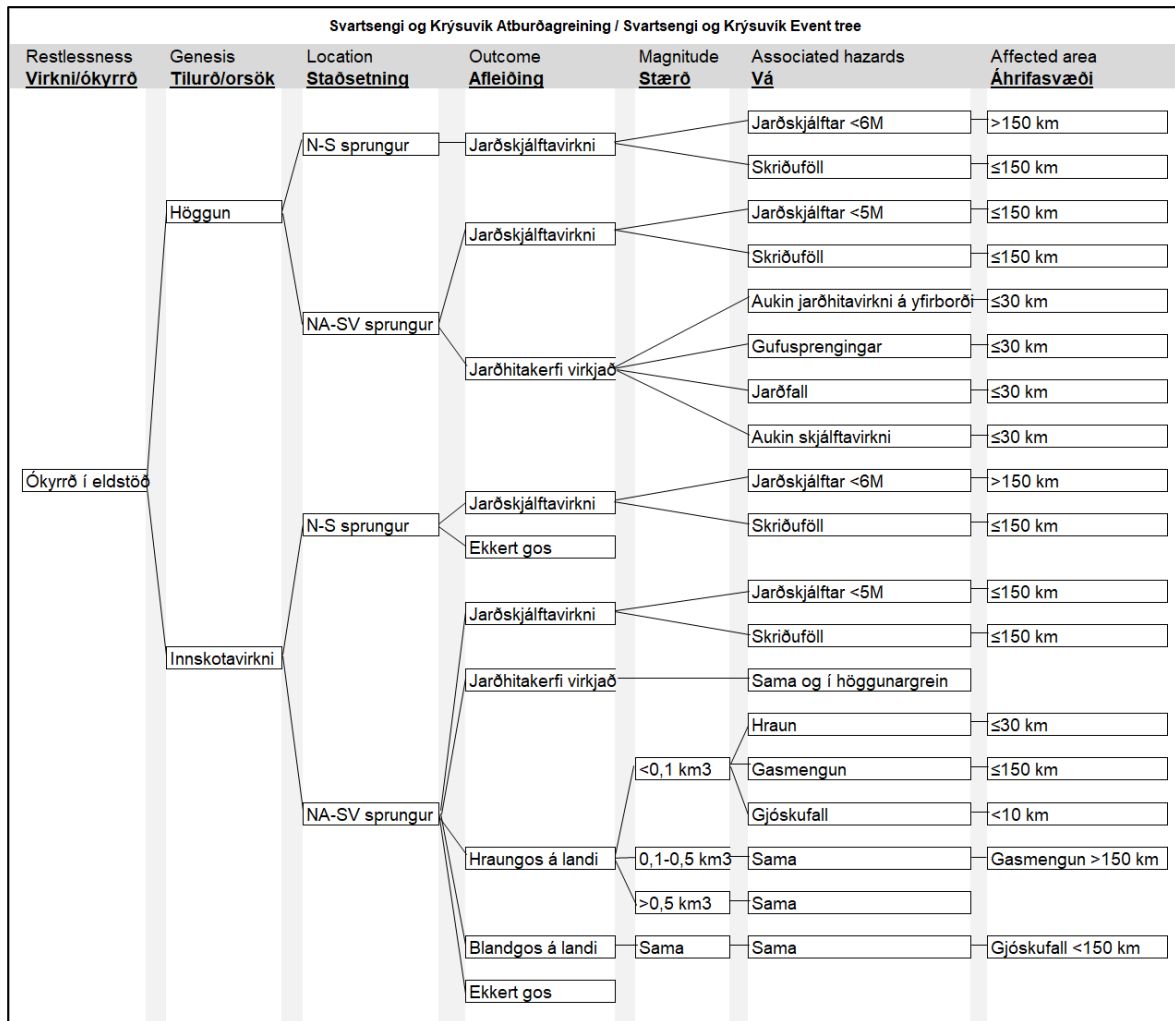
Atburðagreining Reykjanes (Mynd 2), Svartsengis (Mynd 3), Fagradalsfjalls (Mynd 4) og Krýsuvíkur (Mynd 3) er að langmestu leyti sú sama. Orsakir ókyrrðar í eldstöð/eldstöðvakerfi geta annars vegar verið af völdum höggunar og hins vegar af völdum kvikuhreyfinga í rótum kerfanna. Þessar breytilegu orsakir valda fyrstu aðgreiningu í atburðagreiningu allra fjögurra kerfanna. Staðsetning ókyrrðar getur annars vegar verið á þverbrotabelti kerfanna (N-S sprungum) eða á gliðnunarbelti þeirra (NA-SV sprungum). Í stórum dráttum má segja að á skjálftatímabilum er þverbrotabeltið virkt en á gosskeiðum er gliðnunarbeltið fyrst og fremst virkt en svokallaðir gikkskjálftar, 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 gliðnunarbeltum.

Afleiðingar ókyrrðar á þessum beltum eru mjög breytilegar. Ókyrrð á þverbrotabeltinu veldur fyrst og fremst jarðskjálftum og höggun en ókyrrð á gliðnunarbeltinu, sem oft orsakast af kvikuhreyfingum neðanjarðar, veldur einnig landrasi, gliðnun og jafnvel eldgosi. Í langflestum tilfellum lýkur ókyrrð án eldgoss og kvika storknar neðanjarðar og myndar sillur og ganga í jarðskorpunni. Komist kvika til yfirborðs stjórnar staðsetning gosupptaka og stærð goss hvaða vá fylgir atburðinum, s.s. hraun, gjóskufall, gasmengun o.fl. (Mynd 2 til Mynd 4). Afleiðingar eru hér einungis settar fram miðað við endanlegt rúmmál gosefna. Ekki hefur verið miðað við breytilegan útstreymishraða kviku en það hve hratt efni streymir frá gosupptökum hefur mikil áhrif á hraða atburðarásar og þá möguleika sem eru á viðbrögðum við vá.

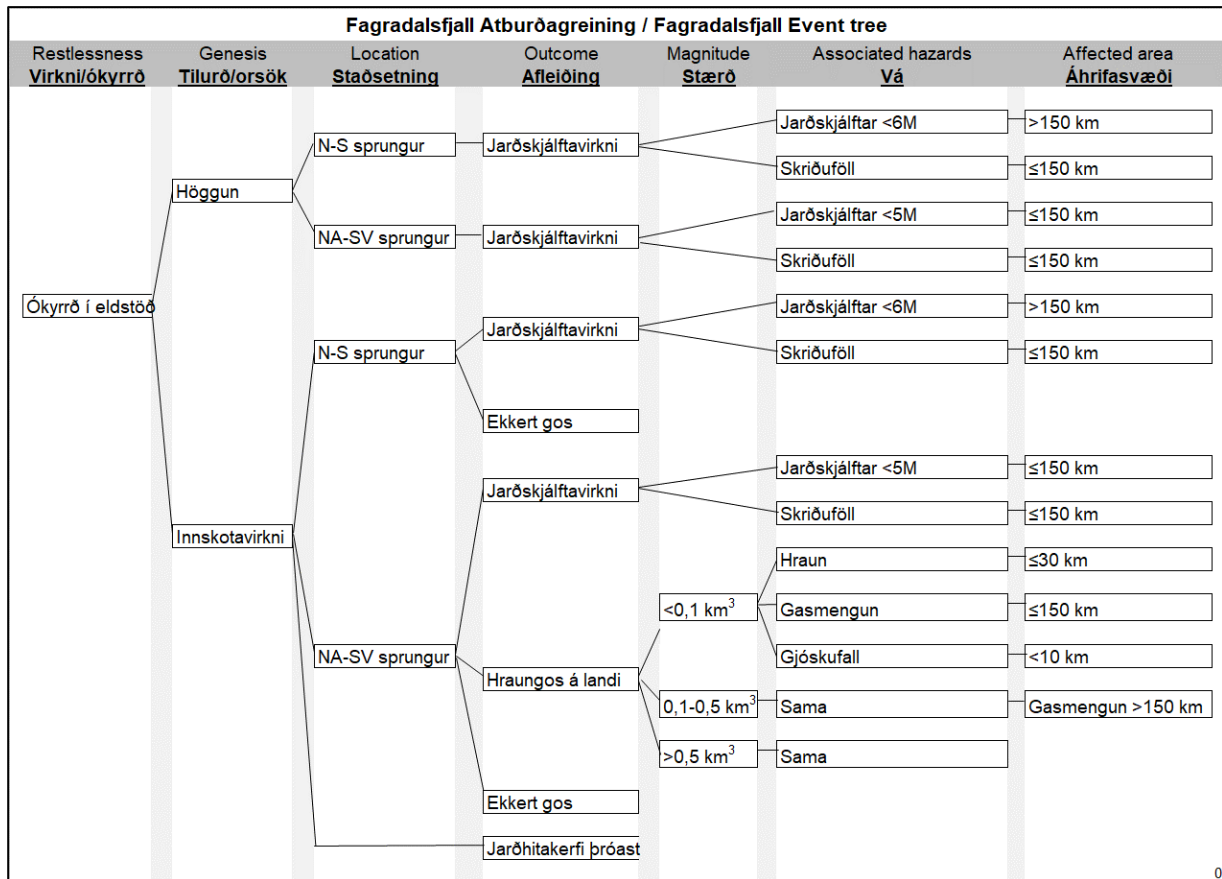
Reykjanes er eina kerfið þar sem gos í sjó eru þekkt og greinir sig á þann hátt frá hinum kerfunum. Neðansjávangosum fylgir annars konar vá en landgosum en í meginatriðum getur gjóskufall orðið töluvert meira í slíkum gosum og eldingar geta myndast í gosmekki (Mynd 2). Fagradalsfjall er eina kerfið sem ekki hefur jarðhita og því er engin vá af hans völdum. Í Svartsengi og Krýsuvík gætu myndast blandgos, þ.e. flæði- og sprengigos ef kvika kemur upp í gegnum vatnsgeyma í skorpunni eða á yfirborði (sbr. Kleifarvatn). Í Krýsuvík eru einnig þekktar öflugar gufu-sprengingar sem hafa myndað sprengigíga sbr. Grænavatn.



Mynd 2. Atburðagreining Reykjanes. Neðansjávargos greina kerfið frá hinum kerfunum þremur.



Mynd 3. Atburðagreining Svartsengis og Krýsuvíkur. Blandgos gæti átt sér stað komist kvika í snertingu við vatnsgeyma í jarðskorpunni eða nægilegt magn yfirborðsvatns (sbr. Kleifarvatn og Bláa lónið).

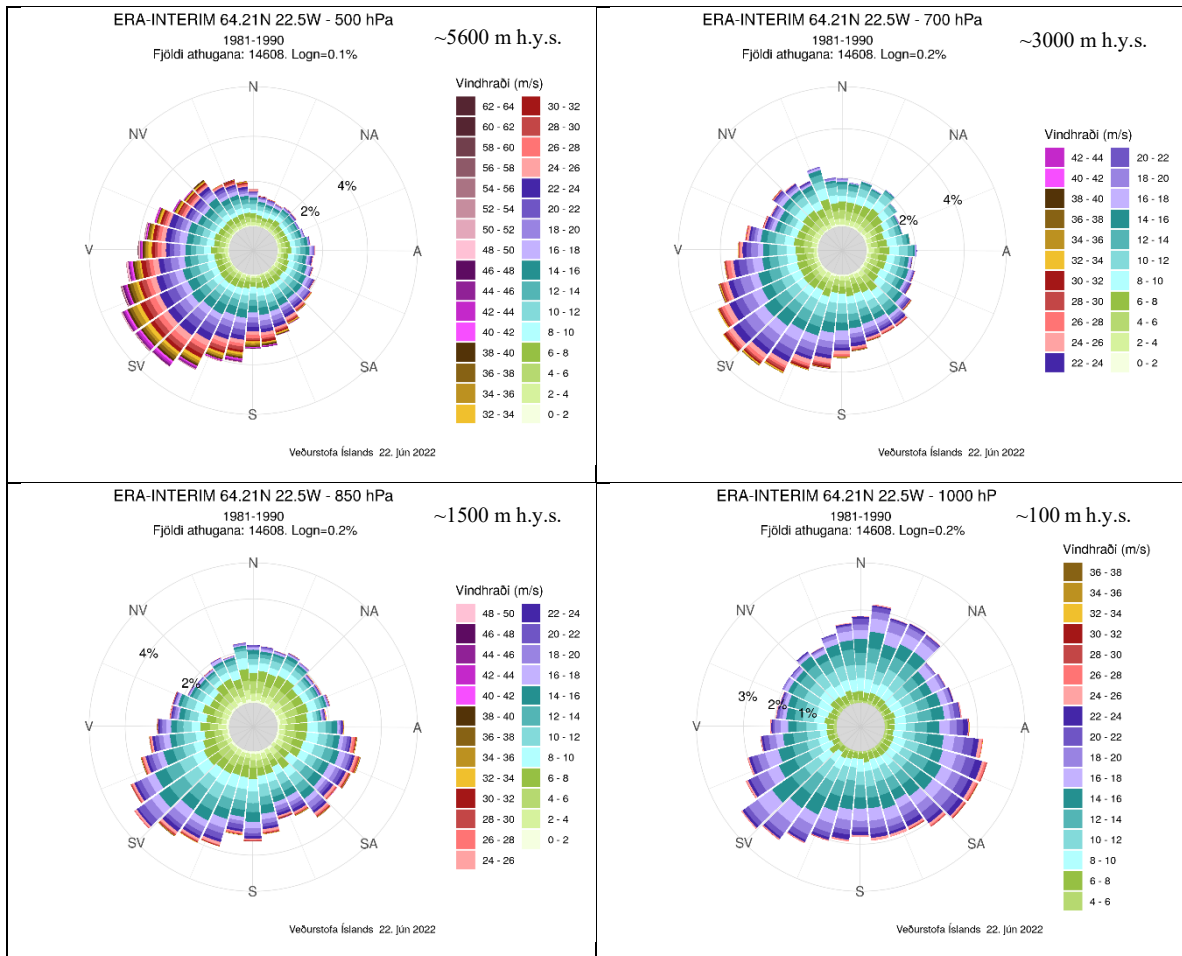


Mynd 4. Atburðagreining Fagradalsfjalls. Enginn jarðhiti er í Fagradalsfjallskerfinu.

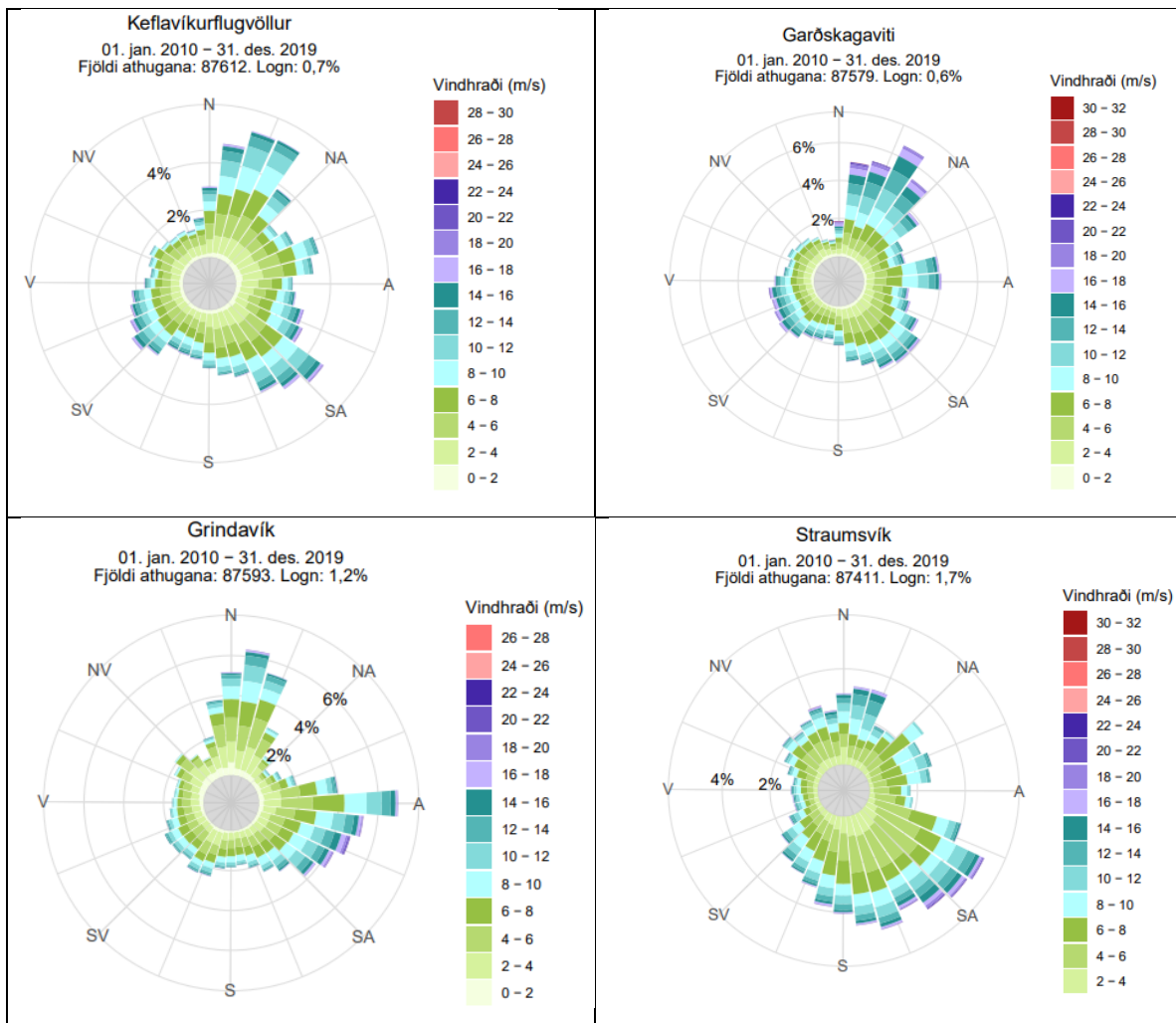
## 2.2 Ríkjandi vindafar á Reykjaneskaga

Dreifing gass og gjóska í andrúmslofti stjórnast af vindátt og þeirri hæð sem gosmökkur nær í hverju tilfalli. Vindáttir og vindstyrkur eru breytileg með hæð og því getur mengun og agnir í andrúmslofti (hér: gas/gjóska) borist í mismunandi áttir eftir hæð. Era-Interim endurgreining veðurgagna sýnir að þegar horft er á vindafar yfir 100 m hæð yfir Reykjaneskaga þá er SV-áttin sú tíðasta (ber efni til NA) og sú átt verður meira ríkjandi með vaxandi hæð. Þetta er einnig hvassasta vindáttin en þegar dregur nær jörðu eru SA áttirnar hvassari (Mynd 5). Veðurmælingar, sem gerðar eru í 10 m hæð yfir landi, sýna að í þeirri hæð eru NA-áttir tíðar þó hvassviðri séu einkum í SA áttum (Mynd 6).





Mynd 5. Tíðni vindáttu og vindhraði (sýnt með litaskala) nærri Reykjanesskaga á fjórum þrýstiflötum, frá 1000–500 hPa. Miðað við staðalandrúmsloft er 1000 hPa í ~100 m h.y.s. (hæð yfir sjávarmáli), 850 hPa ~1500 m h.y.s., 700 hPa ~3000 m h.y.s., 500 hPa ~5600 m h.y.s. Unnið upp úr ERA-Interim endurgreiningunni fyrir tímabili 1981–1990 (ECMWF, 2011).



Mynd 6. Tíðni vindátta og vindhraði (sýnt með litaskala) úr veðurmælingum í 10 m hæð yfir landi á fjórum stöðum á Reykjanesskaga, Keflavíkurlugvelli, Garðskagavita, Grindavík og Straumsvík (Veðurfarsyfirlit 2010–2019, sótt í Brunn Veðurstofu Íslands, 23. júní 2022, <https://brunnur.vedur.is/>). NA-áttir eru mun algengari í þessari hæð en þegar ofar dregur (sjá samanburð við Mynd 5).

## 2.3 Forboðar og staða eftirlits

Nú hefur gosið þrisvar sinnum í Fagradalsfjalli og vel hefur verið fylgst með í aðdraganda þeirra gosa með nútíma mælitækjum. Í desember 2019 jókst skjálftavirkni í Fagradalsfjalli og í upphafi árs 2020 greindist landris við fjallið Þorbjörn norðan Grindavíkur sem var túlkað sem innkotavirkni, þ.e. að kvika bærst upp í jarðskorpuna. Á næstu mánuðum mældist einnig landris á Reykjanesi og tvö önnur þenslutímabil sáust við Þorbjörn. Hvert þenslutímabil stóð í nokkrar vikur og undir lok þeirra seig land aftur (sem er eðlilegt ferli þegar kvika kólnar neðanjarðar) en heildarlandris við Þorbjörn var rúmlega 10 cm á um hálfu ári. Á haustmánuðum 2020 fór að votta fyrir þenslu í Krýsuvíkurkerfinu. Samtímis þenslunni gengu jarðskjálftahrinur yfir skagann. Jarðskjálftarnir byrjuðu við Þorbjörn, gengu til vesturs og unnu sig aftur í austur átt en þann 20. október 2020 varð jarðskjálfti sem mældist  $M_w 5,6$  (vægisstærð) í Núpshlíðarhálsi vestur af Krýsuvík sem tengdist þeim jarðhræringum sem áttu sér stað á svæðinu. Árið 2021 byrjaði heldur rólega en þann 24. febrúar 2021 varð annar stór skjálfti, einnig  $M_w 5,6$  að stærð, með upptök um 1 km sunnan við Litla Hrút. Sá skjálfti markaði upphaf innkotavirkni við Fagradalsfjall en henni

fylgdi mikil jarðskjálftavirkni sem teygði sig eftir flekaskilunum allt frá Reykjanestá í vestri að Kleifarvatni í austri. Samtúlkun jarðskjálftastaðsetningar og aflögunar sýndu 9 km langt lóðrétt innskot (kvikugang) í stefnu goskerfa á svæðinu, frá Keili í norðaustri að Lyngbrekku í suðvestri (Barsotti o.fl., 2023) og skjálftarnir grynkuðu þegar leið á. Þessi atburðarás endaði með litlu gosi í Fagradalsfjalli sem hófst 19. mars 2021 og stóð yfir í 6 mánuði eða til 18. september 2021. Síðustu dagana fyrir gos dró úr aflögun jarðskorpunnar og skjálftavirkni og þegar gosið hófst dró enn frekar úr jarðskjálftavirkni á svæðinu (Freysteinn Sigmundsson o.fl., 2022). Í kjölfar gossins fór þensla að greinast á svæðinu aftur og jarðeðlisfræðileg gögn bentu til þess að kvika safnaðist saman undir eldstöðvunum. Annað innskot mældist í desember sama ár (2021). Því fylgdi töluverð jarðskjálftavirkni, en ekki kom til eldgoss.

Jarðskjálftavirkni jókst aftur til muna í lok júlí 2022 þegar mikil smáskjálftavirkni átti sér stað norðaustan við Fagradalsfjall en dagana 30.–31. júlí mældust um 3000 skjálftar, þar af fjórir yfir 4 að stærð. Eins og fyrir 2021 gosið dró úr aflögun og skjálftavirkni dagana fyrir gos en nýtt gos hófst 3. ágúst 2022 og stóð í um þrjár vikur eða til 21. ágúst 2022

Í apríl 2023 tók enn á ný að mælast landris við Fagradalsfjall og 4. júlí hófst jarðskjálftahrina í Fagradalsfjalli áþekkt þeim hrinum sem gengu yfir svæðið í aðdraganda 2021 og 2022 gosanna. Líkt og þá minnkaði ákafi hrinunnar þegar nær dró upphafi eldgoss. Á sama tíma bentu líkanreikningar bylgjuvixlmynda til að kvika færðist nær yfirborði. Eldgos hófst við Litla-Hrút kl. 16:40 þann 10. júlí 2023 og stóð í tæpar 4 vikur en síðasta virkni sást í gígnum þann 5. ágúst 2023.

Eftirlitskerfi á Reykjanesskaga samanstendur af jarðskjálftamælum úr SIL jarðskjálftamælakerfi Veðurstofu Íslands sem hefur verið starfrækt á skaganum í rúmlega 20 ár og GPS mælum sem eru reknir af VÍ og/eða Jarðvísindastofnun Háskólans. Að auki hefur Ísor rekið jarðskjálftamæla á Reykjanesi í samstarfi við Tékka (REYKJANET). Fjarkönnun er notuð til að fylgjast með breytingum á yfirborði skagans. HS-Orka sem starfrækir orkuverin í Svartsengi og Reykjanesi mælir reglulega hita- og sýrustig í jarðhitavatni. Þegar ókyrrðar varð vart á Reykjanesskaga var þremur cGPS mælum bætt við mælinetið auk eins jarðskjálftamælis, og Veðurstofan setti af stað reglubundnar gasmælingar á völdum stöðum á skaganum sem stóðu þar til gosi lauk (Barsotti o.fl., 2023). Veðurstofan rekur vefmyndavélar á svæðinu og þegar fór að gjósa var bætt í net vefmyndavéla og voru þær reknar af VÍ, Almannavörnum og RÚV.

Náttúruvársérfræðingar Veðurstofu Íslands sinna sólarhringsvöktun á náttúruvá á Íslandi. Eftirlit er með siritandi eftirlitsmælum og bráðabirgðastaðsetningar jarðskjálfta eru tiltækar um tveimur mínútum eftir skjálftaupphaf. Sé þörf á nákvæmari staðsetningu skjálfta eru þær yfirfarnar og eru tiltækar innan nokkurra mínútna eða klukkustunda. Fari óróahrina í gang eru jarðeðlisfræðingar og jarðfræðingar Veðurstofunnar og Jarðvísindastofunnar Háskólans til taks og unnið er eftir vel skilgreindum viðbragðsáætlunum sem æfðar eru mánaðarlega.

### 3 Áhrif eldgoss á Reykjanesskaga

Einkennisgos Reykjanesskaga eru flæðigos eða hraungos. Hraun ógnar sjaldan mannlífum en það getur valdið gjöreyðingu á þeim innviðum sem á vegi þess verður og hraungosum fylgir gasmengun. Hún spillir loftgæðum og getur haft áhrif á heilsu manna og dýra, gróður og vatnsgæði. Gasmengun í lofti hefur sem slík ekki teljandi áhrif á innviði en mikilvægt er að huga að áhrifum langvarandi gasmengunar á endingartíma mikilvægra innviða s.s. hverskonar rafeindabúnaðs, rafmagnsmastra og -lína og vatnslagna (t.d. vegna áhrifa tæringar; sjá t.d. Wilson G. o.fl., 2012; Wilson o.fl., 2012; Stewart o.fl., 2019). Lítil gjóska myndast í gosum á Reykjanesskaga nema ef um gos í sjó er að ræða, en gjóska spillir loftgæðum, getur haft áhrif á flugstarfsemi, skipasiglingar og veiðar, og getur dregið úr viðnámi vega og skyggni.

Tafla 4. Áherslusvæði sem merkt eru inn á líkindakort með númerum. Áherslusvæðum er skipt í þéttbýli, ferðamannastaði og virkjanir og iðnaðarsvæði.

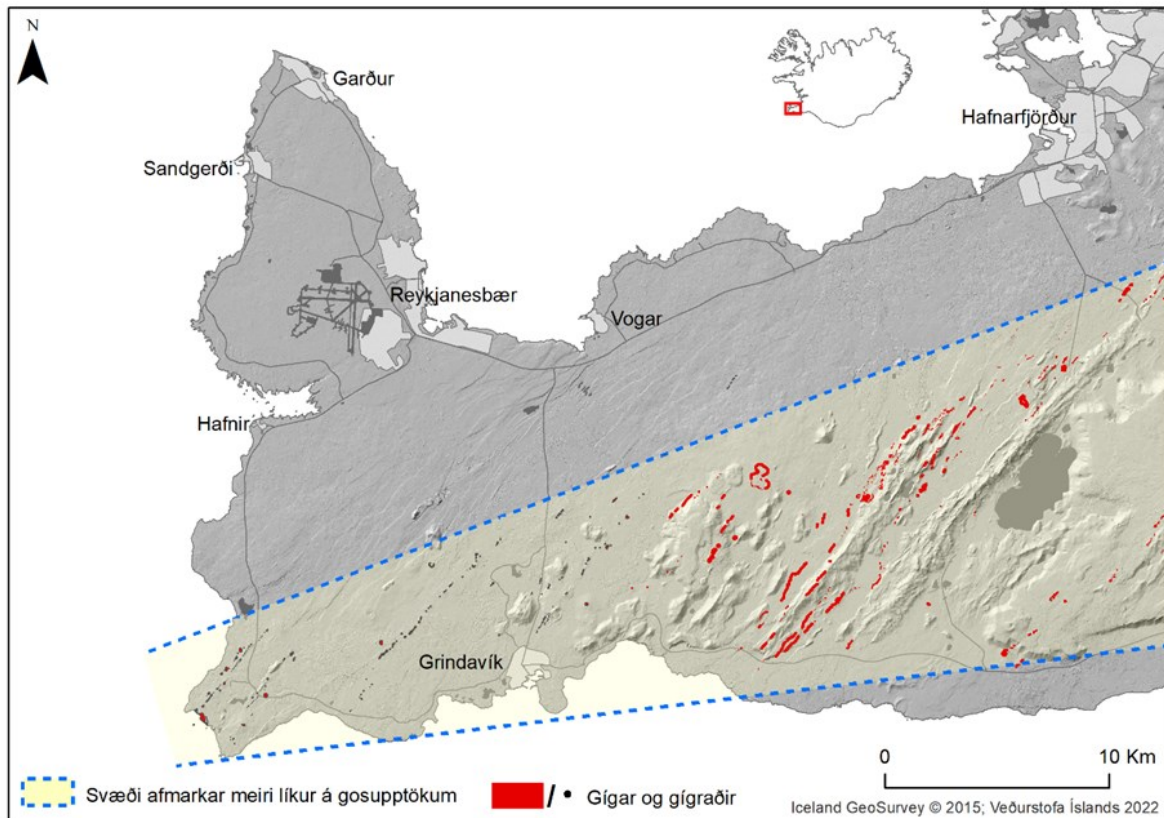
	Nr.	Áherslusvæði		Nr.	Áherslusvæði		Nr.	Áherslusvæði
	Þéttbýli	10		Grindavík	Ferðamannastaðir		6	Keflavíkflugvöllur
11		Þórkötlustaðahverfi	16	Bláa lónið		20	Reykjanesvirkjun	
1		Vogar	14	Fagradalsfjall		22	Lágar vatnstökusvæði	
2		Reykjanesbær-Njarðvík	13	Keilir		21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	
3		Reykjanesbær-Keflavík	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					

Í eftirfarandi kafla er farið yfir niðurstöður þeirra hermána sem framkvæmdar hafa verið vegna vár af völdum hraunrennslis, gasmengunar og gjóskudreifingar á Reykjaneseskaga vestan Kleifarvatns en aðferðum og uppsetningu hermána er lýst í Viðauka II. Áhersla er á framsetningu gagna á líkindakortum sem sýna hvaða svæði eru útsett fyrir vá, miðað við þær forsendur sem gefnar eru í hermunum, af völdum hraunflæðis, gasmengunar og gjóskufalls. 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 4). Niðurstöður gefa góða hugmynd um þá vá sem steðjar að tilteknum svæðum og þær má nota við skipulagningu byggðar og landnýtingar, og við endurskoðun viðbragðsáætlana.

### 3.1 Líkleg gossvæði á Reykjaneseskaga

Eitt það flóknasta við gerð langtímahættumats er staðsetning framtíðar gosupptaka en rauntíma-gögn úr eftirlitskerfi eldstöðva þrengja upptakasvæði þegar atburður fer í gang. Reykjaneseskagi 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, Mynd 7), umhverfis meinta legu flekaskila Evrasíu og Norður-Ameríkuflekanna, og framleiðni kerfanna virðist mest þar sem sprungu-sveimar þvera flekaskilin. Því er líklegt að framtíðargosop opnast einnig sunnan megin á skaganum (Mynd 7).

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. Hér hefur MatHaz kóðinn (Bertin o.fl., 2019) verið notaður til að reyna að skilgreina gosupptakasvæði á Reykjaneseskaga út frá jarðfræðimenjum sem sjáanleg eru á yfirborði lands (sjá frekari umfjöllun um MatHaz kóðann, hvers vegna hann var valinn í verkefnið og hvernig hann virkar í Viðauka II). Eldri sprungur og gosupptök geta hæglega verið hulin yngri jarðlögum en ekki er mögulegt að taka tillit til þeirra í líkanútreikningum. Niðurstöður kóðans byggja á flokkun þekktra jarðfræðimenja í gossprungur og gíga, höggunarsprungur og jarðhitasvæði þar sem hver flokkur fékk ákveðið vægi í samræmi við mikilvægi þeirra skv. sérfræðimati þegar kemur að upptökum eldgosa án þess þó að taka tillit til aldurs (Tafla 5; Þóra Björg Andrésdóttir, 2018). Gögn frá Reykjanesi, Svartsengi, Fagradalsfjalli, Krýsuvík og Brennisteinsfjöllum liggja að baki niðurstöðunum.



Mynd 7. Reykjaneskagi, þekkir gígar og gígaraðir (rauð og svört). Skyggt svæði sýnir líklegri gosupptakasvæði á skaganum. Afmörkun skyggðs svæðis byggir á þekktum gosupptökum, upptökum jarðskjálfta á Reykjaneskaga á árunum 1991–2023 (skjalftalisa.vedur.is) of fjarlægð frá meintum flekaskilum Evrasíu og Norður-Ameríku-flekanna.

Líkanútreikningar sýna að mestar líkur eru á að gos komi upp sunnan til á Reykjaneskaga (dökkbrún svæði Mynd 8) enda eru öll þekkt gosupptök staðsett þeim megin á skaganum. Líklegasta gosupptaka svæðið hefur stefnu SV-NA eins og gossprungurnar á svæðinu og er breiðast þar sem flekaskilin milli Evrasíu og Ameríkuflekanna liggja og skera sprungusveima eldstöðvakerfanna. Niðurstöðum MatHaz kóðans ber saman við niðurstöður annarra verkefna sem unnin hafa verið á svæðinu með öðrum líkönum (Þóra Björg Andrésdóttir, 2018; Ármann Höskuldsson o.fl., 2018; Ármann Höskuldsson o.fl., 2022) enda eru útreikningar byggðir á mikið til sömu jarðfræðigögnum.

Tafla 5. Jarðfræðimenjar á yfirborði, flokkun þeirra og vægi sem notað var við mat á líklegum staðsetningum framtíðargosupptaka með MatHaz kóðanum. Vægi sem hér er notað byggir á sérfræðimati sem sett var fram í meistararitgerð Þóru Bjargar Andrésdóttur (2018; sjá frekari umfjöllun í Viðauka II) án tillits til aldurs gíga og gossprungna.

Flokkur	Vægi (%)
Gossprungur og gígar	66
Höggunarsprungur (NA-SV stefna)	17
Jarðhitasvæði	14
Höggunarsprungur (N-S stefna)	2
Aðrar sprungur	1
Summa	100

**Líkleg staðsetning gossprungna á Reykjaneskaga**

**Landfræðileg líkindadreifing**

- Áherslusvæði
  - Tengivirki
  - Rafmagnslína
  - Hitaveita
  - Vatnsveita
  - Mörk sprungusveima
- Líkur á gosupptökum**
- Mestu líkur
  - ↑
  - Minnstu líkur

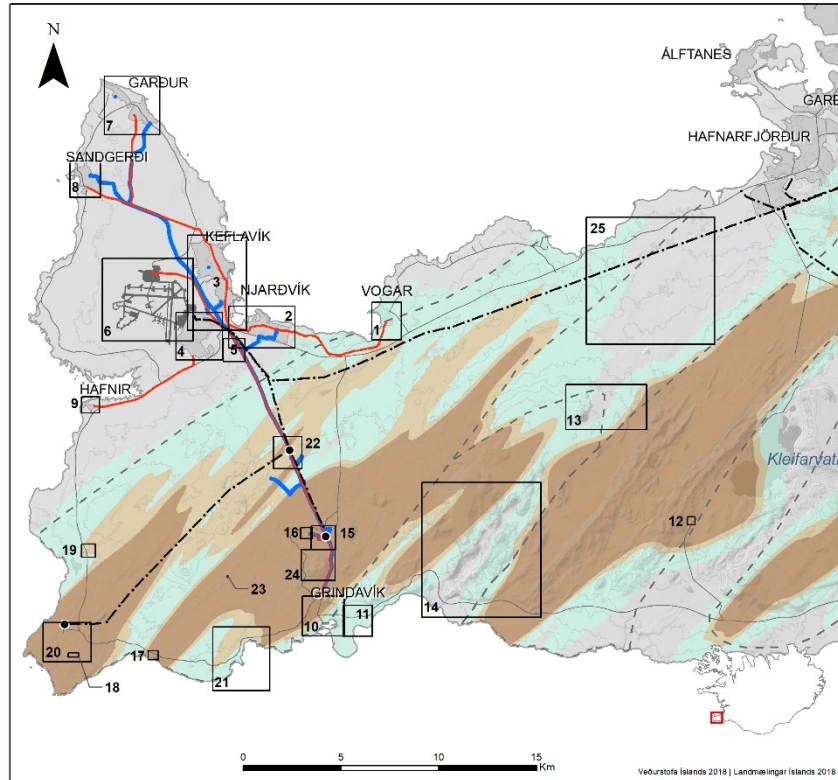
**Athugasemd:**

Heildarlíkur eru samanteknar líkur m.v. sprungur, jarðhitasvæði o.s.fv.

Útlínur sprungusveima fengnar af Högunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009 auk viðbóta frá Veðurstofu Íslands.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Værkis.

Viðmiðun: ISN93  
 Dagssetning: 14.04.2023  
 Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
 Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
 Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 8. Afstæðar líkur á framtíðar gosupptökum á vestanverðum Reykjaneskaga, (niðurstöður MatHaz kóðans sem keyrður var með gögnum frá Reykjanesi, Svartsengi, Fagradalsfjalli, Krýsuvík og Brennisteinsfjöllum). Líklegustu upptakasvæði framtíðargosa eru sýnd með dökkrúnum lit (efstu 33% líkindadreifingar), þá ljósbrúnum (bilið frá efstu 33% niður í 50% líkindadreifingar), grænum (neðstu 50% líkindadreifingar) og forsendan að engar eða hverfandi líkur séu á gosupptökum eru sýndar með gráum svæðum (MatHaz kóði gefur engar líkur). Áherslusvæði merkt með númeruðum ferhyrningum eru skilgreind í Töflu 4.

### 3.2 Hraunrennsli

Hraunrennslisvá 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 hraunrennslis er í raun lítil m.t.t. mannlífa en hraungosum fylgir töluverð gasmengun (t.d. SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S) sem getur haft áhrif á heilsu manna og dýra. Sjá frekari umfjöllun í Viðauka II.

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 litið en gosupptök geta einnig orðið í fjallshlíðum. Þeir innviðir sem eru staðsettir sunnan megin á skaganum eru meira útsettir fyrir hraunrennsli en hraun geta vel runnið til norðurs verði gosupptök nærri miðju skagans.

#### 3.2.1 Forsendur og aðferðir líkanhermana

Hraunhermanir voru gerðar með MrLavaLoba líkaninu (sjá Viðauka II) frá hermigossprungum sem var dreift á landi með 1 km millibili (Mynd 9) frá vesturmörkum Reykjaneskerfisins að austurmörkum Krýsuvíkurkerfisins. Tæplega 5000 hermanir voru gerðar á tveimur misstórum

gosum (lítið 0,02 km<sup>3</sup> og meðalstórt 0,3 km<sup>3</sup>) frá þremur mislöngum gossprungum (Mynd 9, Tafla 6 og Tafla 7). Líkur á að svæði verði fyrir hraunrennsli voru metnar með því að leggja saman niðurstöður allra hraunhermana og skoða tíðni hraunflæðis inn á hvert svæði auk þess sem hermanir fengu mismikið vægi í útreikningum eftir því hve líkleg gosupptök þeirra eru (skv. niðurstöðum MatHaz líkansins Mynd 8). Niðurstöður eru settar fram á kortum sem sýna hvar eru meiri og hvar minni líkur á að hraun muni renna (Mynd 10). Þar sem MrLavaLoba tekur ekki tillit til breytilegra rennslishátta þegar hraun rennur í sjó eru einungis sýndar líkur á hraunrennsli á landi þrátt fyrir að einstakar hraunhermanir sýni hraunflæði í sjó.

Tafla 6. Yfirlit sviðsmynda sem hermdar voru með hraunhermunarlíkaninu MrLavaLoba.

	Sviðsmyndir	
	Lítið gos (<0,1 km <sup>3</sup> )	Meðalstórt gos (0,1-0,5 km <sup>3</sup> )
Fyrirmynd	Illahraun	Arnarseturshraun
Rúmmál (km <sup>3</sup> )	0,02	0,3
Lengdir gossprungna (km)	Stakur gígur; 2; 10	Stakur gígur; 2; 10
Spönn hermdrar lengdar (km)	1-12 (í lægri kanti)	1-12 (í hærri kanti)
Spönn hermdrar þykktar (m)	1-30 (í lægri kanti)	1-30 (í hærri kanti)

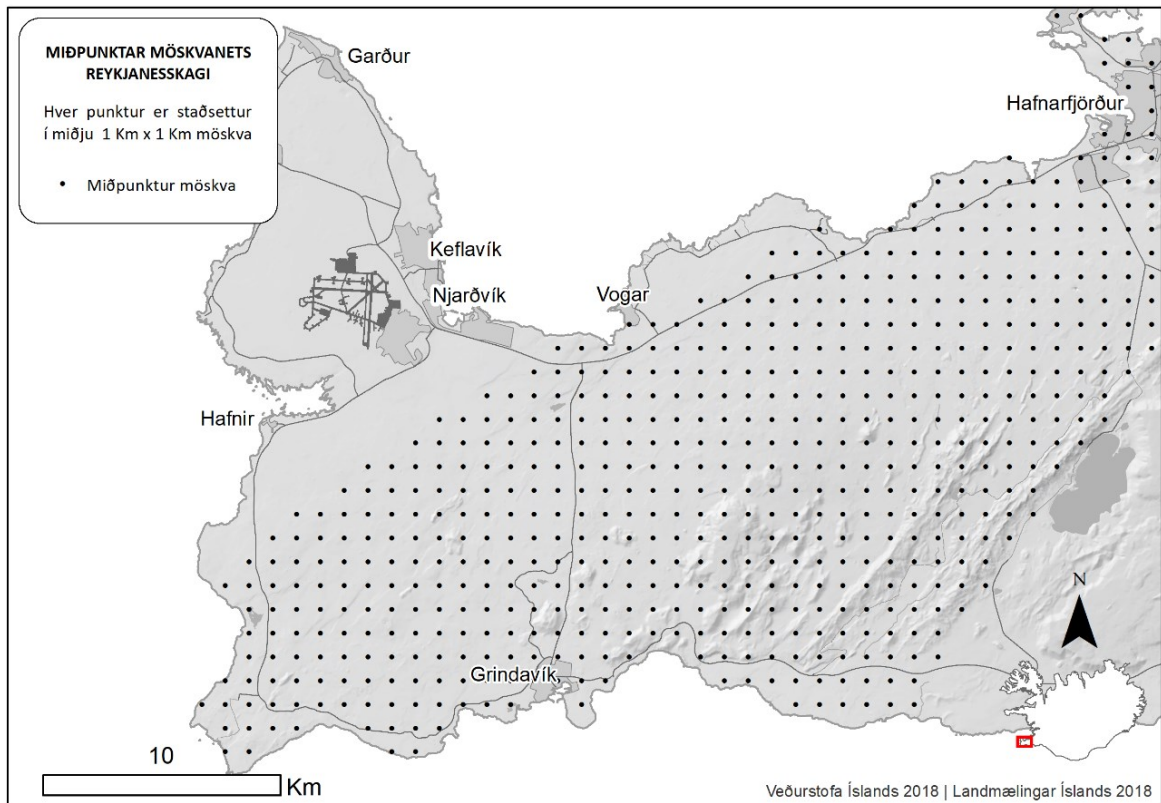
### 3.2.2 Svæði sem gætu orðið fyrir hraunrennsli

Almennt má segja að Reykjanesskagi er byggður upp af hraunum og móbergsstöpum sem sýnir að hraun hafa runnið nánast hvar sem er á skaganum á einhverjum tímamarki í myndunarsögunni. Flekaskil Norður-Ameríku og Evrasíuflekanna eru sunnan megin á skaganum og því er líklegast að framtíðargosop opnast þeim megin á skaganum en þar eru einnig öll þekkt gosop staðsett. Svæði og innviðir sunnan megin á skaganum eru því einnig líklegri til að verða fyrir hraunrennsli en norðanmegin en þó er ekki útilokað að gosupptök verði nærri miðju skagans og hraun renni til norðurs. Svæði sem liggja lægst í landslagi eru líklegri til að verða fyrir hraunrennsli til langtíma lítið en gosupptök geta orðið í fjallshlíðum og því er ekki útilokað að svæði sem liggja hátt í landslagi verði fyrir hraunrennsli.

Niðurstöður hraunhermana, vigtaðar með metnum líkum á gosupptökum, sýna gróflega þrjú svæði sem eru meira útsett fyrir hraunflæði en önnur (þó breytilegt sé hve berskjölduð stök svæði eru innan þeirra). Þessi svæði endurspeglar hvar líklegast er að gossprungur opnast skv. MatHaz módelinu og falla innan skilgreindra eldstöðvakerfa (sjá Mynd 8, Mynd 10 auk mynda í Viðauka IV). Talin frá vestri eru þau 1) Reykjanesið sjálft, umhverfis Stampa- og Sýrfellsreinina, 2) milli Eldvarpa og Sundhnúkagíga og 3) umhverfis fjallgarðinn frá Núpshlíðarhálsi og norður fyrir Trölladyngju. Með aukinni lengd gossprungna stækka þessi svæði í NA. Flest þekkt hraun á Reykjanesskaga eru minni en 0,2 km<sup>3</sup> og miðgildi rúmmáls hrauna sem mynduðust frá árunum 850–1250 e. Kr. mynduð í eldstöðvakerfunum fimm á skaganum (Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll) er 0,13 km<sup>3</sup> (Dóra Hjálmarsdóttir, 2022). Flestar gossprungur á Reykjanesskaga eru innan við 2 km langar og jafnvel þó gos séu hermd frá 10 km löngum sprungum er talið ólíklegt að svo langar gossprungur myndist.

Tafla 7. Fjöldi hermigossprungna og hermana innan hvers eldstöðvakerfis.

Eldstöðvakerfi	Fjöldi hermigossprungna (innan kortlagðs svæðis)	Fjöldi hermana á hvora sviðsmynd
Reykjanes-Svartsengi	299	897
Fagradalsfjall	308 (192)	924
Krýsuvík	221 (133)	663

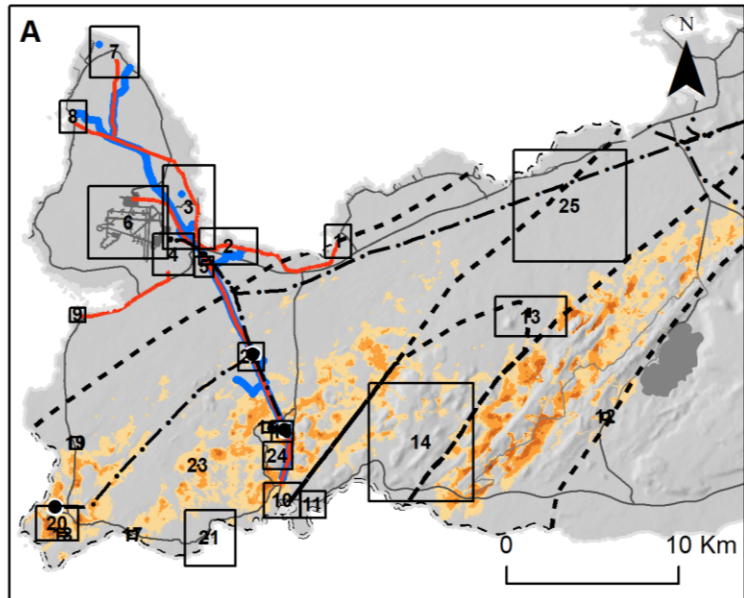
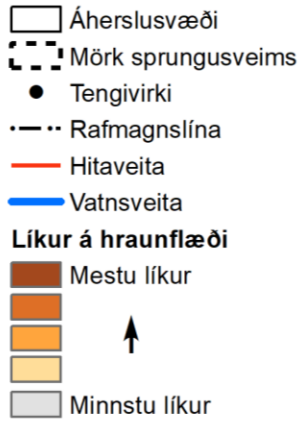


Mynd 9. Jafndreifð hermigosupptök frá vesturmörkum Reykjaneskerfisins að austurmörkum Krýsuvíkurkerfisins. Fjarlægð milli gosupptaka er 1 km. Hraunflæði var hermt frá stökum gígum, 2 km löngum og 10 km löngum gossprungum. Hver punktur sem sýndur er á myndinni var skilgreindur sem miðpunktur gossprungna.

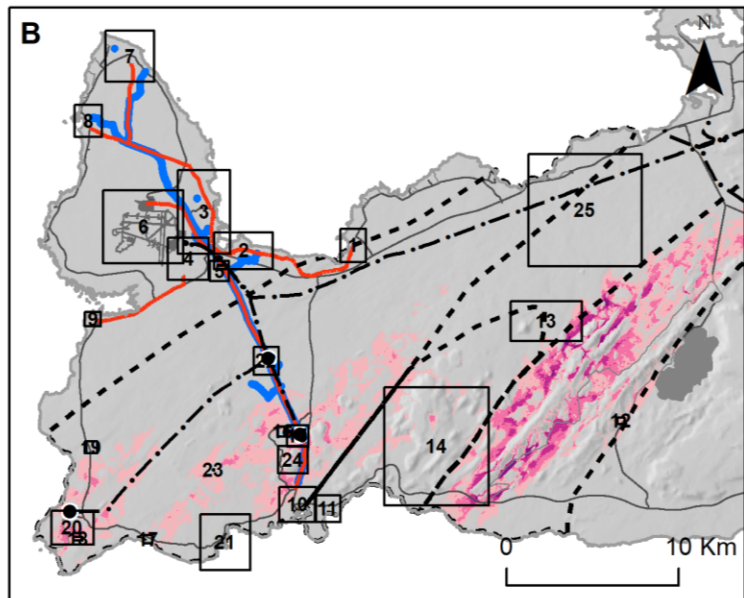
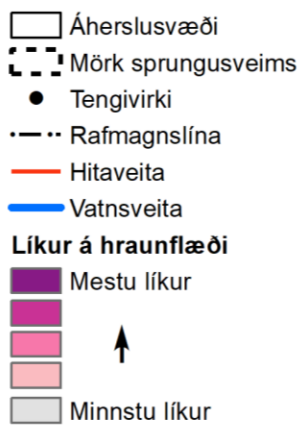


## Vegnar líkur á hraunflæði Lítið hraungos

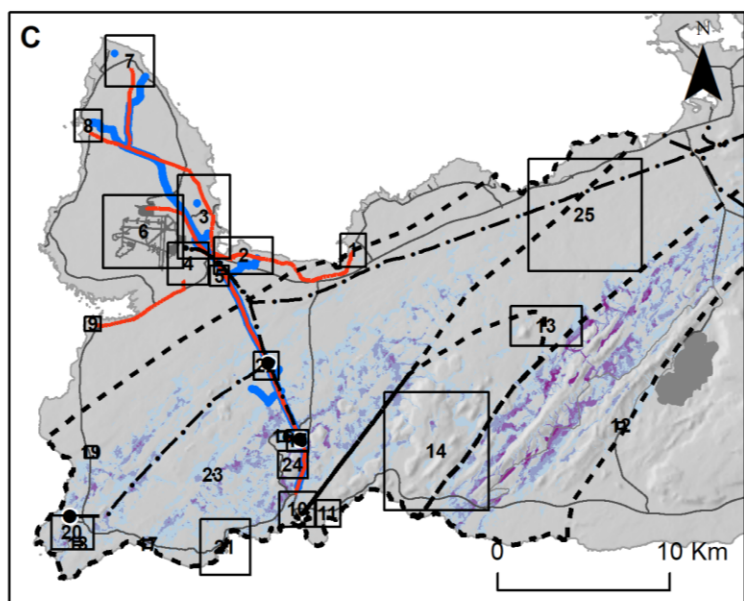
Lengd gossprungu: **Stakur gígur**  
Rúmmál gosefna: **0,02 km<sup>3</sup>**



Lengd gossprungu: **2 km**  
Rúmmál gosefna: **0,02 km<sup>3</sup>**



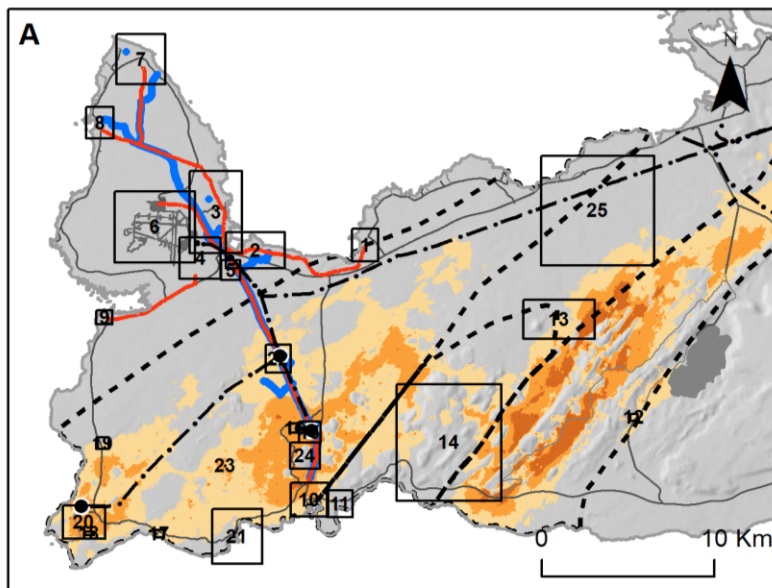
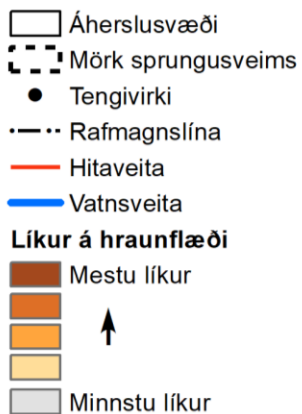
Lengd gossprungu: **10 km**  
Rúmmál gosefna: **0,02 km<sup>3</sup>**



## Vegnar líkur á hraunflæði Meðalstórt hraungos

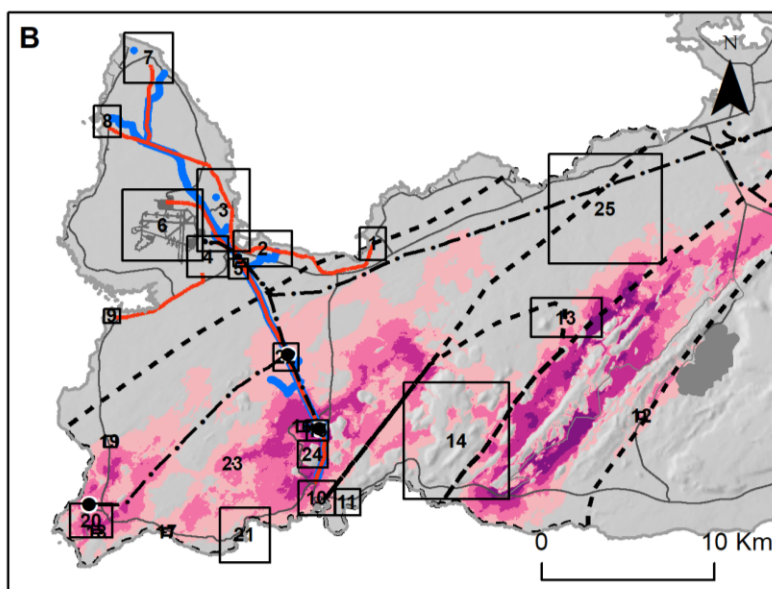
Lengd gossprungu: **Stakur gígur**

Rúmmál gosefna: **0,3 km<sup>3</sup>**



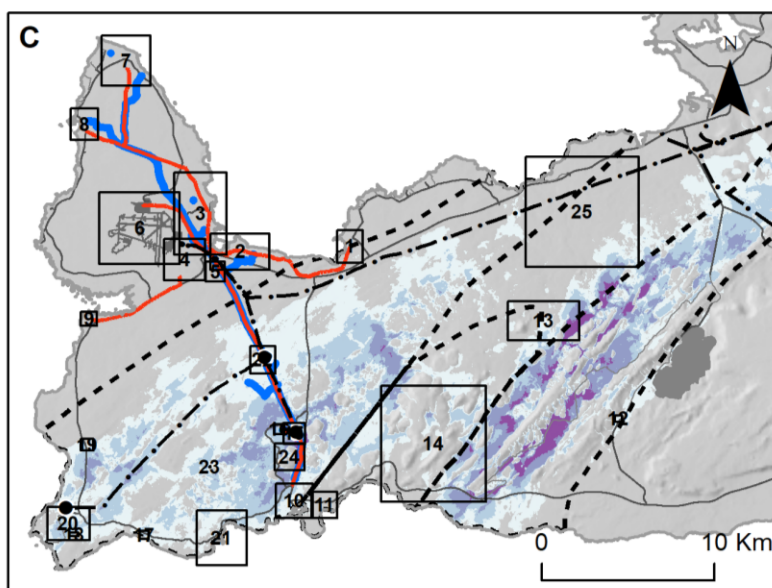
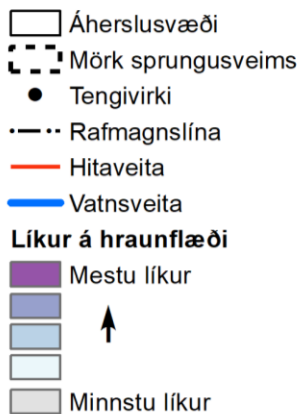
Lengd gossprungu: **2 Km**

Rúmmál gosefna: **0,3 km<sup>3</sup>**



Lengd gossprungu: **10 Km**

Rúmmál gosefna: **0,3 km<sup>3</sup>**



*Mynd 10. Vegnar líkur á að svæði á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns verði fyrir hraunrennsli skv. hermunum á litlu hraungosi (0,02 km<sup>3</sup> efri mynd) og meðalstóru hraungosi (0,3 km<sup>3</sup>, neðri mynd). Hraunflæði er hermt frá 828 jafndreifðum hermigossprungum (1 km millibil, Mynd 9) af þremur mismunandi lengdum; stakur gígur, 2 km 10 km sem staðsettar eru milli vesturmarka Reykjaness til austurmarka Krýsuvíkur. Gossprungum hefur verið gefið mismunandi vægi eftir líkindum á opnun gossprungna (sbr. Mynd 8) en þeir útreikningar byggja á jarðfræðimenjum sem sjást á yfirborði. **Athygli er vakin á því að einstök gosupptök geta vel orðið á svæðum sem eru sýnd hér með minnstu líkum á hraunrennsli og því útiloka minnstu líkur á hraunrennsli ekki að svæðið verði fyrir hrauni.** Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 4). Gögn um innviði (tengivirki, rafmagnslínur, hitaveitu og vatnsveitu) eru fengin frá og birt með leifi Verkís (Dóra Hjálmarsdóttir MB-16). Stærri kort má sjá í Viðauka IV.*

Lítil gos hafa mjög staðbundin áhrif, en þau þekja mörg ekki nema 1–2 km<sup>2</sup> og öll innan við 5 km<sup>2</sup>. Áhrifin eru svo staðbundin að 1 km fjarlægð milli hermigossprungna er í raun of mikil sem sjá má í því að staðsetning hermigosupptaka er sjáanleg á niðurstöðum (sjá myndir í Viðauka IV). Við aukna lengd gossprungna í hraunhermunum stækkar það svæði sem hraun getur runnið inn á en að sama skapi verður hraun þynnra og/eða styttra þar sem verið er að herma sama heildarúmmál. Með auknu magni hrauns (meðalstór gos 0,3 km<sup>3</sup>) vex áhrifasvæði (Mynd 10).

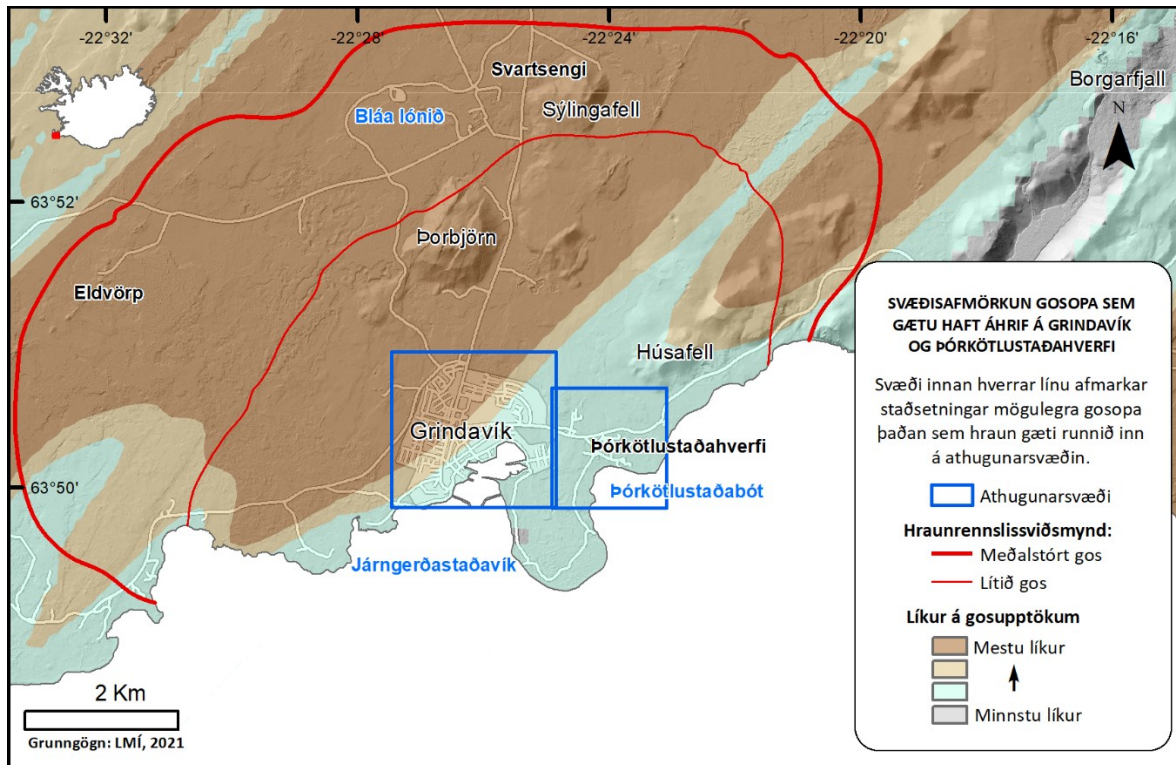
### **3.2.3 Hraunvá eftir áherslusvæðum**

Af þéttbýli á Reykjanesskaga er Grindavík í mestri hættu af völdum hraunrennslis (Mynd 10, myndir í Viðauka IV). Vogar, eru norðan megin á skaganum og því fjarri líklegum gosupptökum og Reykjanesbær (að meðtöldum Höfnum) og Suðurnesjabær (Sandgerði og Garður) eru staðsett vestanmegin við vesturmörk Reykjaneskerfisins og mjög ólíklegt er að gosupptök verði þar (Mynd 8, Mynd 10). 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 ólíklegt er talið að gosupptök eigi sér stað (Mynd 8) og afar ólíklegt er að hraunrennsli hafi áhrif á innviði þar (Mynd 10 og myndir í Viðauka IV). Þeir ferðamannastaðir sem eru í mestri hættu af völdum hraunrennslis eru, eins og sjá má á Mynd 10, Bláa lónið og svæði umhverfis Keili (sérstaklega Höskuldavellir). 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 (Mynd 10). Miðað við niðurstöður hraunhermana eru innviðir í nágrenni Svartsengis (virkjunin, rafmagnslínur og vatnsveita) í mestri hættu af völdum hraunrennslis.

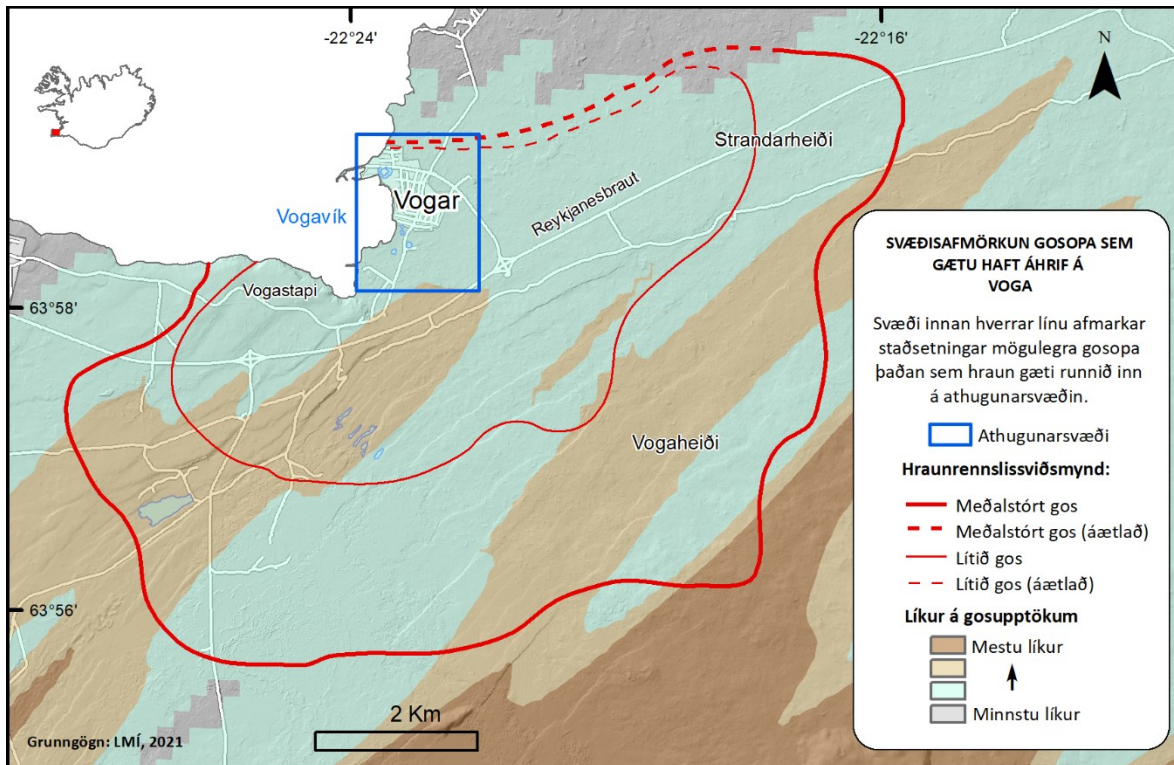
### **3.2.4 Afmörkun gossprungna sem veitt geta hrauni inn á áherslusvæði**

Niðurstöður hraunhermana voru notaðar til að afmarka upptakasvæði sem geta veitt hraunrennsli inn á valin áherslusvæði. Áherslusvæðin eru Grindavík og Þórkötlustaðahverfi (Mynd 11), Vogar (Mynd 12), Reykjanesbær (Keflavík, Njarðvík, Ásbrú; Mynd 13), Svartsengi og Bláa lónið (Mynd 14) og vatnstökusvæðið í Lágum (Mynd 15). Upptakasvæði hafa verið landfræðilega afmörkuð fyrir bæði lítil gos (0,02 km<sup>3</sup>, rauð fin lína) og meðalstór (0,3 km<sup>3</sup>, rauð breið lína). Nægilegt var að örlítill hluti hermds hraunflæðis kæmist inn á áherslusvæði svo gosupptök eða upptakasvæði lenti innan svæðisafmörkunarinnar. Við landfræðilega afmörkun gosupptaka voru hraunhermanir frá öllum hermigossprungum notaðar og ekki var tekið tillit til mismunandi vægis gosuppkomustaða (sbr. Mynd 8).

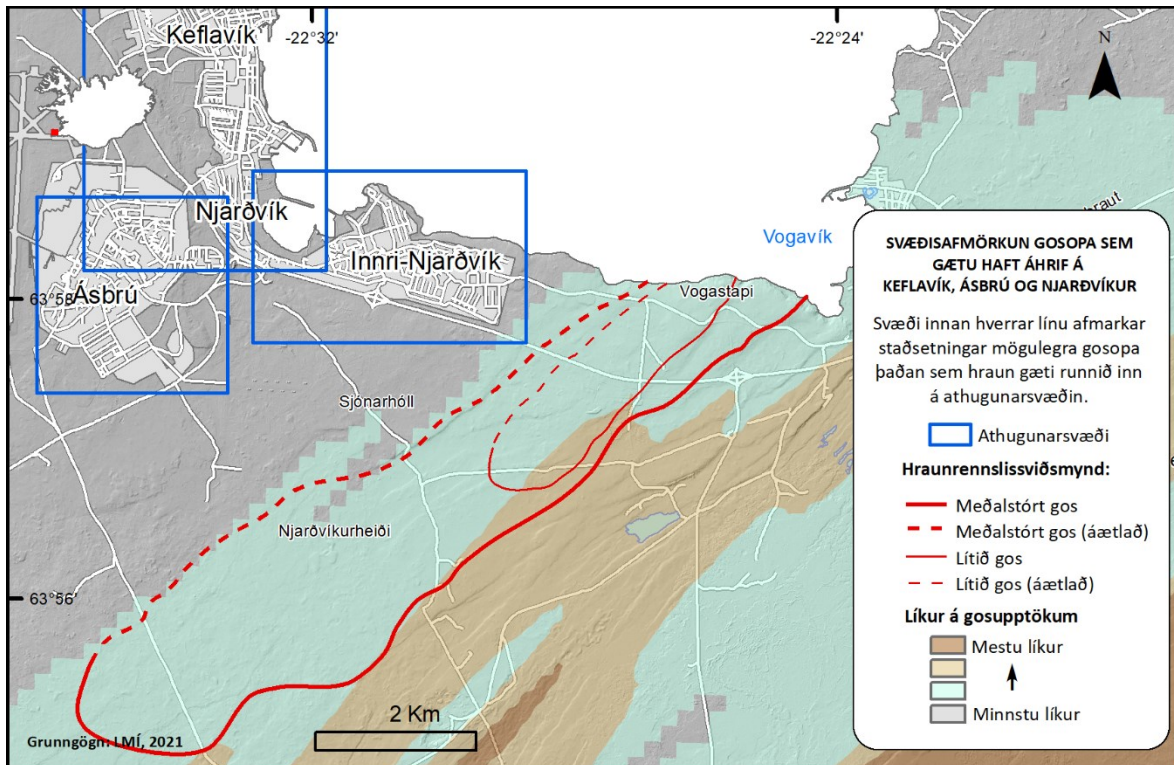


Mynd 11. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Grindavík og Þórkötlustaðahverfi (bláir ferhyrningar). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ( $0,3 \text{ km}^3$ ) sem geta beint hrauni inn á athugunarsvæði og rauð mjó lína upptök litilla hrauna ( $0,02 \text{ km}^3$ ). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun nái hvorki að renna inn í Grindavík né Þórkötlustaðahverfi. Unnið út frá gögnum þar sem allar gossprungur hafa jafnt vægi. Grár, grænn, ljósbrúnn og brúnn litur táknar auknar líkur á gosupptökum þar sem brúnn sýnir mestar líkur og grár hverfandi líkur (sbr. Mynd 8).

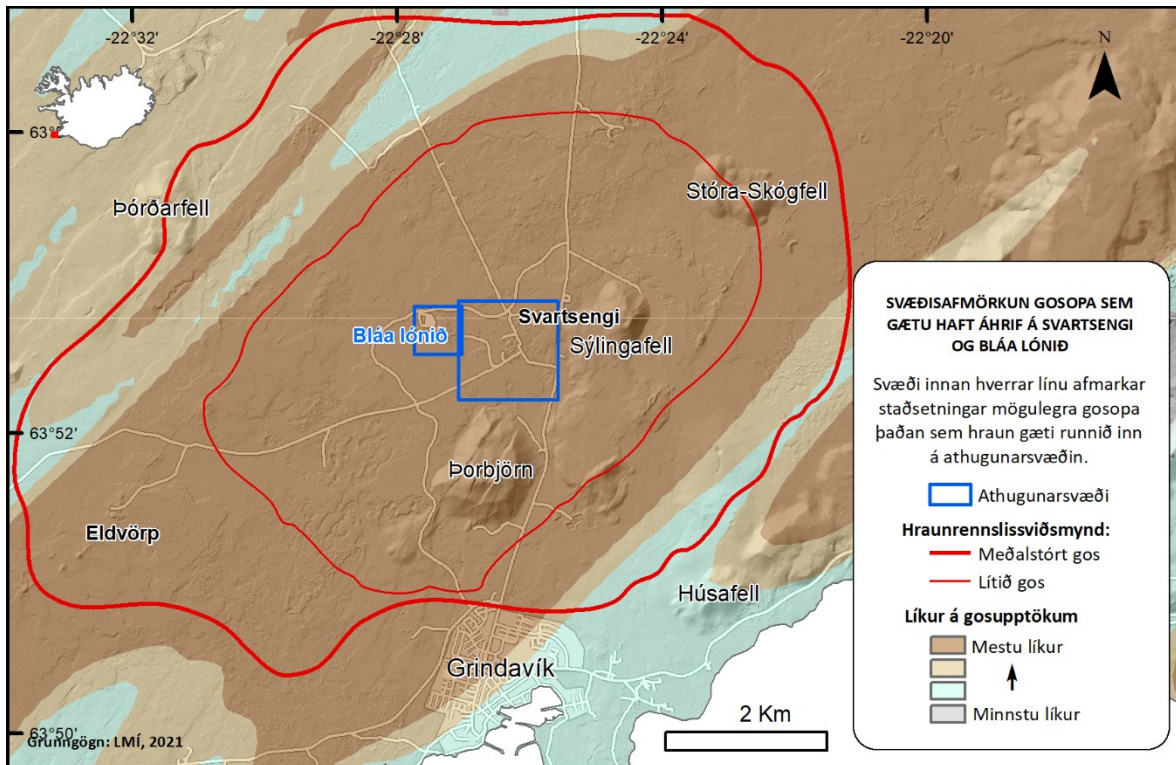
Vogar og Reykjanesbær eru staðsett norðarlega á skaganum og eru minni líkur á hraunflæði þar enda eru litlar líkur á gosupptökum þar (sbr. Mynd 12 og Mynd 13). Grindavík og Bláa lónið/Svartsengi eru aftur á móti staðsett þar sem töluverðar líkur eru á að gossprungur geti opnast, sérstaklega Bláa lónið/Svartsengi (Mynd 11 og Mynd 14). Vatnstökusvæðið í Lágum er í töluverðri lægð í landslagi og töluvert svæði getur skilað hrauni þangað skv. hermunum (Mynd 15, Mynd 10 og myndir í Viðauka IV).



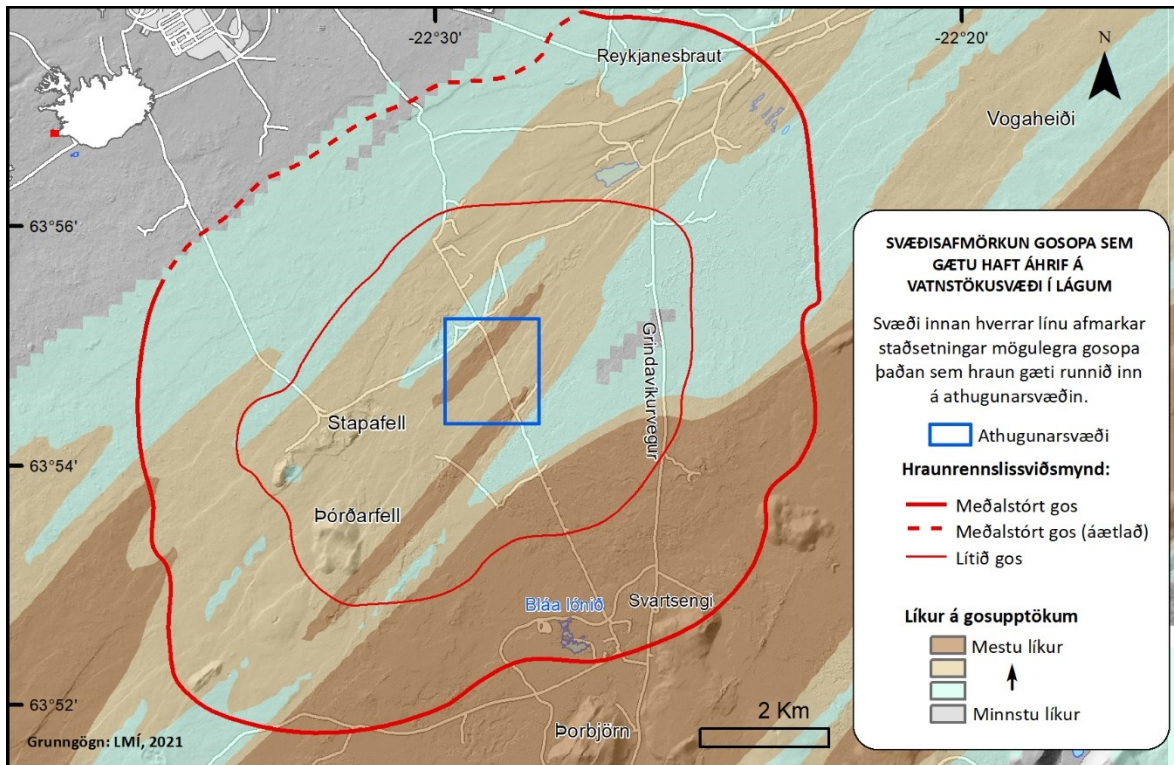
Mynd 12. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Voga (blár ferhyrningur). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ( $0,3 \text{ km}^3$ ) sem geta beint hrauni inn á athugunarsvæði og rauð mjó lína upptök litilla hrauna ( $0,02 \text{ km}^3$ ). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun nái ekki að renna inn í Voga. Unnið út frá gögnum þar sem allar gossprungur hafa jafnt vægi. Norðurmörk austan Voga eru sýnd með brotalínu þar sem hluti Vatnsleysustrandar er utan skilgreindra marka Reykjaneskerfisins og engar hermanir voru framkvæmdar fyrir það svæði. Grár, grænn, ljósbrúnn og brúnn litur táknar auknar líkur á gosupptökum þar sem brúnn sýnir mestar líkur og grár hverfandi líkur (sbr. Mynd 8).



Mynd 13. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Keflavík, Njarðvík eða Ásbrú (bláir ferhyrningar). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ( $0,3 \text{ km}^3$ ) sem geta beint hrauni inn á athugunarsvæði 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 nái ekki að renna inn á áherslusvæðin. Unnið út frá gögnum þar sem allar gossprungur hafa jafnt vægi. NV mörk svæðisins eru sýnd með brotalínu þar sem engar hermanir voru framkvæmdar vestan skilgreindra útmarka Reykjaneskerfisins. Grár, grænn, ljósbrúnn og brúnn litur táknar auknar líkur á gosupptökum þar sem brúnn sýnir mestar líkur og grár hverfandi líkur (sbr. Mynd 8).



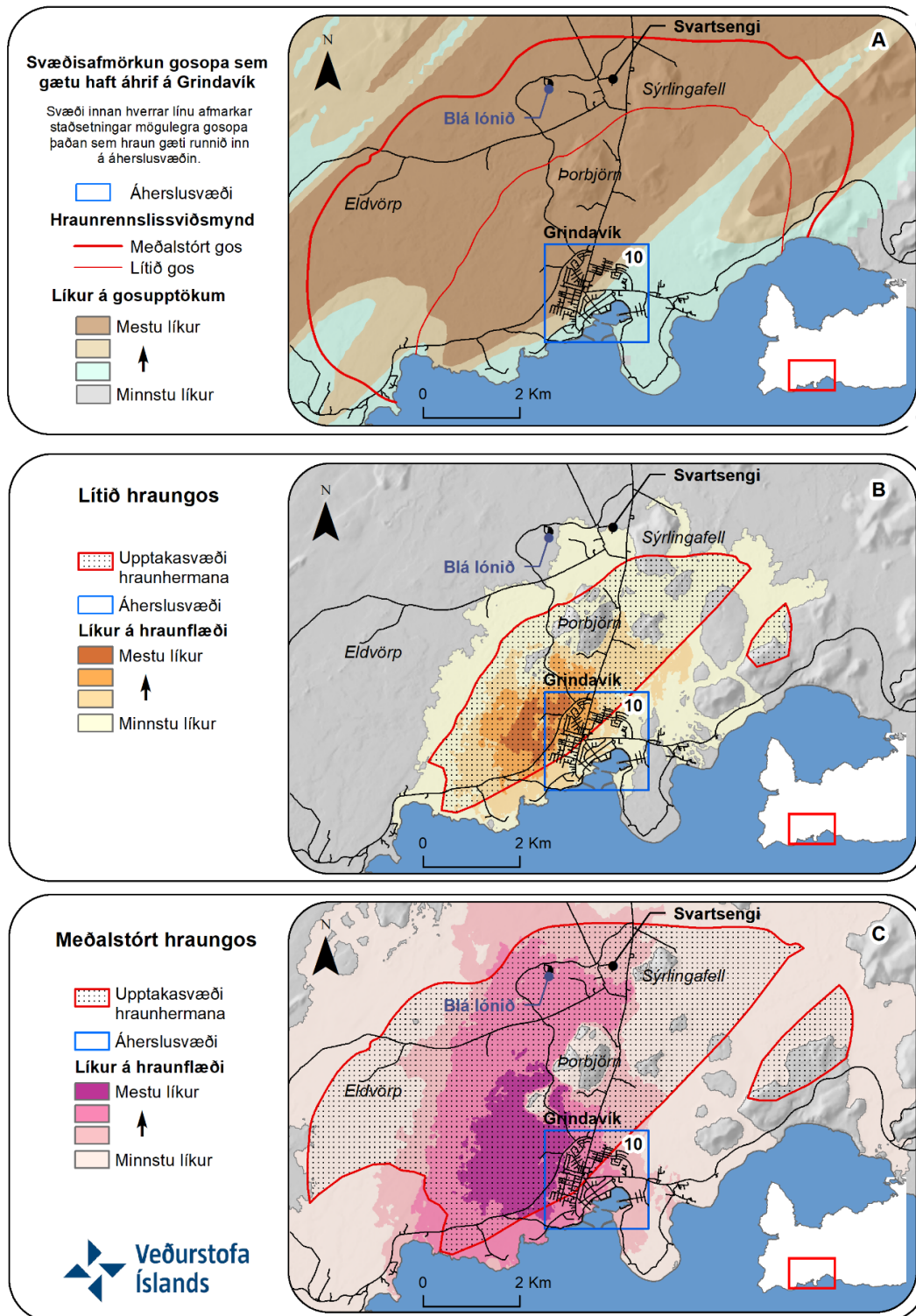
Mynd 14. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í Svartsengi og Bláa lónið (bláir ferhyrningar). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ( $0,3 \text{ km}^3$ ) sem geta beint hrauni inn á athugunarsvæði og rauð mjó lína upptök lítilla hrauna ( $0,02 \text{ km}^3$ ). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun nái hvorki að Svartsengi né Bláa lóninu. Unnið út frá gögnum þar sem allar gossprungur hafa jafnt vægi. Grár, grænn, ljósbrúnn og brúnn litur táknar auknar líkur á gosupptökum þar sem brúnn sýnir mestar líkur og grár hverfandi líkur (sbr. Mynd 8).



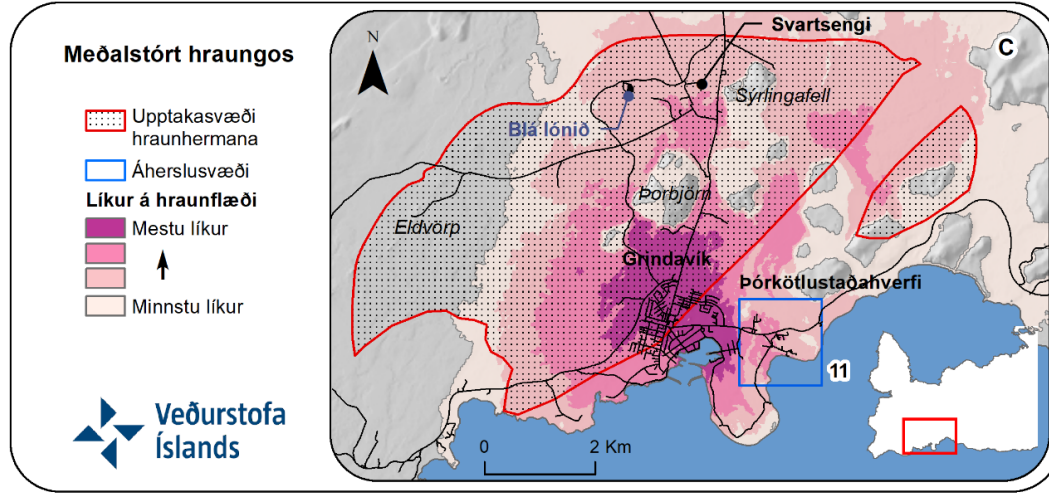
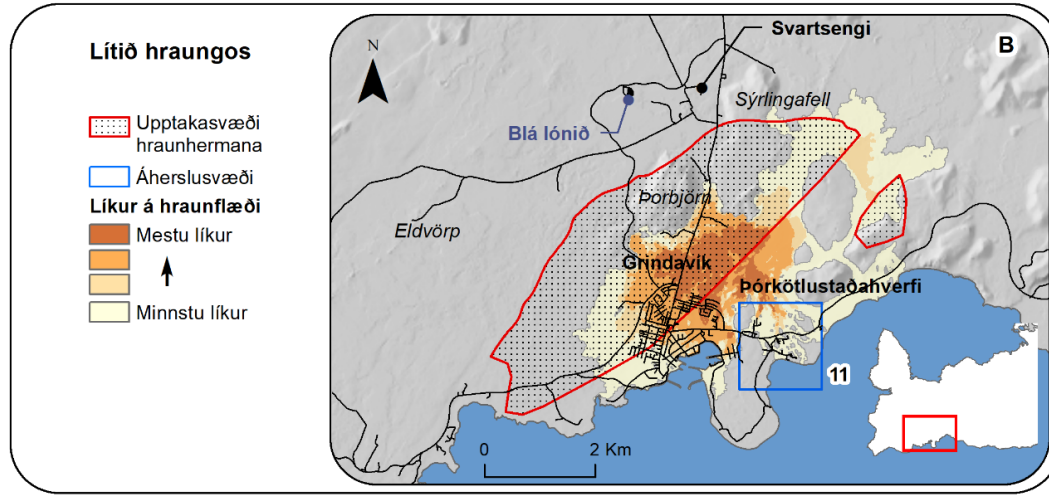
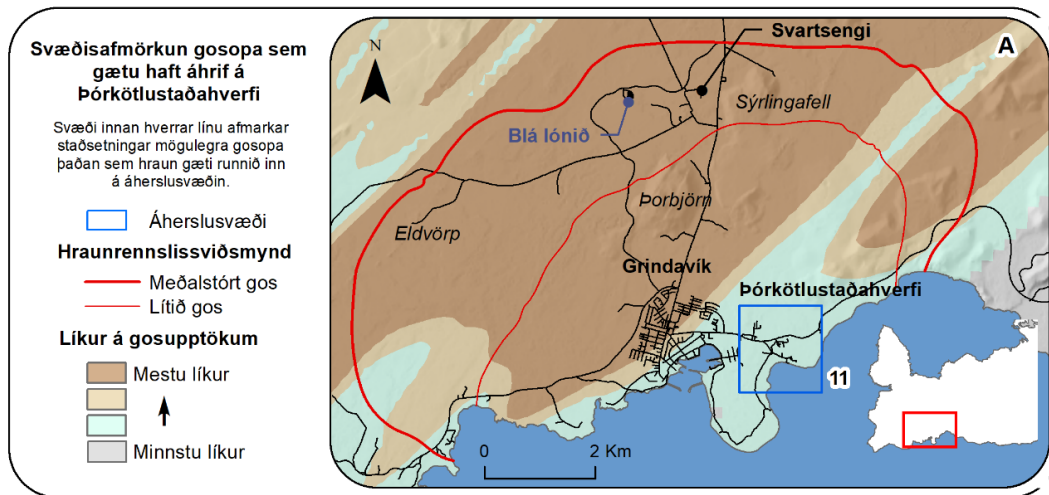
Mynd 15. Landfræðileg afmörkun gossprungna (rauðar línur) sem geta veitt hrauni inn í vatnstökusvæðið í Lágum (blár ferhyrningur). Rauð breið lína afmarkar upptök miðlungsstórra hrauna ( $0,3 \text{ km}^3$ ) sem geta beint hrauni inn á athugunarsvæði og rauð mjó lína upptök lítilla hrauna ( $0,02 \text{ km}^3$ ). Ef hraungos hefst á gossprungu sem er staðsett utan rauðu línanna benda hraunhermanir til að hraun nái ekki að renna inn á áherslusvæðið. Unnið út frá gögnum þar sem allar gossprungur hafa jafnt vægi. NV mörk meðalstóra svæðisins eru sýnd með brotalínu þar sem engar hermanir voru framkvæmdar vestan skilgreindra útmarka Reykjaneskerfisins. Grár, grænn, ljósbrúnn og brúnn litur táknar auknar líkur á gosupptökum þar sem brúnn sýnir mestar líkur og grár hverfandi líkur (sbr. Mynd 8).

Í framhaldi var einungis unnið með hermanir frá líklegustu gosupptökum innan svæðisafmörkunar hvers svæðis (þ.e. dökkbrún svæði sem afmarkast af rauðum línur (Mynd 11 til Mynd 15) og skoðað hvaða svæði eru líklegust til að verða fyrir hraunrennsli frá þessum gosupptökum (Mynd 16 til Mynd 21). Útlínur allra hraunhermana frá þessum líklegustu gosupptökum (skv MatHaz niðurstöðum) eru sýndar og þau svæði sem urðu oftar fyrir hermdu hraunflæði eru birt sem líklegri staðir til að verða fyrir hraunrennsli. Þetta var gert fyrir bæði lítil ( $0,02 \text{ km}^3$ ) og meðalstór ( $0,3 \text{ km}^3$ ) gos.

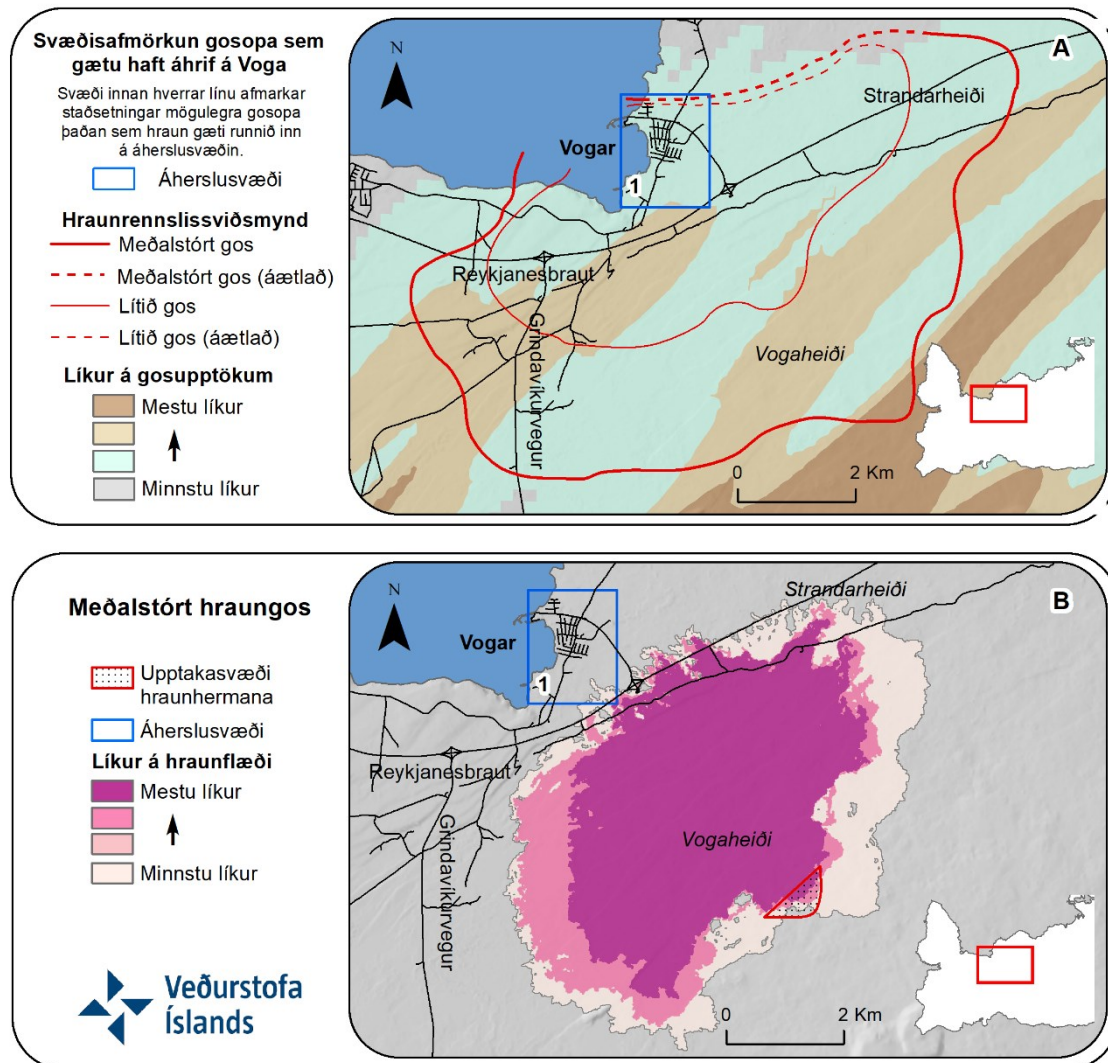




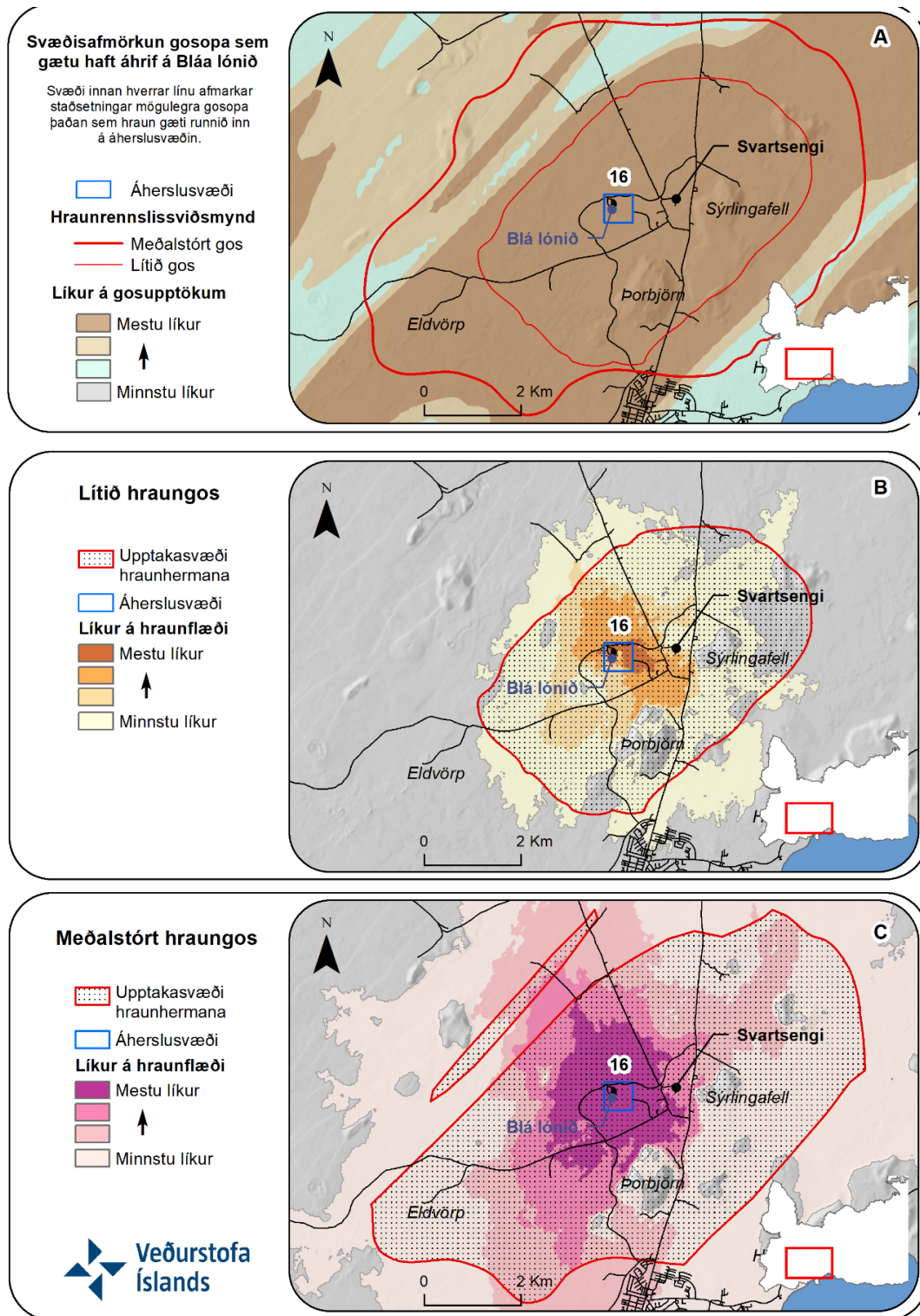
Mynd 16. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði (efsta mynd, sjá að auki myndatexta Mynd 11), útlínur þeirra hraunhermana sem hafa gosupptök innan afmörkunarinnar og líklegasta upptakasvæðis (gosupptök innan dökkbrúns svæðis sem er afmarkað af rauðum línunum, sýnt á miðju og neðstu mynd með punktáþekju) og líkur á hraunflæði frá þessum afmörkuðu gosupptökum. Útlínur og líkur á hraunrennsli lítilla gosa eru sýnd á miðju mynd en meðalstórra gosa á neðstu mynd. Áréttað er að útlínur afmarka ystu mörk fjölda hraunhermana en tákna á engan hátt hraun sem myndast í stöku gosi.



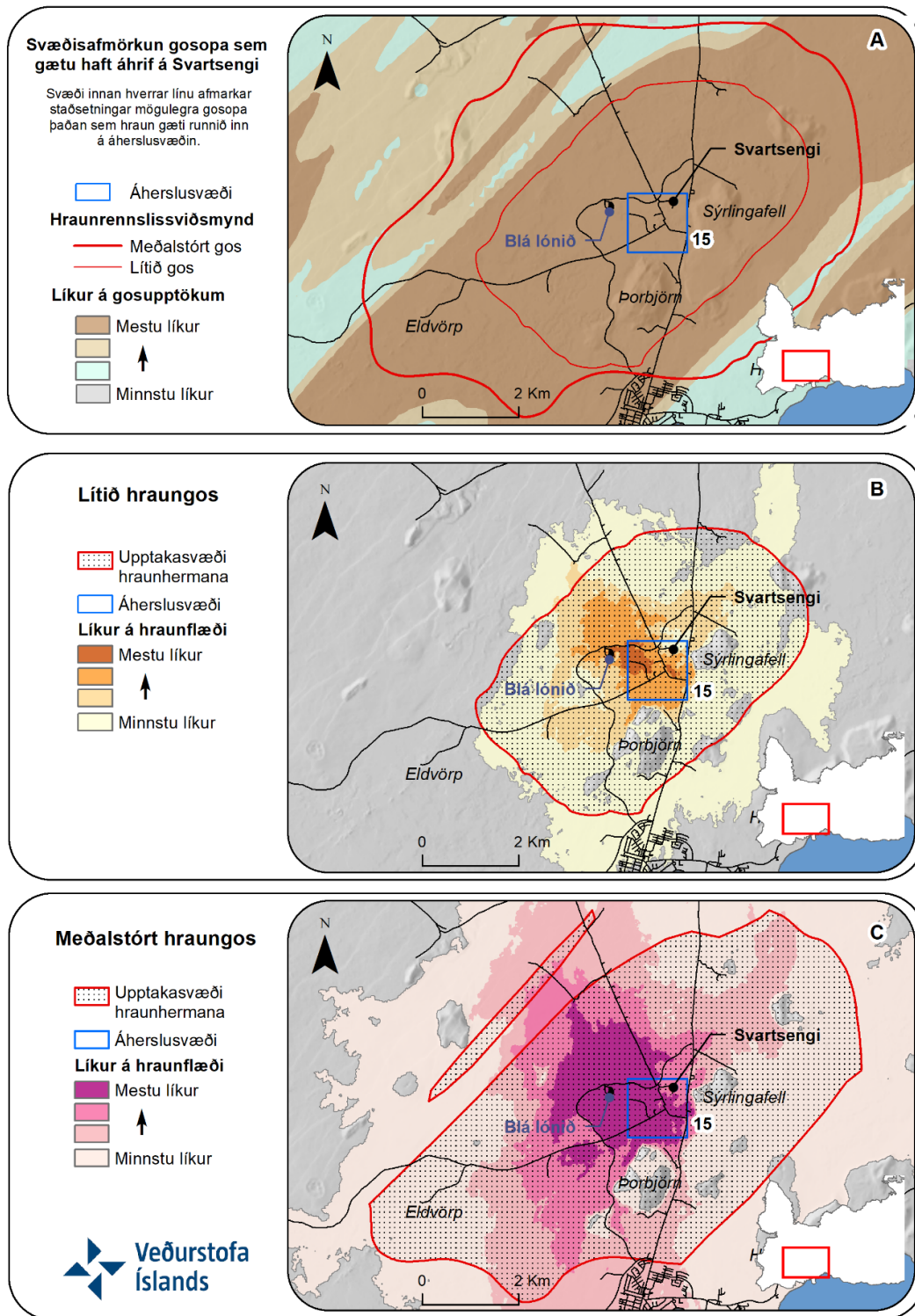
Mynd 17. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði (efsta mynd, sjá að auki myndatexta Mynd 11), útlínur þeirra hraunhermana sem hafa gosupptök innan afmörkunarinnar og líklegasta upptakasvæðis (gosupptök innan dökkbrúns svæðis sem er afmarkað af rauðum línunum, sýnt á miðju og neðstu mynd með punktabeikju) og líkur á hraunflæði frá þessum afmörkuðu gosupptökum. Útlínur og líkur á hraunrennsli lítilla gosa eru sýnd á miðju mynd en meðalstórra gosa á neðstu mynd. Áréttað er að útlínur afmarka ystu mörk fjölda hraunhermana en tákna á engan hátt hraun sem myndast í stöku gosi.



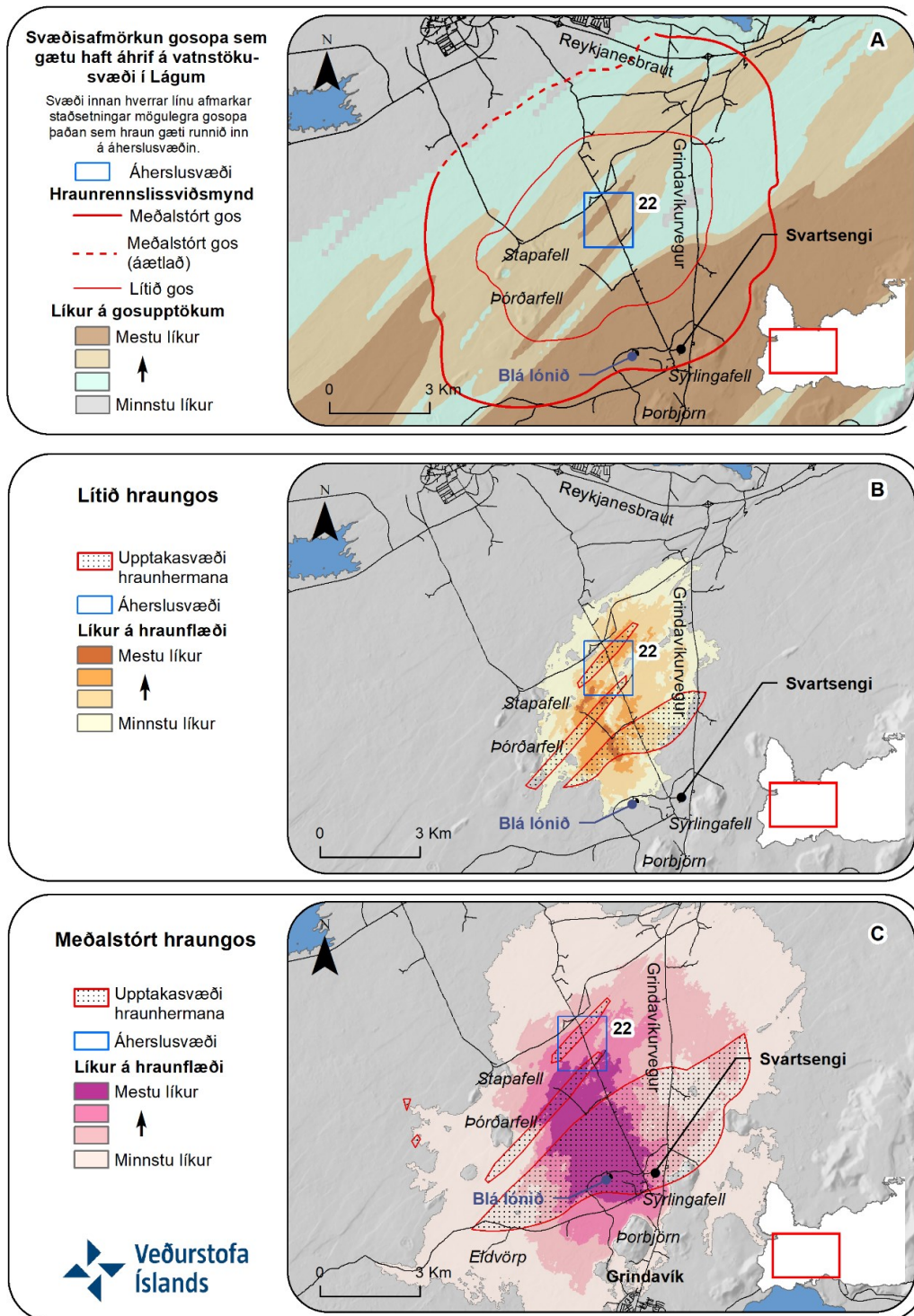
Mynd 18. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði (efsta mynd, sjá að auki myndatexta Mynd 12), útlínur þeirra hraunhermana sem hafa gosupptök innan afmörkunarinnar og líklegasta upptakasvæðis (gosupptök innan dökkbrúns svæðis sem er afmarkað af rauðum línunum, sýnt á miðju og neðstu mynd með punktabeikju) og líkur á hraunflæði frá þessum afmörkuðu gosupptökum. Útlínur og líkur á hraunrennslilítilla gosa eru sýnd á miðju mynd en meðalstórra gosa á neðstu mynd. Áréttað er að útlínur afmarka ystu mörk fjölda hraunhermana en tákna á engan hátt hraun sem myndast í stöku gosi.



Mynd 19. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði (efsta mynd, sjá að auki myndatexta Mynd 11), útlínur þeirra hraunhermana sem hafa gosupptök innan afmörkunarinnar og líklegasta upptakasvæðis (gosupptök innan dökkbrúns svæðis sem er afmarkað af rauðum línunum, sýnt á miðju og neðstu mynd með punktþekju) og líkur á hraunflæði frá þessum afmörkuðu gosupptökum. Útlínur og líkur á hraunrennslis lítilra gosa eru sýnd á miðju mynd en meðalstórra gosa á neðstu mynd. Áréttað er að útlínur afmarka ystu mörk fjölda hraunhermana en tákna á engan hátt hraun sem myndast í stöku gosi.



Mynd 20. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði (efsta mynd, sjá að auki myndatexta Mynd 14), útlínur þeirra hraunhermana sem hafa gosupptök innan afmörkunarinnar og líklegasta upptakasvæðis (gosupptök innan dökkbrúns svæðis sem er afmarkað af rauðum línunum, sýnt á miðju og neðstu mynd með punktþekju) og líkur á hraunflæði frá þessum afmörkuðu gosupptökum. Útlínur og líkur á hraunrennslitilla gosa eru sýnd á miðju mynd en meðalstórri gosa á neðstu mynd. Áréttað er að útlínur afmarka ystu mörk fjölda hraunhermana en tákna á engan hátt hraun sem myndast í stöku gosi.



Mynd 21. Afmörkun gosupptaka sem geta veitt hrauni inn á áherslusvæði (efsta mynd, sjá að auki myndatexta Mynd 15), útlínur þeirra hraunhermana sem hafa gosupptök innan afmörkunarinnar og líklegasta upptakasvæðis (gosupptök innan dökkbrúns svæðis sem er afmarkað af rauðum línunum, sýnt á miðju og neðstu mynd með punktaþekju) og líkur á hraunflæði. Gosupptök lítilla gosa eru afmörkuð með finni rauðri línu en upptök meðalstórra gosa með breiðri rauðri línu. Útlínur og líkur á hraunrennsli lítilla gosa eru sýnd á miðju mynd en meðalstórra gosa á neðstu mynd. Áréttað er að útlínur afmarka ystu mörk fjölda hraunhermana en tákna á engan hátt hraun sem myndast í stöku gosi.

### 3.2.5 Hraunvá – samantekt

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

- Til langs tíma lítið fylgja svæði sem eru mest útsett fyrir hraunflæði lögðum í landinu og eru mest sunnan til á skaganum en komi upp gos í fjallshlíðum geta svæði sem liggja ofar í landinu orðið fyrir hrauni. Á sama hátt geta hraun 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 tilfalli meðalstórra hermdra gosa.

Hér hefur verið farið yfir þau svæði sem eru líklegust til að verða fyrir hraunrennslis m.t.t. niðurstaðna þeirra hraunflæði hermana sem keyrðar hafa verið. Mikilvægt er að muna að 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 sem til verða. Þá þarf að keyra líkönin 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 árin 2021 og 2022 í Geldingadölum og Meradölum í Fagradalsfjalli og 2023 við Litla Hrút (t.d. útstreymishraða hrauns úr gíg).

### 3.3 Gas

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 lækka ekki í lofti fyrir en þau hafa kólnað. 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 SO<sub>2</sub> á heilsu manna eru erting í augum, hálsi og öndunarfærum og í háum styrk getur fólk fundið fyrir öndunarörðugleikum (<https://www.ust.is/loft/eldgos/loftmengun-fra-eldgosum/>; Tafla 8) og við 100 ppm (260.000 µg/m<sup>3</sup>) 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.

Tafla 8. Lýsing á loftgæðum og áhrifum SO<sub>2</sub> á heilsufar miðað við styrk í 10–15 mínútur. Áhrif loftmengunar á heilsu eru háð þeim tíma sem fólk dvelur í menguninni. Heilsuverndarmörk fyrir klukkutíma eru 350 µg/m<sup>3</sup> og heilsuverndarmörk fyrir sólarhring 125 µg/m<sup>3</sup> (<https://www.ust.is/loft/eldgos/loftmengun-fra-eldgosum/> en þar má einnig sjá ráðleggingar um viðbrögð).

Styrkur SO <sub>2</sub> í 10-15 mín		Lýsingar á loftgæðum og áhrifum á fólk
µg/m <sup>3</sup>	ppm	
		<b>Góð</b>
0-350	0-0,1	Yfirleitt engin áhrif á heilsufar.
		<b>Sæmileg</b>
350-600	0,1-0,2	Getur valdið óþægindum í öndunarfærum hjá viðkvæmum einstaklingum.
		<b>Óholl fyrir viðkvæma</b>
600-2.600	0,2-1,0	Einkenni frá öndunarfærum líkleg hjá viðkvæmum einstaklingum. Lítil vandamál hjá heilbrigðum.
		<b>Óholl</b>
2.600-9.000	1,0-3,0	Einkenni frá öndunarfærum líkleg hjá öllum einstaklingum, einkum einstaklingum með undirliggjandi öndunarfærasjúkdóma.
2.600	1,0	Vinnuverndarmörk í 15 mín.
		<b>Mjög óholl</b>
9.000-14.000	3,0-5,0	Allir líklegir til að finna fyrir miðlungs- eða alvarlegum einkennum frá öndunarfærum.
		<b>Hættuástand</b>
>14.000	>5,0	Alvarleg einkenni frá öndunarfærum líkleg.

### 3.3.1 Forsendur og aðferðir líkanhermana

Gasmengunar og -dreifingar hermanir voru keyrðar með CALPUFF líkaninu frá 2 km löngum hermigossprungum sem fylgja miðlínu Reykjaness-Svartsengis og Krýsuvíkur (Mynd 23, Tafla 9). Einungis átta af 18 gossprungum innan kerfis Krýsuvíkur eru sýndar á kortum þrátt fyrir að niðurstöður byggi á hermunum frá öllum 18 sprungunum. Veðurgögn 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. Unnið var með veður frá tíu ára tímabili eða frá 1981–1990 (ECMWF, 2011).



**Líkleg staðsetning gossprungna Reykjanes-Svartsengi**

**Landfræðileg líkindadreifing**

- Áherslusvæði
- Tengivirkir
- Rafmagnslína
- Hitaveita
- Vatnsveita
- Gervigossprungna
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosupptökum**
- Mestu líkur
- Mennstu líkur

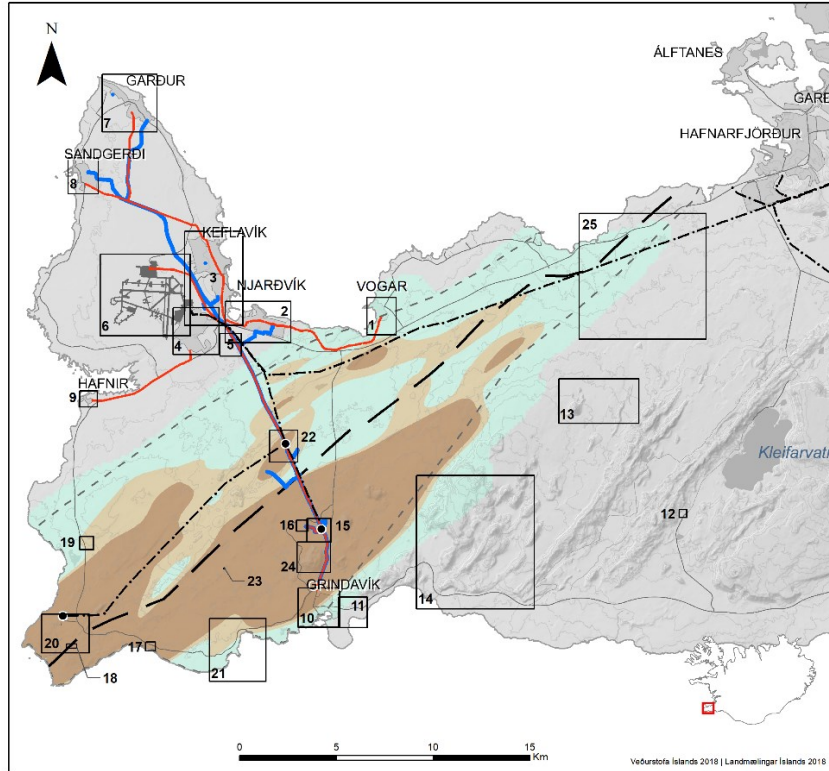
**Athugasemd:**

Heildarlíkur eru samanteknar líkur m.v. sprungur, jarðhitasvæði o.s.frv.

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

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkis.

Víðmiðun: ISN93  
 Dagsetning: 14.04.2023  
 Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
 Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
 Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Líkleg staðsetning gossprungna Krýsuvík**

**Landfræðileg líkindadreifing**

- Áherslusvæði
- Tengivirkir
- Rafmagnslína
- Hitaveita
- Vatnsveita
- Gervigossprungna
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosupptökum**
- Mestu líkur
- Mennstu líkur

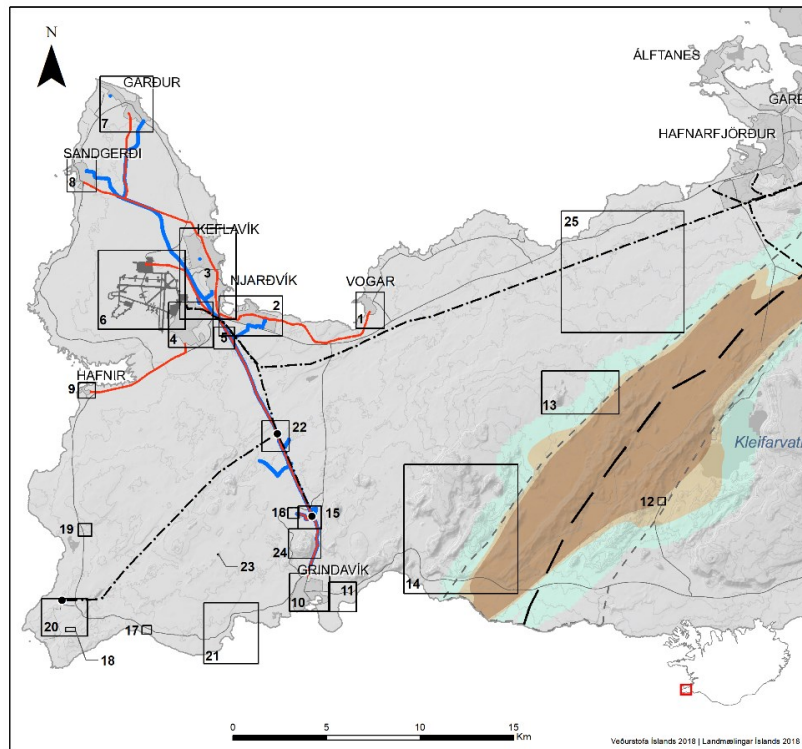
**Athugasemd:**

Heildarlíkur eru samanteknar líkur m.v. sprungur, jarðhitasvæði o.s.frv.

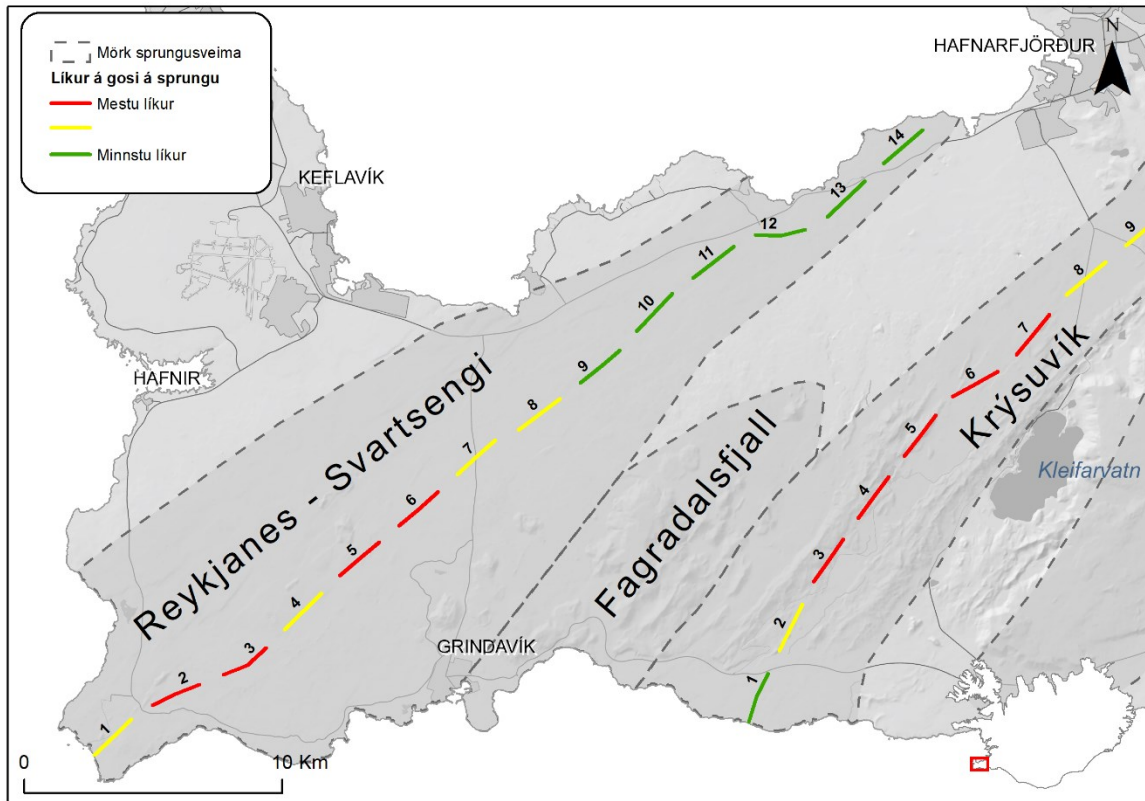
Útlínur sprungusveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Hákur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkis.

Víðmiðun: ISN93  
 Dagsetning: 13.04.2023  
 Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
 Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
 Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



*Mynd 22. Líkur á gosupptökum innan eldstöðvakerfis Reykjanes-Svartsengis (efri mynd) og Krýsuvíkur (neðri mynd) skv. MatHaz líkaninu. Gasdreifing var hermd frá miðlínu kerfanna (svartar brotnar línur) og líkur á opnun gossprungna innan kerfanna voru dregnar saman á sömu línur (sjá Mynd 23, Viðauka II og Viðauka III). Áherslusvæði eru sýnd með svörtum ferhyrningum en númer og nöfn þeirra eru gefin í Tafla 4.*



Mynd 23. Yfirlit yfir gossprungur sem notaðar voru sem hermigosupptök í CALPUFF líkanið við hermun gasdreifingar og styrks gasmengunar við jörðu. Líkur á gosupptökum voru dregnar saman í miðlinu kerfanna með því að leggja saman MatHaz líkur (Mynd 22) hornrétt á hverja hermigossprungu innan hvors eldstöðvakerfis. Grønn litur táknar 0–5% líkur, gulur 5-10% líkur og rauður >10% líkur (sjá nákvæm gildi í Viðauka III).

Niðurstöður byggja á um 128 þúsund hermunum þar sem hermt var annars vegar lítið gasflæði (270 kg/s, gaslosun upp í 2 km hæð) og hins vegar mikið gasflæði (1900 kg/s, gaslosun upp í 4 km hæð). Með því að leggja saman niðurstöður allra gashermana og skoða tíðni gasstyrks við jörðu voru metnar líkur þess að klukkustundargildum mengunar í fimm ákveðnum mengunar-þröskuldum yrði náð. Þröskuldirnir eru skilgreindir af Umhverfisstofnun (350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2.600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 9.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 14.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Tafla 8).

Tafla 9. Yfirlit sviðsmynda sem hermdar voru með CALPUFF líkaninu, fjöldi gossprungna og heildarfjöldi hermana.

	Sviðsmyndir: Hermt gasflæði (kg/s)	Fjöldi 2 km gossprungna	Fjöldi hermana frá gossprungu á hvora sviðsmynd	Heildarfjöldi hermana
Reykjanes- Svartsengi	270; 1900	14	2000	56000
Krýsuvík	270; 1900	18	2000	72000

Niðurstöður eru settar fram annars vegar fyrir Reykjanes-Svartsengiskerfin og hins vegar fyrir kerfi Krýsuvíkur, á kortum sambærilegum þeim sem þegar hafa verið kynnt fyrir hraunrennslis-niðurstöður en búið er að gefa hermunum frá hermigossprungum mismunandi vægi eftir því hve líklegar þær eru til að gjósa (skv. samandregnum niðurstöðum MatHaz líkansins, Mynd 8 og Viðauki III). Kort sýna hvar eru minni og meiri líkur á að ákveðnum gasmengunarþröskuldum sé náð en líkur eru ekki gefnar í tölum (Mynd 24 til Mynd 27). Litaskali er því mismunandi milli korta og verður að hafa það í huga við beinan samanburð þeirra.

Líkur á mengun við jörðu eru meiri frá gosum með lítið gasflæði en mikið enda rís það gas ekki eins hátt í gosmekki (0–2 km í litlu flæði á móti 0–4 km í miklu flæði). Gasið dreifist undan vindi og hnígur til jarðar í samræmi við eðlisþunga þegar það kólnar aftur en veðurfar hefur áhrif á hvernig það gerist. Þegar gasflæði eykst berst gasið hærra upp í andrúmsloftið og þarf því lengri tíma til að hníga aftur til jarðar en á þeim tíma nær gasið að berast lengra frá upptökum og þynnast út. Í gosum á Reykjaneskaga getur þetta þýtt að gasið berst út fyrir ströndina og veldur ekki eins mikilli gasmengun við jörðu á Reykjaneskaganum. 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 og gera má ráð fyrir að hennar gæti frekar nærri og nær upptökum í stilltu veðri. Regn breytir dreifingarháttum gass í grundvallaratriðum miðað við dreifingu í þurru lofti.

### 3.3.2 Reykjanes-Svartsengi

Að því gefnu að gjósi innan Reykjanes-Svartsengis eru mestar líkur á gasmengun við jörðu í næsta nágrenni við gosstöðvar hverju sinni og NV við þær (lítið gasflæði Mynd 24, mikið gasflæði Mynd 25). Líkur á gasmengun aukast til NV og það svæði sem verður oftast fyrir gasmengun frá gossprungum á Reykjanesi-Svartsengi er Miðnesheiði, sem einnig er þéttbýlasta svæði Reykjaneskagans. Minni líkur eru á að hærri SO<sub>2</sub> þröskuldum sé náð en engu að síður getur gasmengun frá gosum með litlu gasflæði (270 kg/s) valdið mjög óhollum loftgæðum (9.000 µg/m<sup>3</sup>) og farið yfir hættumörk (14.000 µg/m<sup>3</sup>) á Miðnesheiði. Þegar gos með miklu gasflæði (1.900 kg/s, Mynd 25) er skoðað við 350 µg/m<sup>3</sup> þröskuldinn eru mestu líkur á mengun við jörðu alveg við gosupptök og rétt utan við nyrsta hluta Miðnesheiðar. Hverfandi líkur eru á að mengun fari yfir vinnuverndarmörk, 2.600 µg/m<sup>3</sup> (loftgæði óholl, einkenni frá öndunarfærum líkleg hjá öllum einstaklingum, einkum með undirliggjandi öndunarfærasjúkdóma) á landi nema rétt við gosupptök (Mynd 25).

**Lítið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 270 kg/s

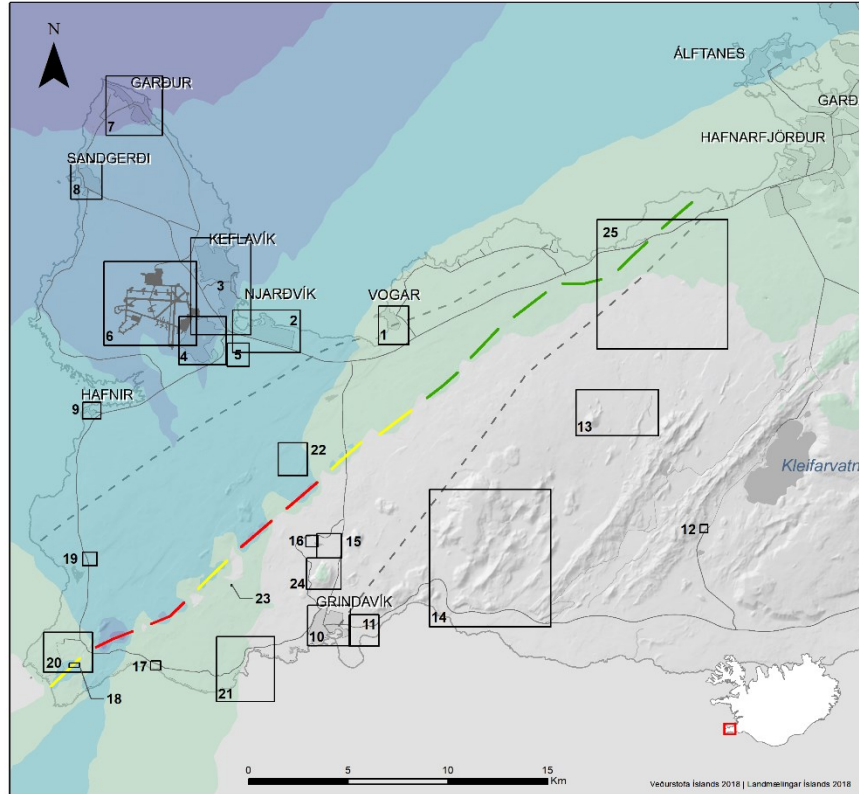


**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 270 kg/s

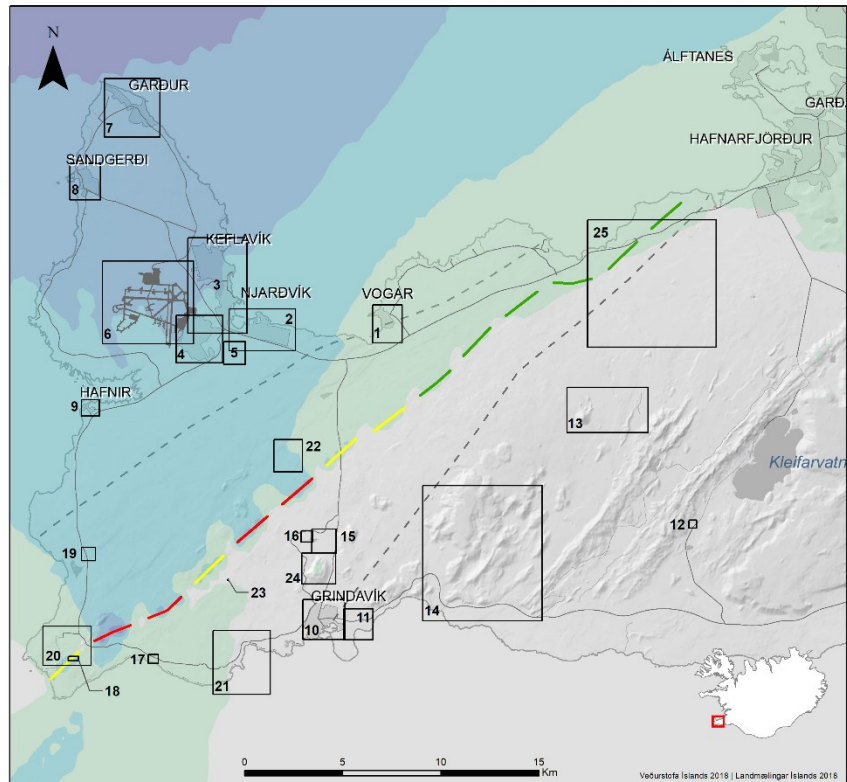


**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 270 kg/s

Áherslusvæði  
Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

Minnstu líkur

Minnstu líkur

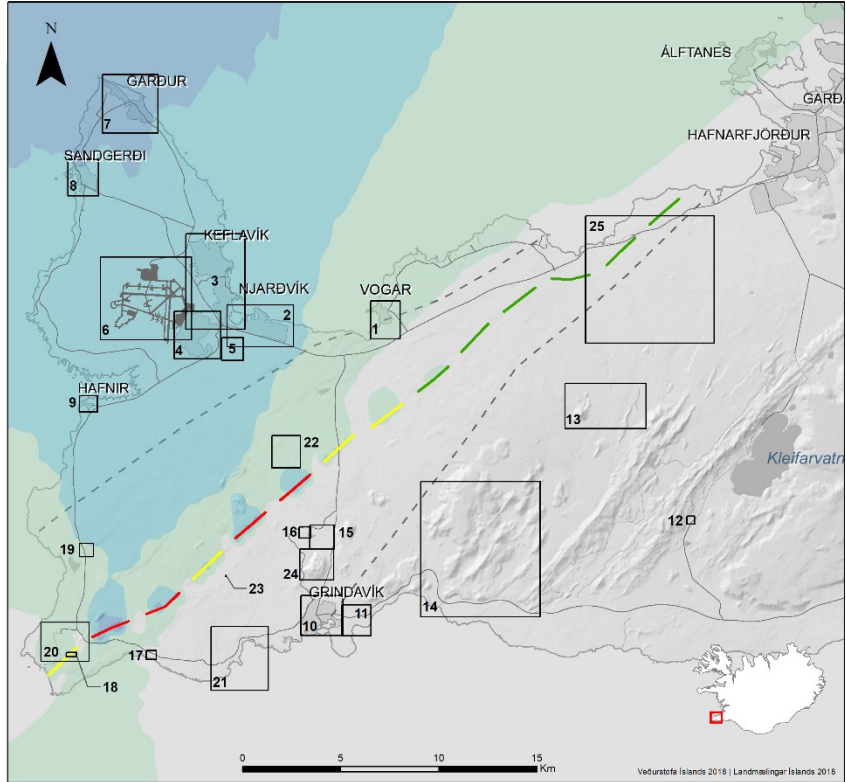
Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 9000 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 270 kg/s

Áherslusvæði  
Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

Minnstu líkur

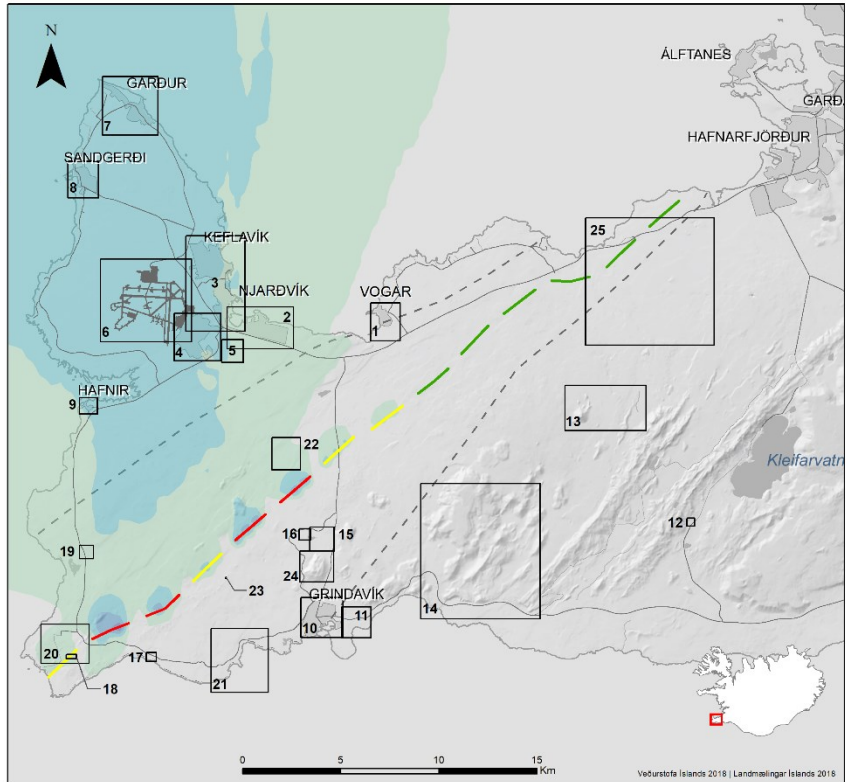
Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/kist:  $\geq 14000 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 270 kg/s

Áherslusvæði  
Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

Minnstu líkur

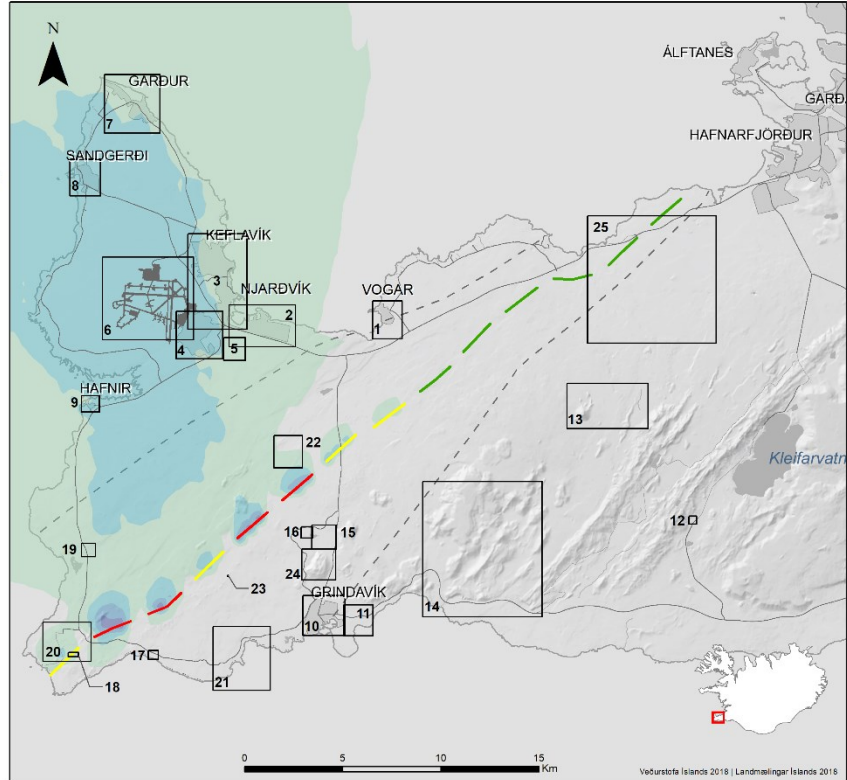
Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 24. Líkur á gasmengun af völdum goss með litlu gasflæði (270 kg/s) frá Reykjanesi-Svartsengi. Fimm mismunandi gasmengunarstyrkir eru skoðaðir: (A)  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , loftgæði scemileg, B)  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , loftgæði óholl fyrir viðkvæma, C)  $2.600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vinnuverndarmörk í 15 mín, loftgæði óholl, D)  $9.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , loftgæði mjög óholl og E)  $14.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hættuástand (Tafla 8). Litaðar línur sýna hermigosupptök sem hefur verið gefið mismunandi vægi eftir líkindum á opnun gossprungna við líkindamat gasmengunar (Mynd 8, Mynd 23). Grænn táknar 0–5% líkur, gulur 5–10% líkur og rauður >10% líkur (sjá nákvæm gildi í Viðauka III). Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 4).

**Mikið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥350 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **1900 kg/s**

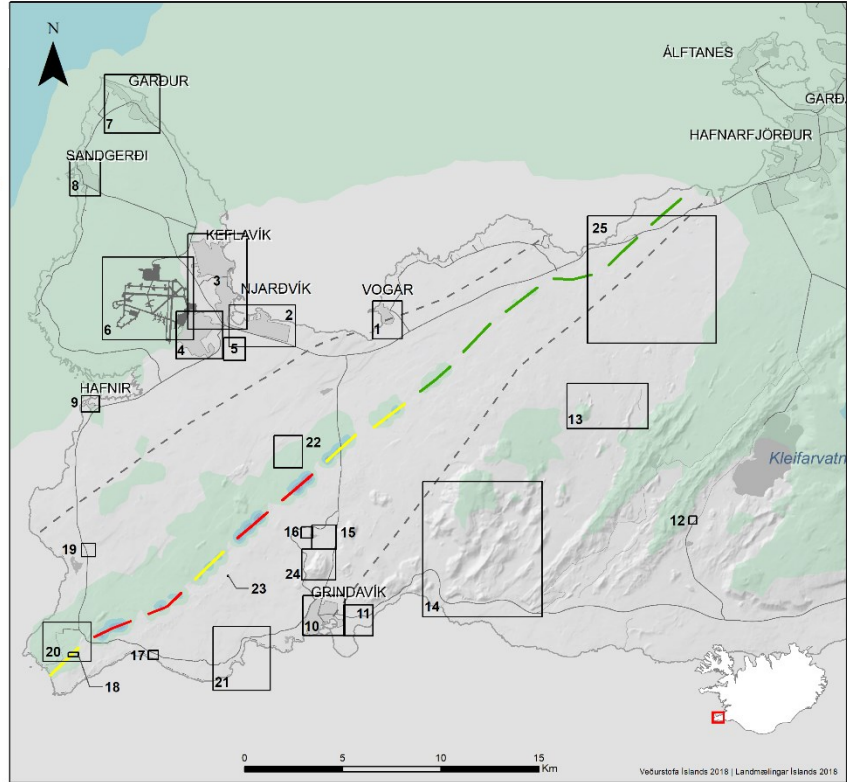
- Áherslusvæði
- Mörk sprunguveims
- Líkur á gosi á sprungu**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar**
- Mestu líkur
- 
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 24.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Mikið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥600 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **1900 kg/s**

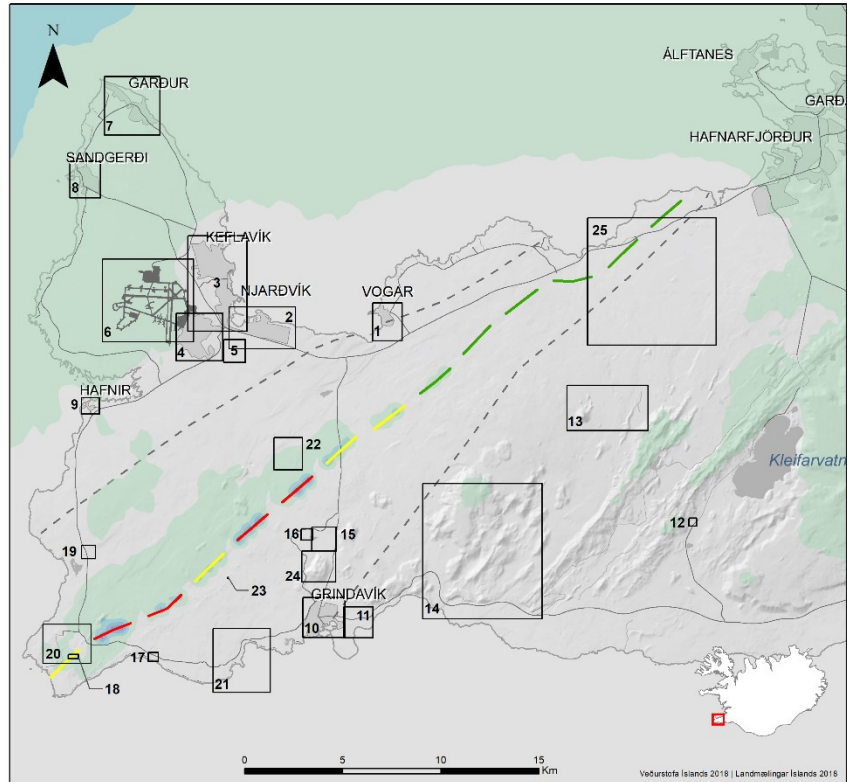
- Áherslusvæði
- Mörk sprunguveims
- Líkur á gosi á sprungu**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar**
- Mestu líkur
- 
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Mikið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

Áherslusvæði  
Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

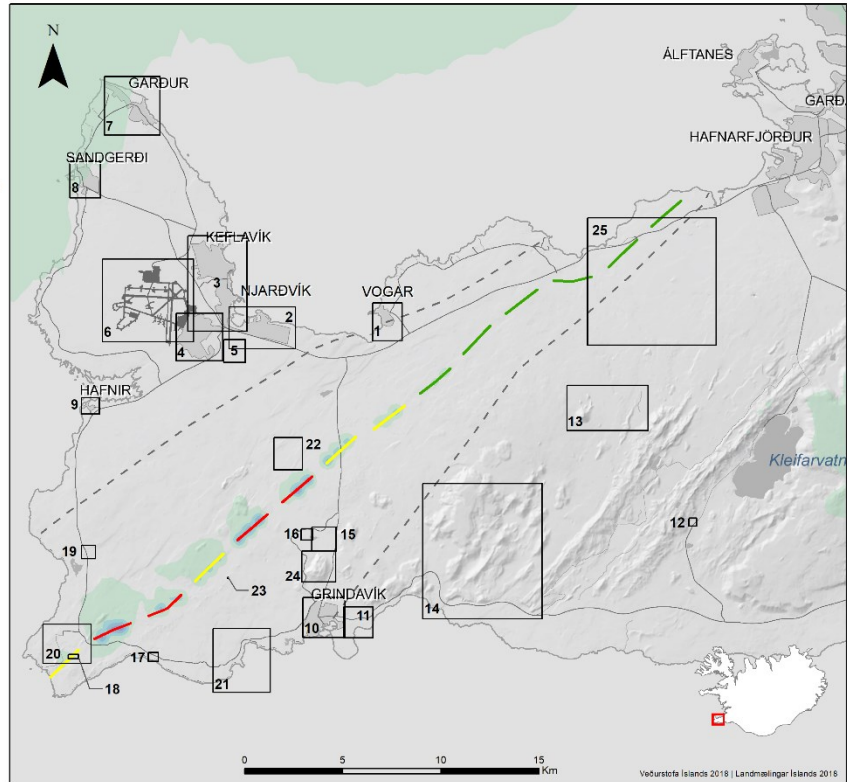
Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Mikið gasflæði Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 9000 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

Áherslusvæði  
Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

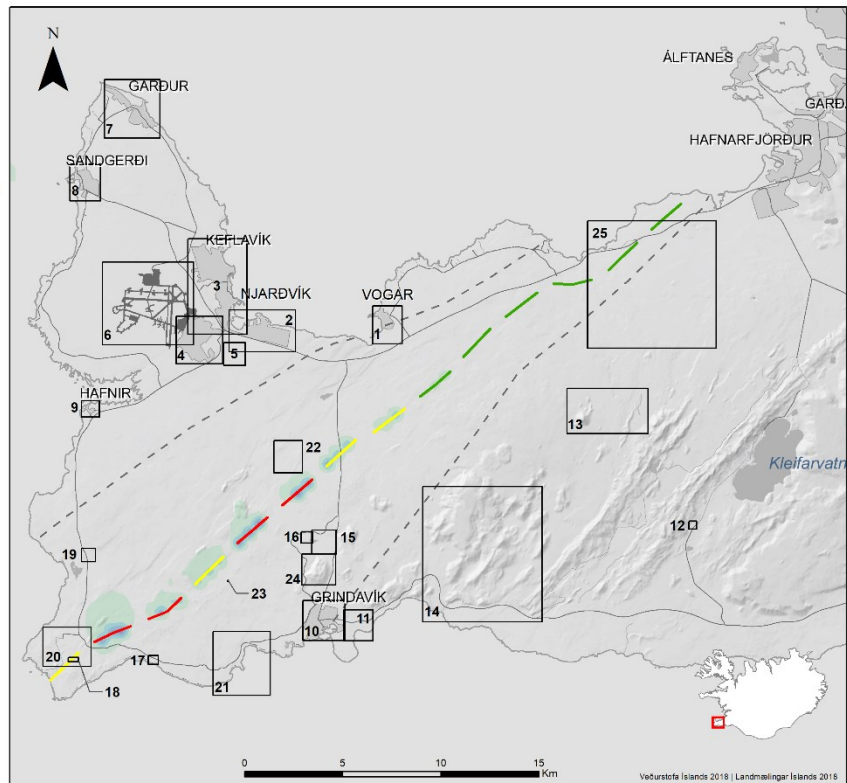
Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018





**Mikið gasflæði  
Reykjanes-Svartsengi**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/kist:  $\geq 14000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

Áherslusvæði

Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

Minnstu líkur

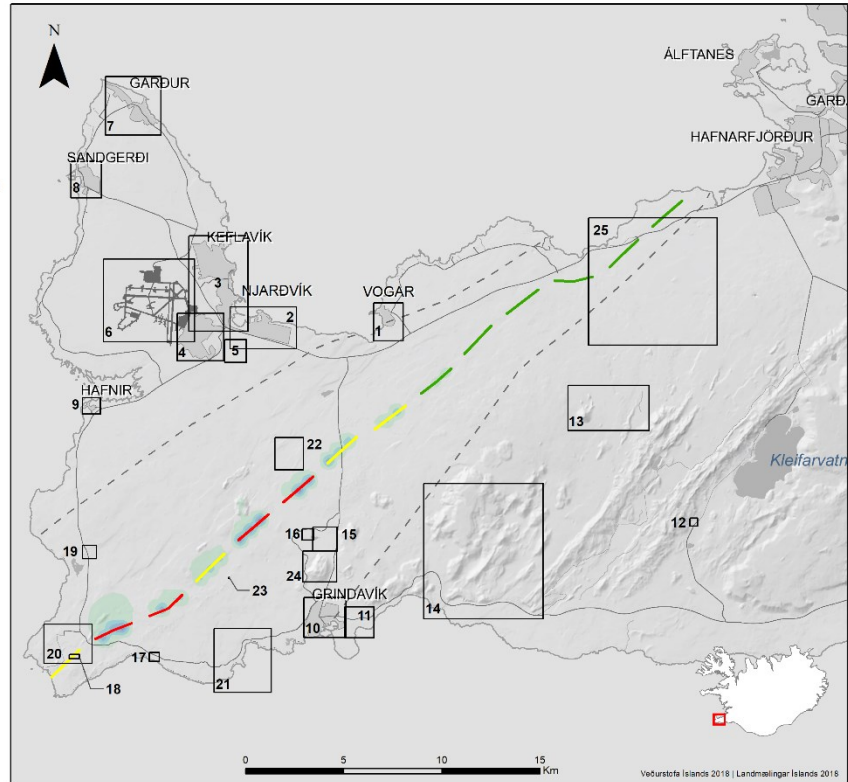
Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t.vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 23.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 25. Líkur á gasmengun af völdum goss með miklu gasflæði (1900 kg/s) frá Reykjanesi-Svartsengi. Sjá myndatexta Mynd 17.

### 3.3.3 Krýsuvík

Líkt og fyrir gasmengun frá Reykjanesi og Svartsengi eru mestar líkur á gasmengun við jörðu frá gossprungum Krýsuvíkur næst gossprungum og NV við þær. Á sama hátt er stór hluti Reykjaneskaga útsettur fyrir gasmengun við jörðu þegar  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  þröskuldurinn er skoðaður hvort sem er frá gosi sem hefur lítið gasflæði (270 kg/s, Mynd 26) eða mikið (1900 kg/s; Mynd 27). Gossprungur sem eru taldar líklegastar til að gjósa (Mynd 8, Mynd 23) eru sunnan til í kerfinu og þar eru því meiri líkur á að verða fyrir gasmengun. Austan við gossprungurnar eru minni líkur á gasmengun. Þau svæði sem liggja hæst í landinu (sbr. Fagradalsfjall) og hluti Miðnesheiðar sýna mestu líkur á gasmengun en hverfandi líkur eru á að gasmengun nái mjög óhollum loftgæðum eða hættumörkum ( $9.000$ ;  $14.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) við jörðu á Reykjaneskaga. Mengun frá gossprungum innan Krýsuvíkurkerfisins veldur gasmengun á Miðnesheiði eins og gossprungur innan Reykjanes-Svartsengis, sérstaklega þegar um er að ræða gos með litlu gasflæði.

A)

**Lítið gasflæði Krýsuvík**

**Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð**

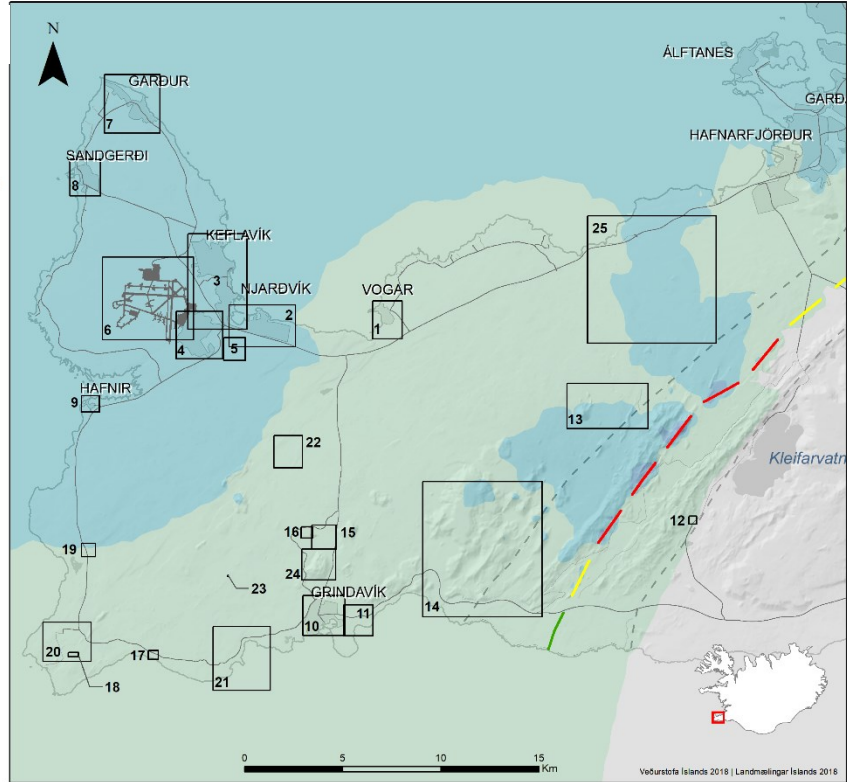
Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥350 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **270 kg/s**

- Åherslusvæði
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosi á sprungu
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.  
Útlínur sprungusveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Viðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



B)

**Lítið gasflæði Krýsuvík**

**Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð**

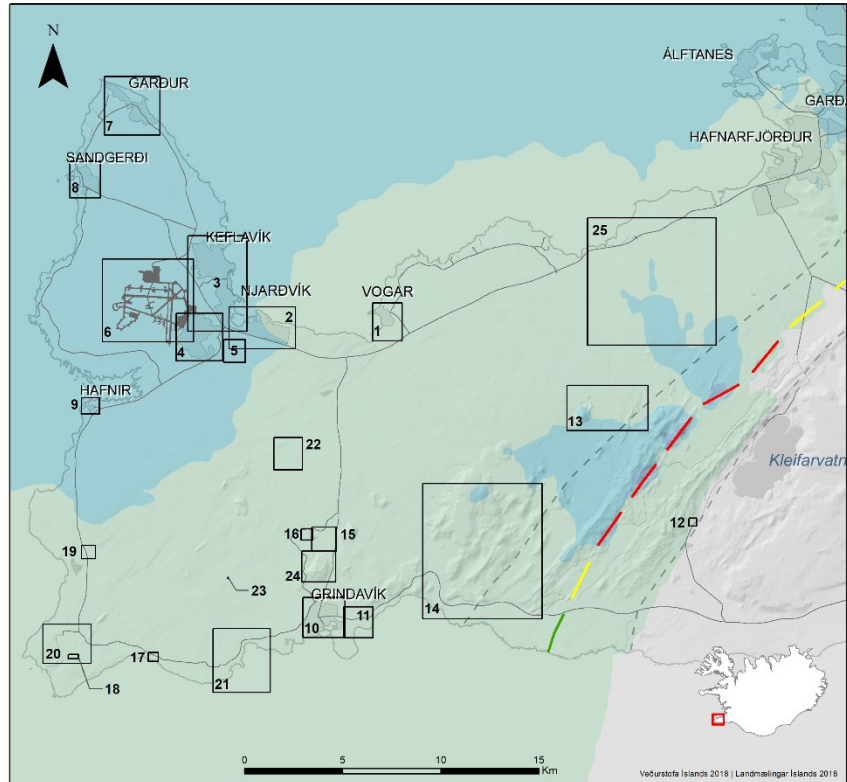
Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥600 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **270 kg/s**

- Åherslusvæði
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosi á sprungu
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.  
Útlínur sprungusveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Viðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Krýsuvík**

**Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð**

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥2600 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **270 kg/s**

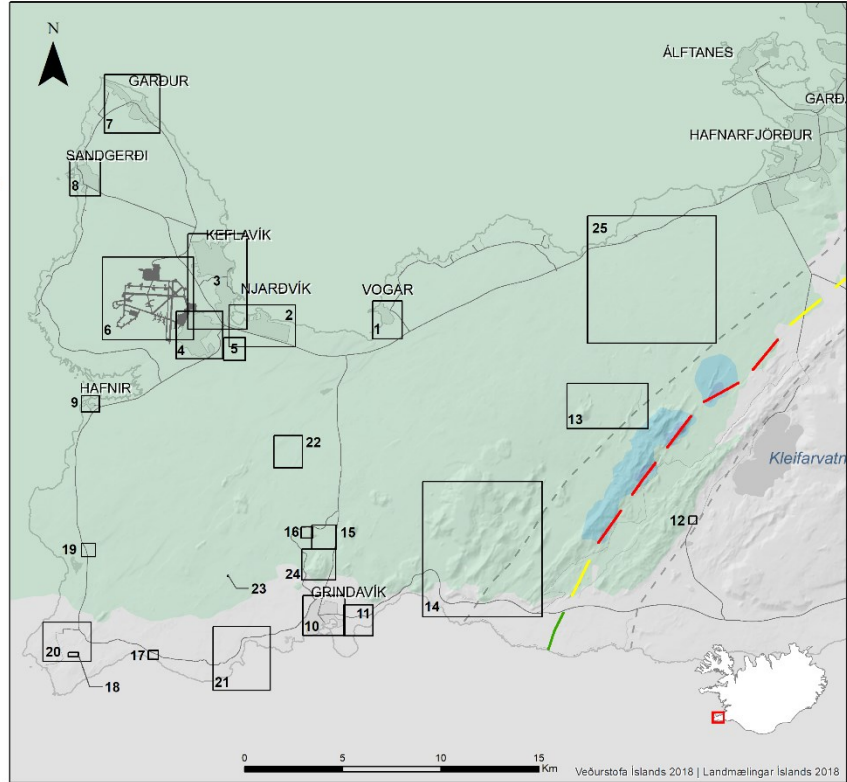
- Áherslusvæði
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosi á sprungu**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Krýsuvík**

**Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð**

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥9000 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **270 kg/s**

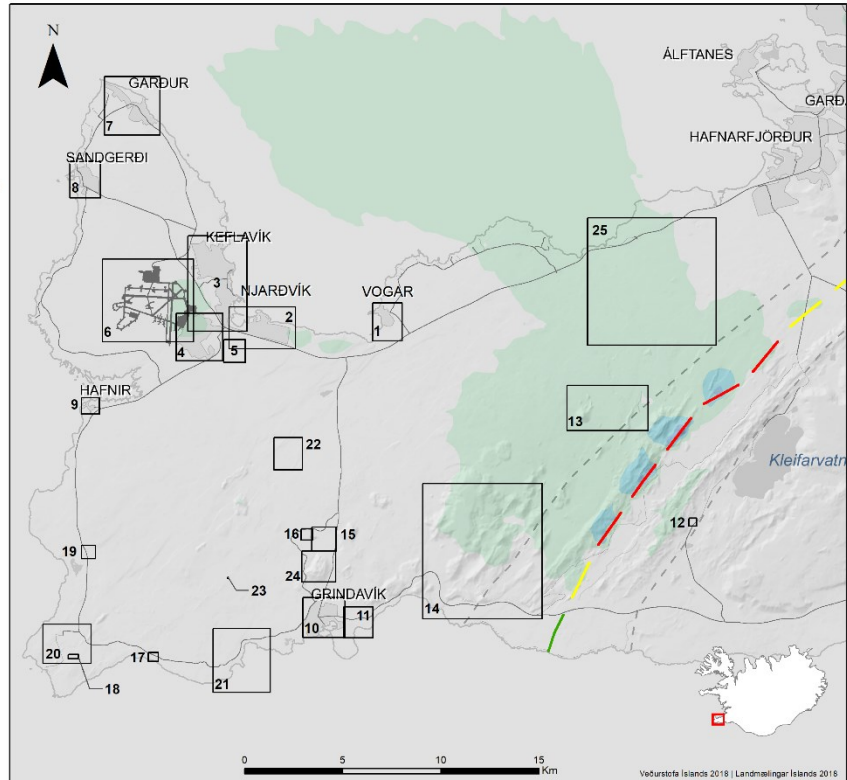
- Áherslusvæði
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosi á sprungu**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Lítið gasflæði Krýsuvík**

**Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð**

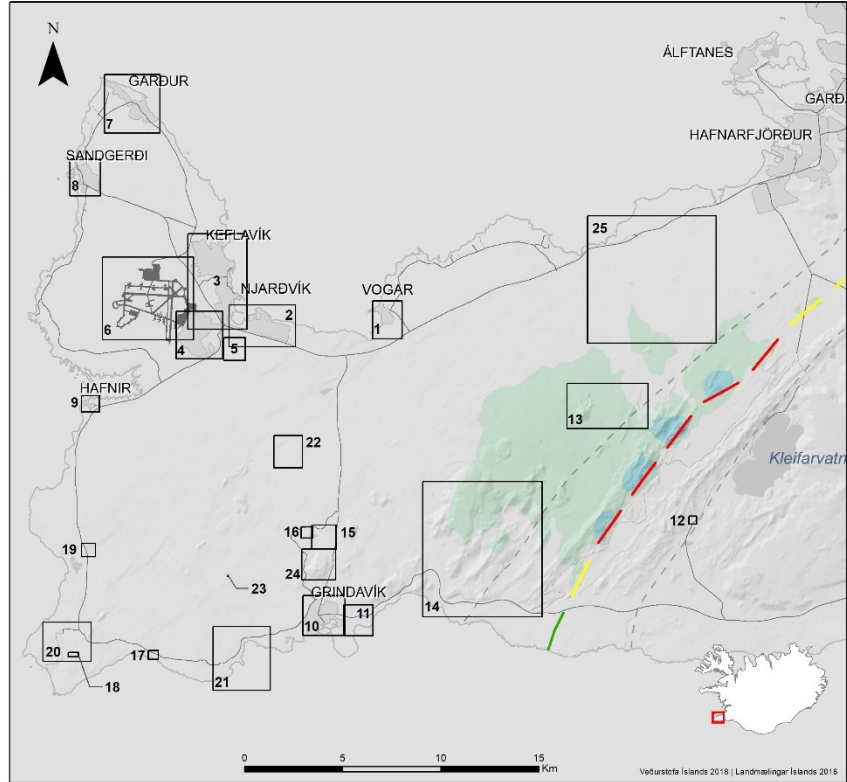
Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥14000 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **270 kg/s**

- Áherslusvæði
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosi á sprungu
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.  
Útlínur sprungusveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 26. Líkur á gasmengun af völdum goss með litlu gasflæði (270 kg/s) frá Krýsuvíkurkerfinu. Sjá myndatexta Mynd 17.

**Mikið gasflæði Krýsuvík**

**Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð**

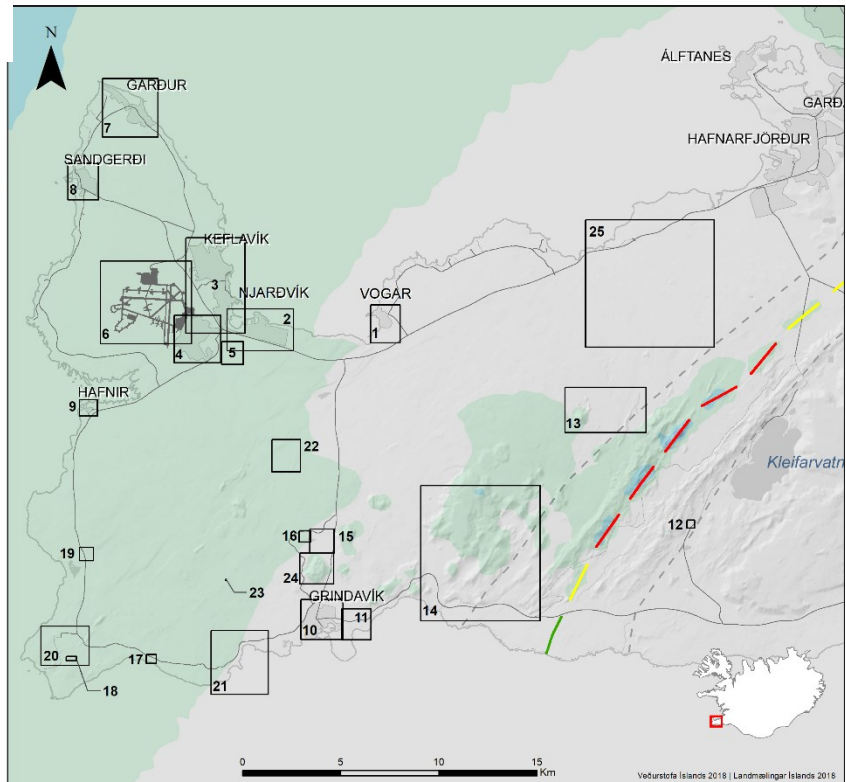
Styrkur SO<sub>2</sub>/klst: **≥350 µg/m<sup>3</sup>**  
Flæði SO<sub>2</sub>: **1900 kg/s**

- Áherslusvæði
- Mörk sprungusveims
- Líkur á gosi á sprungu
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.  
Útlínur sprungusveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Víðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



B)

**Mikið gasflæði Krýsuvík**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/kist:  $\geq 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

Áherslusvæði

Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

Minnstu líkur

Minnstu líkur

Minnstu líkur

Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

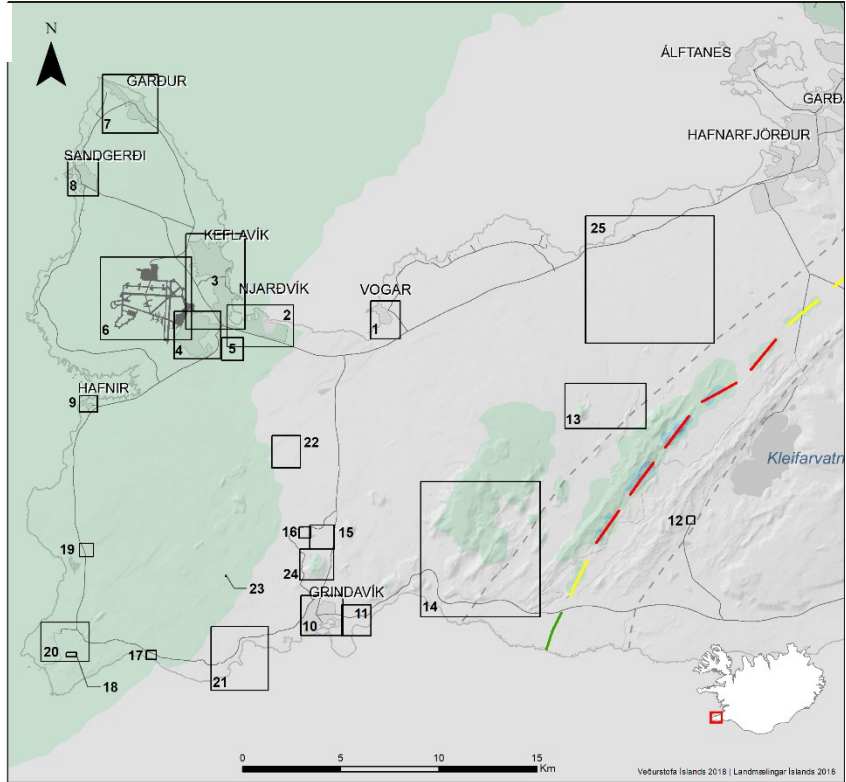
Viðmiðun: ISN93

Dagsetning: 21.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



C)

**Mikið gasflæði Krýsuvík**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/kist:  $\geq 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

Áherslusvæði

Mörk sprungusveims

Líkur á gosi á sprungu

Mestu líkur

Minnstu líkur

Líkur á styrk mengunar

Mestu líkur

Minnstu líkur

Minnstu líkur

Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

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

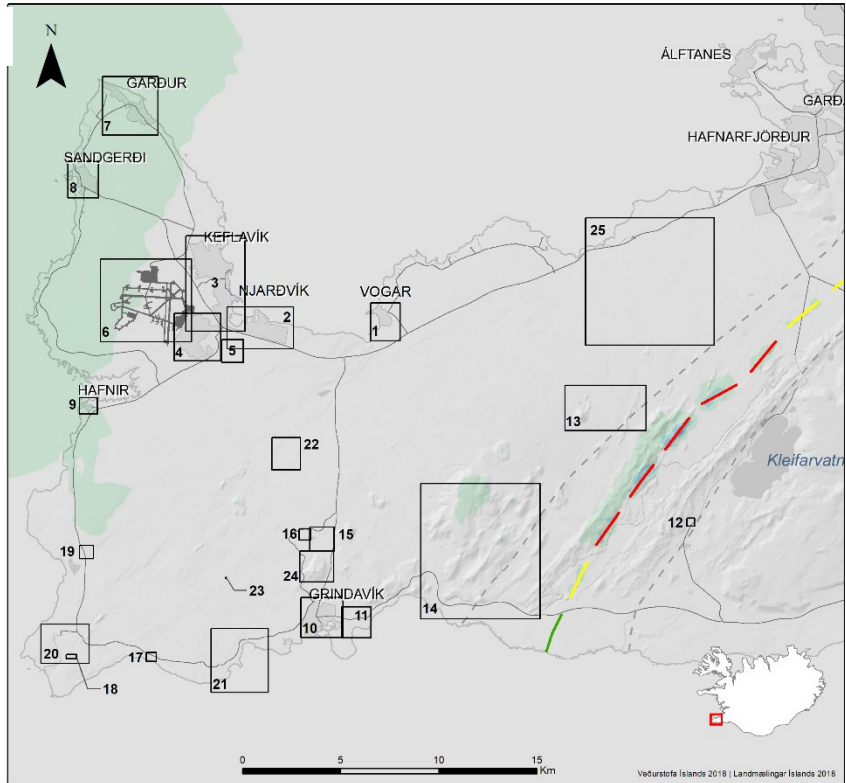
Viðmiðun: ISN93

Dagsetning: 21.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Mikið gasflæði Krýsuvík**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 9000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

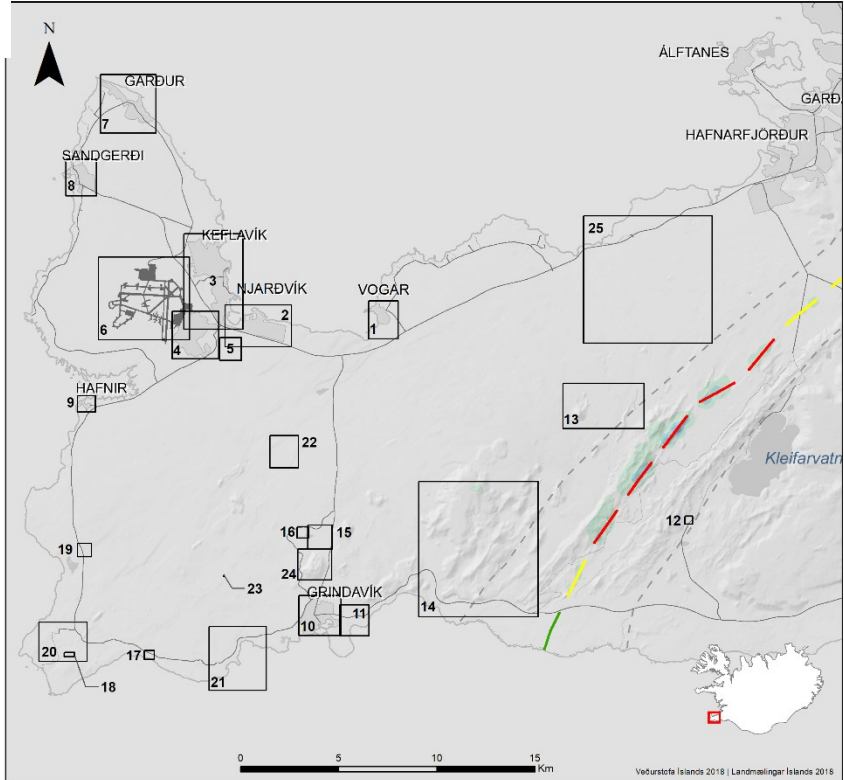
Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

- Áherslusvæði
- Mörk sprunguveims
- Líkur á gosi á sprungu**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.  
Útlínur sprunguveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

Viðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Mikið gasflæði Krýsuvík**

Vegnar líkur á SO<sub>2</sub> mengun við jörð

Styrkur SO<sub>2</sub>/klst:  $\geq 14000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

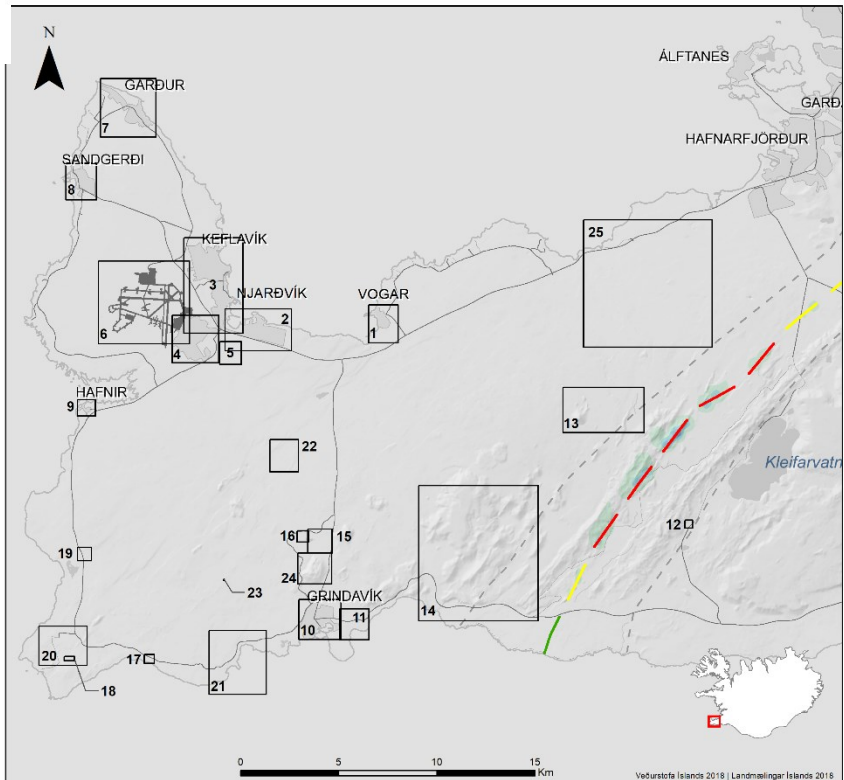
Flæði SO<sub>2</sub>: 1900 kg/s

- Áherslusvæði
- Mörk sprunguveims
- Líkur á gosi á sprungu**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Líkur á styrk mengunar**
- Mestu líkur
- Minnstu líkur
- Mestu líkur
- Minnstu líkur

**Athugasemd:**

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.  
Útlínur sprunguveims fengnar af Höggunarkorti (1:600000), Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 2009.

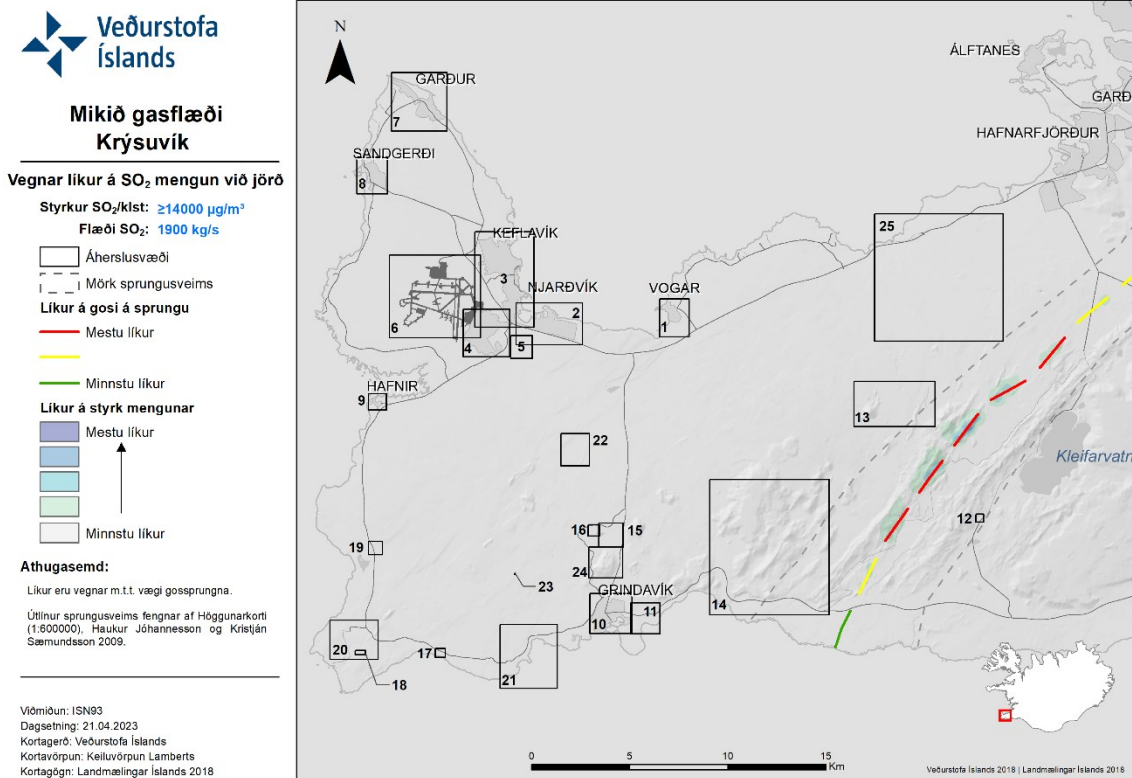
Viðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 21.04.2023  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 27. Líkur á gasmengun af völdum goss með miklu gasflæði (1900 kg/s) frá Krýsuvíkurkerfinu. Sjá myndatexta Mynd 17.

### 3.3.4 Gasvá eftir áherslusvæðum og innviðum

Miðað við forsendur og veðurgögn (Era Interim árin 1981–1990; ECMWF, 2011) sem notuð eru við gasdreifingarhermanir eru meiri líkur á viðfeðnum gasmengunaráhrifum við jörðu á Reykjaneskaga frá gosum á eldstöðvakerfi Krýsuvíkur en gosum frá Reykjanesi-Svartsengi (sjá Mynd 24 til Mynd 27)



). Miðnesheiði er það svæði á Reykjaneskaga sem líklegast er til að verða fyrir gasmengun, sérstaklega nyrsti hluti hennar. Á Miðnesheiði eru flest þéttbýli Reykjaneskaga, Reykjanesbær (Keflavík, Njarðvík, Ásbrú) og Suðurnesjabær (Garður og Sandgerði). Þessir staðir eru allir fremur berskjaldaðir fyrir gasmengun við 350 og 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en þá eru loftgæði sæmileg en óholl fyrir viðkvæma. Áhrif á heilsufar eru í raun ólíkleg en mælt er með að slökkva á loftræstingu og viðkvæmum einstaklingum er ráðlagt að draga úr áreynslu utandyra (<https://www.ust.is/loft/eldgos/loftmengun-fra-eldgosum/>). Mjög litlar líkur eru á að hættuástand skapist (14.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) í öllum þéttbýlissstöðunum (Mynd 24 til Mynd 27) en það gæti þó gerst við slæmar aðstæður frá gosi með litlu gasflæði á kerfi Reykjanes-Svartsengis. Gasmengun í þéttbýlissvæðum er líklegust af þeim styrk sem hægt er að takast á við með því að loka hífylum og draga úr áreynslu utandyra.

Keflavíkurflugvöllur, staðsettur á Miðnesheiði, er fjölsóttasti ferðamannastaður á Reykjaneskaga en hann, ásamt Bláa lóninu, er eini ferðamannastaðurinn þar sem hægt er að takast á við gasmengun með lokun og að halda fólki innandyra. Aðrir fjölsóttir ferðamannastaðir eru utandyra og fólk kemst ekki inn til að draga úr því hve útsett það er fyrir menguninni (sjá nr. Ferðamannastaða í Tafla 4 og á Mynd 24 til Mynd 27). Iðnaðarsvæði (sjá nr. iðnaðarsvæða í Tafla 4 og á Mynd 24 til Mynd 27) eru meira útsett fyrir gasmengun með uppruna innan Krýsuvíkurkerfisins en Reykjanes-Svartsengis.

Miðnesheiði er líklegust til að verða fyrir gasmengun miðað við niðurstöður hermana en þar er mesta þéttbýli Reykjaneskagans en á sama tíma er auðveldast að skýla fólki fyrir mengun. Litlar líkur er á að hættuástand skapist (14.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Einstakar sviðsmyndir og dekkstu sviðsmyndir sýna þó að hættuástand getur skapast nánast hvar sem er.

### 3.3.5 Dekkstu sviðsmyndir eftir áherslusvæðum

Dekkstu sviðsmyndir voru dregnar út úr niðurstöðum gasmengunarhermana fyrir þéttbýli, fjölsóttu ferðamannastaði og ákveðin iðnaðarsvæði á Reykjanesskaga (Tafla 4, Tafla 10, Tafla 11). 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 herra í landslagi enda nær gas fyrir til jarðar þar en í lögðum. Þetta getur útskýrt hvers vegna Fagradalsfjall og Keilir sem liggja herra í landinu en flest áhættusvæðin sýna oft háan styrk í dekkstu sviðsmyndum (Tafla 10, Tafla 11, Mynd 28 og Viðauki III).

Niðurstöður sýna að dekkstu sviðsmyndir á nánast öllum stöðum sem voru skoðaðir hafa SO<sub>2</sub> gildi yfir hættumörkum (>14.000 µg/m<sup>3</sup>; Tafla 10, Tafla 11 og Viðauki III). Gos með miklu gasflæði frá gossprungum á kerfum Reykjaness-Svartsengis valda oftast dekkstu sviðsmyndum (Mynd 28, Tafla 10, Tafla 11). Gos með lítið gasflæði frá gossprungum á kerfum Reykjaness-Svartsengis geta valdið mengun upp í tug þúsunda µg/m<sup>3</sup> en mesta hermda mengunin er rúmlega 100 þúsund µg/m<sup>3</sup> á Fagradalsfjalli (Tafla 10). Dekkstu sviðsmyndir frá gosi með miklu gasflæði frá Reykjanesi-Svartsengi geta valdið mengunarstyrk upp í hundruð þúsunda µg/m<sup>3</sup> en mesta hermda mengunin er rúmlega 800 þúsund µg/m<sup>3</sup> í Hvassahrauni og tæplega 500 þúsund µg/m<sup>3</sup> í Eldvörpum (Tafla 10) en 260.000 µg/m<sup>3</sup> er metinn lífshættulegur styrkur. Þessi hái styrkur fæst í Hvassahrauni við gos á sprungu nr. 14 sem er ólíkleg til að gjósa en í Eldvörpum næst þessi hái SO<sub>2</sub> styrkur í gosi á sprungu nr. 6 sem er innan líklegs eldsupptakasvæðis. Dekkstu sviðsmyndir í Grindavík og Vogum fara einnig yfir lífshættulegan styrk en á báðum stöðum eru gosupptök á gossprungum sem eru ólíklegar til að gjósa.

Dekkstu sviðsmyndir mengunar frá gosi með upptök innan Krýsuvíkurkerfisins eru flestar innan við 50 þúsund µg/m<sup>3</sup> (Tafla 11) en hæstu gildi fara upp fyrir 400 þúsund µg/m<sup>3</sup> frá gosi með litlu gasflæði og upp fyrir 500 þúsund frá gosi með miklu gasflæði. Gos með litlu gasflæði nær að byggja upp þetta háan styrk í Seltúni sem er tiltölulega nærri gosupptökum og styrkurinn byggist upp frá gossprungu 3 sem er innan líklegs gosupptakasvæðis. Gos með miklu gasflæði frá Krýsuvíkurkerfinu nær þessum styrk á Keili sem má útskýra með hæð hans í landslagi en gossprungu 6 veldur þessari dekkstu sviðsmynd og hún er staðsett á svæði sem er líklegt gosupptakasvæði. Hæsta gildi dekkstu sviðsmynda er hermt í Hvassahrauni en sá styrkur myndast vegna gos frá gossprungu nr. 9 sem er ólíkleg til að gjósa.

*Tafla 10. Dekkstu sviðsmyndir gasmengunar frá hermigossprungum innan eldstöðvakerfa Reykjaness-Svartsengis. Gefin eru hæstu hermdu klukkustundargildi SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) á áherslusvæðum annars vegar frá gosi með lítið gasflæði (270 kg/s) og hins vegar með mikið gasflæði (1900 kg/s). Gossprungu nr. vísar til númers gossprungu sem framkallar sviðsmyndina en sjá má sprungu og númer þeirra á Mynd 23. Litur gossprungunúmers vísar til þess hve miklar líkur eru á að gossprungu muni gjósa skv. samandregnum MatHaz líkum (sjá Viðauka III, grænt <5%, gult 5–10%, rautt >10%). Einnig eru gefin hæstu gildi á áherslusvæðum frá gossprungum sem hafa meira en 10% líkur á að gjósa (Mynd 23). Tafla*

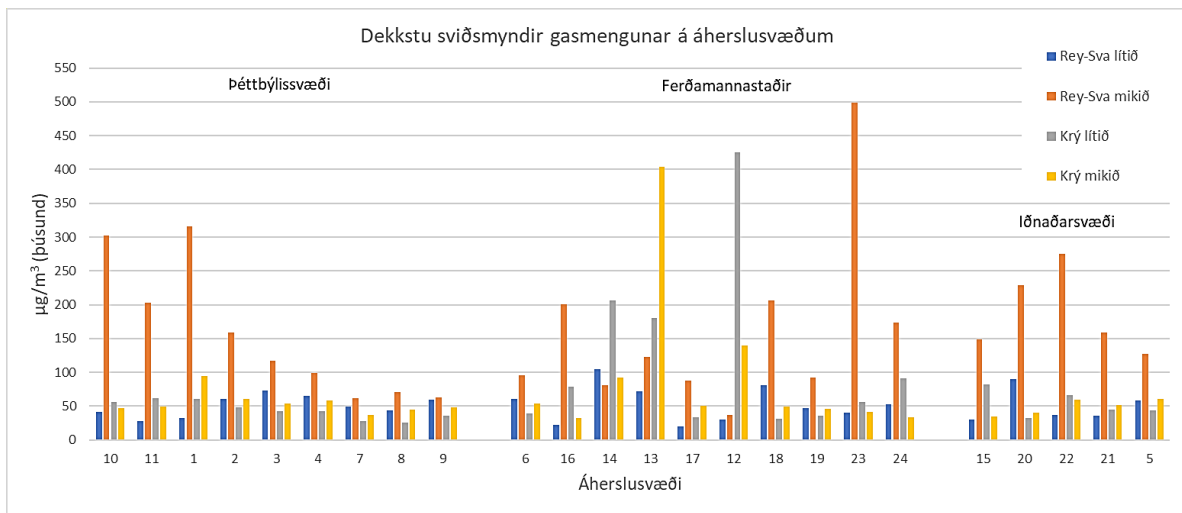


sem sýnir hæsta hermda gildi frá hverri gossprungu er í Viðauka III. Feitletrað eru gildi hærri en 260.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en það er lífshættulegur styrkur  $\text{SO}_2$ .

Reykjanes-Svartsengi		Lítið gasflæði: 270 kg/s. Hæð gosmakkar: 0-2 km				Mikið gasflæði: 1900 kg/s. Hæð gosmakkar: 0-4 km			
Nr áherslu- svæðis	Staður	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) frá gossprungu með mathaz líkur >10%	Gossprungu nr.	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Gossprungu nr.	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) frá gossprungu með mathaz líkur >10%	Gossprungu nr.	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Gossprungu nr.
Þéttbýli	10 Grindavík	21162	5	40959	7	83473	6	301828	7
	11 Þórkötlustaðahverfi	19058	6	27443	9	61074	6	203086	8
	1 Vogar	19421	3	32357	10	29263	6	316100	11
	2 Reykjanesbær-Njarðvík	42755	5	60655	8	23379	6	158634	11
	3 Reykjanesbær-Keflavík	46254	3	73587	9	18260	6	116724	12
	4 Reykjanesbær-Ásbrú	58233	3	65150	7	35161	6	98741	11
	7 Garður	33434	3	49410	11	12660	6	61676	12
	8 Sandgerði	43581	3	43581	3	18115	6	71073	12
	9 Reykjanesbær-Hafnir	60042	2	60042	2	63234	6	63234	6
Ferðamannastaðir	6 Keflavíkurlflugvöllur	53110	2	60373	7	29314	6	96211	12
	16 Bláa lónið	17999	6	21921	12	154148	6	200905	7
	14 Fagradalsfjall	56755	5	104157	8	32484	6	81438	9
	13 Keilir	26957	6	71794	8	43591	6	122531	10
	17 Brimketill	19649	2	20123	1	76983	6	88181	7
	12 Seltún	17780	6	30561	4	36698	6	36698	6
	18 Gunnhver	10223	5	81025	1	36115	6	206796	1
	19 Brú milli heimsálfa	47236	2	47236	2	91809	6	91809	6
	23 Eldvörp	18483	6	40125	4	498476	6	498476	6
	24 Þorbjörn	37233	6	52276	7	93470	6	173682	7
Iðnaðarsvæði og virkjanir	15 Svartsengi	21060	6	30388	7	51017	6	148880	7
	20 Reykjanesvirkjun	12445	6	89735	1	49402	6	228393	1
	22 Lágur vatnstökusvæði	36446	6	36446	6	29282	6	275703	7
	21 Iðnaðarsvæði Grindavíkur	22841	5	35898	4	159036	6	159036	6
	5 Tengivirki Ásbrú	45519	3	58691	7	30438	6	127099	11
	25 Hvasshraun	17684	5	66347	10	73943	6	801833	14

Tafla 11. Dekkstu sviðsmyndir gasmengunar á hverju áherslusvæði (Tafla 4) skv. hermunum frá hermigossprungum innan eldstöðvakerfis Krýsuvíkur. Sjá töflutexta við Tafla 10.

Krýsuvík	Nr áherslusvæðis	Staður	Lítið gasflæði: 270 kg/s. Hæð gosmakkar: 0-2 km				Mikið gasflæði: 1900 kg/s. Hæð gosmakkar: 0-4 km			
			Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) frá gossprungu með mathaz líkur >10%	Gossprunga nr.	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Gossprunga nr.	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) frá gossprungu með mathaz líkur >10%	Gossprunga nr.	Hæsta gildi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Gossprunga nr.
Péttylí	10	Grindavík	43451	3	55788	1	30529	6	47210	8
	11	Þórkötlustaðahverfi	52622	3	61808	2	31782	4	48937	8
	1	Vogar	60155	3	60155	3	37622	6	94055	9
	2	Reykjanesbær-Njarðvík	48028	3	48028	3	46589	6	60220	9
	3	Reykjanesbær-Keflavík	42957	3	42957	3	49357	6	53907	9
	4	Reykjanesbær-Ásbrú	41600	3	42133	2	48320	6	58264	1
	7	Garður	27869	3	27869	3	33809	6	37182	1
	8	Sandgerði	25949	3	25949	3	40576	3	44729	9
	9	Reykjanesbær-Hafnir	35430	3	35430	3	48291	6	48291	6
Ferðamannastaðir	6	Keflavíkflugvöllur	38721	3	38721	3	44765	6	54156	1
	16	Bláa lónið	79281	3	79281	3	32160	6	32160	6
	14	Fagradalsfjall	206481	3	206481	3	92187	6	92187	6
	13	Keilir	115124	3	180117	7	<b>403718</b>	6	<b>403718</b>	6
	17	Brimketill	29804	3	33887	2	30671	6	50263	2
	12	Seltún	<b>425249</b>	3	<b>425249</b>	3	139428	5	139428	5
	18	Gunnhver	31574	3	31574	3	24958	3	49370	2
	19	Brú milli heimsálfa	35789	3	35789	3	33278	3	46134	2
	23	Eldvörp	44275	3	55984	2	27252	3	41656	2
24	Þorbjörn	80059	3	90999	2	32435	5	34111	8	
Iðnaðarsvæði og virkjanir	15	Svartsengi	81636	3	81636	3	27583	5	34370	1
	20	Reykjanesvirkjun	32509	3	32509	3	28172	3	39996	1
	22	Lágar vatnstökusvæði	66698	3	66698	3	59827	6	59827	6
	21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	33466	3	44702	2	35317	3	51283	2
	5	Tengivirki Ásbrú	43691	3	44056	2	60972	6	60972	6
	25	Hvassahraun	68661	3	190085	8	75841	5	<b>560954</b>	9



Mynd 28. Dekkstu sviðsmyndir  $SO_2$  mengunar í þúsundum  $\mu g/m^3$  á hverja klukkustund eftir áherslusvæðum (sjá áherslusvæði í Tafla 4 og gildi í Tafla 10 og Tafla 11).

Dekkstu sviðsmyndir fyrir þéttbýli á Reykjanesskaga eru allar yfir 25 þúsund  $\mu g/m^3$  en Grindavík, Þórkötlustaðahverfi og Vogar fara yfir 200 þúsund  $\mu g/m^3$  í gosi frá gossprungum á Reykjanesi-Svartsengi í gosi með miklu gasflæði (Tafla 10). Ferðamannastaðirnir sem skoðaðir voru sýna ívið hærra styrk gasmengunar í dekkstu sviðsmyndum en þéttbýlin en dekkstu sviðsmyndir fyrir Eldvörp, Seltún, Keili, Fagradalsfjal, Gunnuhver og Bláa lónið fara yfir 200 þús  $\mu g/m^3$ . Sama má segja um Reykjanesvirkjun og vatnstökusvæðið í Lágum.

Dekkstu sviðsmyndir eru oftast myndaðar í gosum með miklu gasflæði (1900 kg/s) á eldstöðvakerfum Reykjaness-Svartsengis þrátt fyrir að Reykjanesskagi sé líklegri til að verða fyrir gasmengun í lægri mengunarþröskuldum frá Krýsuvíkurkerfinu. Á Reykjaness-Svartsengis kerfunum eru það oftast sprungur sem hafa <10% líkur á að gjósa sem valda dekkstu sviðsmyndum (grænar og gular tölur Tafla 10), en í Krýsuvík eru oftast gossprungur sem hafa >10% líkur sem valda dekkstu sviðsmyndum, sérstaklega þegar um er að ræða gos með litlu gasflæði (sjá Tafla 11).

### 3.3.6 Gasvá – samantekt

*Gasdreifingarhermanir ( $SO_2$ ) voru keyrðar frá miðlínunum Reykjaness-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.
- Verstu sviðsmyndir geta myndast í vindáttum sem eru ekki ríkjandi.
- Litlar líkur eru á alvarlegri gasmengun á Reykjanesskaga.
- Mestar líkur eru á gasmengun vestan megin við gossprungur en veður hverju sinni stjórnar hvert mengun dreifist.
- Í Eldvörpum, Seltúni og á Keili fara hermd  $SO_2$  gildi dekkstu sviðsmynda frá gossprungum sunnan megin á skaganum upp fyrir lífshættulegan styrk (260.000  $\mu g/m^3$ ).
- Í Grindavík, Vogum og Hvassahrauni fara hermd  $SO_2$  gildi dekkstu sviðsmynda einnig upp fyrir lífshættulegan styrk (260.000  $\mu g/m^3$ ) 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 raunímagögn 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 SO<sub>2</sub> 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.

### **3.3.7 Gasspár og hvernig þær raungerðust (m.v. gosið í Fagradalsfjalli árið 2021)**

Í gosinu í Fagradalsfjalli árið 2021 var vel fylgst með loftgæðum en 27 loftgæðamælistöðvar voru dreifðar um landið og 14 stöðvar voru í innan við 40 km rás frá gosupptökum (Whitty 2022). Þetta var, svo fremi sem við vitum, þéttasta loftgæðavöktunarkerfi eldgosamengunar sem sett hefur verið upp í heiminum. Stöðin sem var næst gosinu var staðsett á felli sem fékk viðurnefnið Gónhóll, í 0,6 km fjarlægð frá aðalgígnum. Nærri stöðinni var vinsæll útsýnisstaður þar sem fjöldi fólks kom saman og virti eldgosíð fyrir sér þar til hraun umkringdi fellið. Á þessari stöð mældist klukkustundastyrkur SO<sub>2</sub> 1372 sinnum yfir 350 µg/m<sup>3</sup> og hæsta klukkustundarmeðaltal sem mældist var 17.820 µg/m<sup>3</sup> (Whitty 2022). Mælt flæði í gosinu árið 2021 var oftast á bilinu 0-100 (kg/s) en fór þó upp í 400 kg/s en meðaltalsflæði þá 6 mánuði sem gosið stóð var 60 kg/s (Pfeffer o.fl., 2022). Á meðan eldgosinu stóð heimsóttu ~300,000 manns gosstöðvarnar og margir voru útsettir fyrir mikilli gasmengun.

Á meðan gosinu stóð keyrði Veðurstofan CALPUFF dreifingarlíkanið fyrir allt landið með 2 km upplausn. Klukkustundaspár sem sýndu SO<sub>2</sub> dreifingu og líkleg klukkustundagildi mengunar við jörðu voru gefnar út 72 klukkustundir fram í tímann (<https://dispersion.vedur.is/>). Veðurspár voru notaðar í líkaninu og þegar raunmælingar á SO<sub>2</sub> losun frá gíg bentu til breytinga á losun var dreifingarlíkanið uppfært en magn SO<sub>2</sub> losunar er eitt af þeim grunngildum sem þarf til að keyra líkanið. Rachel Whitty gerði samanburð á dreifingarspám og raunmælingum á SO<sub>2</sub> í doktorsritgerð sinni (2022) og ljóst var að líkanið stendur sig vel í að spá fyrir um hvert SO<sub>2</sub> mun dreifast. Á mælistöð í Dalsmára í Kópavogi spáði líkanið rétt fyrir um tilvist gasmengunar í 79% tilfella en í 21% tilfella var spáð fyrir um gasmengun sem mældist ekki. Í 80% tilfella var spá rétt um að gasmengun ætti sér ekki stað en í 20% tilfella mældist hún engu að síður (Whitty 2022). Þegar kom að spám um styrkleika mengunar stóð CALPUFF líkanið sig ekki eins vel en spáður styrkleiki var oft ofmetinn.

Í upphafi gossins árið 2021 voru gasdreifingarspár notaðar af yfirvöldum til að mæla með mótvægisáðgerðum svo hægt væri að draga úr áhrifum gasmengunar á viðkvæma einstaklinga. Á höfuðborgarsvæðinu var foreldrum ungra barna t.d. ráðlagt að láta þau ekki sofa úti og mælt var með því að halda leikskóla- og skólabörnum inni. Þar sem í ljós kom að líkanið spáði hærri gasstyrk en raungerðist var almenningi bent á að fylgjast með raunstyrk gasmengunar á loftgæði vefsíðu Umhverfisstofnunar (<https://loftgaedi.is>) þegar líkanið spáði því að gosmökkurinn legðist yfir. Þannig var almenningi gefið færi á að fylgjast með gasmengunarstyrk og taka upplýsta ákvörðun um það hvort loftgæði væru heilsusamleg eða -skaðleg á hverjum tíma.

Frá goslokum hefur verið unnið að því að bæta gasspárlíkanið svo spáður gasmengunarstyrkur verði áreiðanlegri í framtíðargosum. Mikilvægt er að spár séu raunhæfar og því er mikilvægt að halda áfram þróun á gasdreifingarlíkönunum svo ekki sé einungis hægt að spá fyrir um tilvist gasmengunar heldur styrk hennar líka.

### 3.4 Gjóska

Gjóska getur flust langar vegalengdir frá gosupptökum en hæð gosmakkar og vindátt stýra dreifingu gjósku. Útbreiðsla gjósku verður meiri með hækkingu 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 veggi. Gjóska hefur mest áhrif þegar hún fellur upprunalega til jarðar en eftir gjóskufall getur endurflutningur gjósku haft slæm áhrif á loftgæði og skyggni í langan tíma.

#### 3.4.1 Forsendur og aðferðir líkanhermana

Gjóskudreifingarhermanir voru gerðar með líkaninu VOL-CALPUFF sem hermir dreifingu gosfna <6,4 cm í þvermál. Einungis var unnið með eina stærð goss (0,1 km<sup>3</sup>; Miðaldalagið er fyrirmynd, sjá Viðauka II) og ein gosupptök sem staðsett voru 1,5 km SV af Reykjanestá. Annars vegar var hermt stutt gos með háan gosmökk og hins vegar langt gos með lágan gosmökk (sjá frekar aðferðafræði í Viðauka II) en þar sem um sama magn gosfna er að ræða er útstreymishraði mismunandi sem veldur því að gosmökkur verður mishár.

Niðurstöður byggja á alls 1000 hermunum, 500 fyrir hvora ofangreinda gosgerð, þar sem gjóskudreifing úr tveimur mismögnum gosum af sömu stærð voru hermd (0,1 km<sup>3</sup>, annars vegar 4 klst þar sem hæð gosmakkar nær 9–15 km, og hins vegar 72 klst þar sem hæð gosmakkar nær 3–7 km (sjá Tafla 12). Með því að leggja saman niðurstöður allra gjóskudreifingarhermana og skoða tíðni gjóskufalls á hvert svæði fengust líkur á gjóskufalli af ákveðnu magni (og þykkt). Þar sem hermanir eru einungis gerðar frá einum gosupptökum eru ekki forsendur til að skoða breytileika m.t.t. breytilegs vægis gossprungna eins og hefur verið gert fyrir bæði hraunrennslis- og gasvá.

*Tafla 12 Upphafsforsendur og kennistærðir sem notaðar eru við hermun gjóskudreifingar. Kennistærðir Miðaldalagsins eru notaðar sem viðmið þar sem þær eru þekktar (Magnús Á. Sigurgeirsson, 1992; Agnes Ösp Magnúsdóttir, 2015).*

Forsendur	Langt gos	Stutt gos
Staðsetning gosupptaka	63.8061; -22.7370	63.8061; -22.7370
Ráðius gosupptaka (m)	10	25
Uppstreymishraði (exit velocity; m/s)	60	240
Magn vatnsgufu (wt%)	0,1	0,1
Hitastig kviku í gosupptökum (K)	1100	1100
Rúmmál nýfallinnar gjósku (km <sup>3</sup> )	0,1*	0,1*
Eðlisþyngd gjósku (kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000
Þyngd gjósku (kg)	1*10 <sup>11</sup>	1*10 <sup>11</sup>
Lengd goss (klst)	72	4
Útstreymishraði (mass flow rate; kg/s)	3,4 x10 <sup>5</sup>	8,5 x10 <sup>6</sup>
Hæð gosmakkar (km)	3-7	9-15
Heildarkornastærðardreifing (TGSD)	R-1226°	R-1226°
Lengd CALPUFF keyrslu (klst)	96	48
Fjöldi hermana	500	500

\*Magnús Á. Sigurgeirsson, 1992

°Agnes Ösp Magnúsdóttir, 2015

Meira en 25% líkur eru á að allur Reykjaneseskagi verði fyrir amk. 1 mm þykku gjóskufalli (efsta Mynd 29 (langt gos) og efsta Mynd 30 (stutt gos)) hvort sem er frá löngu eða stuttu gosi (lágur eða hár gosmökkur) sem samræmist ríkjandi vindáttum á svæðinu í >3000 m hæð (<700 hPa; Mynd 5). Gjóskufall af þessari þykkt frá löngu gosi (lægri gosmökkur) hefur víðtækari áhrif en stutt gos en gróflega má segja að 50–100% líkur séu á gjóskufalli af þessari þykkt á öllu svæði vestan Trölladyngju og stór hluti þeirra áherslusvæða sem skoðuð eru falla innan þess svæðis þar sem 50–75% líkur eru á gjóskufalli. Sé stutt gos og hár gosmökkur skoðaður dregst svæðið sem hefur 50–100% líkur á 1 mm gjóskufalli saman en engu að síður eru flest áherslusvæði enn innan þess svæðis þar sem 50–75% líkur eru á gjóskufalli af þessari stærðargráðu.

Þegar gjóskufall sem nær 10 mm þykkt er skoðað er svipaða sögu að segja (mið Mynd 29 (langt gos) og mið Mynd 30 (stutt gos)), vestanverður skaginn er berskjaldaður fyrir gjóskufalli þó minni líkur séu á því að þessi gjóskuþykkt safnist upp. Líkur á 10 mm gjóskufalli aukast er nær dregur upptökum en í stuttu gosi (hár gosmökkur) dregur úr líkum á þetta þykku gjóskufalli næst upptökum (Reykjanestá). Þetta skýrist af því hve hátt upp efni berst í gosmekki sem veldur því að það berst lengra frá upptökum áður en það fellur aftur til jarðar og eins því að einungis dreifing finasta efnis (<6,4 cm) er hermd. Líkur á að 100 mm gjóskulag myndist eru hverfandi á vestanverðum Reykjaneseskaga í stuttu gosi (<0,5%) og í löngu gosi eru <25% líkur á þetta þykkt gjóskulag safnist upp innan ~15 km fjarlægðar frá upptökum. Í meiri fjarlægð eru líkur á þykku gjóskulagi hverfandi eins og í stuttu gosi (neðsta Mynd 29 (langt gos) og neðsta Mynd 30 (stutt gos)).



### Langt gos Reykjanes-Svartsengi

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: 1 kg/m<sup>2</sup>

Þykkt gjóskulags: 1 mm

Eðlisþyngd gjósku: 1000 kg/m<sup>3</sup>

☐ Áherslusvæði

⊙ Gosstöðvar

• Tengivirki

--- Rafmagnsliða

Líkur (%)

0 - 0.5

0.5 - 1

1 - 5

5 - 25

25 - 50

50 - 75

75 - 100

#### Athugasemd:

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

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkis.

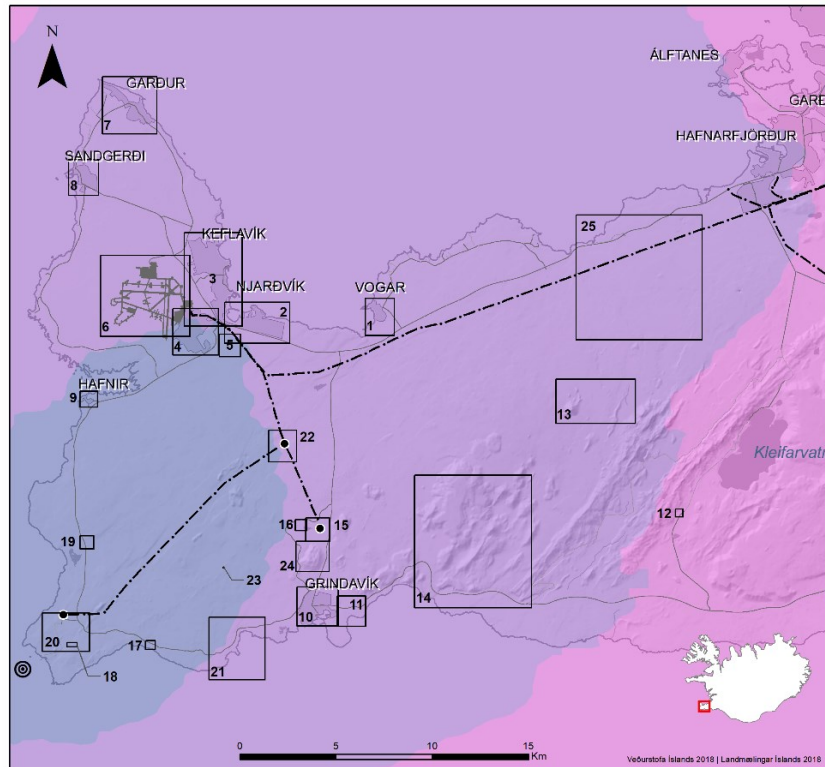
Víðmíun: ISN93

Dagsetning: 25.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Langt gos Reykjanes-Svartsengi**

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: **10 kg/m<sup>2</sup>**

Þykkt gjóskulags: **1 cm**

Eðlisþyngd gjósku: **1000 kg/m<sup>3</sup>**

☐ Áherslusvæði

⊙ Gosstöðvar

• Tengivirkir

--- Rafmagnslína

Líkur (%)

0 - 0.5

0.5 - 1

1 - 5

5 - 25

25 - 50

50 - 75

75 - 100

**Athugasemd:**

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

Gögn um innvið língin frá og birt með leyfi Værkis.

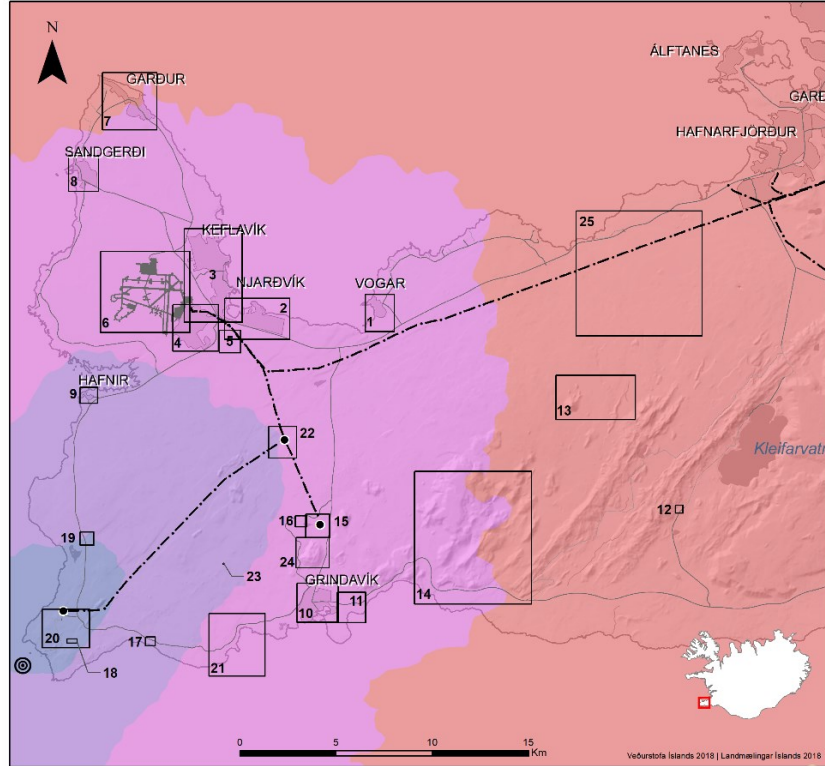
Víðmiðun: ISN93

Dagsetning: 25.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lambert

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



**Langt gos Reykjanes-Svartsengi**

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: **100 kg/m<sup>2</sup>**

Þykkt gjóskulags: **10 cm**

Eðlisþyngd gjósku: **1000 kg/m<sup>3</sup>**

☐ Áherslusvæði

⊙ Gosstöðvar

• Tengivirkir

--- Rafmagnslína

Líkur (%)

0 - 0.5

0.5 - 1

1 - 5

5 - 25

25 - 50

50 - 75

75 - 100

**Athugasemd:**

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

Gögn um innvið língin frá og birt með leyfi Værkis.

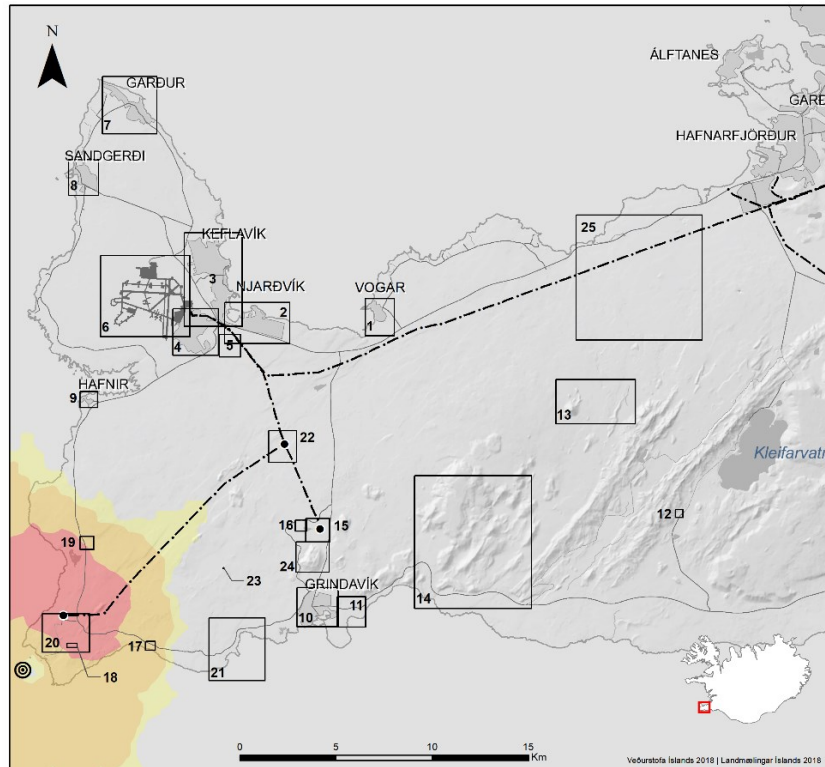
Víðmiðun: ISN93

Dagsetning: 25.04.2023

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lambert

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



Mynd 29. 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 Reykjanesstá. Gosmökkur nær 3–7 km hæð. Þrjár mismunandi þyngdir eru skoðaðar: 1 (efsta mynd), 10 (mið mynd) og  $100 \text{ kg/m}^2$  (neðsta mynd). Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 4).

### Stutt gos Reykjanes-Svartsengi

Líkur á ákveðnu gjóskumagni

Flatarmálsþyngd: 1 kg/m<sup>2</sup>

Þykkt gjóskulags: 1 mm

Eðlisþyngd gjósku: 1000 kg/m<sup>3</sup>

- Áherslusvæði
- ⊙ Gosstöðvar
- Tengivirkir
- Rafmagnslína

Líkur (%)

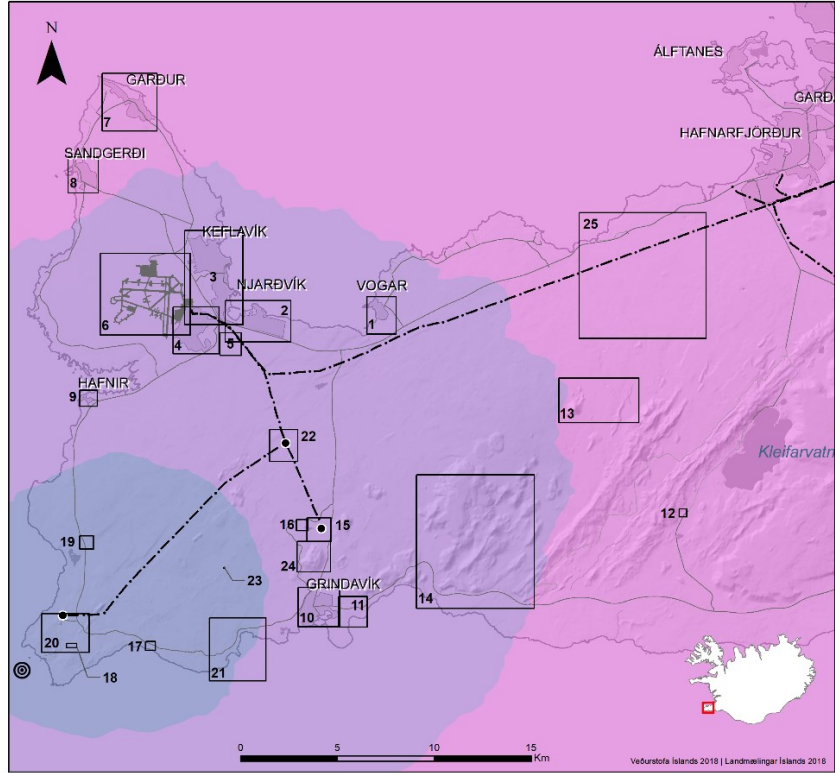
- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 5
- 5 - 25
- 25 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100

**Athugasemd:**

Gostími stutts goss er 4 klst en hermun er keyrð í 48 klst.

Gögn um innvið 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/m<sup>2</sup>

Þykkt gjóskulags: 1 cm

Eðlisþyngd gjósku: 1000 kg/m<sup>3</sup>

- Áherslusvæði
- ⊙ Gosstöðvar
- Tengivirkir
- Rafmagnslína

Líkur (%)

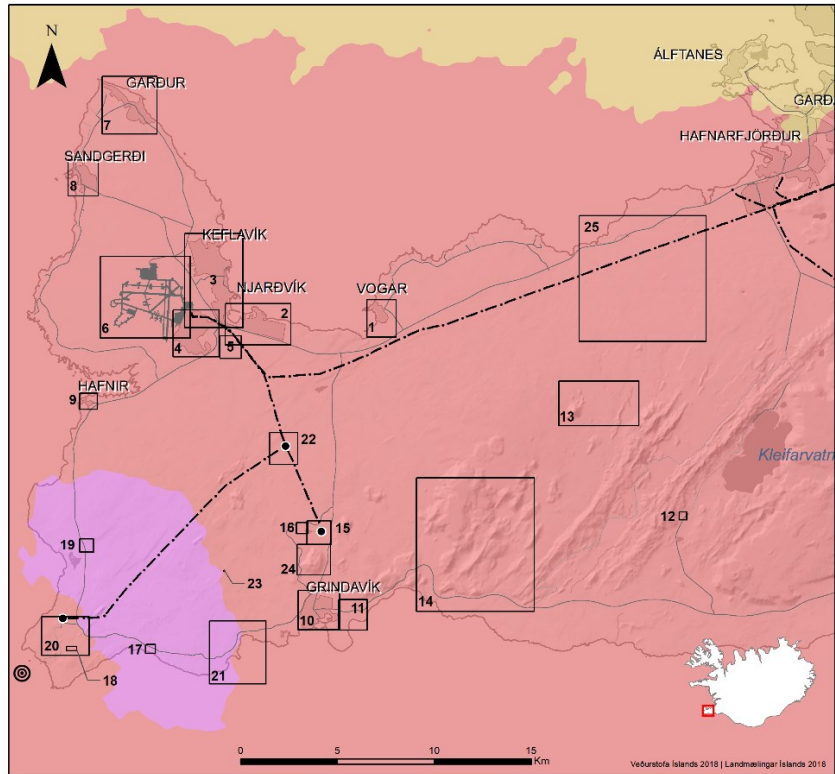
- 0 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 5
- 5 - 25
- 25 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100

**Athugasemd:**

Gostími stutts goss er 4 klst en hermun er keyrð í 48 klst.

Gögn um innvið 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: 100 kg/m<sup>2</sup>

Þykkt gjóskulags: 10 cm

Eðlisþyngd gjósku: 1000 kg/m<sup>3</sup>

- Áherslusvæði
- ⊙ Gosstöðvar
- Tengivirkir
- Rafmagnsliða

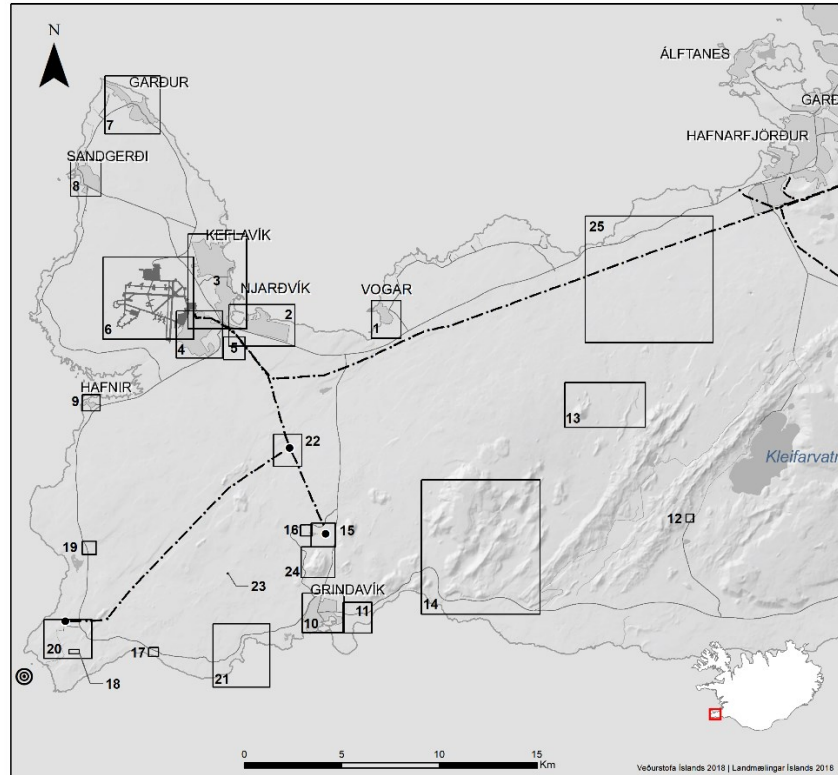
- Líkur (%)
- 0 - 0.5
  - 0.5 - 1
  - 1 - 5
  - 5 - 25
  - 25 - 50
  - 50 - 75
  - 75 - 100

**Athugasemd:**

Gostími stutts goss er 4 klst en hermun er keyrð í 48 klst.

Gögn um innvið fengin frá og birt með leyfi Verkis.

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



Mynd 30. Líkur á að svæði verði fyrir gjóskufalli frá gosi sem er 0,1 km<sup>3</sup> og stendur í 4 klst með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá. Gosmökkur nær 9–15 km hæð. Þrjár mismunandi þyngdir eru skoðaðar: 1 (efsta mynd), 10 (mið mynd) og 100 kg/m<sup>2</sup> (neðsta mynd). Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 4).

### 3.4.2 Gjóskuvá eftir áherslusvæðum og innviðum

Miðað við þær forsendur sem gjóskudreifingarhermanir byggja á eru töluverðar líkur (allt að 75%) á að þéttbýli á Reykjanesskaga verði fyrir allt að 10 mm gjóskufalli hvort sem er frá sprengigosi með háan eða lágan gosmökk 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 (Tafla 15, Viðauki II). Þungi gjósku af 10 mm þykkt (10 kg/m<sup>2</sup> miðað við eðlisþyngd gjósku 1000 kg/m<sup>3</sup>) er langt undir burðarþoli íbúðarhúsa (metið að meðaltali um 600 kg/m<sup>2</sup> í Grindavík, sjá Tafla 15) en hún getur valdið ertingu í öndunarfærum (400 µg/m<sup>3</sup>) og veldur almennum ama og óhreinindum og kallar á töluvert hreinsunarstarf. Sé gjóskan ekki fjarlægð getur hún fokið til, spilt 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.

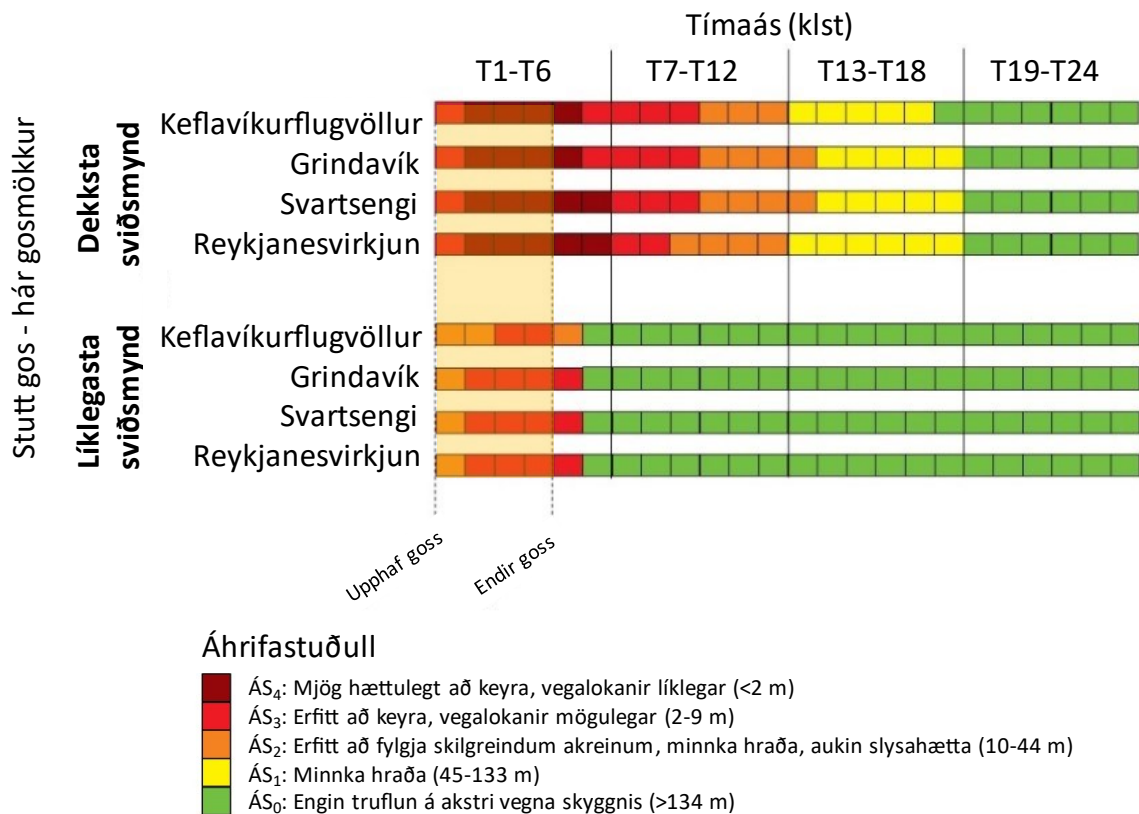
Keflavíkurflugvöllur getur orðið fyrir gjóskufalli sem gæti valdið röskun á starfsemi flugvallarins en niðurstöður hermana langs goss (lágur gosmökkur) sýna >25% líkur á 10 mm þykkri gjósku (Mynd 29) en þetta þykkt gjóskulag getur haft áhrif á viðnám á flugbrautum. Töluverðar líkur eru á að skyggni spillist í gjóskufalli og jafnvel eftir að því líkur af völdum gjóskufoks. Aðrir fjölfarnir ferðamanna staðir 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.

Gjósकुufall af þessari stærðargráðu er ólíklegt til að hafa áhrif á iðnaðarsvæði (s.s. virkjanir og vatnstökusvæði) enda eru framleiðslukerfi 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 29 og Mynd 30).

### 3.4.3 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 31, Blake o.fl., 2017; Gupta, 2023).

Niðurstöður gjóskudreifingarhermana 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 áhrifastuðlum (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 31). 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.



Mynd 31. Litakóðaðar tímaráðir sem sýna breytingar á skyggni (sem afleiðu af fallhraða gjósku) og áhrif þeirra á vegasamgöngur á fjórum svæðum á Reykjaneskaga, Keflavíkflugvelli, 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 hermda klukkustund o.s.frv.

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 31).

#### **3.4.4 Dekkstu sviðsmyndir gjóskufalls á áherslusvæðum**

Dekkstu sviðsmyndir gjóskumagns á jörðu voru dregnar út úr gjóskudreifingarniðurstöðum á sama hátt og fyrir gasmengunarniðurstöður, þ.e. fyrir þéttbýli, fjölsóttu ferðamannastaði og ákveðin iðnaðarsvæði á Reykjaneskaga (Tafla 4). Dekkstu sviðsmyndir eru punktgreiningar sem sýna mesta magn gjósku sem fellur á ákveðin svæði en ólíklegar aðstæður sem standa stutt geta valdið dekkstu sviðsmyndum svæða. Dekkstu sviðsmyndir eru gefnar sem þyngd þurrar, rakrar og rakamettaðrar gjósku á flatareiningu auk þykktar (sjá Tafla 13 og Tafla 14). Þær veðurupplýsingar sem valda dekkstu sviðsmyndum fylgja en ríkjandi vindáttir eru reiknaðar fyrir ákveðna hæð (3–7 km fyrir stutt gos og 9–15 km fyrir langt gos) og yfir þann tíma sem gosið stendur (4 klst fyrir stutt gos og 4 dagar fyrir langt gos). Vert er að athuga að þegar meðaltal vindáttar er reiknað fyrir langt gos getur fengist niðurstaða sem er ekki í samræmi við þá vindátt sem þarf til að gjóska berist á ákveðinn stað, sbr. meðaltals vindátt til að kalla fram dekkstu sviðsmynd fyrir Þórkötlustaðahverfi í löngu gosi er austan átt (sjá Tafla 13) en Þórkötlustaðahverfi er austan við hermd gosupptök. Þegar rýnt er í veðurgögn sést að einn þeirra fjögurra daga sem mynda dekkstu sviðsmyndina var vestlæg átt og þá hefur fallið gjóska sem myndar 3,5 cm þykkt gjóskulag.

Niðurstöður sýna að dekkstu sviðsmyndir gjóskufalls myndast í löngu gosi með lágan gosmökk en þykkt gjóskufalls er mest rúmlega 13 cm við Reykjanesvirkjun í stífri SV átt (sjá Tafla 13). Í stuttu gosi með háan gosmökk er mesta gjóskuþykkt rúmlega 6 cm við Eldvörp sem myndast í vestanátt (sjá Tafla 14). Dekkstu sviðsmyndir eru langt frá því að ógna burðarþoli bygginga hvort sem er í löngu eða stuttu gosi. Mesta hermda þykkt á Keflavíkurflugvelli er tæplega 5 cm (langt gos) sem getur valdið töluverðum röskunum á flugstarfsemi.

Tafla 13. Dekkstu sviðsmyndir fyrir gjóskufall úr löngu gosi (72 klst). Gefin er þyngd þurrar gjósku (niðurstaða VOL-CALPUFF líkans), reiknuð þykkt hennar m.v. 1000 kg/m<sup>3</sup> eðlisþyngd og þyngd rakrar og rakamettaðrar gjósku. Einnig er gefið upp hvaða veðurastæður kalla fram dekkstu sviðsmyndir (meðaltals vindátt og vindstyrkur í 3–7 km hæð meðan á gosi stendur).

Langt gos									
Nr áherslusvæðis	Staður	Þurr gjóska <sup>^</sup> (g/m <sup>2</sup> )	Þykkt gjósku <sup>o</sup> (cm)	Þurr gjóska (kg/m <sup>2</sup> )	Rök gjóska (kg/m <sup>2</sup> )*	Rakamettuð gjóska (kg/m <sup>2</sup> )**	Vindátt gráður (4 daga meðaltal í 3-7 km hæð)	Vindátt (4 daga meðaltal í 3-7 km hæð)	Vindstyrkur m/s (4 daga meðaltal í 3 -7 km hæð)
10	Grindavík	40891	4.1	41	53	65	277	V	21
11	Þórkötlustaðahverfi	35257	3.5	35	46	56	82	A	7
1	Vogar	32614	3.3	33	42	52	284	V	13
2	Reykjanesbær-Njarðvík	37295	3.7	37	48	60	167	S	11
3	Reykjanesbær-Keflavík	36669	3.7	37	48	59	293	NV	14
4	Reykjanesbær-Ásbrú	41264	4.1	41	54	66	196	S	11
7	Garður	25844	2.6	26	34	41	237	SV	27
8	Sandgerði	28738	2.9	29	37	46	258	V	17
9	Reykjanesbær-Hafnir	57089	5.7	57	74	91	222	SV	15
6	Keflavíkurlflugvöllur	44612	4.5	45	58	71	121	SA	9
16	Bláa lónið	46545	4.7	47	61	74	315	NV	8
14	Fagradalsfjall	25551	2.6	26	33	41	315	NV	8
13	Keilir	18774	1.9	19	24	30	297	NV	13
17	Brimketill	81092	8.1	81	105	130	309	NV	27
12	Seltún	12596	1.3	13	16	20	238	SV	15
18	Gunnhver	129573	13.0	130	168	207	231	SV	16
19	Brú milli heimsálfa	131613	13.2	132	171	211	224	SV	9
23	Eldvörp	22952	2.3	23	30	37	240	SV	10
24	Þorbjörn	20207	2.0	20	26	32	151	SA	13
15	Svartsengi	45608	4.6	46	59	73	224	SV	9
20	Reykjanesvirkjun	133868	13.4	134	174	214	214	SV	20
22	Lágar vatnstökusvæði	49288	4.9	49	64	79	240	SV	10
21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	48506	4.9	49	63	78	240	SV	15
5	Tengivirki Ásbrú	40111	4.0	40	52	64	224	SV	23

<sup>^</sup>niðurstöður úr VOL-CALPUFF hermunum m.v. meðaltal fjögurra næstu punkta  
<sup>o</sup>miðað við eðlisþyngd gjósku: 1000 kg/m<sup>3</sup>  
\* m.v. 30% gjóskubýngdaraukningu sem er mesta áætluð þyngdaraukning vegna úrkomu sbr. Williams o.fl. (2021)  
\*\* m.v. 60% rakamettaða gjósku með 60% holrými (Notum eðlisþyngd rakamettaðrar gjósku 1600 kg/m<sup>3</sup> m.v. 60% holrými)

Tafla 14. Dekkstu sviðsmyndir fyrir gjóskufall úr stuttu gosi (4 klst). Gefin er þyngd þurrar gjósku (niðurstaða VOL-CALPUFF líkans), reiknuð þykkt hennar m.v. 1000 kg/m<sup>3</sup> eðlisþyngd og þyngd rakrar og rakamettaðrar gjósku. Einnig er gefið upp hvaða veður- aðstæður kalla fram dekkstu sviðsmyndir (meðaltals vindátt og vindstyrkur í 9–15 km hæð meðan á gosi stendur).

		Stutt gos							
Nr áherslusvæðis	Staður	Þurr gjóska <sup>a</sup>	Þykkt gjósku <sup>o</sup>	Þurr gjóska	Rök gjóska	Rakamett uð gjóska	Vindátt gráður	Vindátt	Vindstyrk
		(g/m <sup>2</sup> )	(cm)	(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )*	(kg/m <sup>2</sup> )	(meðaltal í 9-15 km hæð)	(meðaltal í 9-15 km hæð)	(meðaltal í 9-15 km hæð)
10	Grindavík	20681	2.1	21	27	33	230	SW	13
11	Þórkötlistaðahverfi	19634	2.0	20	26	31	253	W	7
1	Vogar	15502	1.6	16	20	25	284	W	6
2	Reykjanesbær-Njarðvík	16332	1.6	16	21	26	223	SW	9
3	Reykjanesbær-Keflavík	15434	1.5	15	20	25	206	SW	21
4	Reykjanesbær-Ásbrú	18286	1.8	18	24	29	220	SW	5
7	Garður	8635	0.9	9	11	14	157	SE	8
8	Sandgerði	10325	1.0	10	13	17	227	SW	18
9	Reykjanesbær-Hafnir	21366	2.1	21	28	34	286	W	4
6	Keflavíkurlflugvöllur	15317	1.5	15	20	25	208	SW	12
16	Bláa lónið	20406	2.0	20	27	33	230	SW	3
14	Fagradalsfjall	15729	1.6	16	20	25	270	W	17
13	Keilir	11285	1.1	11	15	18	270	W	17
17	Brimketill	23026	2.3	23	30	37	259	W	10
12	Seltún	11379	1.1	11	15	18	254	W	23
18	Gunnhver	19146	1.9	19	25	31	266	W	6
19	Brú milli heimsálfa	21670	2.2	22	28	35	280	W	11
23	Eldvörp	62803	6.3	63	82	100	250	W	10
24	Þorbjörn	40065	4.0	40	52	64	220	SW	5
15	Svartsengi	20414	2.0	20	27	33	220	SW	5
20	Reykjanesvirkjun	19221	1.9	19	25	31	266	W	6
22	Lágar vatnstökusvæði	20477	2.0	20	27	33	220	SW	5
21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	22974	2.3	23	30	37	280	W	11
5	Tengivirki Ásbrú	17747	1.8	18	23	28	206	SW	21

<sup>a</sup>niðurstöður úr VOL-CALPUFF hermunum m.v. meðaltal fjögurra næstu punkta  
<sup>o</sup>miðað við eðlisþyngd gjósku: 1000 kg/m<sup>3</sup>  
\* m.v. 30% gjóskuþyngdaraukningu sem er mesta áætluð þyngdaraukning vegna úrkomu sbr. Williams o.fl. (2021)  
\*\* m.v. 60% rakamettaða gjósku með 60% holrými (Notum eðlisþyngd rakamettaðrar gjósku 1600 kg/m<sup>3</sup> m.v. 60% holrými)

### 3.4.5 Gjóskuvá – samantekt

Gjóskufall var hermt frá einum upptakastað, úr 0,1 km<sup>3</sup> 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 hafnarsvæðum 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 gjóskufallsspá 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.

## 4 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 tíma-ramma, 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. Það þýðir að líklega muni gjósa á skaganum á ný á næstu árum eða áratugum. Því er aðkallandi að koma viðbrögðum við eldgosi 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 oftar 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.

### 4.1 Innviðir

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 vinnuhóps um varnir mikilvægra innviða.

#### 4.1.1 Hraunrennsli

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 Reykjanesvirkjun líklegir til að verða fyrir hraunrennsli 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 hraunrennsli (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 fyrirfram 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.

#### 4.1.2 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 málsambanda 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.

#### 4.1.3 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 akstursskilyrði 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 akstursskilyrðum, því er eðlilegt að reyna að þrifa vegi og rykbinda gjósku þar sem hún er þykkust næst vegum.

## 5 Samantekt

Langtímahættumat fyrir Reykjanesskaga hefur verið unnið út frá þekktri jarðfræði svæðisins með keyrslu hraunflæði hermana, gas- og gjóskudreifingarlíkana. Niðurstöður byggja á þeirri þekkingu sem liggur fyrir og þarfnast uppfærslu þegar nýjar upplýsingar berast um svæðið sem unnið er með og hegðun þess. Sem dæmi um það má nefna að upphaflega var Fagradalsfjall ekki með í hermunum en þegar fór að gjósa þar í mars 2021 var því svæði bætt inn í hraunhermanir. Helstu niðurstöður verkefnisins eru:

### Gosupptök

- Þekkt gosop eru staðsett sunnan megin á skaganum og líklegt að framtíðargosop opnist þar þó svo að ekki sé hægt að útiloka kvikuhlaup til norðurs.
- Líkur á gosupptökum hafa verið metnar með líkaninu MatHaz.

### Hraunavá

*Hraunhermanir hafa verið keyrðar með líkaninu MrLavaLoba. Tvær stærðir gosa (0,02 og 0,3 km<sup>3</sup>) voru hermdar frá þremur mislöngum gossprungum (stakar gígur, 2 km og 10 km). Niðurstöður benda til að:*

- Grindavík er eina þéttbýlið á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns sem er útsett fyrir hraunavá. Hraunavá er lítil í Reykjanesbæ, Suðurnesjabæ, Vogum og á Keflavíkurflugvelli.
- Bláa lónið, virkjanir í Svartsengi og á Reykjanesi og vatnstökusvæði í Lágum eru útsett fyrir hraunrennsli.
- Þær gossprungur (stakar og 2 km langar) sem hermanir sýna að geta valdið hraunflæði inn í Grindavík, Bláa lónið/Svartsengi, Voga, vatnstökusvæðið í Lágum og Reykjanesbæ hafa verið landfræðilega afmarkaðar.
- Mesta fjarlægð gosupptaka sem ná að koma hermdum hraunum inn á athugunarsvæði er 3–3,5 km fyrir lítil gos og 5–6 km fyrir meðalstór gos.

### Gasmengunarvá

*Gasdreifingarhermanir (SO<sub>2</sub>) voru keyrðar frá miðlínunum Reykjaness-Svartsengiskerfanna og Krýsuvíkurkerfisins, annars vegar frá gosi með litlu gasflæði (270 kg/s) og hins vegar gosi með miklu gasflæði (1900 kg/s), og fimm mengunarþröskuldar voru skoðaðir í samræmi við skilgreiningu Umhverfisstofnunar á loftgæðum. Niðurstöður benda til að:*

- Litlar líkur á alvarlegri gasmengun á Reykjanesskaga.
- Miðnesheiði líklegasta svæðið til að verða fyrir gasmengun við jörðu.
- Dekksta sviðsmynd sýnir að gasmengun getur farið (langt) yfir hættumörk hvar sem er.
- Gasmengun hefur ekki teljandi áhrif á innviði en veldur ama og getur haft áhrif á heilsu manna og dýra.

### Gjóskufallsvá

*Gjóskufall stjórnast af upptakastað, stærð goss og vindáttum á meðan gosi stendur. Gjóskufall var hermt frá einum upptakastað, úr 0,1 km<sup>3</sup> 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 hafnarsvæðum með tilheyrandi truflun á löndun fiskjar og jafnvel spillingu hráefnis.

## 6 Heimildir

- Agnes Ösp Magnúsdóttir (2015). Characteristics of the CE 1226 Medieval tephra layer from the Reykjanes volcanic system. Óbirt meistararitgerð. Háskóli Íslands. 126 bls.
- Ari Guðmundsson, Katrín Þuríður Pálsdóttir, Óttar Hillers (2014). Hættumat vegna eldgosa á Íslandi. Forgreiðing á eldgosum sem valdið geta miklu eigatjóni, þ.e. eldgosum nálægt þéttbýli og alþjóðlegum flugvöllum. Áhrif á húsbýggingar. Unnið af Verkís fyrir Veðurstofu Íslands.
- Austnes, K., J. Aherne, J. Arle, M. Čičendajeva, S. Couture, J. Fölster, Ø. Garmo, J. Hruška, D. Monteith, M. Posch, M. Rogora, J. Sample, B.L. Skjelkvåle, S. Steingruber, J.L. Stoddard, R. Ułańczyk, H. van Dam, M.T. Velasco, J. Vuorenmaa, R.F. Wright, H. de Wit (2018). Regional assessment of the current extent of acidification of surface waters in Europe and North America. ICP Waters report, ISSN 1894-7948.
- Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Þóra Björg Andrésardóttir, Aufaristama M (2018). Náttúruvá á framkvæmdasvæði Suðurnesjalínu 2. Samanburður valkosta með tilliti til jarðhræringa. Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Háskóli Íslands, 42 bls.
- Ármann Höskuldsson, Moreland WM, Aufaristama M, Þorvaldur Þórðarson, Ingibjörg Jónsdóttir, Þóra B Andrésardóttir (2022). Náttúru og eldgosavá í Sveitarfélaginu Vogar. Mat á eldgosavá með tilliti til jarðhræringa á Reykjanesi 2021. Jarðvísindastofnun, Háskólans, 39 bls.
- Bali E, Hartley ME, Halldórsson SA, Gudfinnsson GH, Jakobsson S (2018) Melt inclusion constraints on volatile systematics and degassing history of the 2014-2015 Holuhraun eruption, Iceland. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 173. 9. <https://doi.org/10.1007/s00410-017-1434-1>.
- Barsotti, S. (2020). Probabilistic hazard maps for operational use: the case of SO<sub>2</sub> air pollution during the Holuhraun eruption (Bárðarbunga, Iceland) in 2014-2015). *Bulletin of Volcanology* 82. 56. <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01395-3>.
- Barsotti S., Neri A. & Scire, J.S. (2008). The VOL-CALPUFF model for atmospheric ash dispersal: 1. Approach and physical formulation. *Journal of Geophysical Research*, 113(B3). doi:10.1029/2006JB004623.
- Barsotti, S., Sigrún Karlsdóttir, Anna María Ágústsdóttir, Björn Oddsson, Íris Marelsdóttir, Þorvaldur Þórðarson, Þórólfur Guðnason, Bogi B. Björnsson. (2020). Preliminary tephra fallout hazard assessment for selected eruptive scenarios in Iceland. Skýrsla Veðurstofu Íslands 2020-004.
- Barsotti, S., Parks MM, Pfeffer MA, Óladóttir BA, Barnie T, Titos MM, Jónsdóttir K, Pedersen GBM, Hjartardóttir ÁR, Stefansdóttir G, Johannsson T, Arason Þ, Guðmundsson MT, Oddsson B, Þrastarson RH, Ófeigsson BG, Vogfjörð K, Geirson H, Hjörvar T, von Lövis S, Petersen GN, Sigurðsson EM (2023). The eruption in Fagradalsfjall (2021, Iceland): How the operational monitoring and the volcanic hazard assessment contributed to its safe access. *Natural Hazards* 116. 3063-3092. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05798-7>.
- Bartolini, S., Cappello, A., Martí, J., Del Negro, C. (2013). QVAST: a new quantum GIS plugin for estimating volcanic susceptibility. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*. 13. 3031–42.
- Berggrún A. Óladóttir, Melissa A. Pfeffer, Sara Barsotti, Bogi B. Björnsson (2023a). Langtíma-hættumat Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns. Hrauna-, gasmengunar- og gjóskufallsvá. Skýrsla Veðurstofu Íslands 2023-003

- Bergrún A. Óladóttir, Benedikt Halldórsson, Pfeffer, M.A., Barsotti, S., Björn B. Björnsson (2023b). Hvassahraun. Hættumat vegna eldgosa og jarðskjálfta. Skýrsla Veðurstofu Íslands 2023-001
- Bertin D, Lindsey JM, Becerril L, Cronin SJ, Bertin LJ (2019) MatHaz: a Matlab code to assist with probabilistic spatio-temporal volcanic hazard assessment in distributed volcanic fields. *Journal of Applied Volcanology* 8. 4. <https://doi.org/10.1186/s13617-019-0084-6>.
- Bjarni Diðrik Sigurðsson, Gerður Stefánsdóttir (ritsjórar) (2017). Áhrif Holuhraunsgossins á umhverfi og heilsu. *Rit LbhÍ* 83. 113 bls.
- 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.
- Blake, D.M., T.M. Wilson, C. Stewart (2018). Visibility in airborne volcanic ash: considerations for surface transportation using a laboratory-based method. *Nat Hazards* 92. 381-413. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3205-3>.
- Botté, A., Zaidi, M., Guery, J.*et al.* (2022). Aluminium in aquatic environments: abundance and ecotoxicological impacts. *Aquat Ecol* 56, 751–773. <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09936-4>.
- Calder, E., Wagner K., Ogburn S.E. (2015). Volcanic hazard maps. Í: Loughlin S, Sparks S, Brown S, Jenkins S & Vye-Brown C (ritstj.), *Global Volcanic Hazards and Risk* (335-342). Cambridge University Press, Cambridge Core. Doi:10.1017/CBO9781316276273.022.
- Chevrel, M.O., Labroquere J., Harris, A.J.L., Rowland, S.K. (2018). PyFLOWGO: An open-source platform for simulation of channelized lava thermo-rheological properties. *Computer and Geoscience* 11. 167-180. Doi: 10.1016/j.cageo.2017.11.009.
- Clarkson, R. J., Majewicz, E. J., Mack, P. (2016). A re-evaluation of the 2010 quantitative understanding of the effects volcanic ash has on gas turbine engines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering 230(12). 2274-2291.
- 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.
- Delmelle, P., Stix J. (2000). Volcanic gases. Í: Haraldur Sigurðsson, Houghton, B. Rymer H., Stix J., McNutt S (ritstj). *Encyclopedia of Volcanoes (1st edition)*. Academic Press, London.
- 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.
- Dietterich, H.R., Lev, E., Chen, J., Richardson, J.A., Cashman, K.V. (2017). Benchmarking computational fluid dynamics models of lava flow simulation for hazard assessment, forecasting, and risk management. *Journal of Applied Volcanology* 6. Doi: 10.1186/s13617-017-006-x.
- Dóra Hjálmarsdóttir (2022). Varnir mikilvægra Innviða á Reykjanesi gegn hraunflæði. Samantekt. Minnisblöð 1-32, mismunandi höfundar. Vinnuhópur Varnir mikilvægra innviða. Unnið af Verkis 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](http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim).
- Favalli, M., Pareschi, M. T., Neri, A., Isola, I. (2005). Forecasting lava flow paths by a stochastic approach. *Geophysical Research Letters*, 32(3). <https://doi.org/10.1029/2004GL021718>.

- Felpeto, A., Martí, J., Ortiz, R (2007). Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 166. 106.
- Freysteinn Sigmundsson, Sveinn P. Jakobsson, Guðrún Larsen, Páll Einarsson og Magnús Tumi Guðmundsson (2013). Eldvirk svæði á Íslandi. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, V. Drouin, Kristín Jónsdóttir, Þóra Árnadóttir, Halldór Geirsson, Sigrún Hreinsdóttir, S. Li, Benedikt G. Ófeigsson (2020). Geodynamics of Iceland and the signatures of plate spreading. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391. 106436.
- Freysteinn Sigmundsson, Parks MM, Hooper A, Geirsson H, Vogfjörð K, Drouin V, Ófeigsson BG, Hreinsdóttir S, Hjaltadóttir S, Jónsdóttir K, Einarsson P, Barsotti S, Horálek J, Ágústsdóttir Þ. (2022). Deformation and seismicity decline before the 2021 Fagradalsfjall eruption. *Nature* 609. 523-528. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05083-4>.
- Guðrún Larsen, Sigurður Reynir Gíslason (2013). Gjóska. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Guðrún Larsen, Guðrún Sverrisdóttir, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Páll Einarsson (2013). Hekla. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Guffanti, M., Mayberry, G.C., Casadevall, T.J., Wunderman, R. (2009). Volcanic hazards to airports. *Natural Hazards* 51(2). 287-302.
- Gunnarson, S. R., Belart, J. M. C., Óskarsson, B. V., Gudmundsson, M. T., Högnadóttir, Th., Pedersen, G. B. M, Dürig, T., Pinel, V. (2023). Automated processing of aerial imagery for geohazards monitoring: Results from Fagradalsfjall eruption, SW Iceland, August 2022 (1.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7701194>.
- 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](https://doi.org/10.1136/oem.2005.022459)
- Harris, A.J.L., Rowland, S.K. (2001). FLOWGO: a kinematic thermo-rheological model for lava flowing in a channel. *Bulletin of Volcanology* 63. 20-44.
- Helena Marta Stefánsdóttir (2016). Rannsóknir á flúor í náttúru Íslands – samantekt heimilda. *Rit LbhÍ* 66. 25 bls.
- Horwell, C.J., Baxter, P.J. (2006). The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bulletin of Volcanology* 69(1). 1-24.
- Hreggviður Norðdahl, Halldór G. Pétursson (2005). Relative Sea-Level Changes in Iceland: new aspect of the Weichselian Deglaciation of Iceland. Í: Caseldine, C., Russel, A., Harðardóttir, J., Knúdsen, Ó. (ritstj.). *Iceland – Modern Processes and Past Environments*. 25-78. Elsevier, Amsterdam.
- Jenkins, S.F., Spence, R.J.S., Fonseca, J.F.B.D., Solidum, R.U., Wilson, T.M. (2014). Volcanic risk assessment: Quantifying physical vulnerability in the built environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 276. 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.03.002>.
- Jón Jónsson (1978). Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. I. Skýringar við jarðfræðikort; II. Jarðfræðikort. Orkustofnun Jarðhitadeild. OS JHD 7831.

- Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Benoit-Cattin A., Magnús Danielsen, Takahashi T (2009). North Atlantic Ocean acidification from time series measurements. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 6. 462005. Doi:10.1088/1755-1307/6/6/462005.
- Khushbu S, Gulati R, Sushma, Kour A, Sharma P (2022). Ecological impact of heavy metals on aquatic environment with reference to fish and human health. *Journal of Applied and Natural Science* 14(4). 1471 -1484. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i4.3900>.
- Kristján Sæmundsson (1979). Outline of the geology of Iceland. (Yfirlit um jarðfræði Íslands). *Jökull* 29. 7-28.
- Kristján Sæmundsson (1995). Um aldur stóru dyngnanna á utanverðum Reykjaneskaga. Í: Björn Hróarsson, Dagur Jónsson og Sigurður Sveinn Jónsson (ritnefnd): *Eyjar í Eldhafi*. Reykjavík, Skákprent.
- Kristján Sæmundsson, Ingvar Birgir Friðleifsson (1980). Jarðhiti og jarðhitarannsóknir. *Náttúrufræðingurinn* 50. 157-188.
- 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). Reykjaneskagi. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson (2015). *Flugvallarstæði með tilliti til sprunguvirkni og hraunrennslis*. Greinagerð ÍSOR -15008.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson (2020). Geology and structure of the Reykjanes volcanic system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 391. 106501.
- Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Sigurður Garðar Kristinsson, Magnús Á. Sigurgeirsson (2010). *Jarðfræðikort af Suðvestur Íslandi 1:100000*. Íslenskar orkurannsóknir.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Sigurður Garðar Kristinsson (2016). *Jarðfræðikort af Suðvesturlandi 1:100000*. Íslenskar orkurannsóknir.
- Magnús Á. Sigurgeirsson. (1992). Gjóskumyndanir á Reykjanesi. Óbirt meistararitgerð við Háskóla Íslands. Reykjavík. 114 bls.
- Magnús Á. Sigurgeirsson (1995a). Yngra Stampagosið á Reykjanesi. *Náttúrufræðingurinn*. 64(3). 211-230.
- Magnús Á. Sigurgeirsson (1995b). Miðaldarlagið. Björn Hróarsson, Dagur Jónsson og Sigurður Sveinn Jónsson (ritnefnd): *Eyjar í Eldhafi*. Reykjavík, Skákprent.
- Magnús Á. Sigurgeirsson (2004). Þáttur úr gossögu Reykjanes. *Náttúrufræðingurinn* 72 (1-2), bls. 21-28.
- Magnús Á. Sigurgeirsson (2022). Hvers konar eldvirkni má búast við á Reykjaneskaga eftir gosið í Geldingadölum? *Vísindavefurinn*, 9. Febrúar 2022. <http://visindavefur.is/svar.php?id=83009>.
- 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://islenskelfjoll.is/?volcano=REY>.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson, Björn Oddsson, Þórdís Högnadóttir, Ingibjörg Jónsdóttir, Halldór Björnsson, Guðrún Nína Petersen, Eyjólfur Magnússon (2011). Eyjafjallajökull April-June 2010: An explosive-

- mixed eruption of unusually long duration. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-12542. EGU General Assembly 2011.
- Marti Molist, J. (2017). *Assessing Volcanic Hazard: A review*. Oxford University press. 10.1093/oxfordhb/9780190699420.013.32
- Marzocchi, W., Sandri, L., Gasparini, P., Newhall, C., Boschi, E. (2004). Quantifying probabilities of volcanic events: The example of volcanic hazard at Mount Vesuvius. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 106 (B11).
- Mossoux, S., Saey, M., Bartolini, S., Poppe, S., Canters, F., Kervyn, M. (2016). Q-LAVHA: A flexible GIS plugin to simulate lava flows. *Computers & Geosciences*, 97. 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.09.003>.
- Neal, C.A., Anderson K.R. (2020). Preliminary Analyses of Volcanic Hazards at Kilauea Volcano, Hawaii, 2017-2018. USGS Open File Report 2020-1001. U.S. Department of the Interior.
- Newhall, C.G., Hoblitt, R.P. (2002). Constructing event trees for volcanic crises. *Bulletin of Volcanology* 64. 3-20. Doi: 10.1007/s004450100173.
- Níels Óskarsson (2013). Eldfjallagas. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvía á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Pallister J., Papale P., Eichelberger J., Newhall C., Mandeville C., Nakada S., Marzocchi W., Loughlin S., Jolly G., Ewert J., Selva J. (2019). Volcano observatory best practices (VOBP) workshops – a summary of findings and best practice recommendations. *Journal of Applied Volcanology* 8: 2. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13617-019-0082-8>.
- Páll Imsland 1998. Um náttúruvía á Straumsvíkursvæðinu. *Náttúrufræðingurinn* 67. (3-4) bls. 263-273
- Páll Imsland (2013). Hætta af eldgosum. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvía á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Páll Imsland, Bjarni Richter (2020). Eldgos og hraunflóðavá við Grindavík. Reykjavík 1997 og 2020. 82 bls. (að stofni til frá 1997, endurskoðað 2020).
- Pedersen G.B.M., Höskuldsson A., Dürig T., Thordarson Th., Jónsdóttir I., Riishuus M.S., Óskarsson B.V., Dumont S., Magnússon Ey., Gudmundsson M.T., Sigmundsson F., Drouin V.J.P.B., Gallagher C., Askew R., Gudnason J., Moreland W.M., Nikkola P., Reynolds H.I., Schmith J. and the IES eruption team (2017). Lava Field evolution and emplacement dynamics of the 2014-2015 basaltic fissure eruption at Holuhraun, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 340, 155-169.
- Pedersen, G.B.M. Belart, J.M.C, Óskarsson, B.V., Gudmundsson, M.T., Gies, N., Högnadóttir, Th., Hjartardóttir, Á.R., Pinel, V., Berthier, E., Durig, T., Reynolds, H.I., Hamilton, C.W., Valson, G., Einarsson, P., Ben-Yehosua, D., Gunnarsson, A., Oddsson, B. (2022). Volume, Effusion Rate, and Lava Transport During the 2021 Fagradalsfjall Eruption: Results From Near Real-Time Photogrammetric Monitoring. *Geophysical Research Letters* 49. 13. <https://doi.org/10.1029/2021GL097125>.
- Pedersen, G.B.M., Pfeffer, M.A., Barsotti, S., Tarquini, S., de' Michieli Vitturi, M., Óladóttir, B.A., Prastarson, R.H. (2023). Lava flow hazard modelling during the 2021 Fagradalsfjall eruption, Iceland: Application of MrLavaLoba. *Natural hazards and earth system sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-2022-166>
- Pfeffer, M.A, 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 2020-011.
- Pfeffer, M.A., Sara Barsotti, Bergrún A. Óladóttir, Esther H. Jensen, Emmanuel P. Pagney, Bogi B. Björnsson, Guðrún Jóhannesdóttir, Ármann Höskuldsson, Laura Sandri, Jacopo Selva, Simone Tarquini, Mattia de' Michieli Vitturi, Ingibjörg Jónsdóttir, Davíð Egilson, Sigrún Karlsdóttir, Matthew J. Roberts, Kristín Vogfjörð. (2021). Forgreiðing á hættu vegna goss á eldstöðvakerfi Vestmannaeyja. Frummat á áhrifum hraunrennslis og öskufalls í Heimaey. Skýrsla Veðurstofu Íslands 2021-003.
- Pfeffer, M.A., S. Arellano, Guðrún Nína Petersen, Talfan Barnie, Sara Barsotti. (2022) SO<sub>2</sub> flux measurements during the 2021 eruption of Fagradalsfjall. 35th Nordic Geological Winter Meeting 2022. UV1-03. 11.-13. maí 2022 Reykjavík.
- Ranta, E., Halldórsson, S.A., Óladóttir, B.A., Pfeffer, M.A., Caracciolo, A., Bali, E., Guðfinnsson, G.H., Barsotti, S., Karlsdóttir, S. (2023). Volcanic sulfur emissions of Icelandic eruptions based on the petrological method. Lokuð Gosvárskýrsla (opnar árið 2024)
- Robock, A. (2000). Volcanic eruptions and climate. *Rev. Geophys.* 38. 191-219. Doi: 10.1029/1998RG000054.
- 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.
- Selva, J., Orsi, G., Di Vito, M. A., Marzocchi, W., Sandri, L. (2012). Probability hazard map for future vent opening at the Campi Flegrei caldera, Italy. *Bulletin of Volcanology*, 74(2), 497–510. doi:10.1007/s00445-011-0528-2
- Schmidt, A., B. Ostro, K.S. Carslaw, M. Wilson, T. Thordarson, G.W. Mann, A.J. Simmons. (2011). Excess mortality in Europe following a future Laki-style Icelandic eruption. *Proc. Natl. Acad. Sci* 108. 15710-15715. Doi: 10.1073/pnas.1108569108.
- Scire, J.S., Strimaitis, D.G., Yamartino, R.J. (1990). Model formulation and user's guide for the CALPUFF dispersion model. Sigma Research Corp, Concord.
- Scire, J.S., Strimaitis, J.S., D.G., Yamartino, R.J. (2000). A user's guide for the CALPUFF dispersion model. *Earth Tech, Inc*, 521, pp.1-521.
- Sigmundur Einarsson (15. nóvember 2019). Krýsuvík-Trölladyngja. Í: Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson. Íslensk eldfjallavefsíða. Veðurstofa Íslands, Háskóli Íslands og Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra. Sótt af <http://islenskelfjoll.is/?volcano=KRI>.
- Sigmundur Einarsson, Haukur Jóhannesson, Árni Erla Sveinbjörnsdóttir (1991). Krísuvíkureldar II. Kapelluhraun og gátan um aldur Hellnahrauns. *Jökull* 41, 61-80.
- 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.
- Sigurður R. Gíslason, G. Stefánsdóttir, M.A. Pfeffer, S. Barsotti, Þ. Jóhannsson, I. Galeczka, E. Bali, O. Sigmarsson, A. Stefánsson, N.S. Keller, Á. Sigurðsson, B. Bergsson, B. Galle, V.C. Jacobo, S. Arellano, A. Aiuppa, E.B. Jónasdóttir, E.S. Eiríksdóttir, S. Jakobsson, G.H. Guðfinnsson, S.A. Halldórsson, H. Gunnarsson, B. Haddadi, I. Jónsdóttir, Th. Thordarson, M. Riishuus, Þ. Högnadóttir, T. Durig, G.B.M Pedersen, Á. Höskuldsson, M.T. Guðmundsson (2015). Environmental pressure from the 2014-15 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland. *Gechem. Persp. Let.* 1. 84-93. Doi: 10.7185/geochemlet.1509.

- Sigurður Sigurðarson (2016). Áhrif Eldgosa á dýr. Minnisblað til Almannafræðinganna. Aðgengilegt á: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjF7aXGo9z1AhUFY8AKHS1fCAkQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.almannavarnir.is%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F04%2F%25C3%25A1hrif-%25C3%25B6sku-%25C3%25A1-d%25C3%25BDr.pdf&usg=AOvVaw3mecoUjNQw8GKQKawvEBoA>.
- Sigurður Þórarinnsson (1965). Neðansjávargos við Ísland. *Náttúrufræðingurinn* 35. 49-74.
- Simmons, I.C., Pfeffer, M.A., Calder, E.S., Galle, B., Arellano, S., Coppola, D., Barsotti, S. (2017). Extended SO<sub>2</sub> outgassing from the 2014-2015 Holuhraun lava flow field, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 79. 79. <https://doi.org/10.1007/s00445-017-1160-6>.
- Sparks, R.S.J., Bursik, M.I., Carey, S.N., Gilbert, J.S., Glaza, L.S., Haraldur Sigurðsson, Woods, A.W. (1997). *Volcanic plumes*. John Wiley & Sons.
- Spinetti, C., Barsotti, S., Neri, A., Buongiorno, M.F., Doumaz, F., Nannipieri, L. (2013). Investigation of the complex dynamics and structure of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic ash cloud using multispectral images and numerical simulations: 2010 Eyjafjallajökull volcanic ash cloud. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(10). 4729–4747. Doi:10.1002/jgrd.50328.
- Stewart C, Smid E., Charlton D, Leonard GS, Tomašek I, Wilson TM, Talbot N. (2019). Preparing for a sustained volcanic degassing episode in Auckland. Lower Hutt (NZ): GNS Science. 41 p. (GNS Science report; 2019/58). Doi:10.21420/4NKW-TR68.
- 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.
- Sveinn Jakobsson (1974). Eldgos við Eldeyjarboða. *Náttúrufræðingurinn* 44. 22-40.
- Sæmundur Ari Halldórsson, Marshall EW, Caracciolo A, Matthews S, Bali E, Rasmussen MB, Ranta E, Gunnarsson Robin J, Guðfinnsson GH, Sigmarsson O, Maclennan J, Jackson MG, Whitehouse MJ, Jeon H, van der Meer QHA, Mibel GK, Kalliokoski MH, Repczynska MM, Rúnarsdóttir RH, Sigurðsson G, Pfeffer MA, Scott SW, Kjartansdóttir R, Kleine BI, Oppenheimer C, Aiuppa A, Ilyinskaya E, Bitetto M, Guidice G, Stefánsson A (2022). Rapid shifting of a deep magmatic source at Fagradalsfjall volcano, Iceland. *Nature* 609. 529-534.
- Tarquini, S., Favalli, M. (2013). Uncertainties in lava flow hazard maps derived from numerical simulations: The case study of Mount Etna. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 260. 90–102.
- Tarquini S., de' Michieli Vitturi M., Jensen E., Pedersen G., Barsotti S., Coppola D., Pfeffer M. (2018). Modeling lava flow propagation over a flat landscape by using MrLavaLoba: the case of the 2014–2015 eruption at Holuhraun, Iceland. *Annals of Geophysics* 61. Doi:10.4401/ag-7812.
- Trausti Jónsson (2002). Hættumat og hlutverk Veðurstofunnar í ljósi hættumatsramma Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar. Greinargerð 02021. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Veðurfarsyfirlit 2010–2019, sótt í Brunn Veðurstofu Íslands, 23. Júní 2022.
- Vigfús Eyjólfsson (1998). Kortlagning sprungna og nútíma eldvarpa í Fagradalsfjalli á vestanverðum Reykjaneskaga. Óbirt BS ritgerð Háskóli Íslands, 70 bls.
- Þorvaldur Þórðarson (2013). Hraun. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason (ritstj.): *Náttúruvá á Íslandi. Eldgos og Jarðskjálftar*. Reykjavík. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan.
- Þorvaldur Þórðarson, Self S. (2003). Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment. *Journal of Geophysical research* 108, doi:10.1029/2001JD002042



- Þorvaldur Þórðarson, Guðrún Larsen (2007). Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. *Journal of Geodynamics* 43. 118-152.
- Þorvaldur Þórðarson, Ármann Höskuldsson (2008). Postglacial volcanism in Iceland. *Jökull* 58(1). Doi: 10.33799/jokull2008.58.197.
- Þóra Björg Andrésdóttir (2018). Volcanic hazard and risk assessment at Reykjanes, vulnerability of infrastructure. Óbirt meistararitgerð, Háskóli Íslands. 91 bls.
- Wardman, J.B., Wilson, T.M., Bodger, P.S., Cole, J.W., Stewart C. (2012). Potential impacts from tephra fall to electric power systems: a review and mitigation strategies. *Bulletin of Volcanology* 74. 2221-2241. Doi: 10.1007/s00445-012-0664-3.
- Weyhenmeyer, G.A., Hartmann, J., Hessen, D.O. *et al.* (2019). Widespread diminishing anthropogenic effects on calcium in freshwaters. *Sci Rep* 9. 10450. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46838-w>.
- Whitty, R.C.W. (2022). Characterising downwind particulate and sulfur dioxide air pollution from volcanic emissions. Óbirt doktorsritgerð, University of Leeds.
- Williams, G.T., Jenkins, S.F., Lee, D.W.J., Wee S.J. (2021). How rainfall influences tephra fall loading – an experimental approach. *Bulletin of Volcanology* 83. 42. <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01465-0>.
- Wilson, G., Wilson, T., Cole, J., Oze, C. (2012). Vulnerability of laptop computers to volcanic ash and gas. *Nat Hazards* 63. 711-736. Doi: 10.1007/s11069-012-0176-7.
- Wilson, T.M., Stewart, C., Sword-Daniels, V., Leonard, G.S., Johnston, D.M., Cole, J.W., Wardman, J., Wilson, G., Barnard, S.T. (2012). Volcanic ash impacts on critical infrastructure. *Physics and Chemistry of the Earth* 45-46. 5-23.
- Wood, R. M., Steedman, R. S. og Nunez, I. L. (1992). The impact of seismic and volcanic hazards on the Reykjanes Peninsula, Iceland. Ráðstefnurit „Natural disasters“. International conference on preparedness and mitigation for natural disasters 2. VFI, 199– 208.

# Viðauki I. Eldstöðvakerfi á Reykjanesskaga og aðsteðjandi eldfjallavá

Helsta eldfjallavá eldstöðvakerfa Reykjanesskaga er hraunvá en ekki er útilokað að sprengigos eigi sér stað með tilheyrandi gjóskufalli verði gosuppkoma í sjó undan Reykjanesskaga (t.d. Magnús Á. Sigurgeirsson, 1995a). Á Reykjanesskaga hefur eldvirkni síðustu árpúsundin einkennst af lotubundnum gosskeiðum sem hafa staðið í nokkur hundruð ár með 600–800 ára löngum goshléum án nokkurra eldsumbrota (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Í þeim eldum sem hvað best eru þekktir hafa hraun þakið í kringum 40–50 km<sup>2</sup> (Magnús Á. Sigurgeirsson, 2022) í lotum sem standa í mismörg ár (Krýsuvíkur- og Reykjaneseldar stóðu í ~30–40 ár). Sagan segir okkur því að á Reykjanesskaga eru líkur á langvarandi hraungosum þegar virkni hefst á ný sem geta staðið yfir áratugum saman. Þann 19. mars 2021 hófst gos í Geldingadölum í Fagradalsfjalli í kjölfar öflugrar skjálfta- og innskotahrinu á svæðinu en gosið stóð í sex mánuði, myndaði um 0,15 km<sup>3</sup> af hrauni sem þekur um 4,85 km<sup>2</sup> (Pedersen, o.fl., 2022). Tíu mánuðum seinna hófst gos á svipuðum stað sem stóð frá 3.-21. ágúst 2022 og myndaði 0,01 km<sup>3</sup> af hrauni sem þekur 1,3 km<sup>2</sup> (Gunnarson o.fl. 2022; [http://jardvis.hi.is/eldgos\\_i\\_meradolom](http://jardvis.hi.is/eldgos_i_meradolom)) og þann 10. júlí 2023 hófst þriðja gosið, að þessu sinni með upptök við Litla Hrút. Það myndaði 0,016 km<sup>3</sup> af hrauni og stóð til 5. ágúst sama ár (<https://jardvis.hi.is/is/eldgos-vid-litla-hrut-nidurstodur-maelinga-31-juli>). Því má með sannri segja að nýtt gosskeið sé hafið á Reykjanesskaga og þar með eru auknar líkur á eldsuppkomu á svæðinu á næstu misserum og árum.

## Reykjanes og Svartsengi

Reykjaneskerfið er um 45 km langt og 5–15 km breitt, en syðstu ~9 km kerfisins eru neðansjávar sem skapar því nokkra sérstöðu. Norðurhluti kerfisins sameinast Svartsengi sem er um 30 km langt og 7 km breitt kerfi (Tafla 2). Kerfin eru þó oft skilgreind sem aðskildar einingar vegna þess að jarðhitakerfi þeirra eru aðskilin og jarðefnafræði bergsins er lítillaga frábrugðin (Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson, 2019). Gosvirkni á kerfunum tveimur virðist hliðstæð. Kerfin hafa einungis gosið basalti (pikrít, ólivínþóleiit og þóleiit) og flest sprungugosin hafa myndað þóleiit, sem er þróað basalt. Engar ísúrar eða súrar myndanir eru þekktar úr kerfunum. Talið er að gos á nútíma eigi upptök sín í grunnstæðum, skammlífum kvikuhólfum á um 3–4 km dýpi (Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson, 2019).

Alls eru 15 nútímagos þekkt innan Reykjaneskerfisins og svipaður fjöldi innan Svartsengis-kerfisins. Á Reykjanesi hefur gosið á tveimur sprungureinum á nútíma, Stampa- og Sýrfellsrein en virkni síðustu 2000 ára hefur einskorðast við Stampareinina. Í Svartsengi hefur gosið annars vegar á Eldvarpa- og hins vegar Svartsengisrein. Þrjár goslotur hafa gengið yfir kerfin á síðustu 3500 árum, fyrir 3100, 2000 og 800 árum síðan. Í hverri goslotu urðu hraungos og þegar gossprungur opnuðust í sjó á Reykjaneskerfinu áttu sér þar stað gjóskumyndandi sprengigos (t.d. Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson, 2019), síðast í Reykjaneseldum á árunum um 1210–1240 e. Kr. þegar gaus á báðum kerfunum.

Í Reykjaneseldum mynduðust fjögur þekkt hraun og getið er um a.m.k. sex gos í sjó á tímabilinu 1210–1240 (Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Magnús Á. Sigurgeirsson, 1995a; Sigurður Þórarinnsson, 1965; Sveinn Jakobsson, 1974). Goshlé var frá tveimur til tólf ára. Gosvirkni hófst í Reykjaneskerfinu og myndaði Yngra Stampahraun. Árið 1226 myndaðist gjóskulag sem kallað hefur verið Miðaldalag en það er metið 0,1 km<sup>3</sup> að stærð

og er talið stærsta gosið í sjó myndað í Reykjaneseldum (Magnús Á. Sigurgeirsson, 1992, 1995b). Virkni færðist svo yfir á Svartsengiskerfið og myndaði Eldvarpahraun, Arnarseturshraun og Illahraun (Magnús Á. Sigurgeirsson og Sigmundur Einarsson, 2019). Saman þekja þessi fjögur hraun >50 km<sup>2</sup> og eru samtals >0,6 km<sup>3</sup> (Tafla 3).

## Krýsuvík

Krýsuvíkurkerfið er um 50 km langt og 8 km breitt. Virkni kerfisins einkennist af hraungosum en síðast var kerfið virkt í Krýsuvíkureldum sem áttu sér stað á árunum 1151- 1188 e. Kr. og í þeim þöktu hraun um 36,5 km<sup>2</sup> og heildarrúmmál þeirra er metið 0,22 km<sup>3</sup> (Sigmundur Einarsson, o.fl., 1991). Í Krýsuvíkureldum var 37 ára goshlé milli atburða en í þeim rann hraun til sjávar bæði norðan og sunnan til á Reykjaneskaga. Kapelluhraun (einnig þekkt sem Háibruni) náði til sjávar norðan megin og Ögmundarhraun sunnan megin. Gosvirkni virðist eiga sér stað á svipuðum tíma á kerfum Krýsuvíkur, Reykjanes og Svartsengis (Kristján Sæmundsson & Haukur Jóhannesson, 2006; Kristján Sæmundsson o.fl., 2020) þó svo tugir ára aðskilji virknina. Á Krýsuvíkurkerfinu hefur einungis gosið basalti líkt og á kerfum Reykjanes og Svartsengis og engar ísúrar eða súrar bergmyndanir eru þekktar. Ólíkt kerfum Reykjanes og Svartsengis eru sprengigígjar á Krýsuvíkurkerfinu sem hafa gosið gjalli og smáhraunum samhliða úrkasti úr öflugum gufusprengingum sem stundum verða vegna suðu í jarðhitakerfinu en dæmi um slíka virkni er Grænavatn og Gestsstaðavatn (t.d. Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013).

Um 10 nútímagos eru þekkt á Krýsuvíkurkerfinu. Gos- og sprungureinar kerfisins eru tvær, kenndar við Trölladyngu og Sveifluháls og Krýsuvík sjálf er þriðja gossvæðið sem er þó aðeins frábrugðið hinum reinunum en þar hefur eldvirkni einnig einkennst af tætigosum og gufusprengingum (t.d. Sigmundur Einarsson, 2019). Krýsuvíkureldar áttu sér stað á Trölladyngjureininni. Þrjár goslotur eru vel þekktar fyrir Krýsuvíkurelda en þær áttu sér stað á 8. öld, fyrir 2000 árum og fyrir 3000 árum (Kristján Sæmundsson o.fl., 2016). Allar gosloturnar mynduðu hraun og eru sambærilegar því sem þekkt er úr Krýsuvíkureldum (sjá Tafla 3).

## Fagradalsfjall

Fagradalsfjallskerfið er um 15 km langt og 5 km breitt, milli kerfa Svartsengis og Krýsuvíkur og stundum skilgreint sem hluti af Krýsuvíkurkerfinu. Á kerfinu er lítið um misgengissprungur og gjár með SV-NA stefnu sem einkenna nærliggjandi kerfi en töluvert er um sniðgengi með N-S stefnu. Á kerfinu eru engar langar gossprungur en þær gosmyndanir sem finnast á kerfinu eru stapar, móbergshryggir og stuttar gossprungur, einkennandi gosmyndanir eru dyngjur (Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013). Líkt og önnur kerfi á Reykjaneskaga er einungis þekkt basalt innan kerfisins en nokkuð er um pikrít hraun. Um 10 nútímagos eru þekkt innan Fagradalsfjallskerfisins, öll eldri en 6000 ára og stærðir þeirra eru illa þekktar þar sem mörg þeirra hverfa undir yngri hraun. Þráinsskjöldur, ein af stærstu dyngjum Reykjaneskagans (5 km<sup>3</sup>, ~14100 ára; Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013) myndaðist á kerfinu en að honum undanskildum eru Vatnsheiði og Borgarhraun stærstu þekktu myndanir kerfisins og Beinavörðuhraun er það yngsta af gömlu hraununum. Þann 19. mars 2021 vaknaði Reykjaneskaginn af um 800 ára löngum dvala með 6 mánaða löngu gosi, öðru tæplega 3 vikna gosi 10 mánuðum seinna (3.-21. ágúst 2022) og því þriðja um 11 mánuðum seinna (10. júlí-5. ágúst 2023) en goshlé Fagradalsfjalls var orðið meira en 6000 ára langt.

Gos hófst í Fagradalsfjalli kl. ~20:45 föstudagskvöldið 19. mars 2021 með opnun um 180 m langrar gossprungu með NA-SV-læga stefnu sem fljótlega dróst saman í tvo virka gíga. Gosið var hraungos og útstreymishraði kvikunnar var metinn innan við 10 m<sup>3</sup>/s sem er óvanalega lítið fyrir upphaf þekktra íslenskra gosa. Mjög frumstæð kvikusamsetning benti til uppruna á miklu

dýpi (>15 km; Sæmundur Ari Halldórsson o.fl., 2022). Í þriðju til fjórðu viku gossins mynduðust fleiri gígar NNA af upphafsgígum sem voru virkir í nokkra daga en útstreymishraðinn breyttist lítið. Í maí breyttist hegðun gossins þannig að stakar púlserandi sprengingar urðu ríkjandi og á sama tíma jókst útstreymishraði en varð þó aldrei meiri en ~15 m<sup>3</sup>/s. Að endingu færðist virkinn á einn gíg og hélst þar til gosloka. Alls myndaðist 0,15 km<sup>3</sup> af hrauni sem þekur 4,85 km<sup>2</sup> (Pedersen o.fl., 2022).

Um 10 mánuðum eftir goslok, 3. ágúst 2022 kl. 13:15, hófst gos á um 300 m langri gossprungu í Meradölum norðaustan við gosstöðvar 2021 gossins. Útstreymishraði kviku í upphafi var metinn rúmlega 30 m<sup>3</sup>/s, mun hærri en í upphafi gossins 2021 en telst þó ekki mikill fyrir upphaf goss. Útstreymishraði lækkaði fljótt og gosvirkni dróst saman á einn gíg á fyrstu viku gossins. Í gosinu, sem stóð alls í 18 daga (lauk 21. ágúst 2022) myndaðist hraun sem þakti 1,3 km<sup>2</sup> og var metið 12 milljón m<sup>3</sup>. Hraun flæddi að mestu yfir hraun sem myndaðist í gosinu 2021 (Gunnarsson o.fl., 2023).

Um 11 mánuðum síðar hófst þriðja gosið við Litla Hrút, norðaustan við fyrri gosupptök. Aðdragandi þess goss var sambærilegur gossins 2023 en útstreymishraði kviku í upphafi var meiri en í fyrri gosunum tveimur. Líkt og í fyrri gosunum dróst gosvirkni saman á einn gíg eftir að lengri gossprungu opnaðist í upphafi. Gosið stóð í tæpan mánuð frá 10. júlí til 5. ágúst og myndaði hraun sem þakti um 1,5 km<sup>2</sup> og var metið tæplega 16 milljón m<sup>3</sup>. Hraun flæddi frá Litla Hrút í suður átt og rann að hrauninu sem myndaðist í Meradölum árinu áður.

## Hraun

Hraun eru uppistaða í berggrunni landsins en meira en 80% af hraunastaflanum er basískur auk þess sem langflest nútímahraun innan virku gosbeltanna eru gerð úr basalti (t.d. Kristján Sæmundsson, 1979; Þorvaldur Þórðarson og Guðrún Larsen, 2007). Á Reykjanesskaga eru basísk hraungos ríkjandi. Því er líklegast að mesta vá sem myndast þegar gýs á skaganum verði af völdum hrauna.

Margir þættir hafa áhrif á myndunarferli hrauna og það hvernig þau flæða yfir umhverfi sitt. Landslag sem hraun flæðir um spilar stóran þátt því. Eins og annar vökví flæðir hraun undan halla en efnainnihald kvikunnar, hitastig hennar og útstreymishraði hefur mikil áhrif á hvernig hraun flæðir. Basísk kvika er kísilsnauð (<52% kísiltvíoxíð, SiO<sub>2</sub>), hún er heit þegar hún kemur upp (~1100-1200°C) og seigja hennar er lág sem gerir hana þunnfljótandi og því eru baskísk hraun oft þunn. Súr kvika (>63% SiO<sub>2</sub>) er aftur á móti seigari og kaldari (~800-900°C) og myndar oft þykk hraun. Útstreymi úr gíg, eða það hve hratt hraun streymir frá upptökum (mælt í m<sup>3</sup>/s), hefur einnig mikil áhrif á flæði hrauna. Almennt séð má segja að þegar hraunflæði er hlutfallslega hratt og kvikuþrókavirkni er öflug og óstöðug myndast apalhraun (úfinn kargi, Mynd 32) en þegar hraunflæði er fremur hægt og stöðugt t.d. frá hrauntjörn myndast helluhraun (slétt yfirborð, Mynd 32). Þessar tvær hrauntegundir eru í raun útjaðrar samfellds rófs og mikið af íslenskum hraunum flokkast á milli þeirra (t.d. Þorvaldur Þórðarson, 2013). Aðfærslukerfi hrauna stjórna varmabúskapi kvikunnar eftir að hún kemur til yfirborðs og hefur því mikil áhrif á rennsli hrauna og hve mikilli útbreiðslu þau ná. Varmi helst betur í lokuðum rásum sem útskýrir hvers vegna hraun sem ná að mynda lokaðar rásir ná meiri útbreiðslu en þau sem renna í opnum rásum. Lengstu og stærstu hraun hafa myndast í langvinnum gosum þar sem flæðið er í lokuðum rásum (t.d. Þorvaldur Þórðarson, 2013).



*Mynd 32 Mismunandi tegundir hrauna. Vinstri: Apalhraun, hægri: helluhraun. Báðar myndir eru teknar í Fagradalshrauni árið 2021.*

## Gas og efnamengun

Mengunar af völdum eldfjallagasa verður annars vegar vart í andrúmslofti og hins vegar sem efnamengun á jörðu. Efnasamsetning kviku sem losar eldfjallagös stjórnar samsetningu þeirra en almennt má segja að basísk kvika (heit) hafi lítið magn uppleystra lofttegunda en súr kvika (kaldari) mikið magn, því fylgir almennt séð meiri mengun súrum gosum en basískum (Niels Óskarsson, 2013). Stærð gosa (og þ.a.l. magn þeirrar kviku sem losar eldfjallagös) og tímalengd hefur einnig áhrif og oft standa basísk gos mun lengur en súr. Vatn er langstærsti hluti eldfjallagasa en auk þess myndast t.d. vetni ( $H_2$ ), koltvíoxíð ( $CO_2$ ), kolsýringur ( $CO$ ) og brennisteinstvíoxíð ( $SO_2$ ) auk brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ), metangass ( $CH_4$ ), klórsýru ( $HCl$ ) og flúorsýru ( $HF$ ).

Megnið af eldfjallagösum losnar í gíg (t.d. Delmelle og Stix, 2000) og myndar gasmengun sem rís í andrúmslofti en gös halda einnig áfram að losna úr hrauni á meðan það kólnar (Simmons o.fl., 2017). Veður hefur töluverð áhrif á hve mikillar mengunar verður vart og hvar, en oft verður mestu gasmengunar vart fjærri gosstöðvum m.a. vegna þess að heit gösin rísa frá gosstöðvum og falla ekki til jarðar fyrr en þau hafa kólnað. Ávallt verður að hafa í huga að sum eldfjallagös eru eðlisþyngri en andrúmsloft og þau geta því rutt andrúmslofti frá sér og fyllt lægðir í landslagi og myndað þar lífshættulegar aðstæður sér í lagi þegar þau kólna. Brennisteinstvíoxíð ( $SO_2$ ) er hvarfgjarn efni og hvarfast við efni í andrúmsloftinu og myndar brennisteinssýru ( $SO_3$ ) sem síðan hvarfast við vatn og myndar brennisteinssýruagnir sem eru helsta ástæða fyrir súru regni. Súrt regn getur valdið gróðurskemmdum og eyðingu skóga auk skemmda á byggingum og öðrum mannvirkjum. Vindur og rigning þynna og flytja gas á brott og rigning minnkar magn gasa í andrúmslofti en getur á sama tíma aukið styrk efna í grunnvatni. Þegar hraun renna í sjó getur myndast hvít móða (e. Lava Haze eða Laze) sem er að mestu úr gufu, súru gasi ( $HCl$ ) og örsmáum gjóskuögnum en móðan hefur ertandi áhrif á augu, lungu og húð og getur verið banvæn (Neal og Anderson, 2020).

Eldfjallagös eru flest hættuleg lífríki en utanaðkomandi aðstæður ráða hvort hættumörkum er náð. Mengun af völdum eldfjallagasa hefur bein áhrif á loftgæði auk þess að geta valdið breytingum á loftslagi (t.d. Robock, 2000; Þorvaldur Þórðarson & Self, 2003). Eldfjallagös geta þannig haft áhrif á heilsu manna og dýra (t.d. Hansell o.fl., 2006; Schmidt o.fl., 2011), gróður og vatnsgæði. Helstu áhrif  $SO_2$  á heilsu manna eru erting í augum hálsi og öndunarfærum og í háum styrk getur fólk fundið fyrir öndunarörðugleikum ([www.ust.is/loft/loftgaedi/loftmengun-](http://www.ust.is/loft/loftgaedi/loftmengun-)

[i-eldgosum/](#)). Gasmengun í lofti hefur sem slík ekki teljandi áhrif á innviði en mikilvægt er að huga að áhrifum langvarandi gasmengunar á endingartíma mikilvægra innviða s.s. rafmagnsmastra og -lína og vatnsleiðslna (t.d. vegna áhrifa tæringar; sjá t.d. Wilson G., o.fl., 2012, Wilson o.fl., 2012; Stewart o.fl., 2019).

## Efnaálag

Efnaálag vegna eldgosa eru fjölpætt. Styrkur ýmissa efna s.s. flúors, brennisteins og þungmálma, getur verið mjög hár í gasmekki og hefur áhrif á styrk efnanna á jörðu og í vatni. Umbreyting efnanna getur valdið umtalsverðri lækkingu á sýrustigi í umhverfinu og geta afleiðingar þessa ógnað heilsu bæði manna og dýra og haft áhrif á framvindu vistkerfa (Bjarni Diðrik Sigurðsson og Gerður Stefánsdóttir, 2017; Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2015).

Loftegundir sem berast frá eldsumbrotum oxast í andrúmslofti og geta valdið lækkingu sýrustigs í úrkomu en sýrumyndandi gastegundir eru einkanlega SO<sub>2</sub>, HCl og NO<sub>x</sub>. Sú úrkomu getur valdið efnabreytingum í vatni og jarðvegi og hefur áhrif á vistkerfi þeirra. Fari sýrustig niður fyrir pH 5 veldur það efnafræðilegum umbreytingum á jarðvegi, í vatni og votlendi. Lækkandi sýrustig hefur m.a. þau áhrif að ýmis málsambönd verða auðleystari og geta því borist í vatnakerfi og grunnvatn. Sem dæmi má nefna að hækkaður styrkur áls og annarra málma getur valdið fiskidauða í ám og vötnum (Khushbu o.fl., 2022; Botté o.fl., 2022). Áhrif súrnunar vatna vegna iðnaðarmengunar sem leitt hefur til umtalsverðra minnkunar á líffræðilegum fjölbreytileika og breyttri tegundasamsetningu eru vel þekkt um allan heim (Austnes o.fl., 2018). Áhrifin eru nokkuð háð aðstæðum á hverjum stað s.s. buffereiginleikar viðtakanna, efnasamsetningu bergs og jarðvegs og hversu gljúpur bergrunnurinn er. Miðað við eiginleika bergrunnisins hér á landi má almennt vænta að áhrifin geti verið þó nokkur, en benda má á að ekki er vel þekkt hvar grunnlínan liggur og hvert er kritískt álag er hér á landi. Rannsóknir í sjónum umhverfis Ísland sýna að súrnun lækkar kalkmettun og hefur áhrif á kalkmyndandi lífverur (Jón Ólafsson o.fl., 2009; Weyhenmeyer o.fl., 2019). Því gæti myndast svæðisbundið álag í sjó vegna eldgosa hér á landi.

Auk súrnunaráhrifa á úrkomu eru eldgos bein uppspretta mengandi efna sem geta haft mengandi áhrif og er þar einkum litið til málmsambanda og flúors. Ýmsar gerðir þungmálma berast með gosmekki í andrúmsloftið sem eyðast ekki upp í umhverfinu og eru flestir eittraðir í of miklu magni. Flúor er eitt af þeim efnum enda nokkuð algengt í jarðskorpunni. Flúor getur borist með úrkomu og ösku og loðir oft í miklu magni við fingerða ösku en bindingin er m.a. háð yfirborði agnanna. Flúor er mjög hvarfgjarnt efni og binst m.a. kalki sem er mikilvægt efni í líkama manna og dýra sem og lífrænum efnum í jarðvegi og skolast því illa út. Vel er þekkt er að hækkingu á flúori hefur áhrif á lífríki m.a. grasbíta (Helena Marta Stefánsdóttir, 2016; Sigurður Sigurðarson, 2016). Flúor veldur m.a. gaddi í grasbítum, og hefur áhrif á beinþroska ungviðis og mjólkurframleiðslu búpenings og eru einkenni langvinnrar eitrunar beinskemmdir, vanþrif og lömun (vísindavefurinn, 31.1.21). Eitranir verða bráðar ef mikið af flúor berst í líkamann á stuttum tíma, en langvinnar, ef magn umfram það sem skepnan losar sig við berst stöðugt til líkamans á löngum tíma. Hekla hefur valdið mikilli efnamengun, t.d. féllu um 7500 fjár úr gaddi í kjölfar gossins 1970 (t.d. Guðrún Larsen o.fl., 2013).

Í eldgosinu í Holuhrauni 2014-2015 mældist lækkað sýrustig í úrkomu um allt land sem sýnir umfang áhrifanna (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2015). Lægsta sýrustig, pH 3.18, mældist á Borgum í Nesjum, Austur Skaftafellssýslu, sem er í um 95 km fjarlægð frá eldsupptökum í Holuhrauni. Einnig mældust lág gildi (pH 4,47) í Hítardal í Borgarfirði í rúmlega 250 km fjarlægð frá gosstöðvunum.

Vel var fylgst með efnasamsetningu í úrkomu og vötnum umhverfis gosstöðvar í Fagradalsfjalli 2021 og var styrkur um 47 efna mældur í úrkomu og stöðuvötnum á svæðinu. Flest efnanna

sýndu umtalsverða hækkun á vöktunartímanum. Hæstu gildi flestra efna mældust í apríl þó önnur væru hæst síðsumars. Vatnsveitur á Suðurnesjum og á höfuðborgarsvæðinu mældu leiðni, pH-gildi og einnig ýmis efnasambönd í neysluvatni. Eftir er að vinna frekar úr gögnum frá gosinu og meta hvernig þau endurspeglar álag sem gæti borist til grunnvatns en niðurstöður eru mikilvægar m.t.t. viðbúnaðar og mótvægisáðgerða. Mikilvægt er að samræma vöktun út frá þeim gögnum sem safnast hafa og meta mikilvægustu efnin til að meta gæði neysluvatns.

Mikilvægt er að vakta sérstaklega álag vegna mögulegra áhrifa á vatnsból. Ef vatn með háum styrk málmsambanda eða flúors fara í grunnvatn sem notað er til mannelis/dýraeldis getur það valdið alvarlegu heilsutjóni. Mælingar í úrkomu gefa vísbendingar um þau efni sem mikilvægast er að vakta. Vöktun stöðuvatna er mikilvæg í þessu samhengi en þau geta verið skýr vísbending um hækkun málmsambanda sem berast í neysluvatn á svæðinu. Stöðuvötnin endurspeglar það álag sem vænta mátti í grunnvatni ef gos stæði í lengri tíma. Gös losna einnig úr kviku-innskotum þegar þau storkna neðanjarðar og valda ummyndun bergsins umhverfis innskot en bein áhrif þessara gasa á efnainnihald grunnvatns hérlendis eru ekki þekkt.

## Gjóska og gjóskufall

Flest eldgos á Íslandi eru gjóskumyndandi, a.m.k. að hluta (t.d. Þorvaldur Þórðarson og Ármann Höskuldsson, 2008). Gjóska er samheiti gosefna sem berast frá gossopi í lofti, óháð kornastærð og kornagerð (t.d. Guðrún Larsen og Sigurður R. Gíslason, 2013). Hún myndast við þenslu og tætingu kviku í sprengigosum og samanstendur af glerfrauði, kristöllum og bergbrotum í mismunandi hlutföllum. Í sprengigosum draga heit gosefni að sér loft úr andrúmslofti en við það hitnar loftið og þenst út sem veldur því að gosmökkur verður eðlisléttari en andrúmsloftið og stígur vegna uppstreymis. Stærstu gjóskukornin (t.d. bombur) falla úr gosmekkinum næst upptökum en finni agnir berast lengra. Dreifingin eykst með hækkandi gosmekki og auknum vindstyrk. Vindáttir, sérstaklega í efri lögum veðrahvolfsins (5-10 km hæð), ráða hvert gjóska dreifist. Ljóst er að gjóskufall getur haft mun víðtækari áhrif en hraun en áhrifin eru oftast minni og skammvinnari.

Á Reykjanesskaga er sprengivirkni lítil sem engin nema komi til neðansjávargoss undan landi. Nokkur slík gos eru vel þekkt (t.d. Magnús Á. Sigurgeirsson, 1995a) og a.m.k. sex slíkra gosa er getið í rituðum heimildum á tímabilinu frá 1210–1240 e. Kr. (Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2013; Magnús Á. Sigurgeirsson, 1995a; Sigurður Þórarinnsson, 1965; Sveinn Jakobsson, 1974). Neðansjávar gosupptök eru einungis þekkt SV af Reykjanestá. Hæð gosmakkar í surtseyskum gosum, þ.e. þegar utanaðkomandi vatn kemst í snertingu við kviku í gosrás, er oft á bilinu 6-20 km (t.d. Sparks o.fl., 1997).

Áhrif gjósku geta verið töluverð jafnvel þó hún fyrirfinnist ekki í miklu magni (sjá Tafla 15) s.s. á heilsufar manna og dýra (t.d. Horwell & Baxter, 2006; Sigurður Sigurðsson, 2016), á flugstarfsemi í lofti og á landi (t.d. Guffanti o.fl., 2009) og á rafmagnsinnviði (t.d. Wardman, o.fl., 2012). Gjóska spillir skyggni á meðan hún fellur, hún getur breytt akstursskilyrðum á vegum (t.d. Blake o.fl., 2017) og verði gjóskufall svo mikið að þungi gjósku (blautrar eða þurrar) fari yfir burðarþol bygginganna getur hún sligað þök og veggir (t.d. Jenkins o.fl., 2014, Pfeffer o.fl., 2020, 2021).

Tafla 15. Dæmi um mismunandi áhrif gjóskufalls.

Hvar	Helstu áhrif	Hvað þarf að hafa í huga/skoða
Í lofti	Spillir skyggni	Magn og kornastærð gjósku stjórnar því hversu slæmt skyggni verður, fínkornóttari gjóska spillir skyggni meira en grófkornóttari (Blake o.fl., 2018). Miðað við klukkustundamagn svifryks fer <b>skyggni að spillast við 50-100 µg/m<sup>3</sup></b> , fer niður í um 1,6 km við 500-1000 µg/m <sup>3</sup> og verður <400 m þegar klukkustundastyrkur svifryks verður >4000 µg/m <sup>3</sup> ( <a href="https://www.youtube.com/watch?v=bdZaUzrXIXM">https://www.youtube.com/watch?v=bdZaUzrXIXM</a> ).
Í lofti	Heilsuspillandi við innöndun og ertir augu.	Í gjósku eru m.a. agnir af svifryksstærð (þvermál <10 µm) sem komast djúpt ofan í lungu og geta safnast þar fyrir. Þegar klukkustundameðaltal svifryks mælist yfir <b>400 µg/m<sup>3</sup></b> er ekki mælt með langverandi útiveru en þá er skyggni orðið fáir km (ust.is).
Í lofti	Tjón á flugvélum	Gjóskumagn í andrúmslofti <b>0,01-1 mg/m<sup>3</sup></b> getur valdið verulegu tjóni á hreyflum flugvéla (Clarkson o.fl., 2016; Blake o.fl., 2018).
Á jörðu	Efnamengun, F	Sjúkdómar í kjölfar eldgosa hafa lengi þekkt héraendis, sérstaklega tengdir gjóskufalli úr Heklu en fyrstu skráðu lýsingarnar eru í annálum frá 1694. Nú er vitað að flúormengun veldur sjúkdómunum en þölmörk sauðfjár gagnvart flúor í fæðu er <b>30-50 µg/g</b> og <b>≤30 µg/g</b> fyrir mjólkurkýr (Helena Marta Stefánsdóttir, 2016). Þegar flúor skolast af gjósku getur myndast hætta á flúormenguðu vatni einkum í grunnum pollum og getur valdið mengunarhættu fyrir búfénað (t.d. Sigurður Sigurðsson, 2016).
Á vegum	Spillir færð, hylur vegmerkingar.	Viðnám vega breytist í gjóskufalli og kornastærð gjósku hefur áhrif á breytinguna. <b>Þunnt (1 mm) tiltölulega gróft gjóskulag</b> dregur töluvert úr viðnámi, viðnám minnkar með þykkandi fínkornóttari gjósku og blaut gjóska hefur minna viðnám en þurr (Blake o.fl., 2017). Gjóska hylur einnig vegmerkingar á vegum en það hefur í raun ekki mikil áhrif héraendis þar sem íbúar eru vanir slíku af völdum snjós og íss.
Á byggingum	Bætir þunga á byggingar.	Gjóskufall bætir þunga á hús og byggingar og mikilvægt er að gera ráð fyrir því við hönnun bygginga og húsa á gjóskufallssvæðum. Meðaltal burðarþols þaka íbúðarhúsa í Grindavík hefur verið metið um <b>600 kg/m<sup>2</sup></b> (Ari Guðmundsson o.fl., 2014; Pfeffer o.fl., 2020). Þurr gjóska er léttari en blaut en tilraunir hafa sýnt að <b>þyngdaraukning verður líklega allt að 30%</b> (Williams o.fl., 2021) <b>en við rakamettun er hún áætluð 60%</b> (Pfeffer o.fl., 2020, 2021).
Á rafmagnsinnviði (tengivirki, rafmangsstaura og -línur)	Sölt geta valdið skammhlaupum í tengivirkjum.	Kornastærð, gjóskumagn og raki gjóskufalls stjórna áhrifum gjóskufalls á rafmagnsinnviði. Fínkornóttari gjóska berst lengra frá upptökum og getur því haft áhrif á stærra svæði. Hún hefur einnig meira yfirborðsflatarmál og ber því meira af uppleysanlegum söltum sem geta valdið skammhlaupum í tengivirkjum (Wilson o.fl., 2012). Mest áhrif eru af þurri gjósku því við hana loðir mest magn salta en til þess að söltin fari að hafa áhrif þarf raka í gjóskuna. Taldar eru miklar líkur á að gjóska sem nær <b>≥0,5 cm þykkt</b> og innihaldi rétt rakamagn valdi skammhlaupi og útslætti á flutningskerfi rafmagns (Wilson o.fl., 2012).



## Viðauki II. Aðferðir/Hermanir

Hér er farið yfir aðferðafræði við vinnslu hættumats, líkön sem voru notuð eru kynnt og keyrsluforsendur eru skilgreindar út frá bakgrunnsupplýsingum. Þungamiðja kaflans er á líkönunum MrLavaLoba, sem notað var við hermun á útbreiðslu hrauna (de'Michieli Vitturi & Tarquini, 2017), VOL-CALPUFF (Barsotti o.fl., 2008) og CALPUFF (Barsotti, 2020; Scire o.fl., 2000) sem notuð voru við hermun á dreifingu gjósku og gasmengun. Einnig er MatHaz líkanið kynnt en það er notað til að meta líklegustu staðsetningar framtíðar gosa (Bertin o.fl., 2019).

### Líklegar staðsetningar framtíðargosa – MatHaz

Eitt það flóknasta við gerð hættumats af völdum eldgosa er að spá fyrir um hvar næstu eldsupptök verða (t.d. Selva o.fl., 2012). Á Reykjanesskaganum hafa megineldstöðvar ekki þróast og því má segja að þar sé enn flóknara að spá fyrir um hvar næst gýs.

Nokkur líkön hafa verið þróuð til að spá fyrir um gosupptök út frá dreifingu þekktra gossprungna s.s. VORIS (Felpeto o.fl., 2007), QVAST (Bartolini o.fl., 2013) og MatHaz (Bertin o.fl., 2019) en það síðast nefnda var notað hér enda auðvelt í notkun og aðgengilegt. MatHaz er kóði sem er hannaður til að útbúa hættumatskort fyrir eldvirk svæði keyrður í forritinu MatLab. Kóðinn er öllum aðgengilegur (open source) og með honum má m.a. meta líkur á eldsuppkomu út frá staðsetninu þekktra gossprungna. Hægt er að setja inn upplýsingar um aldur gosa og fá líkindafræðilega útreikninga á hvenær næst muni gjósa og að auki er hægt að herma hraunflæði, gjóskufall, eðjustrauma, gjóskuflóð og feril hraunbomba. MatHaz kóðinn er ekki þróaður til að skoða eðli atburða og atburðarás eða þróun einstakra gosa heldur til að meta líkur á því að ákveðnir atburðir eigi sér stað, hvar og hvenær. Einungis fyrsta skref MatHaz kóðans var nýtt hér, þ.e. útreikningar á því hvar líklegast er að gjósi.

Til að nota MatHaz við að meta líkur á eldsuppkomu þarf að hafa landhæðarlíkan (DEM) en ÍslandsDEM, útgáfa 1.0 (atlas.lmi.is/dem) var notað í 200 m upplausn. Einnig þarf upplýsingar um þekkt jarðfræðileg fyrirbrigði s.s. sprungur og stefnur þeirra, gíga, gossprungur og jarðhitasvæði. Þessar upplýsingar fengust að mestu af kortavefsjá ÍSOR (<https://www.isor.is/jardfraedikort-kortavefsja>) sem byggir á mikilli vinnu sem hefur verið lögð í jarðfræðikortlagningu á Reykjanesi í gegnum tíðina en góð kort eru til af þekktum sprungum bæði höggunar og gossprungum, gígum og jarðhitasvæðum (t.d. Jón Jónsson, 1978; Kristján Sæmundsson o.fl., 2010, 2016, 2020). Allar ofantaldar upplýsingar eru nauðsynlegar til að spá fyrir um framtíðargosupptök. Einungis var unnið með gögn á landi og hafa verður í huga að yngri hraun geta hulið eldri myndanir sem eru þ.a.l. óþekkt og ekki frekar unnið með þau. Sprungur og gígar úr gosunum og aðdraganda þeirra árin 2021 og 2022 voru ekki inni í því gagnasetti sem notað var.

Jarðfræðileg gögn á landi voru flokkuð í fimm flokka: gígar og gossprungur, höggunarsprungur með N-S stefnu, höggunarsprungur með NA-SV sprungur, aðrar sprungur og jarðhitasvæði. Hverjum flokki var gefið ákveðið vægi í samræmi við mikilvægi þeirra þegar kemur að eldsupptökum (Tafla 5) en við mat á vægi mismunandi flokka var stuðst við meðaltals niðurstöður úr meistararitgerð Þóru Bjargar Andrésdóttur (2018) þar sem ellefu sérfræðingar voru spurðir um vægi mismunandi flokka. Sérfræðingarnir voru beðnir um að meta vægi misgamalla gosminja en samtals var vægi þeirra metið um 66% (Þóra Björg Andrésdóttir, 2018). Hér var öllum þekktum gígum og gossprungum gefið sama vægi, samtals 66% enda eru þau

fyrirbæri mynduð í fortíðargosum. Höggunarsprungur fengu 19% vægi í sérfræðimati (Þóra Björg Andrésdóttir, 2018) en hér var þeim skipt upp. Höggunarsprungur með NA-SV stefnu tengjast gliðnuninni sem á sér stað á flekaskilum Evrasíu og Norður-Ameríkuflékanna og hafa svipaða stefnu og þekktar gossprungur á svæðinu. Þær fá því meira vægi (17%) en sprungur sem tengjast þverbrotabeltinu á Reykjaneskaga og hafa N-S stefnu (2%; sjá kafla 2). Jarðhitasvæði eru til staðar vegna heitra innskota djúpt í jörðu sem tengjast kvikuinnskötum af mismunandi aldri og því fá jarðhitasvæði töluvert vægi (14%) í útreikningum á hvar kvika mun næst brjóta sér leið til yfirborðs en í þessu tilfelli notuðum við óbreytt vægi sérfræðinga (sjá Þóra Björg Andrésdóttir, 2018). Til þess að fá heildstæða mynd af líkum á gosupptökum á Reykjaneskaganum var MatHaz kóðinn keyrður með gögnum frá þeim eldstöðvakerfum sem eru á Reykjaneskaga (Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll).

Áhugasömum er bent á að kynna sér kóðann frekar í grein Bertin o.fl. (2019) þar sem hann er birtur og virkni hans vandlega útskýrð.

## Hraun – MrLavaLoba

Mikilvægur hluti hættumats er að meta hvaða svæði eru berskjölduð fyrir náttúruvá og á svæði eins og Reykjaneskaga þar sem hraungos eru algengustu gosin er lykilatriði að spá fyrir um hvar hraun geta flætt og hvar er líklegast að hraun muni renna. Þónokkur líkön hafa verið hönnuð til að herma hraunflæði en þau hafa mismunandi áherslur (t.d. Dietterich o.fl., 2017). Sum reyna að herma náttúrulegt eðli hrauna og breytingar þess með tíma s.s. breytingar á hitastigi, seigju og efnasamsetningu þeirrar kviku sem hermd er (e. deterministic codes t.d. FLOWGO; Harris & Rowland, 2001; PyFLOWGO; Chevrel o.fl., 2018), sum herma hraunflæði í lokuðum rásum en önnur í opnum rásum. Önnur líkön, svo kölluð líkindafræðileg líkön (e. probabilistic code) líta framhjá flóknum breytingum á eðli hrauna við rennsli þeirra og meðhöndla þau í raun sem vökva sem flæðir undan þyngdarafli og stjórnast því að langmestu leyti af landslagi (t.d. DOWNFLOW: Favalli et al., 2005, Tarquini and Favalli, 2013, Q-LAVHA: Mossoux et al., 2016). Þessi líkön má stilla á ýmsan hátt og með því er óbeint reynt að taka tillit til eðlisfræðilegra eiginleika hrauna. Við vinnslu þessa verkefnis var ákveðið að nota líkindafræðilega líkanið MrLavaLoba (de'Michieli Vitturi & Tarquini, 2017) sem hermir útbreiðslu hrauna að tilteknu tilliti til þeirra breytinga sem verða á landslagi við hraunrennsli. Líkanið er því vel til fallið að herma hraunútbreiðslu á aflíðandi landi eins og á Reykjaneskaganum. MrLavaLoba líkanið var prófað á gögnum úr Holuhraungosinu 2014–2015 og kom vel út úr þeim prófunum (Tarquini o.fl., 2018) og hefur að auki verið notað við gerð hættumats í Vestmannaeyjum og Hvassahrauni (Pfeffer o.fl., 2020, 2021, Bergrún A. Óladóttir o.fl., 2023b).

MrLavaLoba er hannað til að skoða útbreiðslu hrauna með það markmið í huga að skoða hvaða svæði eru líkleg til að verða fyrir hrauni og hver endanleg hraunþykkt verður (de'Michieli Vitturi & Tarquini, 2017). Þar af leiðandi hentar líkanið vel til að meta langtímavá og meta hvar er fyrirsjáanlegt að verði eignatjón. Í upphafi var lítil áhersla á að nota líkanið til að fylgjast með þróun hraunflæðis með tíma en í gosinu í Fagradalsfjalli 2021 var það lítillaga uppfært til að reyna að spá fyrir um þróun hraunflæðis í nánustu framtíð út frá áætluðum útstremishraða hrauns (Pedersen o.fl., 2023).

Líkanið metur líkur á stefnu og þykkt hrauns frá ákveðnum upptökum með tilliti til þess landslags sem það skriður yfir og tekur einnig tillit til þeirra breytinga sem verða á landslagi í því gosi sem hermt er, þ.e. hver nýr hraunsepi sem hermdur er byggir upp nýtt landslag í líkaninu. Ein forsenda áreiðanlegra niðurstaðna er því gott upphafs landhæðarlíkan en hér var ÍslandsDEM, útgáfa 1.0 (atlas.lmi.is/dem) notað. Útbreiðsla hrauna og þykkt miðast við

fyrirfram ákveðið hraunmagn. Niðurstöður eru hér einskorðaðar við hermanir á landi þar sem MrLavaLoba greinir ekki mun á landi og sjó. Eina breytingin sem líkanið nemur á mörkum lands og sjávar er aukinn halli sem hraunið rennur eftir en það tekur ekki tillit til samspils kviku og sjávar, sjávarkælingar eða annarra breytinga á rennslisáttum sem verða við að hraun flæðir í vatn.

Áður en MrLavaLoba er keyrt þarf að skilgreina sviðsmyndir, þ.e. hve stórt hraun á að herma og tegund gosupptaka (s.s. stakur gígur, gossprunga). Einnig þarf að stilla líkanið þannig að það hermi lengd og þykkt þekktis hrauns af svipaðri stærð. Þegar upphafsþætur (input parameters) hafa verið stilltar á þann hátt að líkanið gefi ásætlanlegar niðurstöður fyrir þekkt hraun eru þær stillingar notaðar við áframhaldandi líkankeyrslur. Helstu upphafsþætur sem unnið er með eru staðsetning upptaka, gerð gosupptaka, rúmmál sem herma skal, stærð, lögun og fjöldi hraunsepa sem eru hermdir auk þess hve oft nýtt hraun er látið renna frá upptökum.

Til þess að meta hvaða svæði eru líklegust til að verða fyrir hraunflæði á Reykjaneskaga var ímynduðum gígum/gossprungum jafndreifit yfir svæðið frá vestari mörkum Reykjaneskerfisins að eystri mörkum Krýsuvíkurkerfisins með 1 km millibili. Innan þess svæðis sem hér er unnið með voru alls 299 hermigossprungur skilgreindar innan kerfa Reykjanes-Svartsengis, 308 innan Fagradalsfjallskerfisins og svæðinu norður af því milli Svartsengis og Krýsuvíkur (einungis 192 þeirra falla innan kortlagðs svæðis) og 221 skilgreindar gossprungur innan Krýsuvíkurkerfisins (133 innan svæðis sem sýnt er á kortum; sjá Mynd 9). Allar niðurstöður sem eru sýndar byggja á hermunum og útreikningum frá heildarfjölda gossprungna þrátt fyrir að hluti þeirra falli utan kortlagðs svæðis. Hver punktur á Mynd 9 er því miðja gossprungu af mismunandi lengd en skörun milli gossprungna eykst með lengd þeirra.

Eftir skoðun á lengd gossprungna innan eldstöðvakerfa Reykjanes, Svartsengis og Krýsuvíkur var ákveðið að herma hraunrennsli frá gossprungum af þremur lengdum: stakur gígur, 2 km og 10 km. Unnið var með lítil ( $<0,1 \text{ km}^3$ ) og meðalstór ( $0,1-0,5 \text{ km}^3$ ) gos í samræmi við stærðar-skilgreiningar á vefsíðunni [www.islenskeldfjoll.is](http://www.islenskeldfjoll.is) en Illahraun var notað sem fyrirmynd lítilla hrauna og Arnarseturshraun fyrirmynd meðalstórra hrauna (Mynd 9, Tafla 6). Stefnit var að því að niðurstöður hermana gæfu lengdir hrauna á bilinu 1-12 km með 5 km sem líklegasta kost og þykktir hrauna á bilinu 1-30 m með 10 m þykkt sem líklegustu þykkt en leitast var eftir gildum í lægri kanti spannar í hermunum lítilla gosa og í hærri kannti í hermunum meðalstórra gosa. Stór gos voru ekki hermd enda engin slík söguleg sprungugos þekkt frá kerfunum sem hér er unnið með.

MrLavaLoba hermir stakar sviðsmyndir frá hverri gossprungu en alls voru keyrðar 4968 hraunhermanir (tvær sviðsmyndir hermdar frá þremur mismunandi gossprungulengdum frá eldstöðvakerfunum fjórum eða frá alls 828 miðpunktum; Tafla 7). Stakar sviðsmyndir má nota til að skoða líklegt áhrifasvæði goss af ákveðinni stærð úr ákveðinni gossprungu. Eins má nota samantekt allra stakra sviðsmynda til að afmarka landfræðilega þær gossprungur sem hraun geta runnið frá inn á ákveðin svæði en hér var það gert fyrir Grindavík, Voga, Reykjanesbæ, Bláa lónið/Svartsengi og vatnstökusvæðið í Lágum.

Með því að leggja saman allar hermanir hraunflæðis af ákveðinni stærð frá öllum kerfunum sem skoðuð voru (Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall og Krýsuvík) má svo meta hvaða svæði eru líkleg til að verða fyrir hraunflæði frá öllum hermdum gossprungum (Mynd 8). Að lokum voru niðurstöður þess hvar líklegast er að gossprungur opnist (MatHaz, kafli 4.1) og hvaða svæði eru útsett fyrir hraunflæði (Mynd 8) unnar saman og þær niðurstöður sýna raunhæfari mynd af því hvaða svæði eru líklegust til að lenda undir hrauni.

## Gas – CALPUFF

Líkanið CALPUFF er notað til að herma dreifingu SO<sub>2</sub> sem losnar úr kviku í hraungosum. CALPUFF var þróað til að herma dreifingu mengunar í andrúmslofti (Scire o.fl., 1990, 2000) og var aðlagð til þess að herma mengun af völdum eldgoss í Holuhraungosinu 2014–2015 (Barsotti, 2020). Á meðan Holuhraungosinu stóð var líkanið notað til að gefa út gasdreifingaspár með klukkustundar upplausn allt að 72 klst fram í tímann annars vegar fyrir allt landið og hins vegar landsvæði umhverfis gosupptök (Barsotti, 2020). Líkanið var notað á sama hátt í gosunum í Fagradalsfjalli árin 2021 og 2022. Samanburður á dreifingarspám og raunmælingum í Fagradalsfjalli bendir til að líkanið standi sig vel í dreifingarhlutanum (Whitty, 2022) en spáður styrkleiki reyndist oft ofmetinn og því er mikilvægt að halda áfram þróun á gasdreifingarlíkönnum svo hægt sé að bæta spár um styrkleika gasmengunar. Á meðan gasdreifingarlíkön spá ekki nógu vel fyrir um styrkleika mengunar er mikilvægt að loftgæðimælingar í rauntíma séu notaðar með gasdreifingarspám til að fá réttar upplýsingar um styrk mengunar en þær mælingar eru aðgengilegar á vefsíðu Umhverfisstofnunar, [www.loftgaedi.is](http://www.loftgaedi.is).

Við vinnslu langtímahættumats fyrir Reykjanesskaga var gasdreifing á Reykjanesskaganum hermd með 500 m upplausn frá gossprungum annars vegar innan eldstöðvakerfa Reykjanessvartsengis og hins vegar innan Krýsuvíkurkerfisins. Ekki var unnið með gasdreifingu um allt landið. Fyrirmynd gaslosunar á Reykjanesi var Holuhraungosið 2014-2015 en efnasamsetning kviku á Reykjanesi er á margan hátt svipuð kviku sem myndast í Bárðarbungu (Ranta o.fl., 2023). Tvær sviðsmyndir voru keyrðar, annars vegar fyrir lítið flæði SO<sub>2</sub> (270 kg/s) og hins vegar fyrir mikið flæði (1900 kg/s) en þessar tölur eru reiknaðar út frá metinni losun SO<sub>2</sub> úr kviku í Holuhraungosinu 2014-2015 (0,2090g SO<sub>2</sub>/100g kviku; Bali o.fl., 2018) og metnum útstreymishraða kviku frá gosstöðvum (130-910 tonn/s; Pedersen o.fl., 2017 sé miðað við eðlisþyngd kviku 2.600 kg/m<sup>3</sup>). Gasmælingar í gosinu í Fagradalsfjalli sýndu minna útstreymi SO<sub>2</sub> en hermt var. Mælt flæði í gosinu árið 2021 var oftast á bilinu 0-100 (kg/s) en fór þó upp í 400 kg/s en meðaltalsflæði þá 6 mánuði sem gosið stóð árið 2021 var 60 kg/s (Pfeffer o.fl., 2022).

Við ákvörðun gosupptaka var dregin punktalína með 1 km fjarlægð milli punkta eftir miðlínu eldstöðvakerfanna (Mynd 23). SO<sub>2</sub> losun frá 2 km löngum gossprungum var hermd eftir endilöngum miðlínunum en alls var losun hermd frá 14 gossprungum á Reykjanes-Svartsengiskerfunum og 18 línunum innan Krýsuvíkurkerfisins. Hæð gosmakkar fór upp í 2 km í litlu flæði og upp í 4 km í miklu flæði. Veðurgögn frá endurgreiningu Reiknimiðstöðvar evrópskra veðurstofa sem kallast ERA-Interim voru notuð og unnið var með veður frá tíu ára tímabili eða frá 1981–1990 (ECMWF, 2011).

Gerðar voru 2000 hermanir frá hverri sprungu fyrir hvora sviðsmynd fyrir sig eða alls 128 þúsund hermanir til að ganga úr skugga um að breytileiki veðurgagna hafi nægt vægi og að niðurstöður séu stöðugar. Niðurstöður allra hermanna frá hvoru eldstöðvakerfi fyrir sig voru notaðar ásamt því hve líkleg gosupptök eru metin (Mynd 8, Mynd 23) til að skoða hve berskjölduð svæði eru fyrir því að klukkustundarstyrkur SO<sub>2</sub> við jörðu yrði á fimm ákveðnum styrktabilum sem skilgreind eru út frá áhrifum SO<sub>2</sub> á heilsufar skv. viðmiðum frá Umhverfisstofnun (<https://ust.is/loft/loftgaedi/loftmengun-i-eldgosum/>; Viðauki I, (Tafl 8) Styrktarbilin eru: 350-600 µg/m<sup>3</sup>; 600-2.600 µg/m<sup>3</sup>; 2.600-9.000 µg/m<sup>3</sup>; 9.000-14.000 µg/m<sup>3</sup> og >14.000 µg/m<sup>3</sup>. Þar sem gasdreifing var einungis hermd frá miðlínu kerfanna voru líkur á gosupptökum innan kerfanna dregnar saman í sömu miðlínur með því að leggja saman líkur hornrétt á hverja gossprungu, annars vegar innan Reykjaness-Svartsengis og hins vegar innan Krýsuvíkur.

Niðurstöður hermanna voru einnig notaðar til að skoða dekkstu sviðsmyndir innan þéttbýlisstaða, á mikið sóttum ferðamannastöðum og ákveðnum iðnaðarsvæðum (Tafla 4). Þar var ekki tekið

tillit til vægis gosupptaka þannig að öll líkleg og ólíkleg gosupptök voru skoðuð en í fyrstu voru útmörk sem féllu ekki innan tölfræðilegrar dreifingar gagnasettsins fjarlægð. Að því loknu var dekksta sviðsmynd kölluð fram fyrir hvert svæði með því að reikna meðaltal hermdra hæstu gilda í fjórum næstu punktum umhverfis miðpunkt þess svæðis sem var til skoðunar.

## Gjóska –VOL-CALPUFF

Líkanið VOL-CALPUFF hefur verið notað til að spá fyrir gjóskudreifingu í rauntíma, bæði í Eyjafjallajökulsgosinu 2010 (Spinetti o.fl., 2013) og Grímsvatnagosinu 2011 (Barsotti, óbirt gögn). Að auki hefur líkanið verið notað við gerð hættumats af völdum gjóskufalls þar sem gjóskudreifing og líkleg þykkt gjóskufalls frá Heklu, Kötlu, Örafajökli (Barsotti o.fl., 2020), Surtsey og Heimaey (Pfeffer o.fl., 2020, 2021) var hermd. VOL-CALPUFF er viðbót við CALPUFF líkanið en upphaflega líkanið var þróað til að skoða dreifingu mengunarvalda á gasformi í andrúmslofti. Með VOL-CALPUFF viðbótinni er föstum efnum bætt við og hægt er að skoða sérstaklega ferli í eldgosum, svo sem hvernig gosmökkur rís og hvernig gosefni finni en 6,4 cm losna úr honum (Barsotti o.fl., 2008). Falleigineikar stærri korna eru aðrir og hafa til þessa ekki verið unnir inn í líkanið. Til að keyra VOL-CALPUFF líkanið þarf að skilgreina kennistærðir þess goss sem á að herma en kennistærðir eldgosa eru t.d. hæð gosmakkar, magn gosefna og kornastærðardreifing.

Við upphaf hermanna eru kennistærðir stilltar út frá þekkingu á eldri gosum. Líkanið vinnur í þrívídd og skilar gjóskudreifingu sem tekur mið af veðureiginleikum sem hafa áhrif á gjóskufall s.s. ríkjandi vindáttum, staðbundnum vindhviðum og úrkomu. Kennistærðir og veðurskilyrði eldgosa framtíðarinnar eru ekki þekkt en með því að herma fjölmargar mögulegar sviðsmyndir má sjá hvar mestar líkur eru á gjóskufalli og meta óvissu sem fylgir líkanreikningum. Niðurstöður líkansins eru gefnar í magni gjósku (kg) sem fellur á stærðarflöt ( $m^2$ ) á tímaeiningu (klukkustund) og/eða magni gjóskuagna í andrúmslofti ( $g/m^3$ ) og þeim má breyta í þykkt ef eðlisþyngd gjóskunnar er þekkt eða áætluð.

Hér er hermt gjóskufall úr gosi með upptök u.þ.b. 1,5 km SV af Reykjanestá. Stærð hermds goss er  $0,1 \text{ km}^3$  af nýfallinni gjósku sem gefur  $1 \cdot 10^{11} \text{ kg}$  sé miðað við eðlisþyngd gjósku  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Allar upphafsforsendur og kennistærðir eru gefnar í Tafla 12 en fyrirmynd hermds goss er gosið sem átti sér stað árið 1226 og myndaði Miðaldalagið, stærsta þekkta gjóskulag á Reykjanesskaga (Magnús Á. Sigurgeirsson, 1992; 1995b). Líkanið vinnur með ákveðið magn gjósku og því skiptir lengd hermds goss töluverðu máli en til að láta gosið standa lengi þarf afl þess að vera minna en ef allt gjóskumagnið myndast á nokkrum klukkustundum (annars vegar lágur gosmökkur í langan tíma og hins vegar hár gosmökkur í stuttan tíma). Annars vegar var hermt 4 klst langt gos með gosmakkarhæð á bilinu 9-15 km sem hér er nefnt stutt gos og hins vegar 72 klst langt gos með gosmakkarhæð á bilinu 3-7 km, hér nefnt langt gos (sjá Tafla 12). Sömu veðurgögn voru notuð við hermun gjósku- og gasdreifingar eða gögn frá endurgreiningu Reiknimiðstöðvar evrópskra veðurstofa sem kallast ERA-Interim frá tíu ára tímabilinu 1981–1990 (ECMWF, 2011).

Gerðar voru 500 hermanir fyrir hvora sviðsmynd fyrir sig eða alls 1000 hermanir. Niðurstöður allra hermanna voru notaðar til að skoða hve berskjölduð svæði eru fyrir gjóskufalli af fjórum mismunandi þykktum (0,1 cm; 1 cm; 10 cm og 100 cm). Dekkstu sviðsmyndir gjóskufalls voru dregnar út úr gagnasafninu fyrir fyrirfram ákveðin svæði (Tafla 4). Í fyrstu voru útmörk sem féllu ekki innan tölfræðilegrar dreifingar gagnasettsins fjarlægð. Að því loknu var dekksta sviðsmynd kölluð fram fyrir hvert svæði með því að taka meðaltal hæstu hermdra gilda í fjórum næstu punktum umhverfis miðpunkt svæðis sem var til skoðunar.

## Viðauki III. Dekkstu sviðsmyndir SO<sub>2</sub>

Hæsti klukkustundar meðaltalsstyrkur SO<sub>2</sub> næstu fjögurra punkta umhverfis hvern áherslustað frá hverri gossprungu. Gagnasettinu fylgja ekki upplýsingar um veðurfar sem framkalla hvert gildi. Samanlagðar líkur á opnun gossprungna dregnar saman hornrétt á gossprungur fyrir allt eldstöðvakerfið sem unnið er með.

Töflur III-1 til III-4 hér að neðan gefa upplýsingar um dekkstu sviðsmyndir frá litlu og miklu gasflæði annars vegar frá Reykjanesi-Svartsengi og hins vegar frá Krýsuvík. Gossprunga 7 á eldstöðvakerfi Reykjanes-Svartsengis veldur oftast dekkstu sviðsmynd á áhrifasvæðum (á 6 af 24 áhrifasvæðum) frá gosum með bæði litlu og miklu gasflæði (þó ekki sömu áhrifasvæði). Í gosi frá Krýsuvíkurkerfinu eru dekkstu sviðsmyndir frá flestum gossprungum á Keili og Fagradalsfjalli sem má tengja við hæð þeirra í landslagi (sjá umfjöllun í texta).

Tafla III-1 Dekksta sviðsmynd SO<sub>2</sub> úr gosi með litlu gasflæði (270 kg/s) frá Reykjanes-Svartsengiskerfunum. Niðurstöður gefnar frá hverri hermdri gossprungu.

Dekksta sviðsmynd SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (klukkustundargildi)																	
Eldstöðvakerfi	Reykjanes-Svartsengi																
Gosmakkar hæð	0-2 km																
Gasflæði	270 kg/s																
Samanlagðar líkur á opnun gossprungu	9.16	16.29	11.01	9.17	14.21	16.66	9.69	7.02	3.72	1.31	1.12	0.60	0.04	0.02			
Áherslusvæði	Staður	Gossprunga 1	Gossprunga 2	Gossprunga 3	Gossprunga 4	Gossprunga 5	Gossprunga 6	Gossprunga 7	Gossprunga 8	Gossprunga 9	Gossprunga 10	Gossprunga 11	Gossprunga 12	Gossprunga 13	Gossprunga 14	Max gildi á áherslusvæði	Min gildi á áherslusvæði
	10	Grindavík	27203	3176	11149	9640	21162	15084	40959	35043	15625	8182	9916	20727	11149	10257	40959
11	Þórkötlustaðahverfi	23959	5719	13311	12539	9096	19058	19321	22454	27443	17338	10844	15150	11987	7811	27443	5719
1	Vogar	13662	18898	19421	11347	8265	3930	9028	25004	29111	32357	17653	9047	13563	9127	32357	3930
2	Reykjanesbær-Njarðvík	15847	35550	26806	26914	42755	31505	48550	60655	30272	40530	34251	12578	22532	20266	60655	12578
3	Reykjanesbær-Keflavík	19083	36993	46254	41610	41569	34718	35996	49503	73587	42099	48032	35644	45607	25060	73587	19083
4	Reykjanesbær-Ásbrú	22111	45278	58233	49221	46641	50927	65150	59750	53794	34809	35499	18960	25765	20933	65150	18960
7	Garður	27419	32269	33434	30065	26606	29740	40633	24769	33017	42452	49410	26693	32001	28189	49410	24769
8	Sandgerði	31692	37197	43581	34754	34613	30536	32634	39442	38692	42694	31514	15802	25490	22432	43581	15802
9	Reykjanesbær-Hafnir	49752	60042	59555	49168	50726	19982	32576	23385	23967	15405	12500	11105	12873	11164	60042	11105
6	Keflavíkurlugvöllur	35778	53110	47939	50460	39120	39910	60373	52941	36145	60127	43322	31841	33590	22154	60373	22154
16	Bláa lónið	7053	6944	4970	6440	13233	17999	19381	7375	13979	12244	13417	21921	10023	9826	21921	4970
14	Fagradalsfjall	24582	31215	22398	46494	56755	19032	19915	104157	34493	16954	24143	53742	15874	15391	104157	15391
13	Keilir	15680	8441	6952	19923	17268	26957	41693	71794	43131	47055	34307	14190	7599	37104	71794	6952
17	Brimketill	20123	19649	19534	6137	7432	9496	12008	7290	9127	9366	9772	15224	8520	7709	20123	6137
12	Seltún	22191	15601	11835	30561	16621	17780	19174	15859	19448	7081	10891	5910	7234	3044	30561	3044
18	Gunnhver	81025	5610	9797	12398	10223	6256	4532	5624	6341	9592	10527	11224	9575	9168	81025	4532
19	Brú milli heimsálfa	34805	47236	42380	35050	8859	6628	8096	6281	7828	7643	11166	8662	9921	8204	47236	6281
23	Eldvörp	9245	4434	3213	40125	9563	18483	23610	11298	12520	13133	11877	19883	12050	10510	40125	3213
24	Þorbjörn	23873	18533	14143	40946	23839	37233	52276	48407	16356	23325	24507	29144	18211	15222	52276	14143
15	Svartsengi	10275	8698	4163	8792	14737	21060	30388	13402	10248	10435	12565	19590	11661	9377	30388	4163
20	Reykjanesvirkjun	89735	7881	4712	12994	9875	12445	5854	5928	6820	9760	9759	11757	9762	9479	89735	4712
22	Lágar vatnstökusvæði	16748	15057	12612	2635	4015	36446	24536	14181	17213	11056	11571	12955	13847	16995	36446	2635
21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	23446	14544	15674	35898	22841	12504	9824	7842	10990	10411	9929	16257	11531	9099	35898	7842
5	Tengivirki Ásbrú	23017	36680	45519	47162	32778	43181	58691	49778	40250	47064	16578	10168	19806	16526	58691	10168
	Max gildi frá gossprungu	89735	60042	59555	50460	56755	50927	65150	104157	73587	60127	49410	53742	45607	37104	104157	24769
	Min gildi frá gossprungu	7053	3176	3213	2635	4015	3930	4532	5624	6341	7081	9759	5910	7234	3044	20123	2635

Tafla III-2 Dekksta sviðsmynd SO<sub>2</sub> úr gosi með miklu gasflæði (1900 kg/s) frá Reykjanes-Svartsengiskerfunum. Niðurstöður gefnar frá hverri hermdri gossprungu.

Dekksta sviðsmynd SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (klukkustundargildi)																	
Eldstöðvakerfi		Reykjanes-Svartsengi															
Gosmakkar hæð		0-4 km															
Gasflæði		1900 kg/s															
Samanlagðar líkur á opnun gossprungu		9.16	16.29	11.01	9.17	14.21	16.66	9.69	7.02	3.72	1.31	1.12	0.60	0.04	0.02		
Áherslusvæði	Staður	Gossprunga 1	Gossprunga 2	Gossprunga 3	Gossprunga 4	Gossprunga 5	Gossprunga 6	Gossprunga 7	Gossprunga 8	Gossprunga 9	Gossprunga 10	Gossprunga 11	Gossprunga 12	Gossprunga 13	Gossprunga 14	Max gildi á áherslusvæði	Min gildi á áherslusvæði
	10	Grindavík	1161	4597	4776	4785	4533	83473	301828	167932	91224	30857	42920	44870	44244	37277	301828
11	Þórkötlustaðahverfi	1285	4760	4336	4103	4432	61074	40143	203086	85188	90851	48247	38397	35477	44840	203086	1285
1	Vogar	783	5409	5734	12799	5506	29263	109605	77891	95718	66903	316100	61774	37591	44244	316100	783
2	Reykjanesbær-Njarðvík	704	4793	4714	3394	2865	23379	58542	37850	51638	61605	158634	50836	44689	50612	158634	704
3	Reykjanesbær-Keflavík	576	4831	4351	3959	2946	18260	40243	27018	65465	48094	40061	116724	78416	78000	116724	576
4	Reykjanesbær-Ásbrú	746	4882	4365	4318	3604	35161	34127	35173	27952	65206	98741	73036	52711	48719	98741	746
7	Garður	2756	7164	9495	7340	6657	12660	33449	32714	28540	30574	44964	61676	41075	49710	61676	2756
8	Sandgerði	1209	8846	11577	10795	6775	18115	47686	42232	48992	39629	38337	71073	65302	67375	71073	1209
9	Reykjanesbær-Hafnir	830	5694	6032	10814	11221	63234	44464	63153	40742	42661	60753	63154	48639	34590	63234	830
6	Keflavíkurlugvöllur	649	4486	4427	7834	4744	29314	27829	78386	20213	21051	94680	96211	59684	50065	96211	649
16	Bláa lónið	1278	4120	5704	4529	3996	154148	200905	82165	72992	65671	57825	35160	28607	28801	200905	1278
14	Fagradalsfjall	1165	4653	4067	4397	3867	32484	20711	27755	81438	46856	59131	27060	40276	47420	81438	1165
13	Keilir	1118	5661	6070	7914	5960	43591	43689	61991	22880	122531	36416	6445	61439	85895	122531	1118
17	Brimketill	882	5233	7463	13472	9494	76983	88181	59370	33271	28053	38680	26409	20359	17003	88181	882
12	Seltún	898	5122	5348	6989	5584	36698	33572	15410	18827	21605	27657	14752	11642	17119	36698	898
18	Gunnhver	206796	11518	9262	9839	9921	36115	82260	56981	43446	41416	35436	28985	23555	20949	206796	9262
19	Brú milli heimsálfa	898	7475	7436	8938	5625	91809	47844	69067	41472	42667	47461	42853	26706	29457	91809	898
23	Eldvörp	1464	6296	9289	8243	28363	498476	198451	92617	52532	36332	41544	41045	26497	25707	498476	1464
24	Þorbjörn	1234	5346	5470	5037	4870	93470	173682	111674	64588	64397	63096	55747	36941	35475	173682	1234
15	Svartsengi	1235	4449	5429	4597	4057	51017	148880	71094	79862	60763	63129	36857	26604	27814	148880	1235
20	Reykjanesvirkjun	228393	12428	11128	8232	11405	49402	58045	57485	40158	42241	47646	30380	26882	21964	228393	8232
22	Lágar vatnstökusvæði	1079	6164	6586	6202	13055	29282	275703	231314	133885	86569	83817	69359	79764	54129	275703	1079
21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	923	4530	5391	4281	8714	159036	106765	64149	46985	35897	46353	36520	23730	23550	159036	923
5	Tengivirki Ásbrú	762	4024	4901	3860	3592	30438	47048	75234	26428	82579	127099	34473	41509	48384	127099	762
	Max gildi frá gossprungu	228393	12428	11577	13472	28363	498476	301828	231314	133885	122531	316100	116724	79764	85895	498476	9262
	Min gildi frá gossprungu	576	4024	4067	3394	2865	12660	20711	15410	18827	21051	27657	6445	11642	17003	36698	576





Tafla III-4 Dekksta sviðsmynd SO<sub>2</sub> úr gosi með miklu gasflæði (1900 kg/s) frá Krýsuvíkurkerfinu. Niðurstöður gefnar frá hverri hermðri gossprungu.

Dekksta sviðsmynd SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> (klukkustundargildi)																					
Eldstöðvakerfi	Krýsuvík																				
Gosmakkar hæð	0-4																				
Gasflæði	1900 kg/s																				
Samanlagðar líkur á opnun gossprungu	1.09	5.99	11.43	13.49	16.11	20.62	7.31	6.93	4.75	2.79	2.35	2.09	1.18	1.19	0.57	1.11	0.89	0.12			
Áherslusvæði	Staður	Gossprunga 1	Gossprunga 2	Gossprunga 3	Gossprunga 4	Gossprunga 5	Gossprunga 6	Gossprunga 7	Gossprunga 8	Gossprunga 9	Gossprunga 10	Gossprunga 11	Gossprunga 12	Gossprunga 13	Gossprunga 14	Gossprunga 15	Gossprunga 16	Gossprunga 17	Gossprunga 18	Max gildi á áherslusvæði	Min gildi á áherslusvæði
10	Grindavík	28561	20770	25051	17287	23669	30529	23398	47210	30208	21011	18529	18453	16915	15855	15723	14413	13858	12252	47210	12252
11	Þórköttlustaðahverfi	37939	27875	17149	31782	27099	30968	32337	48937	35693	21035	19850	18676	16717	16481	16468	16023	16088	12883	48937	12883
1	Vogar	20485	41002	29991	30481	7221	37622	26527	34397	94055	59111	41490	37345	28056	22351	14507	15022	12521	10740	94055	7221
2	Reykjanesbær-Njarðvík	32742	30482	31589	8222	10182	46589	39242	42186	60220	41389	38789	29427	28031	20110	13783	13770	12251	10843	60220	8222
3	Reykjanesbær-Keflavík	33056	29635	28933	17258	10364	49357	29412	36562	53907	42628	33400	34584	28015	22803	13804	14045	14284	10450	53907	10364
4	Reykjanesbær-Ásbrú	58264	40111	18137	8799	15562	48320	29179	41299	51732	44510	31621	27792	23698	20073	13747	12855	13227	10905	58264	8799
7	Garður	37182	32032	29577	26380	28010	33809	21606	23768	24606	24223	30028	30208	23821	18832	16571	16925	16332	14292	37182	14292
8	Sandgerði	42297	33425	40576	28419	17215	34872	26701	29056	44729	38034	32130	27976	26732	20737	15787	16273	14702	13460	44729	13460
9	Reykjanesbær-Hafnir	46513	41140	25107	23921	35819	48291	29988	38731	34526	30804	21949	23070	20110	16413	12926	12024	11057	9000	48291	9000
6	Keflavíkurflugvöllur	54156	45056	26357	13391	14155	44765	32608	41514	48745	40235	34778	30197	24695	19017	14424	13633	14404	11831	54156	11831
16	Bláa lónið	30814	17680	26447	14721	23664	32160	18133	23489	22863	26995	22053	21794	22128	17990	21889	16720	14533	13000	32160	13000
14	Fagradalsfjall	62197	44090	47309	52682	56322	92187	76262	50362	27098	24235	20611	18299	17095	18079	18109	15881	16775	12979	92187	12979
13	Keilir	56478	44598	33208	37873	28628	403718	174561	148445	133383	57570	62743	55526	36183	32360	23195	23777	22178	13938	403718	13938
17	Brimketill	38532	50263	30671	22379	18137	24150	16175	21808	20051	14800	14337	15080	15620	15189	15761	13274	11324	11053	50263	11053
12	Seltún	18981	14440	16653	4972	139428	61498	43176	17641	17932	23324	19880	9871	12481	11966	13723	13812	13904	8875	139428	4972
18	Gunnuhver	40246	49370	24958	23751	21072	20989	13325	17186	15985	14742	15061	14553	15573	13114	13722	12624	10437	10395	49370	10395
19	Brú milli heimsálfa	33827	46134	33278	21936	23136	29657	23108	27218	23418	20068	14796	13706	14549	14661	12370	12163	11794	11212	46134	11212
23	Eldvörp	33124	41656	27252	24413	25619	25163	16688	22152	20461	20489	19673	19174	18952	17547	18537	15377	13112	12631	41656	12631
24	Þorbjörn	31600	23712	28824	21830	32435	30556	25485	34111	23487	26864	21567	19931	18286	18128	19319	16496	15475	13450	34111	13450
15	Svartsengi	34370	17020	26485	14376	27583	27353	18193	28267	25270	28640	22384	22982	21420	19042	24216	16764	14350	12435	34370	12435
20	Reykjanesvirkjun	39996	38188	28172	22796	23795	19686	13614	15120	16014	14961	14997	14523	14479	13906	13649	12760	10685	10399	39996	10399
22	Lágar vatnstökusvæði	53171	15504	16607	9295	18748	59827	29161	38936	34366	25811	24445	19675	20187	18507	17217	15412	14074	12885	59827	9295
21	Iðnaðarsvæði Grindavíkur	50288	51283	35317	21645	22945	26045	24491	31605	23674	16292	15281	17219	14294	15076	14435	13206	11369	10970	51283	10970
5	Tengivirki Ásbrú	50661	37629	16812	7160	14054	60972	24516	45232	50630	39948	30852	28648	26072	20073	13874	13690	12545	10606	60972	7160
	Max gildi frá línu	62197	51283	47309	52682	139428	403718	174561	148445	133383	59111	62743	55526	36183	32360	24216	23777	22178	14292		
	Min	18981	14440	16607	4972	7221	19686	13325	15120	15985	14742	14337	9871	12481	11966	12370	12024	10437	8875		

## **Viðauki IV. Líkur á að svæði á Reykjanesskaga verði fyrir hrauni skv. niðurstöðum hraunhermana – stór kort**

Líkur á að svæði á Reykjanesskaga verði fyrir hrauni skv. hraunhermunum á litlu hraungosi (0,02 km<sup>3</sup>) og meðalstóru hraungosi (0,3 km<sup>3</sup>). Hraunflæði er hermt frá 828 jafndreifðum hermigossprungum (1 km millibil, Mynd 9) af þremur mismunandi lengdum; stakur gígur, 2 km 10 km sem staðsettar eru milli vesturmarka Reykjaneskerfisins til austurmarka Krýsuvíkurkerfisins. Gossprungum hefur verið gefið mismunandi vægi eftir líkindum á opnun gossprungna (sbr. Mynd 8). Númeraðir reitir vísa til áherslusvæða (Tafla 4). Gögn um innviði, (tengivirki, rafmagnslínur, hitaveitu og vatnsveitu) fengin frá og birt með leifi Verkís (Dóra Hjálmardóttir MB-16).

Á kortunum sem sýna niðurstöður hraunhermana frá stökum gígum sést greinilega hvar gossprungur eru staðsettar sem bendir til þess að net hermigossprungna er of strjált þó svo að heildarmyndin sýni hvar eru meiri og hvar minni líkur á að hraun flæði. Þetta sést ekki á niðurstöðum 2 km og 10 km langra hermigossprungna.

## Lítið hraungos Reykjanes

### Vegnar líkur á hraunflæði

Lengd gossprungu: **Stakur gígur**  
Rúmmál gosefna: **0,02 km<sup>3</sup>**

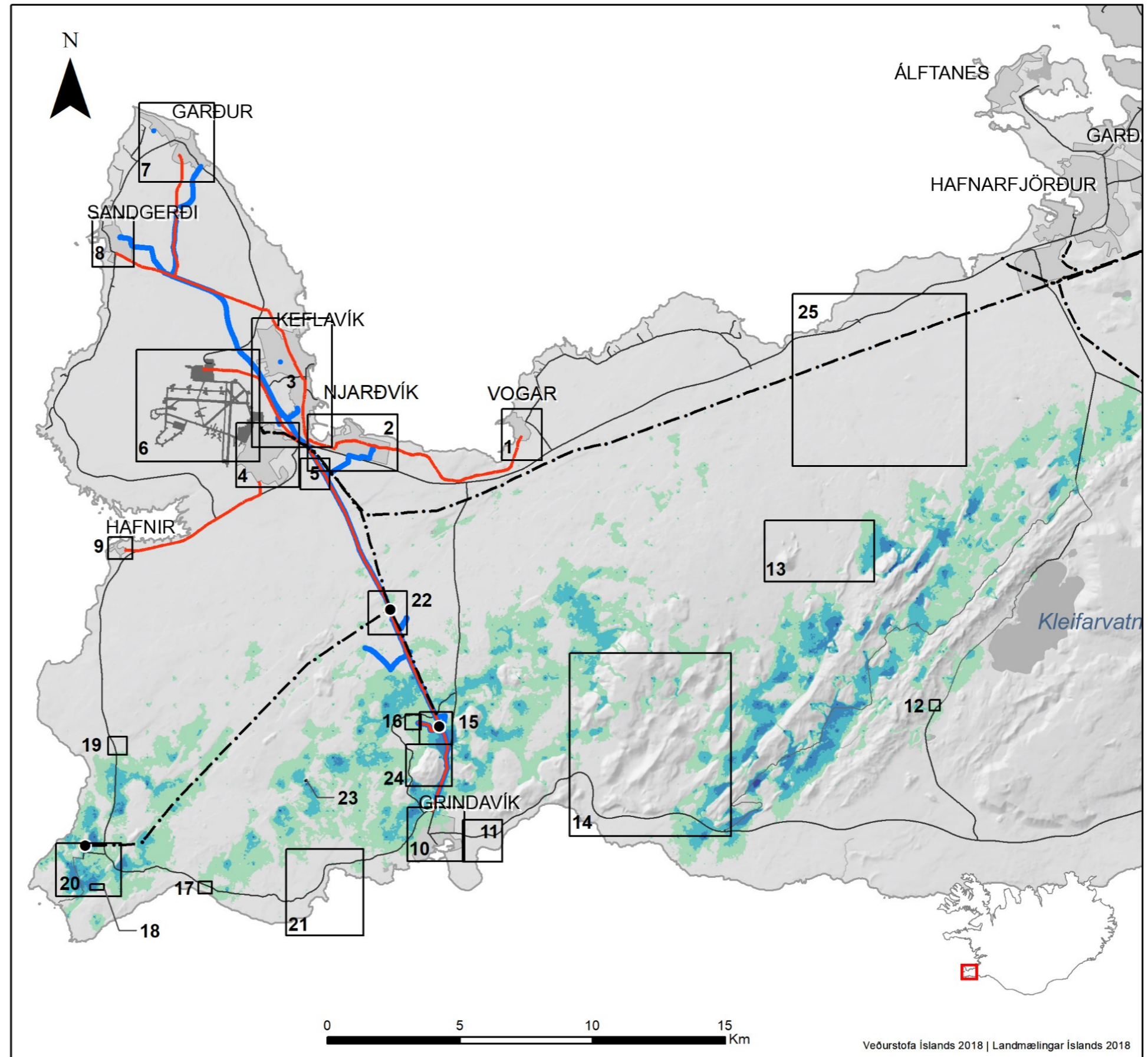


### Athugasemd:

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkís.

Viðmiðun: ISN93  
 Dagsetning: 22.06.2022  
 Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
 Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
 Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



## Lítið hraungos Reykjanes

### Vegnar líkur á hraunflæði

Lengd gossprungu: **2 km**  
Rúmmál gosefna: **0,02 km<sup>3</sup>**

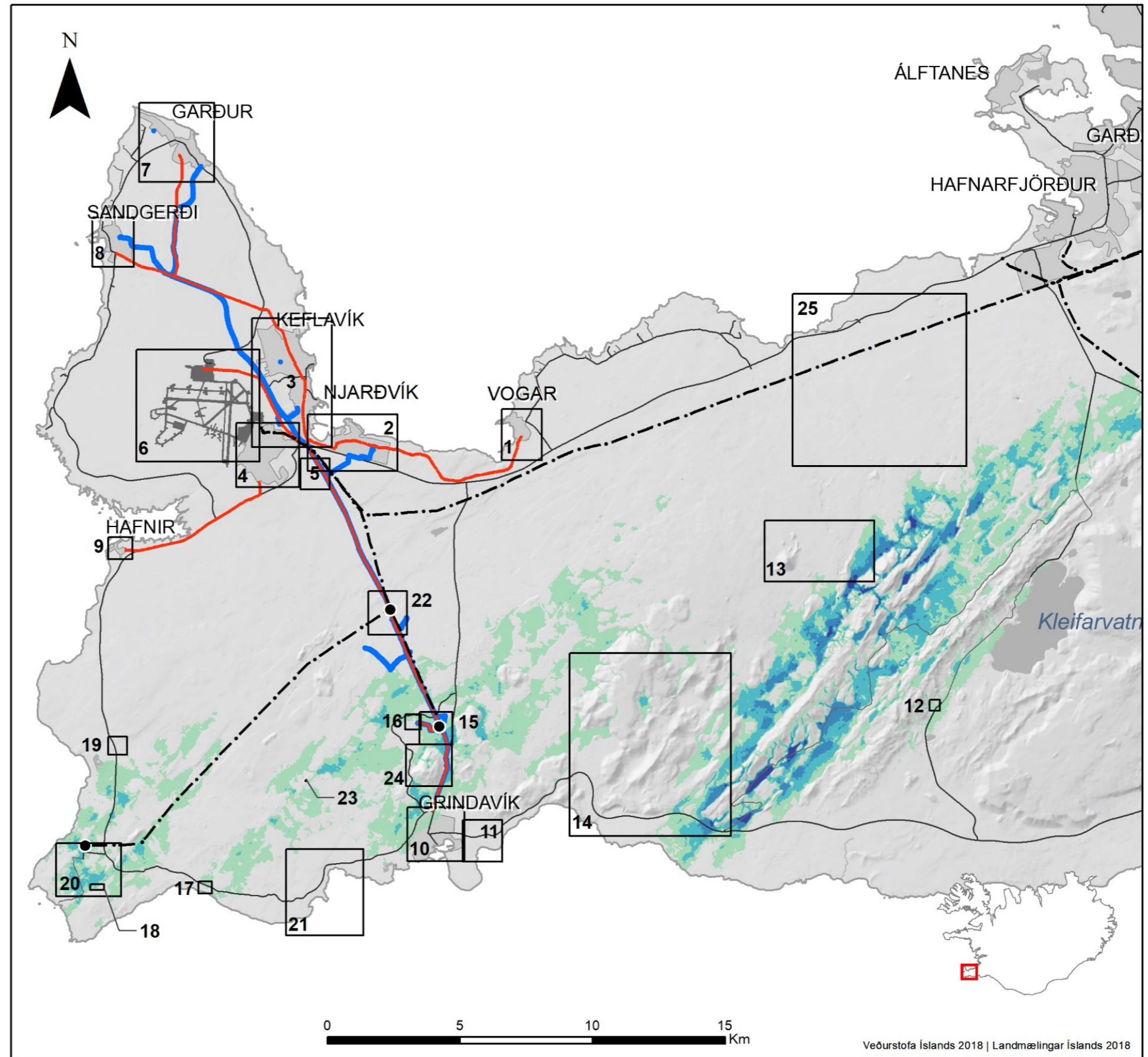
-  Áherslusvæði
  -  Tengivirki
  -  Rafmagnslína
  -  Hitaveita
  -  Vatnsveita
- Líkur á hraunflæði**
-  Mestu líkur
  -  ↑
  - 
  - 
  -  Minnstu líkur

### Athugasemd:

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkís.

Viðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 22.06.2022  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



## Lítið hraungos Reykjanes

### Vegnar líkur á hraunflæði

Lengd gossprungu: **10 km**  
Rúmmál gosefna: **0,02 km<sup>3</sup>**



### Athugasemd:

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkís.

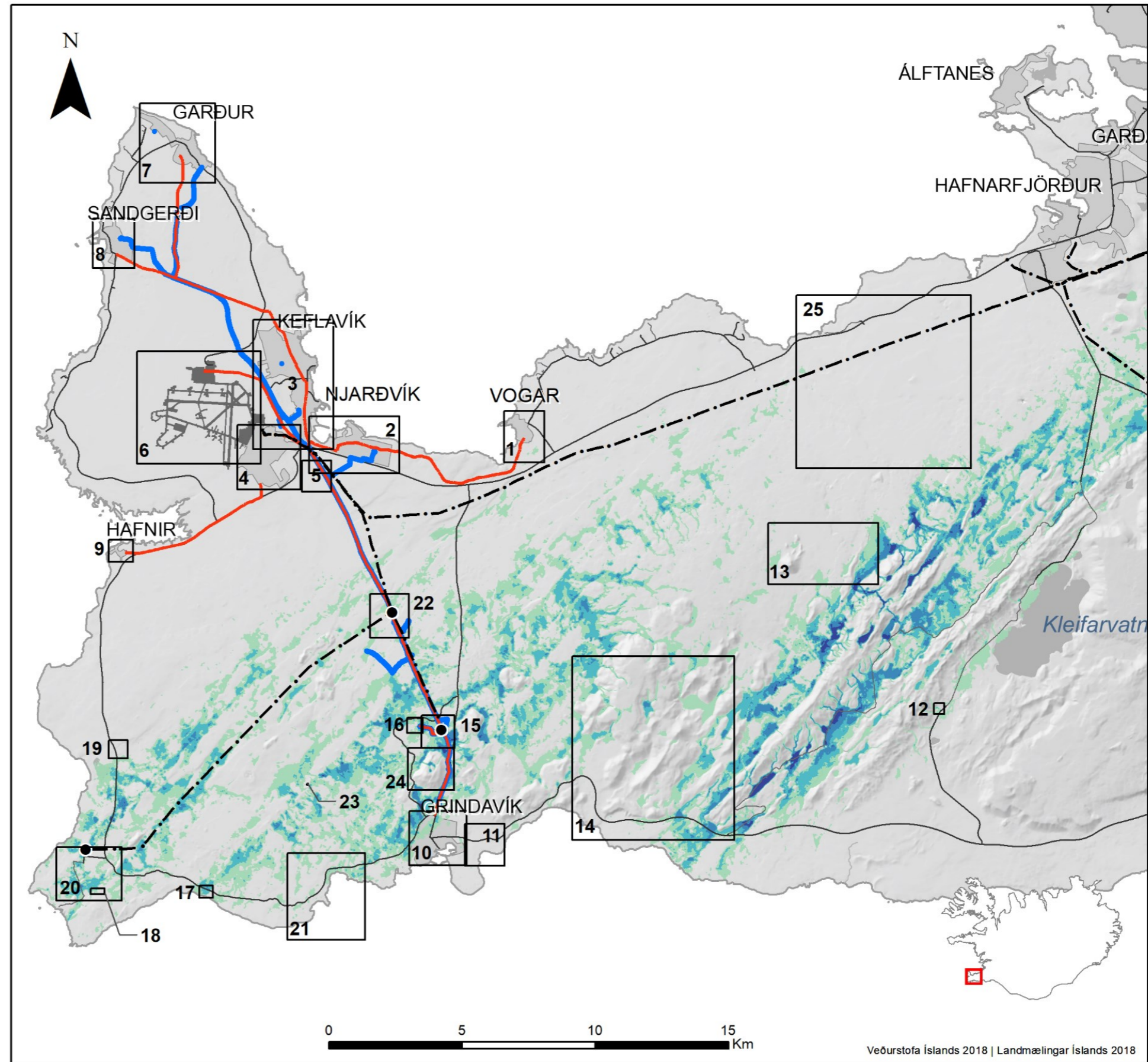
Viðmiðun: ISN93

Dagsetning: 22.06.2022

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



## Miðlungs hraungos Reykjanes

### Vegnar líkur á hraunflæði

Lengd gossprungu: **Stakur gígur**  
Rúmmál gosefna: **0,3 km<sup>3</sup>**



### Athugasemd:

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkís.

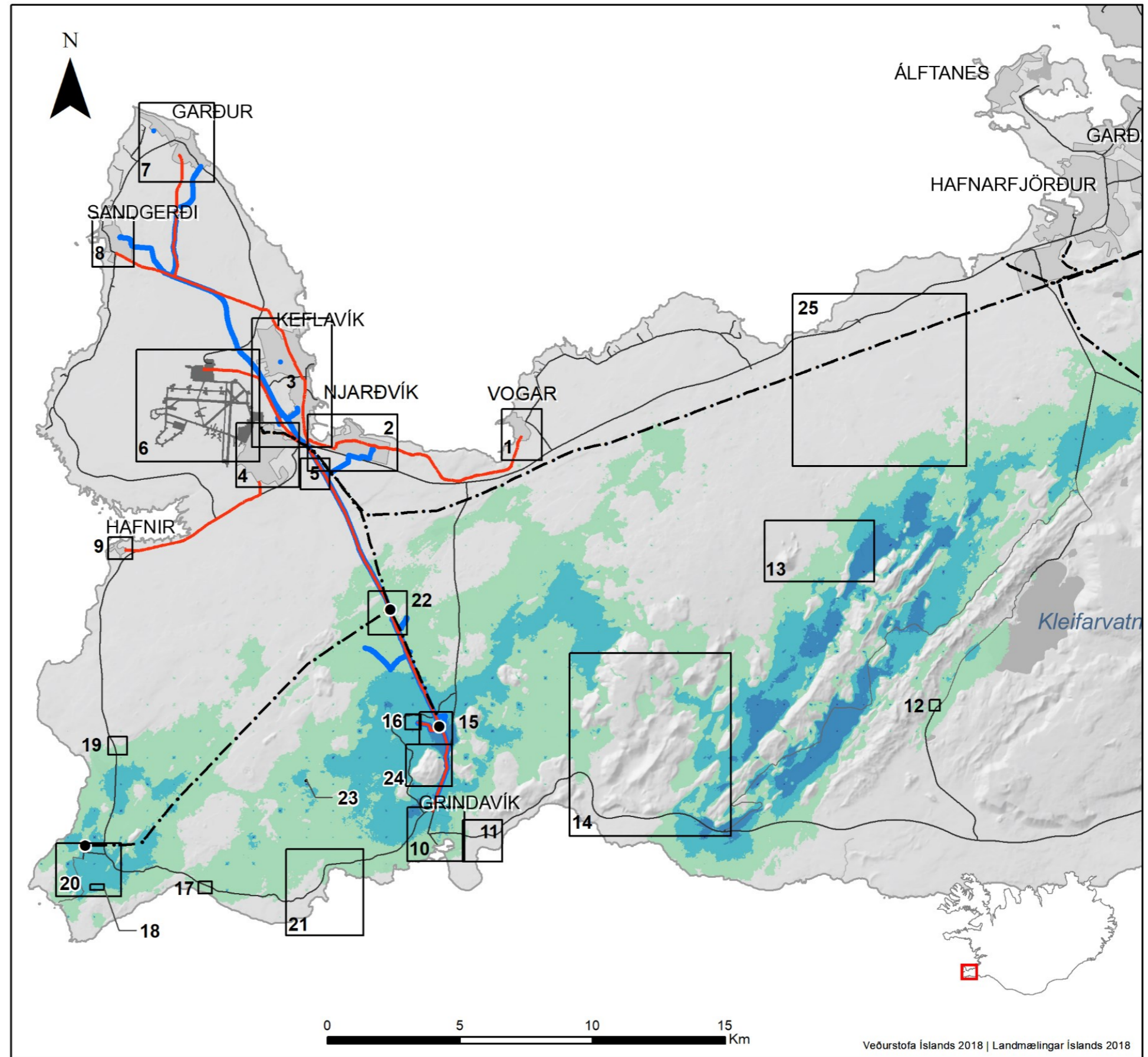
Viðmiðun: ISN93

Dagsetning: 22.06.2022

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018



## Miðlungs hraungos Reykjanes

Vegnar líkur á hraunflæði

Lengd gossprungu: **2 Km**  
Rúmmál gosefna: **0,3 km<sup>3</sup>**

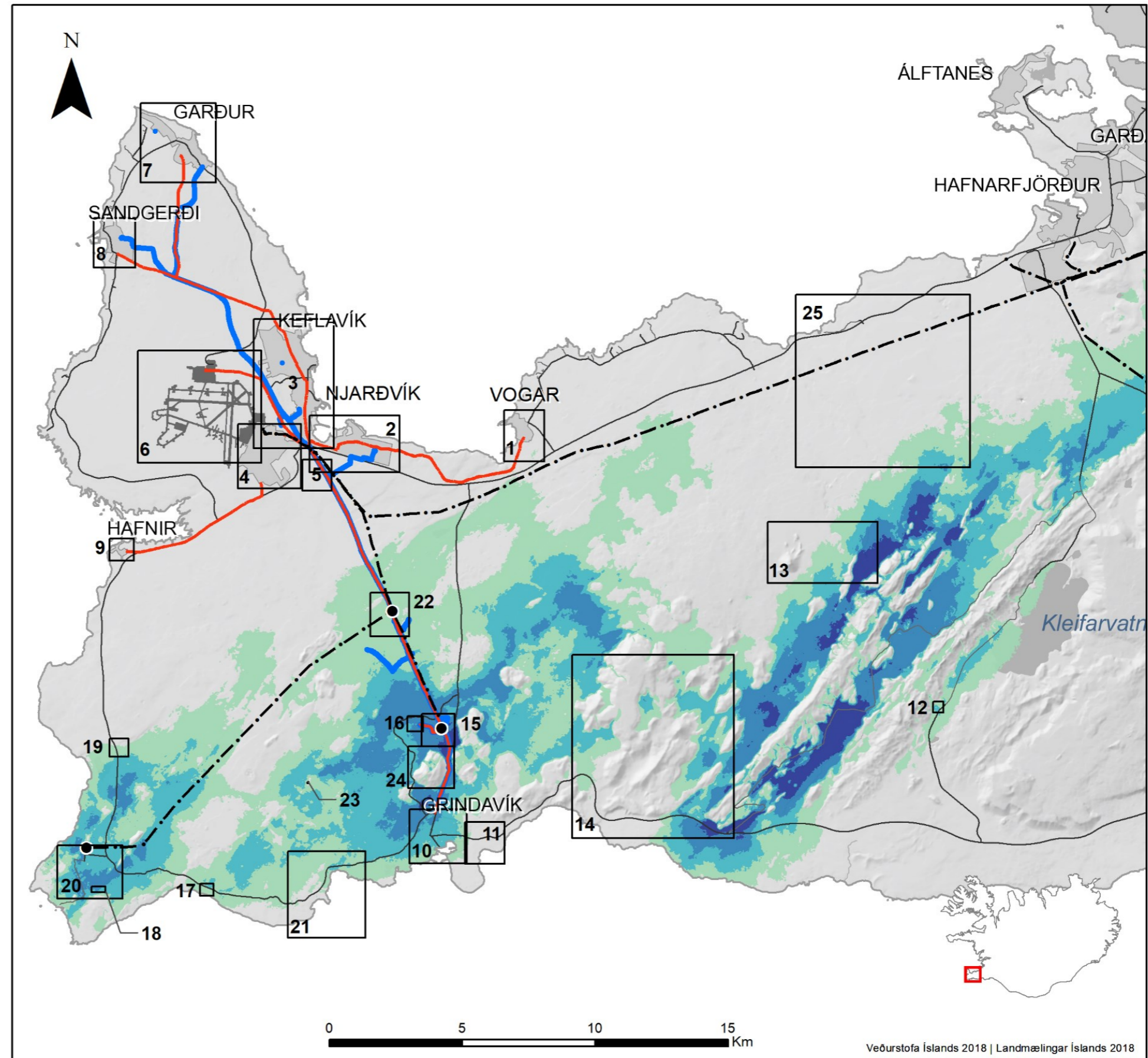


### Athugasemd:

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkis.

Viðmiðun: ISN93  
Dagsetning: 22.06.2022  
Kortagerð: Veðurstofa Íslands  
Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts  
Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018





## Miðlungs hraungos Reykjanes

### Vegnar líkur á hraunflæði

Lengd gossprungu: **10 Km**  
Rúmmál gosefna: **0,3 km<sup>3</sup>**

-  Áherslusvæði
-  Tengivirki
-  Rafmagnslína
-  Hitaveita
-  Vatnsveita
- Líkur á hraunflæði**
-  Mestu líkur
-  ↑
- 
- 
-  Minnstu líkur

### Athugasemd:

Líkur eru vegnar m.t.t. vægi gossprungna.

Gögn um innviði fengin frá og birt með leyfi Verkís.

Viðmiðun: ISN93

Dagsetning: 22.06.2022

Kortagerð: Veðurstofa Íslands

Kortavörpun: Keiluvörpun Lamberts

Kortagögn: Landmælingar Íslands 2018

