

# Áhrif eldgosa á heilsu manna á Íslandi

## Yfirlitsgrein

Gunnar Guðmundsson<sup>1</sup> læknir, Guðrún Larsen<sup>2</sup> jarðfræðingur

### ÁGRIP

Eldgos eru tíð á Íslandi og hafa valdið margvíslegu heilsutjóni allt frá því land byggðist. Hér er gefið yfirlit yfir áhrif eldgosa á heilsufar manna á Íslandi. Sagt er frá eldgosavirkni á Íslandi og áhrifum lofttegunda og gosösku á heilsufar manna. Eldfjallagös geta verið mjög eitruð fyrir menn ef þau eru af háum styrk en hafa í lægri styrk ertandi áhrif á slímhúðir í augum og efri öndunarvegum. Þau eru einnig ertandi fyrir húð. Öskufall er einnig ertandi fyrir slímhúðir augna og efri öndunarvegs. Mjög litlar öskuagnir geta borist í lungnablöðru. Tekin eru dæmi um fjögur mismunandi eldgos sem orðið hafa á Íslandi og áhrif þeirra á heilsufar Íslendinga.

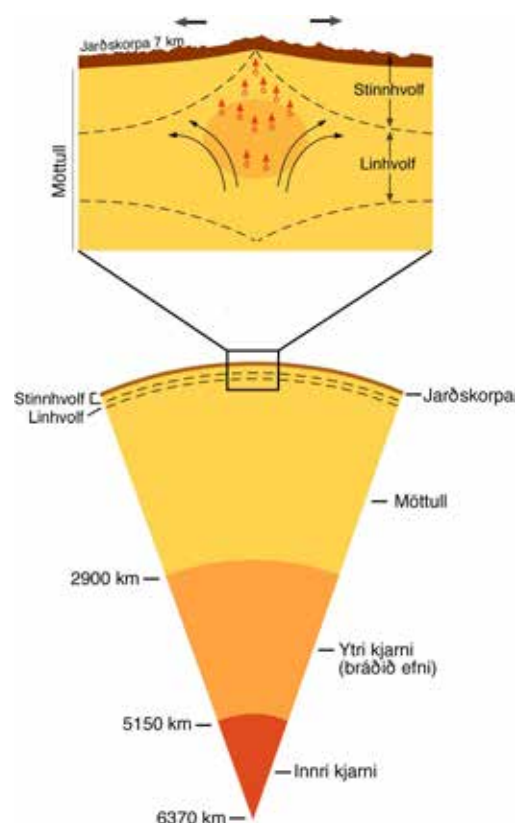
Gosið í Lakagígum 1783-84 er það eldgos sem hefur haft mest áhrif á heilsufar Íslendinga og valdið mestu manntjóni. Þrátt fyrir tíð eldgos undanfarna áratugi hefur manntjón verið lítið síðustu 100 ár og áhrif á heilsufar einnig, þótt langtímarannsókn sé þörf í þeim efnum. Rannsóknir á heilsufarsáhrifum Eyjafjallajökulgossins 2010 sýndu bæði aukin andleg og líkamleg einkenni, einkum hjá fólki með öndunarfærasjúkdóma. Embætti landlæknis og aðrir viðbragðsaðilar hafa brugðist skjótt við tímum eldgosum síðastliðin ár og gefið út skýrar leiðbeiningar til að draga úr hættu á heilsutjóni.

### Inngangur

Frá því að Ísland byggðist hafa orðið fjöldamörg eldgos á Íslandi. Þau hafa leitt til búferlaflutninga, matarskorts, eyðingar á byggðum bóllum, beitarlendi og til búfjárfellis. Þau hafa einnig valdið slysum, sjúkdómum og dauðsföllum. Í þessari grein verður gefið yfirlit um áhrif eldgosa á heilsu fólks á Íslandi.

Varmastreymi frá iðrum jarðar til yfirborðs er frumorsök jarðskorpuhreyfinga, jarðskjálfta og eldgosa. Möttull úr föstu efni umlykur kjarna jarðar. Hátt hitastig og þrýstingur valda því að möttullinn getur hnigið eins og deigt efni og stigið upp undir rekhryggjum. Í þessu ferli verður hlutbráðnun á möttulefni og til verður bergbráð, kvika. Hún leitar til yfirborðs þegar færi gefast en tekur breytingum á leiðinni upp í gegnum möttul og skorpu og birtist okkur í eldgosum af mismunandi gerðum.<sup>1-4</sup> Mynd 1 er skýringarmynd af lagskiptingu jarðar.

Ísland er heitur reitur. Landið er myndað á úthafshrygg og eldvirkni er meiri hér en annars staðar á úthafshryggnum. Gosbeltin á Íslandi eru af tvennum toga. Rekbeltin sem liggja yfir Ísland frá Reykjanesi til Öxarfjarðar marka skil Evrasíuþlötu og Ameríkuþlötu. Til hliðar við þau eru gosbelti þar sem ekkert rek á sér stað lengur eins og Snæfellsnesgosbeltið, eða er ekki komið af stað, eins og á syðsta hluta eystra gosbeltisins.<sup>1</sup> Mynd 2 sýnir gosbeltin með eldstöðvakerfum.



**Mynd 1. Skýringarmynd af möttli.** Lagskipting jarðar, dýpi á mörk lagmóta og megindrættir í gerð úthafshryggjar. Jarðskorpan og efsti hluti möttuls mynda saman svokallað stinnhvolf, yfirleitt um 50-150 km þykkt og brotið upp í fleka sem eru á hreyfingu. Undir því, á 100-200 km dýpi, er lag þar sem hitastig er nálægt bráðslumarki eða ofan þess og hlutbráðnun getur átt sér stað. (<sup>1</sup> byggt á myndum 2.1 og 2.2).

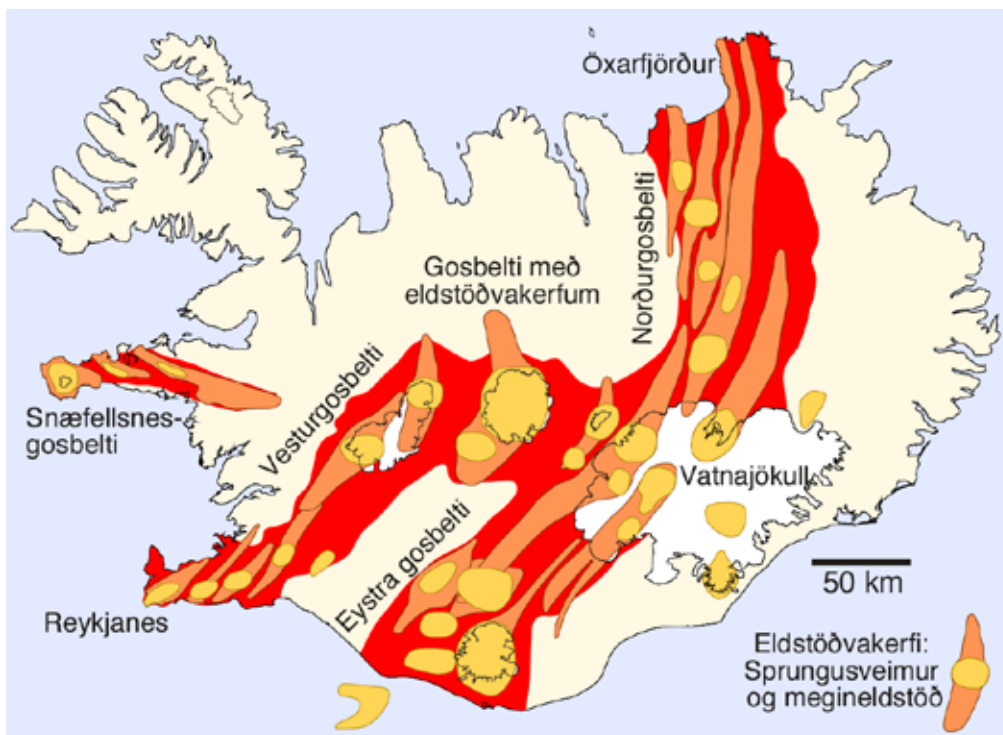
**Fyrirspurnir:** Gunnar Guðmundsson, [ggudmund@landspitali.is](mailto:ggudmund@landspitali.is)

<sup>1</sup>Lungnadeild Landspítala, rannsóknastofu í lyfja- og eiturefnafræði, læknaeild Háskóla Íslands, <sup>2</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, 101 Reykjavík. Höfundar lögðu jafnt til greinarinnar

Höfundar hafa útfyllt eyðublað um hagsmunatengsl.

Greinin barst 3. mars 2016, samþykkt til birtingar 23. ágúst 2016.

[doi.org/10.17992/ibl.2016.10.101](https://doi.org/10.17992/ibl.2016.10.101)



**Mynd 2. Gosbeltin á Íslandi.** Eldstöðvakerfi, það er megineldstöðvar og sprungusveimar (mynd 2.20<sup>1</sup>), á gosbeltum Íslands. Megineldstöðvar eru í gulum lit, sprungureimar eru gulrauðar og gosbeltin eru rauð.

Eldvirknin er ekki jafndreifð í gosbeltunum heldur myndar svokölluð eldstöðvakerfi. Eldstöðvakerfi, það er megineldstöð og sprungusveimur, er hér notað um þyrpingu eldstöðva þar sem kvikan er bergfræðilega skyld.<sup>1,2</sup>

Eldgos kallast þeytigos ef sprengikrafturinn sem tættir kvikuna í sundur er vegna þenslu gasa í henni sjálfri þegar þrýstingur minnkar í gosrás og gosopi. Ef sprengikrafturinn stafar af myndun og þenslu vatnsgufu þegar kvikan kemst í snertingu við utanáðkomandi vatn kallast þau tætigos. Eitt af því sem er sérstakt við eldvirknina á Íslandi er að flest eldgosin hér eru tætigos í eldstöðvum undir jökli. Gosmekkir geta náð yfir 30 km hæð og yfirleitt eru þeir hærrí í þeytigosum að öðru jöfnu. Gosmökkur er flókið fyrirbæri og er breytilegur eftir gerð gosa.<sup>2</sup>

### Gosefni og áhrif þeirra

Eldgos hafa áhrif á umhverfi sitt með hraunrennsli, gjóskufalli og útstreymi kvikugasa. Hér á eftir verður stuttlega gerð grein fyrir gjósku, einkum fínasta efninu, öskunni, og kvikugösunum.<sup>3,4</sup> Um hraun verður ekki fjallað nema í tengslum við afgösun.

### Aska

Gosefnin sem myndast í sprengigosum (þeyti- og tætigosum) eru fyrst og fremst gjóska. Gjóska er samheiti á gosefnum sem berast frá gosopi í lofti, óháð stærð og gerð kornanna. Mismunandi nöfn eru notuð yfir gosefnin. Þau helstu eru kleprar (falla óstorknir til jarðar), gjall (stórblöðrótt, storkið þegar það lendir), vikur (mjög blöðrótt, oft mjög smáblöðrótt) og aska (efni smærra en 2 mm, oftast glerkurl en einnig kristallar). Öskukorn geta orðið mjög smá, minni en 1 míkron (0,001 mm).<sup>2,4</sup>

Flestar kornastærðarmælingar á íslenskri gjósku eru gerðar á efni sem fallið hefur til jarðar hér á landi í mismunandi fjarlægð frá upptökum. Þær gefa allgóða vitneskju um kornastærðir gjósku sem fallið hefur yfir byggð ból og getur haft áhrif á heilsufar fólks.

### Áhrif ösku á heilsufar manna

Bráð áhrif ösku á heilsufar manna eru vel þekkt.<sup>5-7</sup> Gosaska getur valdið einkennum frá efri öndunarfarum eins og nefrennsli og ertingu í nefi. Þá koma einnig fram særindi í hálsi og hósti. Þeir sem eru með lungnasjúkdóma eins og astma eða langvinna lungnateppu geta fengið versnandi einkenni með hósta, uppgangi, öndunarerfiðleikum og þyngslum fyrir brjósti. Ef kornastærð ösku er 4 míkron eða minni getur hún borist í lungnablöðrur. Í augum geta komið fram særindi, kláði og roði. Einnig getur komið fram útferð og tárarennslí. Það geta komið fram sár á hornhimnu. Það geta komið fram erting, sviði, roði og kláði í húð, einkum ef askan er súr.<sup>5-7</sup>

Rannsókn var gerð á áhrifum ösku sem kom úr Eyjafjallajökli árið 2010 á varnarkerfi lungnanna gagnvart sýkingum og birtist hún í tímaritinu *Environmental Health Perspectives* 2013.<sup>8</sup> Rannsókuð voru áhrif ferskrar ösku á lungnaþekjufrumur og átfrumur lungnablaðranna. Þá voru áhrif á vöxt bakteríunnar *Pseudomonas Aeruginosa* könnuð. Þar kom í ljós að askan hafði ekki mikil áhrif á lungnaþekjufrumur. Hins vegar hafði hún áhrif á átfrumur lungnablaðranna þannig að þær voru síður færar um að framkvæma dráp og bólgusvörun var minni. Askan jók einnig á fjölgun baktería og dró úr drápi þeirra með því að hamla bakteríudrepandi peptíð.

Askann sem kom úr Eyjafjallajökli 2010 og úr Grímsvötum árið 2011 var rannsókuð á tilraunastofu til að kanna aðgengi hennar í berkjuþipur og í lungnablöðrur. Niðurstöður rannsóknarinnar voru þær að allt að 9% af ögnum minni en 10 míkron komust í lungnablöðrur. Þannig hefði askan möguleika á að komast alla leið í lungnavef og valda skemmdum þar.<sup>9</sup>

Rannsóknarhópur gerði úttekt á gosösku frá Eyjafjallajökuls-gosi 2010 og Grímsvatnaeldgosi 2011 með því að nota fljótvirkar aðferðir til að greina hættu á að askan hefði áhrif á öndunarféri. Niðurstöður þeirra voru þær að 2-13% af öskunni úr Eyjafjallajökli væru 4 míkron eða smærri, en minna en 3,5% af öskunni úr Grímsvötum. Öll sýnin sýndu lítil eitrunaráhrif á lungnaþekjufrumur í rækt og einnig lítil áhrif á andoxun í lungum. Fram komu merki um bólgusvörun af völdum öskunnar með hækkun á frumuþöðunum MCP-1, IL-6 og IL-8.<sup>10</sup>

Lítið er enn vitað um langtímaáhrif gosösku á heilsufar manna. Mjög erfitt er að rannsaka þessi áhrif vegna þess að önnur loftmengun er einnig til staðar. Ekki eru til neinar rannsóknir á langtímaáhrifum á Íslandi. Erlendis hafa vísindamenn haft áhyggjur af silíkósu sem er form af lungnatrefjun þar sem askan inniheldur mikið af silikötum en ekki hefur tekist að sýna fram á orsakatengsl.<sup>5,7</sup>

## Kvikugas

Kvika er bergbráð með uppleystum lofttegundum. Gasinnihald kviku fer að nokkru eftir efnasamsetningu hennar, súr kvika er yfirleitt gasrík (allt að 5 þunga%) en sú basíska gassnaud (0,2-0,5 þunga%). Gasið losnar úr kviku í gosrás, gosopi og þegar kvika storknar í gosmekki og á yfirborði. Helstu gastegundirnar eru vatnsgufa ( $H_2O$ ), koldíoxíð ( $CO_2$ ) og brennisteinsdíoxíð ( $SO_2$ ) og yfirleitt er langmest af þeirri fyrstnefndu. Einnig losnar vetni ( $H_2$ ), brennisteinsvetni ( $H_2S$ ), kolmónoxíð ( $CO$ ), og í litlu magni brennisteinn ( $S_2$ ), metangas ( $CH_4$ ), vetnisklóríð eða saltsýra ( $HCl$ ) og vetnisflúoríð eða flúorsýra ( $HF$ ). Fleiri efnasambönd geta verið í gosmekki.<sup>2,3</sup>

Í gosmekki þéttast lofttegundir með lækkandi hita. Brennisteinsdíoxíð hvarfast við súrefni og vatnsgufu í gosmekki og myndar brennisteinssýru ( $H_2SO_4$ ). Örmáir sýrudropar (ördropar) mynda gosmóðu eða gosmistur sem berst frá gosstöðvum sem efnamengun. Sölt og sýrur þéttast á yfirborði öskukorna og falla með þeim til jarðar og valda mengun á öskufallssvæðum. Yfirborð öskukorna eykst hlutfallslega með minnkandi kornastærð og því getur fín aska borið meira af mengandi efnun en sú grófa.

## Áhrif lofttegunda á heilsufar manna

Margvíslegar lofttegundir geta komið upp í eldgosum eins og lýst er hér að framan og eru áhrif þeirra á heilsufar mismunandi eins og sést í töflu I.<sup>6,11-14</sup> Heilsuverndarmörk eru skilgreind fyrir mengandi lofttegundir í andrúmslofti og eru hugsuð fyrir almenning,

bæði börn og fullorðna, sjúka sem heilbrigða. Þeim er ætlað að vera viðmiðun fyrir hvað telst skaðlegt fyrir einstaklinginn til lengri tíma. Vinnuverndarmörk eru hæsta leyfilega meðaltalsmengun í andrúmslofti starfsmanna, gefið upp fyrir 8 klukkustundir og einnig fyrir 15 mínútna viðveru. Íslenskar reglugerðir skilgreina bæði þessi mörk fyrir íbúa á Íslandi.<sup>14</sup> Í náttúruhamförum eins og eldgosum getur loftmengun farið langt yfir þessi mörk. Í töflu I eru gefin dæmi um þessi mörk fyrir nokkrar mengandi lofttegundir sem komið geta upp í eldgosum.

Áhrifum lofttegunda má skipta í tvennt. Í fyrsta lagi lofttegundir sem eru ertandi fyrir slímhúðir og húð. Í lágum styrkleika valda þær ertingu í augum og efri hluta öndunarfæra. Í hærri styrk valda þær ertingu og bruna í húð og í enn hærri styrk hafa þær áhrif á neðri hluta öndunarfæra og geta valdið lungnabjúg vegna bráðs lungnaskaða. Dæmi um það er brennisteinsdíoxíð og brennisteinssýra. Í öðru lagi eru lofttegundir sem valda köfnun vegna áhrifa á flutning súrefnis og öndunarkennduna í frumum. Dæmi um það eru koldíoxíð og kolmónoxíð.<sup>11-13</sup>

Mesta bráðahættan skapast af lofttegundum sem eru þyngri en andrúmsloftið og geta því borist með jörðu og fyllt svæði sem eru lægri, eins dældir og gjótur í náttúrunni eða kjallara húsa. Brennisteinsdíoxíð og koldíoxíð eru dæmi um slíkar lofttegundir.

Brennisteinsdíoxíð er litlaus lofttegund með stingandi lykt sem er þyngri en andrúmsloft. Innöndun getur valdið sviða í munni og efri öndunarvegum og tárarennli. Ef styrkur er mikill getur komið fram hósti. Eftir nokkrar klukkustundir og allt að tveimur sólarhringum síðar getur myndast lungnabjúgur vegna bráðs lungnaskaða.

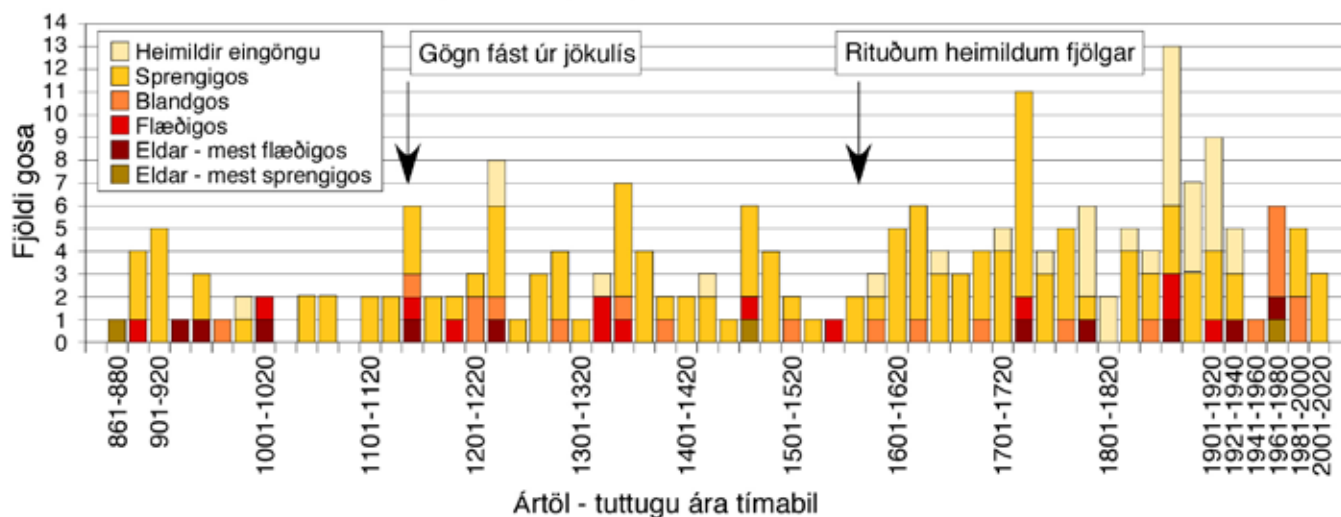
Brennisteinssýra virkar ætandi á slímhúðir efri öndunarfæra, munns, augna og einnig húð.

Brennisteinsvetni er eitruð lofttegund með sterkri óþægilegri lykt (hveralykt). Hún er þyngri en andrúmsloft. Við háan styrk (100-150 ppm) dofna lyktin eða hverfur. Þá lamast lyktartaugin og fólk skynjar ekki hættuna.<sup>15</sup> Innöndun veldur sviða í efri öndunarfærum, hósta, höfuðverk, svima, uppköstum og almennri vanlíðan. Lungnabjúgur vegna bráðs lungnaskaða getur komið fram

Tafla I. Áhrif lofttegunda á heilsufar.<sup>6,11-15</sup>

Efni	Bráð áhrif á líffærakerfi	Dæmi um eldgos	Heilsuverndarmörk	Vinnuverndarmörk
Brennisteinsdíoxíð, $SO_2$	Efri hluti öndunarfæra, augu, lungu við háan styrk	Skaftáreldar 1783, Holuhraun 2014	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir 24 klst	0,5 ppm (1,3 $\text{mg}/\text{m}^3 = 1,300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fyrir 8 klst. en 1 ppm (2,6 $\text{mg}/\text{m}^3 = 2,600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fyrir 15 mínútur
Brennisteinsvetni, $H_2S$	Efri hluti öndunarfæra, lamar lyktartaug, áhrif á öndunarkenndu frumna		50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir 24 klst	8 klst. mengunarmörk eru 5 ppm (7 $\text{mg}/\text{m}^3$ ). 15 mínútna mengunarmörk eru 10 ppm (14 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Brennisteinssýra, $H_2SO_4$	Efri hluti öndunarfæra, augu, munnur, húð	Skaftáreldar 1783		0,05 $\text{mg}/\text{m}^3$ fyrir 8 klst. en 0,1 $\text{mg}/\text{m}^3$ fyrir 15 mínútur fyrir úða
Saltsýra, $HCl$	Efri hluti öndunarfæra, munnur, augu, húð	Skaftáreldar 1783		15 mínútna mengunarmörk eru 5 ppm (8 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Flúorsýra, $HF$	Efri og neðri hluti öndunarfæra, bein, tennur	Skaftáreldar 1783		8 klst: 0,7 ppm (0,6 $\text{mg}/\text{m}^3$ ). 15 mínútna: 3 ppm (2,5 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Koldíoxíð, $CO_2$	Truflar flutning á súrefni til frumna	Flest eldgos		5000 ppm (9000 $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fyrir 8 klst. en 10.000 ppm (18.000 $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fyrir 15 mínútur
Kolmónoxíð, $CO$	Truflar flutning á súrefni til frumna	Flest eldgos	10 $\text{mg}/\text{m}^3$	25 ppm (29 $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fyrir 8 klst. en 50 ppm (58 $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fyrir 15 mínútur
Svifryk, $PM^{10}$	Efri og neðri hluti öndunarfæra	Öskufall	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir 24 klst	

## Eldgos á sögulegum tíma, ~870 - 2015



**Mynd 3. Eldgos á Íslandi frá ~870 til 2015.** Þekktum eldgosum á sögulegum tíma er hér skipt niður á 20 ára tímabil (<sup>17</sup> mynd 12 uppfærð). Heildarfjöldi gosa er ekki þekktur en sjá má að tíðni eldgosar er mismikil. Ekki má þó álykta að tíðni eldgosar fari vaxandi því upplýsingar fara batnandi eftir því sem nær dregur okkar tíma. Í nokkrum tilfellum eru fleiri en eitt eldgos, sem verða með stuttu millibili á sömu sprungurein, sýnd sem „eldar“, til dæmis Kröflueldar 1975-1984.

seinna. Mjög hár styrkur í lofti (700-1000 ppm) veldur fljótt meðvitundarleysi vegna hindrunar cytotróóm-oxidasa í öndunardeðu frumna.<sup>15</sup>

Saltsýra (vetnisklóriðgas) er gastegund með stingandi lykt sem minnr á mest á klórlykt, og er þyngri en andrúmsloft. Hún veldur fljótt ertingu og svo ætingu á slímhúð efri öndunarfæra, munns, augna og einnig húðar í hærri styrk. Við háan styrk koma fram hósti og andnað.<sup>11</sup>

Vetnisflúoríðgas er litlaus lofttegund sem er léttari en andrúmsloft. Innöndun á gufum getur valdið sviða í efri öndunarfærum. Einnig geta komið fram uppköst, hósti og andnað. Lungnabjúgur getur komið fram nokkrum klukkustundum eftir mikla útsetningu og er merki um bráðan lungnaskaða þar sem lungnablöðrur fyllast af prótínríkum vökva. Vetnisflúoríðgas myndar flúorsýru með raka í andrúmsloftinu og getur þannig komist í grunnvatn og drykkjarvatn. Flúorsýra getur verið eitruð. Hún er tekin fljótt upp í líkamann og er frásög frá meltingarvegi um 90%. Hún hefur mikla sækni í vefi líkamans sem innihalda kalk, eins og bein og tennur. Bráð áhrif flúorsýrueitrunar geta komið fram sem ógleði, uppköst og kviðverkir. Kalkgildi í blóði lækka vegna bindingar flúors við kalk og það getur valdið sársaukafullum vöðvasamdráttum og öðrum viðtækum áhrifum í líkamanum. Ekki eru til dæmi um slíkar bráðar eitranir í mönnum í tengslum við eldgos á Íslandi. Áhrifum flúoreitrunar hefur verið vel lýst í búbé á Íslandi, einkum í sauðkindum.<sup>16</sup> Bæði getur verið um bráðaeitrun að ræða eins og lýst er hér að ofan með áhrifum á meltingarveg og önnur líffæri eða langvinna eitrun með áhrifum á bein og tennur, einkum þegar þær eru að vaxa, og hefur það verið kallað gaddur. Fóður sem inniheldur 250 ppm (það er milligrömm af flúor í kíló af ösku (mg/kg = ppm)) mun geta valdið bráðri eitrun eftir stuttan tíma. Til eru nákvæmar lýsingar á flúoreitrun af völdum eldgosar þar sem lýst er gaddi í sauðfé, hestum og nautpeningi, sú elsta vegna Heklugossins 1693.<sup>16</sup>

Koldíoxíð (koltvísýringur) er litlaus lofttegund með veikri stingandi lykt við háan styrk. Hann er 1,5x þyngri en andrúmsloft og getur borist með jörðu. Koldíoxíð í miklu magni lækkar súrefnisinnihald andrúmslofts og veldur truflun á bindingu súrefnis við blóðrauða og þar með á öndun frumna, sem getur valdið meðvitundarleysi og dauða.<sup>11,12</sup>

Kolmónoxíð (kolsýringur) er lit- og lyktarlaus lofttegund sem er álíka þung og andrúmsloft. Eitrun getur komið fram við lágan styrk. Innöndun getur valdið höfuðverk, svima, ógleði og ef magnið er mikið, uppköstum, andþyngslum, hjartsláttartruflunum og meðvitundarleysi og dauða vegna truflunar á bindingu súrefnis við blóðrauða og þar með öndun frumna.

Lítið er vitað um langtímaáhrif lofttegunda sem komið hafa upp í eldgosum á Íslandi á heilsufar fólks. Erlendar rannsóknir hafa sýnt að brennisteinsdíoxíð getur valdið versnun á langvinnum lungnasjúkdómum eins og astma og langvinnri lungnateppu. Brennisteinsvetni getur einnig framkallað meiri einkenni hjá einstaklingum með langvinna öndunarfærasjúkdóma.<sup>6,11,12</sup>

### Eldgos á Íslandi og áhrif þeirra á heilsufar manna

Þekkt eldgos síðan land byggðist eru vel á þriðja hundrað en ekki er vitað hver heildarfjöldinn er. Mynd 3 sýnir fjölda eldgosar á hverjum 20 árum.<sup>17</sup> Þeim er skipt í sprengigos, blandgos og flæðigos. Í nokkrum tilfellum eru fleiri en eitt gos tekin saman sem eldar, til dæmis Kröflueldar 1975-1984. Hér á eftir eru tekin nokkur dæmi um eldgos og áhrif þeirra.

#### Eldgos í Örefajökli 1362

Eldgosið í Örefajökli 1362 er stærsta súra þeytigosíð sem orðið hefur á sögulegum tíma.<sup>18</sup> Gosíð varð í toppgíg fjallsins sem var fullur af ís. Megingjóskufallið var vikur og aska.<sup>19</sup>

Þykktarás gjóskulagsins frá 1362 stefnir til suðurs og stór hluti gjóskunnar barst á haf út. Rúmmál gjóskunnar nýfallinnar hefur verið metið sem 10 rúmkílómetrar.<sup>18</sup> Þykkt gjóskulagsins við rætur fjallsins er frá 12 sentimetrum upp í 1-2 metra en er meiri í hlíðum fjallsins. Gjóskan barst víða. Fín aska barst norður í Mývatnssveit og vestur í Mýrdal.

Hæð gosmakkar hefur verið metin 28-35 km með hliðsjón af hversu langt bergbrot bærust frá upptökum.<sup>19</sup> Færa má rök að því að kúfur gosmakkarins hafi verið meira en 300 km í þvermál þegar gosíð var í hámarki.

Kornastærðargreiningar voru gerðar á gjóskusýnum úr tveimur sniðum í um 11 km fjarlægð frá toppgíg, það er í byggð.<sup>19</sup> Í gjósku



**Mynd 4. Frá Lakagígum sumarið 2016. Gígaröðin er fyrir miðri mynd og hraunið til vinstri. Ljósmynd Gunnar Guðmundsson.**

úr fyrsta hluta gossins var þungahlutfall ösku með kornastærð minni en 63 míkron (<0,063 mm) hátt, 27-60%, meðal annars vegna áhrifa bræðsluvatns á kvikuna. Í seinni hluta gossins, eftir að áhrif vatns minnkuðu eða hurfu, var gjóskan grófari og þetta þunga- hlutfall lægra, 4-20%.

Upplýsingar um þetta gos í samtímaheimildum eru litlar. Sá samtímaannáll sem gleggst lýsir atburðinum er annálsbrot frá Skálholti og segir svo frá:<sup>20</sup>

*Eldur uppi í þremur stöðum fyrir sunnan og hélt það frá fardögum til hausts með svo miklum býsnum að eyddi allt Litla hérað og mikið af Hornafirði og Lónshverfi svo að eyddi 5 þingmannaleiðir. Hér með hljóp Knappafellsjökull fram í sjó þar sem var þriggja tuga djúp með grjótfalli, aur og saur að þar urðu síðan sléttir sandar. Tók og af tvær kirkjusóknir með öllu, að Hofi og Rauðalæk. Sandurinn tók í miðjan legg á sléttu en rak saman í skafla svo varla sá húsin. Öskufall bar norður um land svo að sporrækt var. Það fylgdi og þessu að vikurinn sást reka í hrömmum fyrir Vestfjörðum að varla máttu skip ganga fyrir (og jafnvel víða fyrir norðan).*

Ljóst er að annálaritarinn hefur fengið allgóða lýsingu á atburðinum og síðari tíma rannsóknir hafa staðfest margt (meðal annars að eldur var uppi í Grímsvötnum þetta sama ár).

Lítið er vitað um áhrif þessa eldgoss á líf og heilsufar manna. Þó er vitað að fjöldi bæja fór í eyði og bithagar búfenaðar og ræktarland spilltust. Samtímaheimildir nefna ekki mannfall berum orðum en talið hefur verið líklegt að einhver mannskaði hafi orðið í gosinu.<sup>19</sup> Engar líkamsleifar manna hafa þó fundist við fornleifa- uppgroft<sup>21</sup> eða annað jarðrask til þessa dags.

### Skaftáreldar 1783-1784

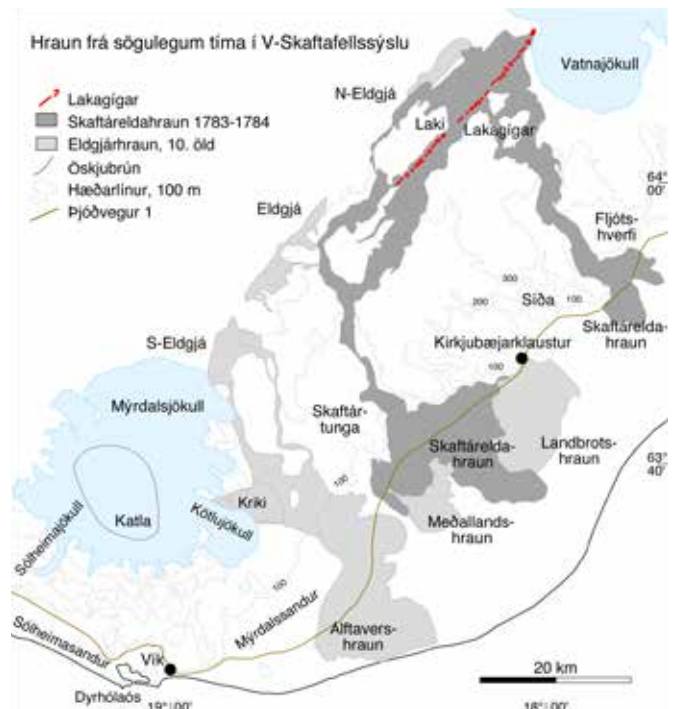
Skaftáreldar eru næststærsta eldgos á Íslandi á sögulegum tíma, aðeins Eldgjárgosið á 10. öld var stærra. Gosprungan í Skaftáreldum, Lakagígur, er um 27 km löng og tilheyrir eldstöðvakerfi Grímsvatna. Gosið í Lakagígum hófst á suðvesturhluta gossprungunnar í júní 1783, færðist til norðvesturs í um 10 hrinum og stóð í rétta 8 mánuði.<sup>22</sup> Mynd 4 sýnir gígaröðina í Lakagígum.

Gosið í Lakagígum var flæðigos að mestu. Um 14,7 rúmkílómetrar af hrauni komu upp á þessum 8 mánuðum og um 0,7 rúmkílómetrar af gjósku.<sup>22,23</sup> Um 120 megatonn af brennisteinsdíoíði (SO<sub>2</sub>) eru talin hafa losnað úr kvikunni, auk vatnsgufu (235 Mt H<sub>2</sub>O), koldíoíðs (350 Mt CO<sub>2</sub>), vetnisflúoríðs (15 Mt HF) og vetniskloríðs (6,8 Mt HCl).<sup>23</sup> Ördropar af brennisteinssýru

(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aerosols) verða til við efnahvörf og þannig reiknað jafngildir brennisteinsdíoíðið sem upp kom í Skaftáreldum um 250 megatonnnum af brennisteinssýru.

Hraunið flæddi niður á láglandi eftir farvegum Skaftár (þar af nafnið Skaftáreldahraun og Skaftáreldar) og síðar einnig um farveg Hverfisfljóts. Mynd 5 sýnir svæðið sem Skaftáreldahraunið þekur og gossprunguna. Flatarmál hraunsins alls er tæpir 600 ferkílómetrar og þar af eru um 280 ferkílómetrar neðan 100 metra hæðarlínu. Fyrstu 6 vikurnar er talið að runnið hafi fram um 9 rúmkílómetrar af hrauni og meðalhraunrennsli frá gossprungunni hefur þá verið um 2500 rúmmetrar á sekúndu.<sup>23,24</sup>

Gjóskan var yfirleitt fremur gróf nema þar sem grunnvatn komst að gosrásinni og olli meiri tætingu á kvikunni. Kornastærðargreiningar á þeirri gjósku í nágrenni eldstöðvanna sýna



**Mynd 5. Landsvæðið sem Skaftáreldahraunið þekur og gossprunguna. Skaftáreldahraun (dökkgrátt) þekur alls um 600 ferkílómetra og þar af er tæpur helmingur á láglandi neðan 100 m hæðarlínu. Til samanburðar er Eldgjáhraunið frá 10. öld, stærsta hraun sem runnið hefur á sögulegum tíma.**

að 25-50 þunga% voru finni en 63 míkron (<0,063 mm), 5-10% voru finni en 15 míkron og minna en 1% var finna en 4 míkron.<sup>24</sup>

Gosinu í Lakagígum fylgdi móða úr kvikugösum. Gasið losnaði annars vegar úr kvikunni í gosopum (um 100 Mt SO<sub>2</sub>, 8,3 Mt HF, 6,8 Mt HCl) og reis upp ásamt vatnsgufu sem gosmökkur yfir eldstöðvunum og hins vegar við að kvikan storknaði sem hraun og myndaði þá gasslæðu yfir hraunbreiðunum (um 20 Mt SO<sub>2</sub>, 6,8 Mt HF, 3,2 Mt HCl).<sup>22,23</sup> Ef 120 megatonnum af brennisteinsdíoxíði er dreift á 240 daga verður meðaltalslosunin um 500.000 tonn á sólarhring en hún var meiri þegar kvikuuppstreymi var í hámarki. Til samanburðar má nefna að í gosinu í Holuhrauni var meðaltalslosunin um 60.000 tonn á sólarhring en var 2,5 sinnum meiri fyrstu tvær vikur gossins.<sup>25</sup>

Af lýsingum sjónarvotta má ráða að kvikustrókar náðu 800-1300 metra hæð og gosmökkurinn að minnsta kosti 12 km hæð þegar kvikuuppstreymi var í hámarki.<sup>22,24</sup> Hár gosmökkur skýrir mikla dreifingu móðunnar en hennar varð vart um allt land, til dæmis í Eyjafirði á 7. gosdegi. Staðbundin áhrif frá þeim hluta móðunnar sem kom frá storknandi hrauni voru mest í eldsveitunum. Súrt regn féll öðru hvoru í eldsveitunum. Öskublandið regn með lykt og bragði af saltpétri og brennisteini féll á þriðja gosdegi og olli sviða í augum og húð. Gróður visnaði undan því og fékk gulan lit.<sup>26</sup>

Áhrif þessa eldgoss á heilsufar Íslendinga voru mikil.<sup>26</sup> Talið er að allt að 8700 einstaklingar hafi látist af afleiðingum eldgossins. Loftmengun af völdum brennisteinsdíoxíðs hefur verið mjög mikil en ekki er að sjá af heimildum að fólk hafi látist beinlínis af völdum hennar. Það segir einungis að hún varð ekki lífshættuleg í byggð, (það er 260 milligrömm í rúmmetra). Til samanburðar má nefna að hæsta gildi brennisteinsdíoxíðs sem mældist í byggð í gosinu í Holuhrauni var 21 milligramm í rúmmetra.<sup>25</sup> Ekki er vit að hvort fólk hafið dáið úr sjúkdómum tengdum eldgosinu sjálfu, eins og flúoreitrun.<sup>16</sup> Samtímalýsingar eru til um að bændur í eldsveitunum hafi haft liðbólur með verkjum og vöðvakrampa. Einnig voru þeir með sár í munni og á tungu og tennur og tannhold sem var svart losnuð úr munni þeirra. Ekki er auðvelt að greina hvort hér sé um að ræða lýsingu á flúoreitrun eða skyrbjúg.<sup>16</sup> Hins vegar er talið að margir hafi látist vegna vannæringar þar sem hungursneyð fylgdi í kjölfarið.<sup>27</sup> Mikið af búfénaði (allt að 25%) féll vegna flúoreitrunar og skorts á bithögum. Bólusótt gekk um Ísland árin 1785-1787. Ungt fólk varð mest fyrir barðinu á henni. Talið er að 1500 manns hafi látist af völdum hennar á landinu öllu.<sup>28</sup> Þannig er talið að landsmönnum hafi fækkað um 10.500 manns á tímabilinu 1783-1786 vegna gossins, farsóttu og lækkunar á fæðingartíðni. Í heild fækkaði Íslendingum úr tæpum 50 þúsundum í tæp 40 þúsund frá árslokum 1783 til ársloka 1786. Er það um 20% Íslendinga á þeim tíma.<sup>27</sup> Að meðaltali létust um 1500 manns á ári frá 1780 til 1783 svo dánartíðnin að minnsta kosti tvöfaldaðist.<sup>27,29</sup> Við góðar aðstæður hefði Íslendingum átt að fjölga um tæplega 1000 á umræddu tímabili.

### Eyjafjallajökull 2010

Gosið í Eyjafjallajökli 2010 var sprengigos að mestu og stóð í 39 daga. Það var miðlungsstórt gos og heildarrúmmál loftborinnar gjósku var um 0,27 rúmkílómetrar. Gosið í toppgíg (eða toppöskju) Eyjafjallajökuls hófst 14. apríl eftir alllangan aðdraganda, meðal

annars varð lítið flæðigos norðaustan í hlíðum hans á Fimmvörðuhálsi sem stóð frá 20. mars til 12. apríl.

Gosinu í Eyjafjallajökli má skipta í fjóra þætti.<sup>30</sup> Fyrsti þáttur, 14.-18. apríl, var sprengigos. Kvikan var súr til ísúr. Gosið fór hægt af stað, og gosmökkur sást fyrst um kl. 6 að morgni og lagði til austurs. Aska byrjaði að falla í byggð í Skaftártungu um kl. 19:30. Hlutfall ösku finni en 10 míkron (0,01 mm, svifryk) var um 20%. Gjóska barst til austurs þrjá fyrstu dagana en á fjórða gosdegi lagði öskuhlaðinn mökk til suðurs yfir byggðina undir Eyjafjöllum. Þennan dag varð askan þar allt að 5,5 cm þykk í byggð, sem samsvarar um 65 kg á fermetra. Askan úr fyrsta þætti gossins barst til Evrópu og olli miklum truflunum á farþegaflugi þar og yfir N-Atlantshaf.<sup>7,31</sup>

Annar þáttur gossins frá 18. apríl til 4. maí var blandað gos með lítilli sprengivirkni og hraunrennsli sem bræddi rás undir og meðfram Gígjökli. Kvikan var ísúr. Bræðsluvatninu sem rann undan jöklinum fylgdi stundum sterk gaslykt.

Sprengigosið náði nýju hámarki 5. maí þegar mökkurinn náði 10 km hæð og þriðji þáttur gossins hófst með öskufalli til suðausturs yfir Álfhver. Kvikan var nú aftur súr til ísúr. Næstu tvær vikur barst aska til skiptis yfir byggðina undir Eyjafjöllum, í Mýrdal og Álfhveru nema 14. maí barst askan til vesturs og norðvesturs yfir Suður- og Suðvesturland, allt til Keflavíkur. Mesta öskufall í byggð á einum degi var tæplega 1 cm undir Eyjafjöllum, eða um 10 kg á fermetra.

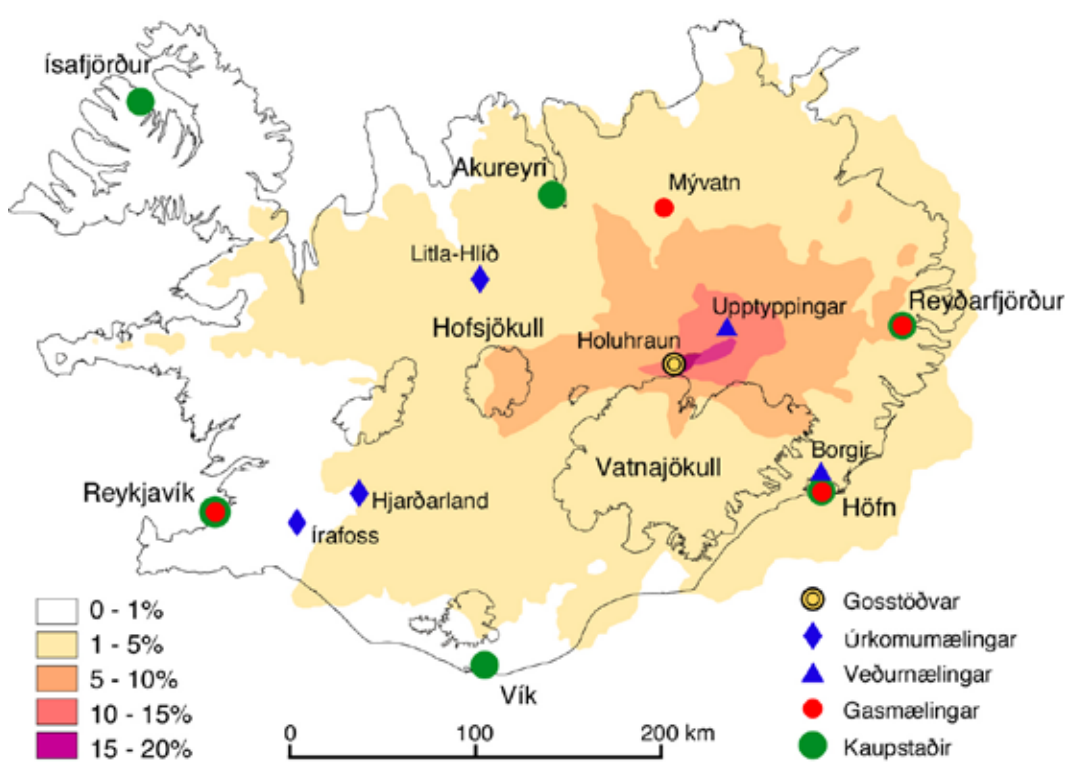
Lokaþáttur gossins hófst 18. maí 2010. Síðustu 5 daga gossins var vindur austan- og sunnanstæður og ösku úr mekkinum kyngdi þá niður í Fljótshlíð og í Þórsmörk. Mesta öskufall í byggð á einum sólarhring var innst í Fljótshlíð 18.-19. maí, um 13 kg á fermetra. Dagana 17.-19. maí varð öskufalls vart allvíða á Íslandi, frá Skagafirði austur til Seyðisfjarðar og frá Biskupstungum austur á Síðu, yfirleitt smávægilegt.

Gjóska úr Eyjafjallajökli var mjög fínkorna. Gjóska úr fyrsta þætti gossins sem féll í meira en 10 km fjarlægð var eingöngu aska, það er korn minni en 2 mm (2000 míkron) í þvermál.<sup>31</sup> Í ösku frá 15. apríl í um 60 km fjarlægð var rúmur helmingur af þunganum, 54 þunga%, finni en 63 míkron.

Mælingar á kornum smærri en 15 míkron eru stundum gefnar sem hlutfall af rúmmáli. Í sýni frá 15. apríl er rúmmálshlutfall korna minni en 15 míkron um 28%. Korn minni en 10 míkron (svifryk) eru 20% af rúmmáli, korn minni en 4 míkron eru tæp 10% og korn minni en 1 míkron (0,001 mm) eru um 2,5%.<sup>10</sup> Loftborin aska olli óþægindum sumarið 2010 og lengur og barst meðal annars til Reykjavíkur.

### Áhrif Eyjafjallajökulgoss 2010 á heilsufar manna

Tvær vísindarannsóknir voru gerðar á áhrifum Eyjafjallajökulgoss á heilsufar manna. Rannsókn Hanne Krage Carlsen og félagasagði frá bráðum áhrifum eldgossins á heilsufar heimamanna.<sup>32</sup> Á svæðinu sunnan og austan Eyjafjallajökuls varð mikið öskufall og allt að 25% öskunnar var af þeirri stærð að hún gæti komist alla leið niður í lungnablöðrur (stærð undir 10 míkron). Þau rannsókuðu íbúa á svæðinu, alls 207 manns, í byrjun júní 2010. Fólkíð svaraði ítarlegum spurningalistum um heilsufar, bæði andlegt og líkamlegt, og um heilsu barna sinna og um verndandi búnað sem notaður hafði verið við öskufalli. Framkvæmd var líkams-



**Mynd 6. Dreifing brennisteinsdíoxíðs frá gosinu í Holuhrauni.** Líkan af dreifingu brennisteinsdíoxíðs frá gosinu í Holuhrauni þá 6 mánuði sem gosið stóð, samkvæmt niðurstöðum frá 8 mælistöðum.<sup>25</sup> Myndin sýnir hversu mörg prósent klukkustunda á þessu tímabili voru með SO<sub>2</sub> í andrúmslofti yfir heilsunörkum (SO<sub>2</sub>-magn yfir 350 míkrogrömm í rúmmetra) á hverju svæði. Við Mývatn voru 2% eða 86 klukkustundir yfir heilsunörkum, meðal annars samfleytt í 17 klukkustundir.

skoðun og fráblástursmæling. Tæplega helmingur hópsins hafði fundið fyrir áreiti í efri hluta öndunarfæra eftir að hafa verið útsettur fyrir ösku og fjórðungur í augum. 28 af 207 sögðust hafa teppusjúkdóm í lungum og þriðjungur þeirra fann fyrir meiri einkennum tengdum útsetningu fyrir öskunni. Flestir upplifðu meiri óþægindi þegar askan var nýfallin. Fráblástursmælingar hjá þátttakendum 40 ára og eldri voru bornar saman við samanburðarhóp og reyndist lungnastarfsemi vera betri hjá þessum hópi en samanburðarhópi með minni viðsnúningi loftflæðis. Þá voru færri reykingamenn í hópnum en í viðmiðunarhópi. Undir 10% hópsins lýsti einkennum streitu, þunglyndis eða kvíða. Þannig veiktist enginn alvarlega, enginn var lagður inn á sjúkrahús og engin dauðsföll urðu. Notkun á hlífðargleraugum og grímum fyrir vit þegar fólk var utanhúss var verndandi gagnvart áreiti í augum og efri hluta öndunarfæra

Hin rannsókn Hanne Krage Carlsen og félagi gekk út á að kanna hvort það að upplifa að vera nálægt eldgosi stuðlaði að aukinni tíðni líkamlegra eða geðrænna einkenna.<sup>33</sup> Til að kanna þetta svöruðu Sunnlendingar spurningalistum um heilsufar 6-9 mánuðum eftir eldgosið og til samanburðar voru Skagfirðingar. Um var að ræða 1148 Sunnlendinga og 510 Skagfirðinga. Meiri líkur voru á að hafa fundið fyrir einkennum hjá rannsóknarhópi heldur en samanburðarhópi mánuðinn áður en spurningalistarnir voru fylltir út. Algengara var að þeir væru með þyngsli fyrir brjósti, hósta, uppgang, augnertingu og geðræn einkenni. Þegar horft var til baka síðustu 12 mánuði voru öndunarferaeinkenni eins og hósti og uppgangur algengari hjá rannsóknarhópi en samanburðarhópi þótt tíðni lungnasjúkdóma eins og astma væri svipuð í báðum hópum. Helmingi fleiri í rannsóknarhópi höfðu tvö eða fleiri einkenni frá nefi, augum eða efri öndunarferum. Og þeir voru einnig líklegri til að hafa geðræn einkenni. Um flest þessi atriði gildi skammtasvörunarmynstur þannig að þeir sem voru mest útsettir fyrir ösku höfðu meiri einkenni en þeir sem voru minna útsettir.

Gerð var rannsókn á tengslum loftmengunar á Reykjavíkursvæðinu við komur á bráðadeild Landspítala árin 2007 til 2012.<sup>34</sup> Loftmengunin fór yfir heilsufarsmörk 115 daga af 2191 á rannsóknartímanum og í 20 daga af tímabilinu var hún talin stafa af gosösku. Há gildi loftmengunar vegna eldfjallaösku tengdust ekki

marktækt komum á bráðadeild og var matið 4,8% (95% öryggismörk (ÖM): 0,6; 9,2%) á dag útsetningar í líkani sem tók ekki tillit til annarra þátta og var 7,3% (95% ÖM: -0,4; 15,5%) í líkani sem tók tillit til annarra þátta sem hafa áhrif á loftmengun. Þannig ályktuðu höfundar að rannsóknin benti til þess að eldfjallaaska væri hættulegri en önnur tegund loftmengunar en rannsóknin skæri ekki endanlega úr um það og frekari rannsókna væri þörf.

### Áhrif Grímsvatnagos 2011 á heilsufar manna

Gosið í Grímsvötnum 2011 var tætigos og stóð í 9 daga. Kvikan var basísk. Rúmmál loftborinnar gjösku var um 0,7 rúmkílómetrar og hún barst að mestu til suðurs.<sup>35</sup>

Rannsóknarhópur í Svíþjóð kannaði dánartíðni á landsvæði í Svíþjóð eftir Grímsvatnagos 2011.<sup>36</sup> Askun úr því eldgosu barst til norðurhluta Evrópu og var greinanleg í miðhluta Svíþjóðar. Í rannsókninni voru borin saman landsvæði þar sem ösku varð vart og svæði þar sem engin öskumengun varð. Fylgst var með dánartíðni í fjóra mánuði eftir eldgosið árið 2011. Sérstaklega voru skoðaðar síðasta vika maí og fyrsta vika júní þegar öskunnar varð mest vart. Engin aukning varð á heildardánartíðni á rannsóknartímanum. Það varð aukning á dánartíðni á tímabilinu þegar öskunnar varð vart og sérstaklega einn dag (31. maí) en munurinn var ekki tölfræðilega marktækur. Þannig fengust ekki fullnægjandi niðurstöður en stungið upp á því að gera frekari rannsóknir eða setja saman fleiri rannsóknir til að ná marktækum niðurstöðum.

### Eldgos í Holuhrauni 2014-2015

Gosið í Holuhrauni er stærsta flæðigos á Íslandi síðan í Skaftáreldum 1783-1784 og stóð í 6 mánuði.<sup>25</sup> Hraunið sem upp kom var um 1,6 rúmkílómetrar og flatarmálið um 84 ferkílómetrar. Kvikan var óvenjulega gasrík af basalti að vera og alls er talið að um 11 megatonn af brennisteinsdíoxíði hafi losnað úr kvikunni á góttímanum, 5-6 Mt (megatonn) af koldíoxíði og allt að 280 Mt af vatnsgufu.<sup>25</sup> Mynd 6 sýnir líkan af dreifingu brennisteinsdíoxíðs í gosinu. Vetrisklóríð var lítið og vetnisflúoríð mældist ekki.

Eftir skammvinnt gos á 0,6 km langri gossprungu norður af Dyngjujökli 29. ágúst hófst megingosið á sama stað tveim dög-

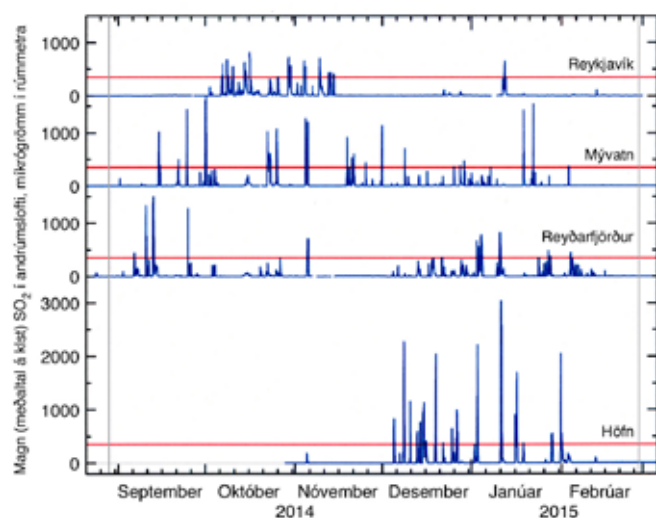


**Mynd 7. Gosmökkur og gasslæða til austurs frá Holuhrauni 5. september 2014.** Myndin er tekin úr flugvél ISAVIA, TF-FMS, í um 5 km hæð. Horft er til suðvesturs yfir Jökulsá á Fjöllum (meðst til vinstri) til Dyngjujökuls (lengst til hægri). Bárðarbunga er bak við kúfnn upp af gosstöðvunum. Ljósmynd Magnús Tumi Guðmundsson.

um seinna, en gossprungan var nú um 1,9 km löng. Meðalhlaunrennsli frá gossprungunni þá 6 mánuði sem gosið stóð var um 100 rúmmetrar á sekúndu en það var tvöfalt til þrefalt meira fyrstu vikurnar. Lítil gjóskumyndun var í gosinu og gjóskufall eingöngu í nágrenni gosstöðvanna. Gosmökkurinn í Holuhraungosinu var yfirleitt lágur, reis 1-3 km yfir gosstöðvarnar og lagði niður á láglandi. Mynd 7 sýnir gosmökk og gasslæðu leggja til austurs 5. september 2014. Umhverfis gosstöðvarnar náði gasútstreymi hættumörkum við ákveðnar veðuraðstæður og stóru svæði var lokað fyrir umferð annarra en vísindamanna. Losun brennisteinsdíoxíðs var um 60.000 tonn á sólarhring að meðaltali þann tíma sem gosið stóð, en um 150.000 tonn á sólarhring fyrstu tvær vikurnar.<sup>25</sup> Holuhraungosið varð á heppilegum tíma á vindasömu svæði fjarri mannabyggð. Þar sem gosið varð á þurriðrasömu svæði um haust og vetur þegar sólargangur er stuttur, náði brennisteinsdíoxíð ( $\text{SO}_2$ ) síður að mynda brennisteinsýru ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en ef aðstæður hefðu verið aðrar – sem kann að hafa mildað áhrif gossins á umhverfið.<sup>25</sup>

### Áhrif Holuhraungos á heilsufar manna

Mikið magn af brennisteinsdíoxíði losnaði í gosinu og sáust mengunartölur sem ekki höfðu sést áður í slíkum mælingum.<sup>25</sup> Embætti landlæknis gaf út viðvaranir vegna þessarar mengunar og ráðleggingar um viðbrögð við henni.<sup>37</sup> Mengunarinnar varð mest vart á Suðausturlandi og Austurlandi. Heilsuverndarmörk miðast við að magnið fari ekki yfir 350 míkrogrömm í rúmmetra að meðaltali



**Mynd 8. Magn brennisteinsdíoxíðs í andrúmslofti meðan gaus í Holuhrauni.** Magn brennisteinsdíoxíðs í andrúmslofti á fjórum mælistöðum meðan á gosi stóð í Holuhrauni er sýnt með bláum línun (25, mynd 2). Rauðar láréttar línur sýna heilsuverndarmörk, 350 míkrogrömm í rúmmetra. Gráar lóðréttar línur sýna upphaf og lok gossins. Mælingar á Höfn hófust 28. október 2014.

á klukkustund (tafla I). Á þeim fjórum stöðum þar sem mengunin var mæld í byggð fór hún yfir þessi mörk í 58 til 124 klukkustundir, langoftast á Höfn í Hornafirði þar sem mælingar hófust þó ekki fyrr en í lok október. Þar var líka hæsta klukkustundargildið mælt, um 3000 míkrogrömm í rúmmetra, og hæsta mæligildið sem var 21.000 míkrogrömm, eða 21 milligramm í rúmmetra.<sup>25</sup> Íbúar fundu fyrir talsverðum óþægindum af menguninni. Mynd 8 sýnir magn brennisteinsdíoxíðs í andrúmslofti á Höfn, Reyðarfirði, við Mývatn og í Reykjavík.<sup>25</sup> Enn er unnið að rannsóknum á heilsufarsáhrifum gosmengunarinnar, sérstaklega á þá sem voru vinnu sinnar vegna mjög nálægt eldstöðvunum.

### Dauðsföll á Íslandi vegna eldgosa

Íslenskir vísindamenn hafa reynt að meta fjölda dauðsfalla af völdum eldgosa á Íslandi. Samandregnar niðurstöður sjást í töflu II.<sup>29</sup> Þrátt fyrir fjölda eldgosa á 20. öld og því sem af er 21. öld hafa mjög fá dauðsföll orðið vegna eldgosa síðustu 100 ár. Langflest dauðsföll tengd eldgosum á Íslandi urðu vegna Skaftáreldanna 1783-1784.

### Samantekt

Allt frá því að land byggðist hafa Íslendingar þurft að búa við hættuna af eldgosum og þau hafa valdið margvíslegu tjóni, þar á meðal á heilsufari. Skaftáreldar 1783-1784 er það eldgos sem mest áhrif hefur haft á heilsufar Íslendinga svo vitað sé og olli flestum dauðsföllum. Þrátt fyrir fjölda eldgosa síðustu ár og áratugi hefur manntjón og tjón á heilsufari verið lítið. Það er hins vegar mjög nauðsynlegt fyrir Íslendinga að vera stöðugt á varð-

**Tafla II. Dauðsföll vegna eldgosa á Íslandi.<sup>29</sup>**

Eldfjall	Ár	Dauðsföll á gostíma	Dauðsföll eftir gostíma	Athugasemdir
Eldfell	1973	1		Eitruð lofttegund
Hekla	1947	1		Áverki
Grímsvötn	1861	1		Drukknun
Laki	1783		Um 8700	Fjölþættar orsakir, sjá nánar í texta
Katla	1755	1		Elding
Öræfajökull	1727	3		Drukknun, jökulhlaup
Grímsvötn	1684	1		Drukknun, jökulhlaup
Grímsvötn	1629	4+		Drukknun, jökulhlaup
Hekla	1510	1		Áverki
Öræfajökull	1362	50-300?	Ekki vitað	Fjöldi óljós



bergi vegna eldgosa og áhrifa þeirra á heilsufar. Undanfarið hafa Almennavarnadeild Ríkislögreglustjóra, Embætti landlæknis og aðrir viðbragðsaðilar brugðist skjótt og yfirvegað við þegar eldgos hafa orðið og gefið vandaðar ráðleggingar til almennings og

heilbrigðisstofnana.<sup>38</sup> Mikilvægt er að halda áfram að vera á verði gagnvart eldgosum og bregðast skjótt við eins og gert hefur verið undanfarin ár. Þá er mikilvægt að halda áfram rannsóknum á heilsufarsáhrifum eldgosa á menn, sérstaklega langtímaáhrifum.

## Heimildir

- Sigmundsson F, Steinþórsson S, Einarsson P, Sæmundsson K, Jakobsson SP, Larsen G, et al. Ísland: Innræn öfl og uppbygging. Í: Sólness J, Sigmundsson F, Bessason B, Náttúruvá ritstj. Náttúruvá á Íslandi. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík 2013: 45-71.
- Sigmundsson F, Gudmundsson MT, Steinþórsson S, Höskuldsson A, Larsen G, Inslan P, et al. Eldfjallavá. Í: Sólness J, Sigmundsson F, Bessason B, ritstj. Náttúruvá á Íslandi. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík 2013: 73-175.
- Óskarsson N, Eldfjallagas. Í: Sólness J, Sigmundsson F, Bessason B, ritstj. Náttúruvá á Íslandi. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík 2013: 147-155.
- Larsen G, Gíslason SR, Gjóska. Í: Sólness J, Sigmundsson F, Bessason B, ritstj. Náttúruvá á Íslandi. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík 2013: 130-143.
- Horwell CJ, Baxter PJ. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. Bull Volcanol 2006; 69: 1-24.
- Hansell AL, Horwell CJ, Oppenheimer C. The health hazards of volcanoes and geothermal areas. Occup Environ Med 2006; 63: 149-56.
- Gudmundsson G. Respiratory health effects of volcanic ash with special reference to Iceland. A review. Clin Respir J 2011; 5: 2-9.
- Monick MM, Baltrusaitis J, Powers LS, Borcharding JA, Caraballo JC, Mudunkotuwa I, et al. Effects of Eyjafjallajökull volcanic ash on innate immune system responses and bacterial growth in vitro. Environ Health Perspect; 2013; 121: 691-8.
- Lähde A, Gudmundsdóttir SS, Joutsensaari J, Tapper U, Ruusunen J, Ihalainen M et al. In vitro evaluation of pulmonary deposition of airborne volcanic ash. Atmospheric Environ 2013; 70: 18-27.
- Horwell CJ, Baxter PJ, Hillman SE, Calkins JA, Damby DE, Delmelle P, et al. Physicochemical and toxicological profiling of ash from the 2010 and 2011 eruptions of Eyjafjallajökull and Grimsvötn volcanoes, Iceland using rapid respiratory hazard assessment protocol. Environ Res 2013; 127: 63-73.
- Hansell A, Oppenheimer C. Health hazards from volcanic gases: a systematic literature review. Arch Environ Health 2004; 59: 628-39.
- Baxter PJ. Medical effects of volcanic eruptions. Bull Volcanol 1990; 52: 532-44.
- Weinstein P, Cook A. Volcanic emissions and health. In: Komatina MM, editor. Medical Geology: Effects of Geological Environments on Human Health. Developments in Earth and Environmental Sciences Series. Elsevier Science, Amsterdam 2005: 203-26.
- vinnueftirlit.is/um-vinnueftirlitid/frettir/nr/1170 - júní 2016.
- osha.gov/SLTC/hydrogensulfide/hazards.html - júní 2016.
- Fridriksson S. Fluoride problems following volcanic eruptions. In Fluorides. Effects on vegetation, animals and humans. Shupe JL, Peterson HB, Leone NC (eds) Paragon Press, 1983.
- Thordarson T, Larsen G. Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. In: Jacoby WR and Gudmundsson MT (eds): Hotspot Iceland. J Geodynamics 2007; 43: 118-52.
- Thorarinsson S. The Öræfajökull eruption of 1362. Acta Nat Isl 1958; II, 2: 1-100.
- Jónsson PVK Eyðing Bæjar í Öræfasveit í Öræfajökulsgosinu 1362. Háskóli Íslands, Raunvísindadeild, Reykjavík 2007.
- Storm G. Islandske Annaler indtil 1578. Det norske historiske Kildeskriftfond, Christiania 1888: 226.
- Einarsson BF. Bær við Salthöfða. Eyðibýli í Öræfum. Skýrsla IV. Fornleifráeðistofan. Reykjavík 2007.
- Thordarson T, Self S. The Laki (Skaftár Fires) and Grimsvötn eruptions in 1783-1785. Bull Volcanol 1993; 55: 233-63.
- Thordarson T, Self S, Óskarsson N, Hulsebosch T. Sulfur, chlorine, and fluorine degassing and atmospheric loading by the 1783-1784 AD Laki (Skaftár Fires) eruption in Iceland. Bull Volcanol 1996; 58: 205-25.
- Thordarson T. Skaftáreldar 1783-1784. Háskólaútgáfan, Reykjavík 1991.
- Gíslason SR, Stefansdóttir G, Pfeffer MA, Barsotti S, Johannsson Th, Galeczka I et al. Environmental pressure from the 2014-15 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland. Geochem Persp Let 2015: 84-93.
- Steingrímson J. Lítið ágríp um nýja eldsuppkomu í vestaraparti Skaftafellssýslu og þess verkanir sem fram komnar eru. Skaftáreldar 1783-1784. Mál og menning, Reykjavík 1984: 272-4.
- Steffensen J. Menning og meinsemdir. Sögufélag, Reykjavík 1975.
- Hálfðanarson G. Mannfall í Móðuharöndum. Skaftáreldar 1783-1784. Mál og menning, Reykjavík 1984: 140-62.
- Gudmundsson MT, Larsen G, Hoskuldsson A, Gylfason AG. Volcanic hazards in Iceland. Jökull. 2008; 58: 251-68.
- Larsen G, Gudmundsson MT, Sigmundsson F, Hoskuldsson A, Jakobsdóttir SS, Oddsson B, et al. Eyjafjallajökull. Í: Sólness J, Sigmundsson F, Bessason B, ritstj. Náttúruvá á Íslandi. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík 2013: 299-311.
- Gudmundsson MT, Thordarson T, Hoskuldsson A, Larsen G, Björnsson H, Prata FJ, et al. Ash generation and distribution from the April-May 2010 eruption of Eyjafjallajökull, Iceland. Sci Rep 2012; 2: 572.
- Carlsen HK, Gíslason T, Benediktsdóttir B, Kolbeinsson TB, Hauksdóttir A, Thorsteinnsson T, Briem H. A survey of early health effects of the Eyjafjallajökull 2010 eruption in Iceland: a population-based study. BMJ Open 2012; 2: e000343.
- Carlsen HK, Hauksdóttir A, Valdimarsdóttir UA, Gíslason T, Einarsson G, Runolfsson H et al. Health effects following the Eyjafjallajökull volcanic eruption: a cohort study. BMJ Open 2012; 2: pii: e001851.
- Carlsen HK, Gíslason T, Forsberg B, Meister K, Thorsteinnsson T, Jóhannsson T, et al. Emergency hospital visits in association with volcanic ash, dust storms and other sources of ambient particles: a time-series study in Reykjavík, Iceland. Int J Environ Res Public Health 2015; 12: 4047-59.
- Gudmundsson MT, Hoskuldsson A, Larsen G, Thordarson T, Óladóttir BA, Oddsson B, et al. Grimsvatnagosið 2011. Vorráðstefna, ágríp erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands 2015.
- Oudin A, Carlsen HK, Forsberg B, Johannsson C. Volcanic ash and daily mortality in Sweden after the Icelandic volcano eruption of May 2011. Int J Environ Res Public Health 2013; 10: 6909-19.
- landlaeknir.is/servlet/file/store93/item24681/Tafla\_SO2%20fr%C3%A1%20eldgosum\_%C3%81hrif%20%C3%A1%20heilsufar%20manna-final.pdf - febrúar 2016.
- landlaeknir.is/um-embattid/frettir/frettir/item14000/Eldgos-i-Eyjafjallajokli--Abendingar-vegna-ahrifa-oskufalls-a-heilsu - febrúar 2016.

## ENGLISH SUMMARY

### Effects of volcanic eruptions on human health in Iceland. Review

Gunnar Guðmundsson, Guðrún Larsen

Volcanic eruptions are common in Iceland and have caused health problems ever since the settlement of Iceland. Here we describe volcanic activity and the effects of volcanic gases and ash on human health in Iceland. Volcanic gases expelled during eruptions can be highly toxic for humans if their concentrations are high, irritating the mucus membranes of the eyes and upper respiratory tract at lower concentrations. They can also be very irritating to the skin. Volcanic ash is also irritating for the mucus membranes of the eyes and upper respiratory tract. The smallest particles of volcanic ash can reach the alveoli of the lungs. Described are four examples of volcanic eruptions that have affected the health of Icelanders. The eruption of Laki volcanic

fissure in 1783-1784 is the volcanic eruption that has caused the highest mortality and had the greatest effects on the well-being of Icelanders. Despite multiple volcanic eruptions during the last decades in Iceland mortality has been low and effects on human health have been limited, although studies on longterm effects are lacking. Studies on the effects of the Eyjafjallajökull eruption in 2010 on human health showed increased physical and mental symptoms, especially in those having respiratory disorders. The Directorate of Health in Iceland and other services have responded promptly to recurrent volcanic eruptions over the last few years and given detailed instructions on how to minimize the effects on the public health.

<sup>1</sup>Department of Respiratory Medicine and Sleep, Landspítali University Hospital, Faculty of Medicine, University of Iceland, <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja building, 101 Reykjavík.

**Key words:** volcanic eruptions, Iceland, volcanic ash, volcanic gases, health effects, mortality.

**Correspondence:** Gunnar Guðmundsson, [ggudmund@landspitali.is](mailto:ggudmund@landspitali.is)