



# HÁSKÓLI ÍSLANDS

**BS ritgerð  
í hjúkrunarfræði**

**Brennisteinn í andrúmslofti og tengsl hans  
við öndunarferasjúkdóma**  
Fræðileg samantekt

**Ingibjörg Vala Guðbjargardóttir  
Thelma Ósk Traustadóttir**

Leiðbeinandi: Sævar Ingpórsson, dósent  
Júní 2022

**HJÚKRUNARFRÆÐIDEILD**

**Brennisteinn í andrúmsloftið og tengsl hans  
við öndunarfærasjúkdóma**

*Fræðileg samantekt*

Ingibjörg Vala Guðbjargardóttir

Thelma Ósk Traustadóttir

Lokaverkefni til BS-prófs í hjúkrunarfræði

Leiðbeinandi: Sævar Ingþórsson, dósent

Hjúkrunarfræðideild

Heilbrigðisvísindasvið Háskóla Íslands

Júní 2022

# **Sulfur in the atmosphere and its association with respiratory diseases**

## ***A systematic review***

Ingibjörg Vala Guðbjargardóttir

Thelma Ósk Traustadóttir

Thesis for the degree of Bachelor of Science

Supervisor: Sævar Ingþórsson

Faculty of Nursing

School of Health Sciences

June 2022

Brennisteinn í andrúmslofti og tengsl hans við  
öndunarfærasjúkdóma: Fræðileg samantekt  
Ritgerð þessi er 10 eininga lokaverkefni til BS prófs í hjúkrunarfræði  
við Hjúkrunarfræðideild á Heilbrigðisvísindasviði Háskóla Íslands

© Ingibjörg Vala Guðbjargardóttir og Thelma Ósk Traustadóttir 2022  
Ritgerðina má ekki afrita nema með leyfi höfundar.

## Ágrip

**Bakgrunnur:** Brennisteinsdíoxíð eða  $\text{SO}_2$  er loftmengun sem verður aðallega af mannavöldum vegna bruna á jarðefnaeldsneyti sem er notað meðal annars í orkuverum, í upphitun á húsum, í raforkuframleiðslu, á vélknúin farartæki og frá öðrum iðnaðarmannvirkjum.  $\text{SO}_2$  kemur einnig frá náttúrulegum uppsprettum eins og frá eldgosum eða vegna jarðhita en í minna mæli en af mannavöldum.  $\text{SO}_2$  hefur áhrif á mannkyn, dýr og plöntur.  $\text{SO}_2$  getur valdið ýmiss konar skaða á heilsu fólks þar með talið á lungun. Við innöndun  $\text{SO}_2$  hvarfast það auðveldlega við raka slímhúðarinnar og myndar brennisteins-sýru ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) sem getur leitt til alvarlegrar ertingar í öndunarfærunum, s.s. hósta, langvinnrar berkju-bólgu, slímmyndunar, berkjukrampa, versnunar á astma, nýmyndun astma, mæði og COPD. Allt þetta eykur líkurnar á að fá sýkingu í öndunarveginn. Unnið er að því að draga úr loftmengun og auka vitundarvakningu fólks.

**Tilgangur:** Tilgangur þessarar fræðilegu samantektar var að fjalla um brennistein og hvaða áhrif hann hefur á lungaheilsu fólks, hvaðan brennisteinn kemur og hvaða fylgikvilla hann hefur í för með sér. Einnig er tilgangurinn að vita hvort brennisteinn sé skaðlegur eða ekki.

**Aðferð:** Fræðileg samantekt þar sem leit fór fram í gagnagrunnum PubMed, Scopus, Web of Science og Google Scholar á kerfisbundinn hátt um áhrif brennisteins á lungnaheilsu, ásamt því að notast við heimildir af heimasíðum sem eru viðurkenndar stofnanir. Ákveðin leitarskilyrði voru sett fram við leitina. Stuðst var við greinar sem birtar voru á tímabilinu 2012-2022. Aðeins var notast við heimildir sem voru á ensku eða íslensku. Við heimildaleitina var bæði stuðst við megindlegar og eigindlegar rannsóknir. Eftir yfirferð á heimildum voru greinar valdar eftir inntökuskilyrðum sem höfundar settu upp fyrir verkefnið.

**Niðurstöður:** Brennisteinn í andrúmslofti er alvarlegt vandamál og hefur áhrif á heilsu fólks. Hann hefur bæði skamm- og langtímaáhrif á heilsu fólks. Skammtímaáhrifin eru erting í augum, nefi, koki og hausverkur. Langtímaáhrifin er þrálát öndunarfæraeinkenni, hósti, nefrennsli og astmi. Auk þess er skapar hann hættu á vaxtarskerðingu hjá fósturum og getur valdið fyrirburafæðingu. Indland, Rússland og Kína eru þjóðir sem menga mest. Efla þarf þjóðir til að minnka brennisteinsmengun í umhverfinu með því að efla fólk til að minnka útblástur af mengunarvaldandi efnum. Þá þarf að efla þjóðir til að fá betri hreinsikerfi í kolefna- og olíuframleiðslu.

**Ályktanir:** Draga má þá ályktun að mengun af völdum brennisteins hafi gríðarleg áhrif á heilsu fólks, bæði á lungnastarfsemi og almennt heilsufar. Vegna mikillar  $\text{SO}_2$ -mengunar er aukning á lungna-tengdum sjúkdómum á borð við astma, langvinna lungnateppu (e. COPD), lungnatrefjun (e. pulmonary fibrosis) og lungnakrabbamein.

**Lykilorð:** Brennisteinn, brennisteinsdíoxíð,  $\text{SO}_2$ , loftmengunarefni, öndunarfæri, heilbrigði, lungnasjúkdómar.

## Abstract

**Background:** Sulfur dioxide or SO<sub>2</sub> is air pollution that is mainly man-made due to the burning of fossil fuels used in power plants, house heating, electricity generation, motor vehicles and other industrial plants. SO<sub>2</sub> also comes from natural sources, such as volcanic eruptions or high temperatures, but to a lesser extent than humans. SO<sub>2</sub> affects mankind, animals, and plants. SO<sub>2</sub> can cause a variety of damage to human health including the lungs. Inhaling SO<sub>2</sub> reacts easily with the mucous membranes to form sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) which can lead to severe respiratory irritation e.g., cough, chronic bronchitis, mucositis, bronchospasm, exacerbation of asthma, asthma synthesis, shortness of breath and COPD all of which increase the chances of getting an infection in the airways. Efforts are being made today to reduce air pollution and raise awareness among people.

**Purpose:** The purpose of this literature review was to discuss sulfur and what effect it has on people's lung health, where sulfur comes from and what complications sulfur causes, also to know whether sulfur is harmful or not.

**Method:** A systematic literature that conducted a search in databases such as PubMed, Scopus, Web of science and Google scholar in a systematic way about the effects of sulfur on lung health, as well as using sources from websites that are recognized institutions. Certain search criteria were set during the search. Articles published in the period 2012-2022 were used. Only sources that were in English or Icelandic were used. The search for sources was based on both quantitative and qualitative research. After reviewing the sources, articles were selected according to the admission requirements set by the authors for the project.

**Results:** Sulfur dioxide in the atmosphere is a severe concern that has a negative impact on human health. Sulfur in the atmosphere has both short-term and long-term effects on human health. Short-term effects include irritation of the eye, nose, throat, and headache. Long-term effects may include persistent respiratory problems such as coughing, runny nose, and asthma, but there is also a risk of fetal growth retardation, which may cause premature birth. India, Russia, and China are the nations with the highest levels of pollution. Nations must be given the possibility to reduce sulfur pollution in the environment by empowering individuals to reduce pollutant emissions. Nations must also be given the ability to develop better cleaning systems for carbon and oil production.

**Conclusions:** In conclusion, it can be said that sulfur pollution has a significant impact on human health, specifically lung function and general well-being. Asthma, COPD, pulmonary fibrosis, and lung cancer are becoming more common as a result of sulfur dioxide pollution.

**Key words:** Sulfur, sulfur dioxide, SO<sub>2</sub>, air pollutants, respiratory system, health, lung disease.

## **Þakkir**

Fyrst og fremst viljum við þakka leiðbeinandanum okkar, Sævari Ingþórssyni, dósent við hjúkrunarfræðideild Háskóla Íslands fyrir bæði góða leiðsögn og dyggan stuðning við gerð verkefnisins. Einnig viljum við þakka Jóhönnu Steinunni Snorradóttur sérstaklega fyrir vandaðan yfirllestur á verkefninu og góðar ábendingar. Fjölskyldur okkar og vinir voru okkur einnig mikilvæg og þökkum við þeim fyrir bæði stuðning og hvatningu á meðan vinna verkefnisins fór fram ásamt auðvitað stuðningi í gegnum allt hjúkrunarfræðinámið. Síðast en ekki síst viljum við þakka hvor annarri fyrir ótakmarkaða þolinmæði, gott samstarf og stuðning í gegnum síðustu mánuði.

Verkefnið var unnið til BS-prófs í hjúkrunarfræði við Háskóla Íslands.

# Efnisyfirlit

Ágrip .....	4
Abstract .....	5
Þakkir.....	6
Efnisyfirlit .....	7
Myndaskrá .....	8
Töfluskrá.....	8
Listi yfir skammstafanir .....	9
1 Inngangur .....	10
2 Fræðilegur bakgrunnur .....	11
2.1 Almennt um lungun .....	11
2.2 Almennt um brennistein .....	11
2.3 Hvar finnst brennisteinn í umhverfinu? .....	12
2.4 Áhrif brennisteins á heilsu og þeir sem eru í mestri áhættu.....	12
2.5 Skamm- og langtímaáhrif.....	13
2.5.1 Skammtímaáhrif .....	13
2.5.2 Langtímaáhrif.....	14
2.6 Hvaða sjúkdómum í lungum veldur mengun? .....	14
2.7 Heilsuverndarmörk.....	15
2.8 Í hvaða löndum er mengunin mest og hvers vegna? .....	16
2.9 Hvað er hægt að gera til að draga úr loftmengun? .....	17
2.10 Hvernig hafði COVID-19 áhrif á brennisteinsmengun? .....	18
2.11 Rannsóknir á Azithromycin-lyfinu .....	18
3 Aðferðir .....	20
3.1 Gagnasöfnun og leitaraðferðir .....	20
3.2 Markmið og tilgangur .....	20
3.3 Rannsóknarspurning.....	20
3.4 Inntöku- og útilokunarskilyrði .....	21
4 Niðurstöður .....	23
4.1 Hvernig hefur brennisteinn í andrúmslofti áhrif á heilsu fólks? .....	23
4.2 Hvað gerist ef við bregðumst ekki við brennisteinsmengun?.....	25
4.2.1 Hvað getum við gert til að koma í veg fyrir áframhaldandi SO <sub>2</sub> -mengun?.....	25
4.2.2 Hvað skal gera til að draga úr útsetningu fólks fyrir mengun?.....	26
4.3 Áhrif COVID-19 á mengun .....	28
4.4 Rannsóknir á lyfinu Azithromycin.....	28
5 Umræða .....	29
5.1 Styrkleikar og veikleikar .....	30
Ályktanir.....	32
Heimildaskrá.....	33



## Myndaskrá

Mynd 1. PRISMA-flæðirit við greiningu leitar.....	22
---	----

## Töfluskrá

Tafla 1. Rannsóknarspurning 1 út frá viðmiðum PICOTS. ....	21
Tafla 2. Rannsóknarspurning 2 út frá viðmiðum PICOTS. ....	21
Tafla 3. Inntöku- og útilokunarskilyrði.....	21

## Listi yfir skammstafanir

AQG = Air Quality Guidelines

H<sub>2</sub>S = Brennisteinsvetni

H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> = Brennisteinssýra

NO<sub>2</sub> = Köfnunarefnisdíoxíð

OH = Hýdroxýl

O<sub>3</sub> = Óson

PPM = Parts per million

PM<sub>2,5</sub> = Particulate matter 2.5

PM<sub>10</sub> = Particulate matter 10

PICOT: Population Intervention Comparison Outcome Study design.

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta.

SO<sub>2</sub> = Brennisteinsdíoxíð

SO<sub>3</sub> = Brennisteinspríoxíð

SO<sub>4</sub> = Súlfat

S.s. = Svo sem

U.þ.b. = Um það bil

WHO = World Health Organization

Þ.e.a.s. = Það er að segja

Þ.m.t = Þar með talið

µg/m<sup>3</sup> = Míkrógrömm á rúmmetra

# 1 Inngangur

Loftmengun er stærsta umhverfisvandamál heimsins (WHO, 2021a). Samkvæmt rannsóknum WHO má rekja u.þ.b. sjö milljónir dauðsfalla í heiminum á ári til loftmengunar (WHO, 2021a). Lengi hafa verið heitar umræður um áhrif á lífríki vegna mengunar. Talið er að fyrstu áhrif loftmengunar á heilsu fólks hafi komið fram á steinöld þegar mannkynið lærði að nýta sér eld til matreiðslu. Elstu rituðu heimildir um loftmengun eru frá Rómarveldistímabilinu. Fyrsta fræðiritið um loftmengun kom út árið 1661 í Bretlandi. Þá voru fyrstu lög um loftmengun sett fram í London á 12. öld (Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019). Brennisteinsdíoxíð er eitt helsta efni loftmengunar í iðnríkjum (Cao o.fl., 2020). Brennisteinn í umhverfi hefur áhrif á heilsu bæði mannfólks og lífríkis. Brennisteinsdíoxíð kemur aðallega frá bruna frá eldsneyti og iðnaði (Manisalidis, I., o.fl. 2020). Í borgum losnar brennisteinn í lofti fyrst og fremst af brennslu jarðefnaeldsneytis, aðallega frá kolum og olíu en í náttúrunni losnar brennisteinn út í loftið frá eldgosum í miklu magni (Wigenstam o.fl., 2016).

Á Íslandi losna þúsundir tonna af brennisteinsvetni ( $H_2S$ ) á ári vegna jarðhitans sem er unninn úr jörðinni. Hluti brennisteinsvetnisins oxast smám saman í brennisteinsdíoxíð (Umhverfisstofnun, e.d.). Eldgos valda einnig loftmengun með gjóskufalli og kvikugösum (Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019). Íslenskur iðnaður, álver og fiskimjölsverksmiðjur losa þó nokkuð af brennisteinsdíoxíði. Auk þess losar umferð farartækja sem knúin eru áfram á jarðefnaeldsneyti nokkuð af brennisteinsdíoxíði. Íslenski skipaflotinn veldur til að mynda jafn mikilli losun brennisteinsdíoxíðs og allur iðnaður á landinu (Umhverfisstofnun, e.d.). Loftgæði bötnuðu í þéttbýli á Íslandi þegar hætt var að nota kol og olíu til kyndingar á húsum og götur voru malbikaðar. Loftgæði hafa verið mæld hér á landi frá árinu 1986 (Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019).

Brennisteinsmengun er stórt vandamál um allan heim. Indland er stærsti mengunarvaldur brennisteinsdíoxíðs í heiminum en þrátt fyrir miklar takmarkanir sem Indland setur á iðnað sinn þá er ekki nóg að gert og er losun brennisteins enn mikil þar (Dahiya o.fl., 2020).

Tilgangur þessarar fræðilegu samantektar er að fjalla um brennistein og hvaða áhrif hann hefur á lungnaheilsu fólks. Hvaðan brennisteinn kemur og hvaða fylgikvilla hann hefur í för með sér. Einnig er tilgangurinn að vita hvort brennisteinn sé skaðlegur eða ekki. Hvaða áhrif hefur brennisteinn í andrúmslofti á lungnaheilsu? Töluvert magn er af brennisteini í andrúmsloftinu og ekki einungis í stóru löndunum eins og Indlandi og Kína heldur er einnig brennisteinsmengun á Íslandi. Mengunin hér á landi er töluvert minni en samt sem áður er þó nokkur mengun til staðar hérlandis. Leitast var eftir svörum við eftirfarandi rannsóknarspurningum:

1. Hvaða áhrif hefur brennisteinn í andrúmslofti á lungnaheilsu?
2. Hvað er hægt að gera til að draga úr brennisteini í andrúmslofti svo hægt sé að sporna við heilsuskaða?

## 2 Fræðilegur bakgrunnur

### 2.1 Almennt um lungun

Lungun eru hluti af öndunarfærum líkamans. Öndunarstarfsemi lungna er lífsnauðsynleg fyrir lífverur til að lifa af. Lungun eru svampkennd keilulaga líffæri sem eru staðsett í brjóstholinu og hafa bleik-gráan blæ. Þau eru aðskilin hvort frá öðru af hjartanu og öðrum himnum. Þetta aðskilur brjóstholið í tvö líffærafræðileg hólf sem gera lungun. Bæði lungun eru umvafin verjandi himnu (e. serous membrane) sem er kölluð fleiðruhimna (e. pleural membrane) (Chaudhry og Bordoni, 2021; Tortora og Nielsen, 2014). Þetta gerir það að verkum að ef annað lungað verður fyrir samfalli og starfar því ekki eðlilega getur hitt lungað starfað eðlilega þrátt fyrir áverkann á hinu lunganu. Lungun sjá um að taka þátt í loftskiptum. Til að viðhalda réttu sýrustigi blóðsins sjá lungun um að losa koltvísýring úr líkamanum. Barkinn er einnig hluti af öndunarfærunum og sér um að flytja loft til lungnanna sem er síðan skipt í lungnablöð (e. lobi). Þau eru fimm talsins, þrjú hægra megin og tvö vinstra megin. Andrúmsloftið sem berst inn í lungun fer þaðan í gegnum barka sem smækkar síðan í berkjugreinar. Loftið fer síðan í gegnum berkjurnar og berst svo til lungnablaðra. Lungnablöðurnar eru um það bil 300 milljónir talsins. Súrefni úr andrúmslofti berst í lungnablöðurnar og þaðan í inn í blóðrásina sem endar síðan á að fara til frumna líkamans. Eitt af mörgum mikilvægum hlutverkum lungnanna er að verja líkamann fyrir meðal annars sýklum og ryki svo fátt eitt sé nefnt (Lungnakrabbamein, e.d.).

### 2.2 Almennt um brennistein

Mengandi lofttegundir og agnir eru hluti af andrúmsloftinu en samt sem áður mjög lítil hluti. Þær eiga sér náttúrulegan uppruna að mestu, það er að segja vegna eldgosa, skógarelda og rotnunar. Iðnvæðing seinustu tveggja alda hefur aukið mengunina gífurlega. Brennisteinn er ein af þessum mengandi lofttegundum (Fortin, F., 2006). Brennisteinn eða brennisteinsdíoxíð (e. sulfur dioxide,  $SO_2$ ) er skaðleg litlaus lofttegund sem er að finna í andrúmsloftinu. Hún er hvarfgjörn og einkennist af sterkri lykt þegar hún er í miklum mæli í andrúmsloftinu. Brennisteinsdíoxíð er vatnsleysanlegt efni og auðvelt að anda því að sér.  $SO_2$  er þyngra en loftið, er tærandi, getur verið eldfimt en ekki við stofuhita og er virkilega eitrad í háum styrk (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2014; Cao o.fl., 2020; umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2017).

Í borgum stafar  $SO_2$  í andrúmslofti fyrst og fremst af starfsemi sem tengist brennslu jarðefnaeldsneytis, þá aðallega vegna kola og olíu. Af náttúrulegum ástæðum eru það eldgosin sem losa  $SO_2$  út í andrúmsloftið í mjög miklu magni (Reno o.fl., 2015). Þegar brennisteinsdíoxíð losnar út í andrúmsloftið hvarfast það við OH radikala (e. radical) í andrúmsloftinu og myndar  $SO_3$  eða brennisteinssýru (e. sulfurous acid) sem síðan hvarfast við vatn og myndar brennisteinssýruagnir (e. sulfuric acid particles). Gróður getur tekið upp brennisteinsdíoxíð og umbreytt því í súlfat ( $SO_4$ ). Ef mikið af brennisteinsdíoxíð er til staðar þá á gróður erfitt með að umbreyta því og þá koma fram gróðurskemmdir (Umhverfisstofnun, e.d.). Brennisteinn er gas sem hefur skaðleg áhrif á heilsu manna, dýra og plantna. Meðal helstu heilsufarsvandamála í tengslum við brennisteinsdíoxíð í andrúmslofti er að lungnaheilsa fólks skaðast (Cao o.fl., 2020).

Ársméðaltal brennisteinsdíoxíðmengunar er 0,03 ppm (parts per million) (Manisalidis, I., o.fl. 2020). Ef brennisteinsdíoxíðmengun er til staðar í styrknum sem er á bilinu 0,3-1,0 ppm fara flestir að finna fyrir lyktinni af SO<sub>2</sub> (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2014).

### 2.3 Hvar finnst brennisteinn í umhverfinu?

Brennisteinsdíoxíð í andrúmsloftinu kemur aðallega af mannavöldum. Losun brennisteinsdíoxíðs leiðir einnig til margra umhverfisvandamála svo sem loftslagsbreytinga (Zhong o.fl., 2019). Stærsta uppspretta brennisteinsdíoxíðs í andrúmsloftinu af mannavöldum er brennsla á jarðefnaeldsneyti, þar á meðal í orkuverum, vegna upphitunar á húsum, vegna raforkuframleiðslu, frá vélknúnum farartækjum og frá öðrum iðnaðarmannvirkjum (Manisalidis, I. o.fl., 2020; WHO, 2021a). Minni uppsprettur SO<sub>2</sub>-losunar eru: iðnaðarferli eins og að vinna málm úr steinefnagrýti, eimreiðar, skip og önnur farartæki sem hafa þungan búnað sem brennir eldsneyti með miklu brennisteinsinnihald (U.S. Environmental Protection Agency, e.d.-b). Það getur einnig komið frá náttúrulegum uppsprettum eins og frá eldgosum eða vegna jarðhita. Brennisteinsdíoxíð var eitt helsta loftmengunarefnið sem losnaði úr eldgosinu í Holuhrauni 2014-2015 (Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019). Íslenski skipaflotinn veldur jafn mikilli losun brennisteinsdíoxíðs og allur iðnaður á Íslandi (Umhverfisstofnun e.d.). Íslenskur iðnaður, álver og fiskimjölsverksmiðjur losa þó nokkuð af brennisteinsdíoxíði (Umhverfisstofnun, e.d.). Brennisteinn kemur einnig frá flugeldum. Brennisteinsdíoxíð er eitt af helstu mengunarefnum sem koma út frá stóriðju. Mengun vegna brennisteinsdíoxíðs er að mestu að finna við þau svæði sem eru nálægt iðjuverum. Umhverfis iðjuverin er hægt að finna brennisteinsdíoxíð í nokkurra kílómetra radíus. Þetta er ekki alltaf hringlaga heldur fer þetta eftir því hvaða vindátt er ríkjandi. Það gerir það að verkum að brennisteinsdíoxíðmengun er aflöng (Umhverfisstofnun, e.d.). SO<sub>2</sub> getur stuðlað að súru regni sem getur skaðað viðkvæm vistkerfi (U.S. Environmental Protection Agency, e.d.-b).

### 2.4 Áhrif brennisteins á heilsu og þeir sem eru í mestri áhættu

Loftmengun er nú viðurkennd sem mesta umhverfisógn við heilsu manna ásamt loftslagsbreytingum. Brennisteinsdíoxíð hefur áhrif á mannkyn, dýr og plöntur. Það veldur ýmiss konar heilsufarslegum skaða, m.a. bólgu eða ertingu í öndunarfarum sem leiðir til hósta, langvinnrar berkjubólgu, slímmyndunar, berkjukrampa og versunar á astma. Allt þetta eykur hættuna að fá sýkingu í öndunarveginn. Við innöndun á brennisteinsdíoxíði hvarfast það auðveldlega við raka slímhúðarinnar og myndar brennisteinssýru (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>). Það getur valdið alvarlegri ertingu í öndunarfarunum. Auk þess veldur brennisteinsdíoxíð roða á húð, skemmdum á augum og á slímhúð (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2014; Manisalidis, I., o.fl. 2020; WHO, 2021a). Brennisteinsdíoxíðið berst að mestu í efri öndunarveg, fer í gegnum nef og síðan í munn sem frásogast því næst í gegnum slímhúðina og þaðan inn í líkamann. Um 85% efnisins eru talin fara inn í líkamann. Lifrín umbreytir SO<sub>2</sub> sem hreinsast síðan út með þvagi. Það er talið að SO<sub>2</sub> safnist fyrir í litlu magni í líkamanum eða nánast engu og skaði því innri líffærin ekki (Þórólfur Guðnason, 2021). Hár styrkur af brennisteinsdíoxíði getur hindrað öndun og valdið köfnun (Umhverfisstofnun, e.d.). Að auki getur innöndun á brennisteinsdíoxíði leitt til versnandi einkenna hjarta- og æðasjúkdóma (Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019).

Árið 2019 bjuggu um 99% jarðarbúa á stöðum þar sem loftgæðaviðmiðunargildi WHO voru ekki uppfyllt. Um sjö milljónir ótímabærra dauðsfalla má rekja til áhrifa loftmengunar á umhverfi og heimili fólks. Af þessum sjö milljónum sem deyja eru um 500.000 manns í ríkjum Evrópu. Þrátt fyrir að loftmengun sé ógn við heilsu manna í öllum löndum þá bitnar hún samt verst á fólki í lág- og millitekjulöndum. Brennisteinsdíoxíð hefur auk þess neikvæð áhrif á öndun plantna og getur drepíð og valdið vanlíðan hjá dýrum. Það myndast brennisteinssýra þegar SO<sub>2</sub> sameinast vatni sem myndar súrt regn sem hefur þær afleiðingar að valda eyðingu á skógum (WHO, 2021a; WHO, 2021b; Umhverfisstofnun, e.d).

Þeir sem eru í mestri áhættu á alvarlegum skaða af völdum brennisteinsdíoxíðs eru börn, sjúklingar með lungnasjúkdóma og gamalmenni (Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019). Það hefur sýnt sig samkvæmt fræðunum að börn séu viðkvæmari fyrir SO<sub>2</sub>-mengun en fullorðnir. Ástæðan fyrir því er sú að öndun barna er frábrugðin öndun fullorðinna. Þau anda hraðar og draga meira rúmmál lofts að sér miðað við líkamsþyngd en fullorðnir. Börn anda ekki nægilega vel í gegnum nefið og erfitt er að fá þau til að gera það. Talið er að börn séu í mun viðkvæmari stöðu sökum SO<sub>2</sub> í andrúmsloftinu en rannsóknir hafa ekki náð að sýna fram á það. Á Íslandi hafa verið gefnar út leiðbeiningar um viðbrögð við SO<sub>2</sub> en þar eru börn látin njóta vafans. Það er því engin áhætta tekin sem gerir það að verkum að börn eru skilgreind í sömu áhættu og fólk með undirliggjandi sjúkdóma (Þórólfur Guðnason, 2021). Rannsóknir á börnum hafa sýnt fram á minnkaðan lungnavöxt aðeins vegna lélegra loftgæða sökum SO<sub>2</sub> en um leið og loftgæðin aukast þá batnar lungnavöxtur þeirra (Rosser, 2020). Sýnt hefur verið fram á með rannsóknum að hluti fólks með astma upplifi breytingar á lungnastarfsemi og öndunarfæraeinkennum eftir að hafa orðið fyrir útsetningu á SO<sub>2</sub>. Mun lægra magni af SO<sub>2</sub> hefur áhrif á heilsufar fólks en áður var talið (WHO, 2021a).

## 2.5 Skamm- og langtímaáhrif

Þegar fólk verður fyrir útsetningu brennisteinsdíoxíðs getur það yfirleitt bæði haft skammtíma- og langvarandi heilsufarslegar afleiðingar, þá aðallega hjá þeim sem eru með undirliggjandi lungnasjúkdóma (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2014). Áhrifum af sökum SO<sub>2</sub> er skipt í skamm- og langtímaáhrif. Skilgreiningin á skammtímaáhrifum er skyndileg mengun sem varir í stuttan tíma, það er að segja í einhverjar mínútur, jafnvel einhverjar klukkustundir. Skilgreiningin á langtímaáhrifum SO<sub>2</sub> er að mengun vari í lengri tíma og sé viðvarandi í einhverja daga, mánuði eða jafnvel ár (Þórólfur Guðnason, 2021).

### 2.5.1 Skammtímaáhrif

Talið er að skammtímaáhrifin séu þegar styrkur er lágur. Erting í augum, nefi, koki og hausverkur eru einkenni skammtímaáhrifa SO<sub>2</sub>. Um leið og SO<sub>2</sub> gerir vart við sig koma einkenni strax fram ef styrkleikinn er orðinn þannig að hann hafi áhrif á einstaklinginn. Einkennin hverfa svo um leið og SO<sub>2</sub>-mengunin hverfur úr andrúmsloftinu í nálægð við einstaklinginn. Hjá einstaklingum með undirliggjandi lungnasjúkdóma getur borið á hósta við styrkinn 500-600 µg/m<sup>3</sup>. Ef styrkur fer yfir 2600 µg/m<sup>3</sup> er líklegt að einkenni komi fram hjá sem flestum, þ.e.a.s. erting í öndunarvegi, hósti og höfuðverkur. Heilbrigðir einstaklingar eru hins vegar ólíklegir til að fá alvarleg einkenni eða ekki fyrr en styrkur fer yfir 9000 µg/m<sup>3</sup>.

Þegar styrkur fer yfir 150.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  geta lífshættuleg einkenni farið að sjást (Þórólfur Guðnason, 2021). Aukinn styrkur  $\text{SO}_2$  í andrúmslofti getur valdið ógleði, uppköstum og magaverkjum. Ef brennisteinn kemst í snertingu við húð getur hann valdið miklum verkjum, roða í húð og jafnvel blöðrum (WHO, 2016).

### 2.5.2 Langtímaáhrif

Langtímaáhrif  $\text{SO}_2$  á heilsufar fólks hafa mikið verið rannsökuð. Þær niðurstöður sem hafa fengist er að langtímaáhrif vegna  $\text{SO}_2$ -mengunar geti verið þrálát öndunarfæraeinkenni, hósti, nefrennsli og astmi svo einhver dæmi séu nefnd. Hætta er á vaxtarskerðingu hjá fósturum og getur mengunin valdið fyrirbura-fæðingu. Rannsóknir sjá engin tengsl á milli  $\text{SO}_2$ -mengunar og krabbameins en vangaveltur eru um það hvort það sé möguleiki á að blóðþrýstingur hækki eða jafnvel valdi ófrjósemi (Þórólfur Guðnason, 2021).

Ef brennisteinn kemst í snertingu við augu getur myndast mikill vökvi í þeim. Í alvarlegri tilfellum getur hann valdið varanlegri blindu. Langvarandi öndunarvandamál geta komið upp við mikla útsetningu af  $\text{SO}_2$  til lengri tíma, eins og efnaberkjubólga (e. chemical bronchopneumonia) og berkjukrampi (e. bronchospasm) hjá þeim sem eru með undirliggjandi lungnasjúkdóma, þá sérstaklega þeir sem eru með astma eða lungnaþembu. Í alvarlegri tilfellum er þekkt að einstaklingar geti fengið RADS (e. Reactive airways dysfunction syndrome) en er þó ekki talið algengt (WHO, 2016). Sýnt hefur verið fram á að meðaltali einnar klukkustundar hámarks  $\text{SO}_2$ -útsetning daglega í eitt ár tengist astma og ofnæmi hjá börnum. Þar að auki minnkar FEV1/FVC hjá börnum sem hafa verið útsett fyrir  $\text{SO}_2$ -mengun. Börn með astma eru því næmari fyrir skaðlegum áhrifum loftmengunar á öndunarferin (Rosser, 2020). FEV eða Forced expiratory volume vísar til rúmmáls lofts sem einstaklingur getur andað frá sér við þvingaðan anda á x sekúndum. FEV1 er þvingað útöndunarrúmmál á fyrstu sekúndu og getur verið gagnlegt til að flokka alvarleika lungnasjúkdóma, svo sem langvinnrar lungnateppu (COPD) og astma (Davis og Edwards, 2021).

### 2.6 Hvaða sjúkdómum í lungum veldur mengun?

Það er þekkt að innöndun á brennisteinsdíoxíði hefur áhrif á öndunarveginn. Annaðhvort versnar astminn vegna mikillar mengunar eða jafnvel hefur fólk aukið næmi við að þróa með sér astma vegna mengunar. Einkenni geta komið fram hjá þeim sem eru með teppusjúkdóm í lungum, svo sem astma eða langvinna lungnateppu (COPD). Þegar svifryksmengun er einnig í andrúmsloftinu aukast áhrif á þá sem er með teppusjúkdóm í lungum, þ.e.a.s. einstaklingurinn finnur fyrir meiri andþyngslum og mæði. Vegna þessara einkenna þarf hann að leita sér lækniástoðar ef styrkur  $\text{SO}_2$  er mikill í andrúmsloftinu. Að anda að sér  $\text{SO}_2$  hefur ekki einungis áhrif á starfsemi öndunarfæra heldur geta einkenni hjarta- og æðasjúkdóma versnað (Guarnieri og Balmes, 2014; Gunnar Guðmundsson o.fl., 2019). Þekktir sjúkdómar í lungum eins og áður voru nefndir eru COPD og astmi en einnig getur útsetning fyrir  $\text{SO}_2$ -mengun í andrúmsloftinu valdið berkjubólgu og lungnakrabbameini (Manisalidis o.fl. 2020).

Rannsókn sem var gerð í Kína bendir til þess að tengsl séu á milli  $\text{SO}_2$ -mengunar og lungna-krabbameins. Rannsóknir sýna að loftmengunarefni á borð við  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  og  $\text{O}_3$  stuðli að álagi á lungun og geta þannig mögulega aukið hættu á lungnabólgu og komið af stað krabbameinsmyndun. Þetta þarf þó að rannsaka betur (Xing o.fl., 2019). Rannsóknir hafa sýnt að útsetning fyrir  $\text{SO}_2$  auki

áhættuna á lungnakrabbameini og er áætlað að um 1% aukning sé á að SO<sub>2</sub> losun geti leitt til 0,004 fleiri dauðsfalla á hverja 100.000 íbúa vegna lungnakrabbameins í Kína (Xing o.fl., 2019).

Rannsókn sem var gerð í Rússlandi sýnir fram á samband á milli SO<sub>2</sub>-mengunar í andrúmslofti og aukinnar tíðni af framleiðslu slíms í lungum og tilvist langvarandi hósta. Auk þess hefur aukið SO<sub>2</sub> áhrif á astmasjúklinga. Það getur hugsanlega stafað af vanhæfni þeirra til að framleiða nauðsynlegt magn af IL-10 til að leysa bólgu sem SO<sub>2</sub> veldur. Þessar rannsóknir sýna sambandið á milli styrks SO<sub>2</sub> og iðnvæðingar og gefa innsýn í hversu mikilvægt er að setja upp leiðbeiningar um loftgæði (Reno o.fl., 2015).

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar sem gefa þær niðurstöður að tengsl séu á milli sjálfvakinnar lungnatrefjunar (e. idiopathic pulmonary fibrosis, IPF) og loftmengunar. Engar rannsóknir hafa verið gerðar til að rannsaka þessi tengsl á svæðum þar sem er veruleg mengun í andrúmsloftinu en það var gert í Peking. Þrátt fyrir að loftgæði hafi batnað heilmikið frá innleiðingu stefnunnar um hreint loft 2013 þar í landi er samt sem áður bráð útsetning á loftmengun tengd við IPF og sjúkráhusvist í Peking. Það er því mikilvægt að rannsaka þetta betur, vekja athygli á þessu, framfylgja loftgæðastefnum svo hægt sé að vernda viðkvæmustu hópana og fækka tilfellum IPF (Liang o.fl., 2022). Sjúkdómurinn IPF er afar sjaldgæfur. Það sem gerist í þessum sjúkdómi er að það myndast bandvefur eða trefjar í staðinn fyrir heilbrigðan lungnavef. Við þetta verður truflun á loftskiptum í lungunum sem gerir það að verkum að súrefnið og koltvísýringurinn fer hvorki á eðlilegan hátt inn eða út. Öndunarbílun er afleiðing þessa sjúkdóms ef ekki er gripið inn í nógu snemma. Því þarf að meðhöndla sjúklinginn og finna hvert umhverfisáreitið er sem mögulega veldur IPF (Samtök lungnasjúklinga, e.d.). SO<sub>2</sub> er þekktur hvati bólgu í öndunarfærum. Sýnt hefur verið fram á að SO<sub>2</sub>-útsetning eykur tjáningu bólgueyðandi frumuvaka svo sem IL-6 og TNFα í lungum músa (Joelsson o.fl., 2020).

## 2.7 Heilsuverndarmörk

Talið er nauðsynlegt að hafa gott eftirlit með brennisteinsdíoxíði á Íslandi. Losun SO<sub>2</sub> hefur verið haldið undir 90 kt á ári samkvæmt lögum nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir ásamt tilskipun 2001/81/EB. H<sub>2</sub>S er partur af losun SO<sub>2</sub> þar sem H<sub>2</sub>S er umreiknað yfir í SO<sub>2</sub>-gildi. Á Íslandi er mikil aukning á stóriðju og verður það svo næstu árin sem og aukin virkjun á jarðvarma. Það má því reikna með að heildarlosun SO<sub>2</sub> á Íslandi muni aukast til muna. Því er hægt að gera ráð fyrir að styrkur SO<sub>2</sub> í andrúmsloftinu muni hækka samfara því á þeim svæðum sem uppsprettan er. Samkvæmt tilskipun ESB varðandi loftgæði voru sett tvö konar viðmiðunarmörk fyrir SO<sub>2</sub> til að vernda heilsu manna. Viðmiðunarmörkin voru metin út frá klukkustundar- eða sólahringsmeðaltali. SO<sub>2</sub> á klukkustund má ekki fara yfir 350 míkrogrömm á rúmmetra µg/m<sup>3</sup> oftast en 24 sinnum á ári en SO<sub>2</sub> á sólarhring má ekki fara yfir 125 µg/m<sup>3</sup> oftast en þrisvar sinnum á ári (umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2017). Fólki með astma getur farið að finna fyrir einkennum í öndunarvegi þegar styrkur SO<sub>2</sub> er undir 0,1 ppm (0,0001 µg/m<sup>3</sup>) þegar það stundar líkamlega hreyfingu. Heilbrigðir fullorðnir einstaklingar geta fundið fyrir einkennum eða ertingu í öndunarvegi við styrkinn 5 ppm (0,005 µg/m<sup>3</sup>), við 10 ppm (0,01 µg/m<sup>3</sup>) getur það kallað fram hnerra og hósta en við 20 ppm (0,02 µg/m<sup>3</sup>) getur það valdið berkjukrampa (e. bronchospasm). Það er nauðsynlegt að nota gasgrímu þegar styrkur fer yfir 20 ppm. Styrk upp á 50-100 ppm (0,05-0,1 µg/m<sup>3</sup>) er hægt að þola í um 30-60 mínútur en ef hann fer hækkandi eða útsetning er til lengri tíma getur



það valdið dauða vegna teppu í öndunarvegi. Þar sem SO<sub>2</sub> er þyngra en loft er hættulegt að vera á illa loftræstum stöðum þar sem mengun er, á lokuðum svæðum eða svæðum sem liggja lágt niðri þar sem það getur leitt til köfnunar (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2014).

Það sem getur ýtt undir að SO<sub>2</sub> fari yfir tilskilin mörk eru veðurfarsaðstæður, hitastig sem er breytilegt, vindur þá aðallega ef hann er hægur, ef raki er miðlungsmikill, ef hann er lítill sem enginn og það er vetur. Á Íslandi var SO<sub>2</sub>-ársmeðaltalið tekið saman árið 2018 á þeim stöðum sem SO<sub>2</sub> var mælt og var það undir öllum sólahringsheilsuverndarmörkum. Það sást þó í þessum mælingum að sólahringsmeðaltölin í grennd við iðnað voru hæst. Þar voru einnig meiri sveiflur í styrknum á efninu en hann fór aldrei yfir mörkin. Lægsti styrkurinn mældist á Grensásvegi, í Kópavogi og á Akureyri. Sama ár fór þó SO<sub>2</sub> tvisvar yfir heilsuverndarmörkin þegar skoðað var klukkustundarmeðaltalið. Það gerðist á Gröf og Kríuvörðu á Grundartanga (418 µg/m<sup>3</sup> og 430 µg/m<sup>3</sup>; 485 µg/m<sup>3</sup> og 352 µg/m<sup>3</sup>) en önnur svæði fóru ekki yfir þessi mörk. Viðmiðunarmörk eiga það til að fara yfir þau mörk sem sett hafa verið þegar eldfjall gýs. Gott dæmi um það er eldgosið í Holuhrauni sem byrjaði ári 2014 og lauk árið 2015. Í þessu eldgosi losnaði gífurlega mikið magn af SO<sub>2</sub> í andrúmsloftið sem hafði þær afleiðingar að styrkurinn fór langt yfir heilsuverndarmörk. Þetta er hæsti styrkur sem hefur mælst hér á landi frá upphafi mælinga (umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2017). Styrkur SO<sub>2</sub> mældist upp í 6100 µg/m<sup>3</sup> á Höfn í Hornafirði þann 22. október 2014. Eins og áður hefur verið nefnt eru heilbrigðismörk miðuð við 350 µg/m<sup>3</sup> sem meðalstyrk SO<sub>2</sub> í klukkutíma í senn að hámarki svo þessi styrkur sem mældist var gífurlega hár (Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra, 2014).

## 2.8 Í hvaða löndum er mengunin mest og hvers vegna?

NASA OMI gervihnötturinn hefur verið með eftirlit með loftgæðum frá árinu 2004. Þetta eftirlit gerir okkur kleift að greina mengunarsvæði (Dahiya og Myllyvirta, 2019). Samkvæmt rannsókn sem Greenpeace gaf út árið 2019 bendir til þess að Indland sé mesti mengunarvaldur af brennisteinsdíoxíði í heiminum og mengar um 21% af öllum heiminum af SO<sub>2</sub>. Losun af SO<sub>2</sub> dróst þó saman um 6% árið 2019 en þrátt fyrir mikla lækkun var það ekki nóg og er losun Indlands enn mikil (Dahiya o.fl., 2020). Árið 2018 var Indland einnig í fyrsta sæti. Ástæðan fyrir mikilli losun SO<sub>2</sub> á Indlandi er sú að raforkuframleiðslan byggist á kolum og skortur er á tækjabúnað sem dregur úr brennisteinsmengun (Dahiya o.fl., 2020). Á eftir Indlandi kemur Rússland. Rússland losar í kringum 12% af SO<sub>2</sub> í öllum heiminum. SO<sub>2</sub> mengun Rússa hefur haldist stöðug undanfarin 15 ár. Árið 2019 náðu Rússar hins vegar að draga úr mengun af völdum SO<sub>2</sub> um 8%. Í Rússlandi eru álver mestu SO<sub>2</sub>-mengunarvaldarnir með næstum 75% af SO<sub>2</sub>-losun. Álverið Norilsk er með mestu SO<sub>2</sub>-mengunina af og ber ábyrgð á um 50% af heildarlosun Rússlands (Dahiya o.fl., 2020). Í þriðja sæti er svo Kína. Kínverjar losuðu um það bil 8% af SO<sub>2</sub> í heiminum árið 2019 (Dahiya o.fl., 2020). Afleiðing af kolabrennslu er meðalstyrkur SO<sub>2</sub> í Norður-Kína (50,56 µg/m<sup>3</sup>), hærri en í Suður-Kína (20,50 µg/m<sup>3</sup>). Í Norður-Kína er notkun á kolum meiri en í suðurhlutanum vegna iðnaðar og langra vetra (Xing o.fl., 2019). Árið 2010 var Kína mesti mengunarvaldur í heiminum vegna mikillar kola- og orkuframleiðslu en eftir 2010 tók Kína hart á mengun sinni og setti upp brennisteinshreinsikerfi í kola- og orkuframleiðslufyrirtæki. Kínverjum hefur hefur gengið vel að draga úr brennisteinlosun sinni á síðustu árum. Sádi-Arabía er fjórði mesti mengunarvaldur af brennisteini í heiminum. Á árunum 2017 og 2018 höfðu Sádi-Arabar náð að draga saman mengun en héldust stöðugir

2019. Makkah-héraðið losar mikið af SO<sub>2</sub> út í andrúmsloftið. Olíurafstöðvar og olíuhreinsunarstöðvar losuðu um 62% af heildarlosun SO<sub>2</sub> í Sádi-Arabíu árið 2019 (Dahiya o.fl., 2020). Mexíkó var í fimmta sæti árið 2019 en árið 2018 var það í því fjórða. Mexíkóar hafa haldið sér stöðugum á listanum yfir losun af SO<sub>2</sub> en losun þeirra jókst aðeins árið 2019 eftir að þeir höfðu dregið úr henni næstu þrjú árin á undan. Olíu- og gasbrennsla ber ábyrgð af 90% af losun SO<sub>2</sub> í Mexíkó, afgangurinn kemur frá kolaframleiðslu. Mexíkó hefur ekki fylgt reglum um alþjóðlegu þróun um minnkun á losun SO<sub>2</sub> í umhverfið (Dahiya o.fl., 2020). Árið 2019 eru Úkraína, Serbía og Búlgaría með mestu losun af SO<sub>2</sub> í umhverfinu í Evrópu. Kolabrennsla er aðalmengunarvaldurinn í þessum löndum. Árið 2017 samþykkti Evrópusambandið nýjar reglur um losunarmörk á SO<sub>2</sub> en ríkisstjórn Búlgaríu er á móti þessum reglum og heimilar raforkuverum að losa meira af SO<sub>2</sub> en er leyfilegt (Dahiya o.fl., 2020). Árið 2020 þegar COVID-19 skall á sýndu rannsóknarniðurstöður að mörg lönd sýndu marktækan samdrátt í losun af SO<sub>2</sub>, meðal annars voru það Ástralía, Singapúr, Rússland, Tyrkland og svo Evrópa (Dahiya o.fl., 2020).

## 2.9 Hvað er hægt að gera til að draga úr loftmengun?

Hreint loft ætti að vera grundvallarmannréttindi og skilyrði fyrir heilbrigði fólks og samfélagsins alls. Þrátt fyrir miklar framfarir í loftgæðum undanfarna þrjú áratugi halda milljónir manna áfram að deyja ótímabærum dauða. Það eru viðkvæmstu og jaðarsettu hóparnir sem verða mest fyrir áhrifum þess (WHO, 2021c). Eins og er vitað er loftmengun ein mesta umhverfisáætta fyrir heilsu manna. Með því að draga úr loftmengun geta lönd á sama tíma dregið úr sjúkdómsbyrði, s.s. lungnakrabbameini, langvinnnum og bráðum öndunarfærasjúkdómum, þar með töldum astma svo einhver dæmi séu nefnd. Þar sem loftmengun er minni verður því heilbrigði hjarta og öndunarfæra mun betra, bæði til lengri og styttri tíma litið (WHO, 2021b). Samkvæmt reglugerð 920/2016 er markmiðið að viðhalda gæðum andrúmslofts og bæta þau með því að lágmarka efni eins og brennisteinsdíoxíð o.fl. Því er mikilvægt að setja fram viðmiðunar- og viðvörunarmörk fyrir hvert loftmengandi efni þar á meðal SO<sub>2</sub> til að annaðhvort fyrirbyggja eða draga úr þeim áhrifum sem eru skaðleg fyrir manninn og umhverfið (Reglugerð um brennisteinsdíoxíð, 2016). Til að draga úr loftmengun sökum brennisteins meðal annars mætti efla göngu, hjólréiðar og almenningsamgöngur. Það myndi hafa þær afleiðingar að draga úr umferð og álagið yrði minna sem myndi hjálpa til við að draga úr mengun. Á sama tíma myndi þetta bæta lýðheilsu þjóðanna sem taka þátt í þessu. Ef það sem var nefnt hér að framan hentar ekki fólki er hægt að efla innviði á landsvísu með rafbílum. Það er mun loftslagsvænni samgöngumáti en að nota bensín- eða dísilbíla og rafbílar draga því úr loftmengun af völdum jarðefnaeldsneytis (umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2017). Þó að rafbílar séu farartæki framtíðarinnar vegna lítills útblásturs mynda þeir samt mengunarefni, s.s. frá dekkjum og frá öðrum þörtum vélarinnar. Það hefur áhrif á öndunarfæri sem þarf að rannsaka betur (Carlsten o.fl., 2020). Gott er að notast við brennisteinshreinsikerfi í kolar- og orkuframleiðslutæki til að draga úr losun á SO<sub>2</sub> (Dahiya o.fl., 2020). WHO setti fram nýjan ráðleggingalista árið 2021. Honum var skipt upp í átta þrep sem nefnist AQG (Air Quality Guidelines). Á grundvelli víðtækra vísindalegra sönnunargagna er notast við AQG sem gefur okkur það hversu mikil loftgæði eru nauðsynleg til að vernda lýðheilsu manna um allan heim. Í þessum lista eru ráðleggingar um loftgæðaviðmiðunarstig og bráðabirgðamarkmið fyrir PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og CO. Tilgangurinn með þessum ráðleggingum er að aðstoða lönd og þjóðir til að taka ákvörðun um hvernig reglur eða

markmið eigi að setja til að stjórna loftgæðum. Þetta er talið vera virkilega árangursrík aðgerð til að draga úr loftmengun og til að vernda heilsu manna (WHO, 2021b).

## 2.10 Hvernig hafði COVID-19 áhrif á brennisteinsmengun?

COVID-19 hefur haft gríðarlega mikil áhrif á samfélög heimsins. Fólk einangraðist heima hjá sér, þurfti að vinna og stunda skóla heima. Allt eðlilegt líf fór úr skorðum. Það eina góða við COVID-19 er að fólk var meira heima hjá sér, fékk að verja meiri tíma með fjölskyldu og vildi frekar vinna meira heima. Fyrir umhverfið breytti COVID-19 einnig mörgu. Fólk keyrði minna til vinnu eða skóla. Það fór að panta sér meira á netinu og láta senda það til sín í stað þess að keyra alla leið í búðina. Rannsókn sem var gerð í Bangkok í Taílandi sýndi að meðalstyrkur  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) frá 1. janúar til 31. mars 2019 var  $2,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en á sama tímabili árið 2020 þegar COVID-19 faraldurinn var að aukast þá jókst daglegur styrkur  $\text{SO}_2$  lítillega og meðalstyrkur náði hæst upp í  $3,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Magn  $\text{SO}_2$  reyndist vera undir  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sem eru sólarhringsviðmiðunarmörk WHO (WHO, 2018; Sangkham o.fl., 2021). Þessi rannsókn gekk út á að meta loftmengun og veðurfarsbreytingar vegna COVID-19. Niðurstöður sýndu að NO lækkaði meðan á útbreiðslu COVID-19 stóð á en aftur á móti hækkaði CO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  og hitastig verulega frá sama tímabil árið áður. Samkvæmt þessum niðurstöðum hefur COVID-19 ekki haft veruleg áhrif á minnkun brennisteins í andrúmslofti (Sangkham o.fl., 2021). Þar sem þetta er svo nýtt fyrirbæri þá þarf að íhuga að rannsaka betur áhrif COVID á umhverfismengun. Þótt þessi rannsókn sýni að COVID-19 hafi ekki dregið eins mikið úr brennisteinslosun og talið var þá verður að hafa í huga að rannsóknin náði yfir mjög stutt tímabil. Betra hefði verið að skoða heilt ár eða taka tímabilið 2020 og 2021 í staðin fyrir að skoða nokkra mánuði árið 2020. Þá hefði rannsóknin mögulega sýnt aðrar tölur. Því þarf að rannsaka þetta betur. Ef lítið er á björtu hliðarnar þá hefur COVID-19 opnað augu fólks með að vinna heima og panta matarvörur heim til sín. Það er betra fyrir umhverfið um það mun á endanum leiða til minnkunar brennisteins í andrúmslofti (Sangkham o.fl., 2021).

## 2.11 Rannsóknir á Azithromycin-lyfinu

Rannsókn var gerð á músum. Þeim var gefið  $2 \text{ mg}/\text{kg}$  af Azithromycin í tvær vikur fyrir  $\text{SO}_2$  útsetningu. Þær voru síðan settar í sérsníðað umhverfi sem gaf frá sér 50-400 ppm  $\text{SO}_2$  í fjórar klst. Músunum var síðan gefið í 1-7 daga svo þær gætu jafnað sig áður en þær voru skoðaðar og sýni tekin úr lungnavef þeirra. Barka- og lungnasýni voru tekin úr músunum þremur dögum eftir útsetningu fyrir  $\text{SO}_2$ . Berkjuþekjan sýndi nokkur merki um losun frumna á þekjulaginu sem sést á ójöfnu á yfirborði í þekjulaginu og frumur sem virðast flagna af toppi lagsins.  $\text{SO}_2$ -útsettar mýs sem höfðu fengið Azithromycin-meðferð fyrir útsetningu söfnuðu enn fleiri blöðrum og þekjulaði var stöðugt jafnara en í þeim sem voru ómeðhöndlaðar (Joelsson o.fl., 2020). Þær mýs sem voru meðhöndlaðar fyrir útsetningu með Azithromycin tveimur vikum fyrir  $\text{SO}_2$ -útsetningu fengu minni þekjulosun. Rannsóknin sýndi að formeðhöndlun (e. pre-treating) músa með Azithromycin (AZM) fyrir útsetningu fyrir  $\text{SO}_2$  dregur úr skemmdum á þekjuvef í öndunarfærum, þ.m.t. minni þekjuleka og dempun á bólgusvörun. Rannsóknir eins og þessi sýna að þörf fyrir bakteríudrepani lyf er mikilvæg. Þekjuvefur í öndunarveginum er fyrsta varnarlínan gegn ýmsum sýklum og hættulegum utanaðkomandi ögnum eins og  $\text{SO}_2$ . Þess vegna skiptir máli að styrkja þekjuvef í sjúklingum með lungnasjúkdóma, sérstaklega til að vernda sjúklinga með

ónæmisbælingu. Gögnin úr rannsókninni staðfesta að Azithromycin veitir vernd og fyrirbyggjandi gjöf af Azithromycin til sjúklinga sem þjást af öndunarfærasjúkdómum getur verið gagnlegt meðferðarúrræði til að draga úr versnun á öndunarfærasjúkdómum (Joelsson o.fl., 2020). Niðurstöður rannsóknar benda til þess að Azithromycin ætti að vera notað sem meðferð við lungnaskaða eins og brátt andnauðarheilkenni (ARDS). Þessi rannsókn sýnir fyrst og fremst að útsetning fyrir SO<sub>2</sub> getur framkallað bólgur í lungnavef og að bólgusvörun minnkar ef Azithromycin er gefið fyrir útsetningu. Of mikil bólgusvörun er einkenni versnandi lungnasjúkdóma eins og ARDS. Frekari rannsóknir á virkni Azithromycin í þekjuvef í öndunarvegi eru mikilvægar fyrir marga lungnasjúkdóma, sérstaklega fyrir lífshættulega lungnasjúkdóma eins og ARDS og COPD. Azithromycin virðist vernda heilleika öndunarþekjuþröskuldar (e. respiratory epithelial barrier). Mýs sem voru meðhöndlaðar fyrir útsetningu SO<sub>2</sub> sýndu minni frumulösun á þekjulaginu en ómeðhöndlaðar mýs. Það bendir til þess að lyfið styrki hindranir (e. barriers) í lungum. Azithromycin hefur verndandi áhrif í stuttri útsetningu af SO<sub>2</sub> eins og í eldgosi eða skógareldum en ekki langvarandi útsetningu eins og mengun í borg. Rannsóknin bendir hins vegar til þess að Azithromycin gæti haft verndandi áhrif fyrir einstaklinga með skerta lungnastarfsemi með fyrirsjáanlega hættu á að verða fyrir SO<sub>2</sub>, svo sem við árstíðabundnar breytingar á mengun borgarinnar eða á ferðalögum (Joelsson o.fl., 2020).

### 3 Aðferðir

Verkefnið var fræðileg samantekt sem fólst í því að leita eftir svörum við rannsóknarspurningunum tveim sem settar voru fram í byrjun. Leitað var eftir heimildum með leitarorðum sem tengdust efninu.

Fræðileg samantekt er hlutlæg aðferð sem er endurtekin til að finna svör við ákveðnum rannsóknarspurningum. Rannsóknum sem tengjast þeirri spurningu er því öllum safnað saman. Þetta byggist síðan á því að meta og greina niðurstöður þeirra (Ahn og Kang, 2018).

#### 3.1 Gagnasöfnun og leitaradferðir

Heimildaleit fór fram frá janúar til apríl 2021. Þau leitarorð sem stuðst var við í heimildaleit voru *sulfur dioxide, SO<sub>2</sub>, air pollutants, respiratory system, health, lung disease*. Í leitarvél voru leitarorðin annaðhvort sett inn stök eða pörðu saman. Notast var við eftirfarandi gagnasöfn í vinnu þessa verkefnis: PubMed, Scopus, Web of Science og Google Scholar. Þá var notast við heimildir af heimasíðum sem eru viðurkenndar stofnanir. Einnig var notast við viðurkennda kennslubók en að litlu leyti þó, ásamt bók sem fjallaði um loftgæði. Þær heimildir sem stuðst var við voru ekki eldri en tíu ára. Árin sem miðað var við voru árin 2012-2022 ef ein bókarheimild er undanskilin en hún var frá árinu 2006 sem og örfáar greinar á netinu sem voru án árs en þær komu frá viðurkenndum stofnunum. Aðeins var notast við heimildir sem voru á ensku eða íslensku. Við heimildarleitina var stuðst við fræðigreinar, ritrýndar greinar, megindelegar og eigindlegar rannsóknir ásamt tveimur bókum.

#### 3.2 Markmið og tilgangur

Megintilgangurinn með þessu verkefni er að taka saman þær rannsóknir sem hafa verið gerðar um brennistein og áhrif hans á lungnaheilsu fólks. Markmiðið er að fræða lesendur um hvað sé vitað um tengsl milli brennisteins og lungnaheilsu fólks. Tilgangurinn er að fjalla um brennistein og hvaða áhrif hann hefur á lungnaheilsu fólks, hvaðan hann kemur og hvaða fylgikvilla hann hefur í för með sér. Stóra spurningin er svo hvort brennisteinn sé skaðlegur eða ekki.

#### 3.3 Rannsóknarspurning

Til að móta rannsóknarspurningarnar var notast við PICOT-aðferðina (sjá töflu 1 og 2). Með því að nota PICOT takmörkum við umfjöllunarefnið með því að setja skýrt fram hverju við erum að leitast eftir. PICOT inniheldur sex þætti sem eru: þátttakendur/úrtak (e. population), vandamál (e. issue), samanburður (e. comparison of interest), útkoma (e. outcome), tími (e. time) og rannsóknarsnið (e. setting) (Polit og Beck, 2017).

**Rannsóknarspurning 1:** Hvaða áhrif hefur brennisteinn í andrúmslofti á lungnaheilsu?

**Rannsóknarspurning 2:** Hvað er hægt að gera til að draga úr brennisteini í andrúmslofti svo hægt sé að sporna við heilsuskaða?

**Tafla 1. Rannsóknarspurning 1 út frá viðmiðum PICOTS.**

P (Þátttakendur/úrtak)	Fólk sem hefur orðið fyrir áhrifum af brennisteini í andrúmslofti
I (Vandamál)	Lungnaheilsa fólks versnar sökum brennisteins í andrúmslofti
C (Samanburður)	Samanburður á ekki við í þessu verkefni
O (Útkoma)	Áhrif brennisteins í andrúmslofti á lungnaheilsu fólks
T (Tími)	Tími á ekki við í þessu verkefni
S (Rannsóknarsnið)	Fræðileg samantekt

**Tafla 2. Rannsóknarspurning 2 út frá viðmiðum PICOTS.**

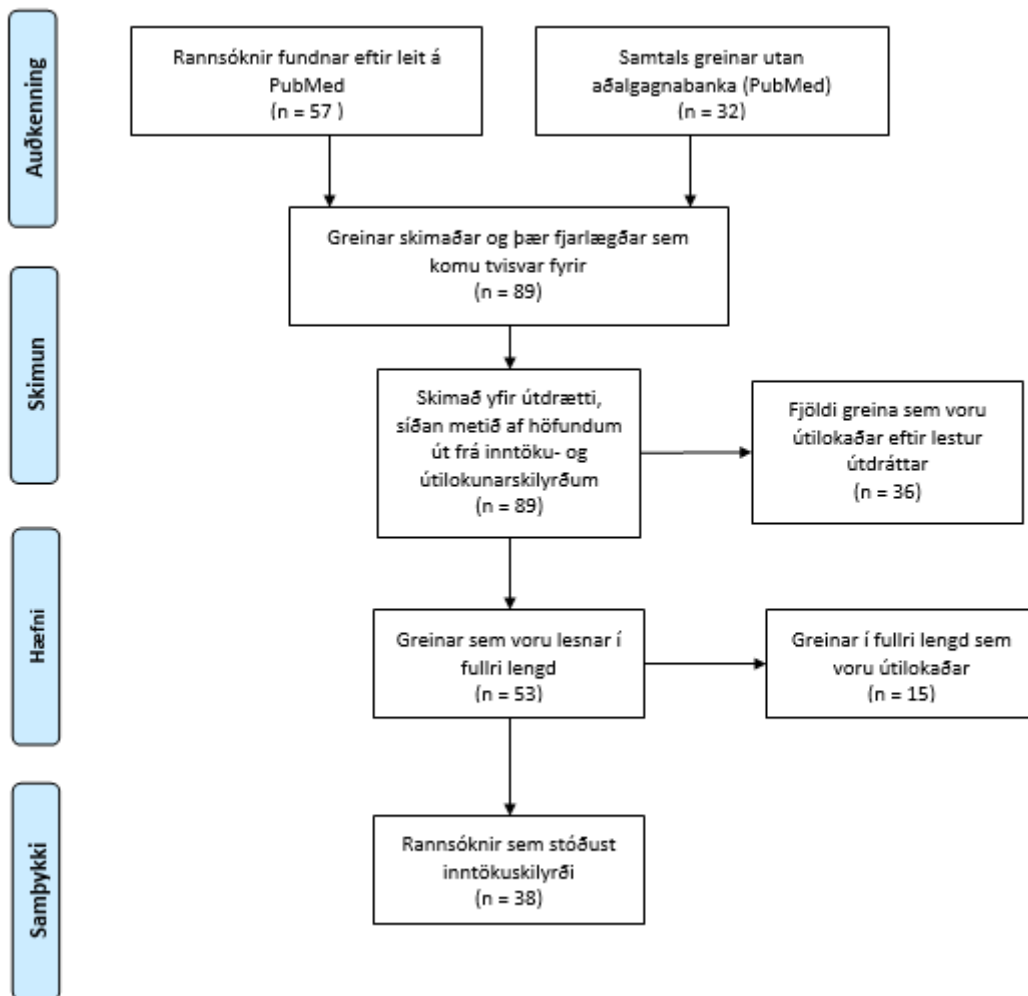
P (Þátttakendur/úrtak)	Fólk sem hefur orðið útsett fyrir brennisteini
I (Vandamál)	Of mikið magn brennisteins í andrúmsloftinu
C (Samanburður)	Samanburður á ekki við í þessu verkefni
O (Útkoma)	Áhrif of mikils magn af brennisteini í andrúmslofti á heilsu fólks
T (Tími)	Tími á ekki við í þessu verkefni
S (Rannsóknarsnið)	Fræðileg samantekt

### 3.4 Inntöku- og útilokunarskilyrði

Ákveðin skilyrði voru sett í heimildaleitinni til að takmarka það efni sem var í boði. Það var að nota aðeins það sem hentaði við vinnslu þessa verkefnis og taka það út sem hentaði ekki (sjá töflu 3). Þau inntökuskilyrði sem voru sett var að notast aðeins við heimildir sem voru ekki eldri en tíu ára. Greinar þurftu að vera á íslensku eða ensku og að svara mögulega rannsóknarspurningum höfunda. Notast var við ritrýndar tímaritsgreinar sem voru annaðhvort eiginlegar, meginlegar eða fræðilegar rannsóknir. Greinar þurftu að fjalla um brennistein eða hvaða áhrif brennisteinn hefði á lungnaheilsu fólks. Þau útilokunarskilyrði sem voru sett voru að greinarnar mættu ekki vera á öðru tungumáli en íslensku eða ensku. Þær máttu ekki vera eldri en tíu ára og ef greinarnar gátu ekki svarað rannsóknarspurningum höfunda eða greinar sem fjölluðu ekki nægilega vel um lungnaheilsu fólks vegna brennisteins í andrúmsloftinu eða hvað áhrif hann hefði á heilsu fólks almennt.

**Tafla 3. Inntöku- og útilokunarskilyrði.**

Inntökuskilyrði	Útilokunarskilyrði
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Greinar á íslensku eða ensku</li> <li>• Heimildir frá árunum 2012-2022</li> <li>• Greinar sem svara rannsóknarspurningunum</li> <li>• Ritrýndar tímaritsgreinar</li> <li>• Greinar sem fjalla um brennistein</li> <li>• Greinar sem fjalla um brennistein og áhrif hans á lungnaheilsu fólks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Greinar á öðru tungumáli en íslensku eða ensku</li> <li>• Greinar eldri en tíu ára</li> <li>• Greinar sem ekki svara rannsóknarspurningunum</li> <li>• Greinar sem fjalla ekki um lungnaheilsu vegna brennisteins</li> </ul>



Mynd 1. PRISMA-flæðirit við greiningu leitar.

## 4 Niðurstöður

Í þessum kafla verður farið yfir helstu niðurstöður sem hafa fengist við þessa fræðilegu samantekt í þeim tilgangi að svara rannsóknarspurningunum: Hvaða áhrif hefur brennisteinninn í andrúmslofti á lungnaheilsu? Hvað er hægt að gera til að draga úr brennisteini í andrúmslofti svo hægt sé að sporna við heilsuskaða?

### 4.1 Hvernig hefur brennisteinninn í andrúmslofti áhrif á heilsu fólks?

Brennisteinninn er mengandi lyktarlaus lofttegund sem hefur áhrif á heilsu fólks. Hann kemur aðallega frá iðnaði á borð við jarðefnaeldsneyti og framleiðslu í kola- og olíuiðnaði en einnig frá eldgosum, skógareldum og rotnun. Í borgum stafar  $\text{SO}_2$  í andrúmslofti aðallega af starfsemi sem tengist brennslu á jarðefnaeldsneyti, aðallega vegna olíu og kolabrennslu. Einnig fer  $\text{SO}_2$  í andrúmsloftið af náttúrulegum aðstæðum en þá eru það eldgosin sem losa  $\text{SO}_2$  út í andrúmsloftið í miklu magni (Reno o.fl., 2015). Þegar  $\text{SO}_2$  losnar út í andrúmsloftið þá hvarfast það við OH radikala í því og myndar þá  $\text{SO}_3$  eða brennisteinssýru (e. sulfurous acid) sem hvarfast síðan við vatn og myndar þannig brennisteinssýruagnir (e. sulfuric acid particles). Gróður getur tekið upp  $\text{SO}_2$  og umbreytt því í  $\text{SO}_4$  (súlfat). Ef mikið er af  $\text{SO}_2$  þá er erfitt fyrir gróður að umbreyta efninu og þá koma fram gróðurskemmdir sem hafa skaðleg áhrif á lífríki og heilsu dýra, plantna og manna (Umhverfisstofnun, e.d).

Samkvæmt WHO má rekja um sjö milljónir ótímabærra dauðsfalla til áhrifa loftmengunar á umhverfi og heimili fólks og af þessum sjö milljónum deyja um 500.000 í Evrópu sem er skilgreind sem WHO-ríki. Rannsóknir sýna að brennisteinninn veldur ýmiss konar skaða á heilsu fólks, meðal annars bólgu og ertingu í öndunarfærum sem leiðir til hósta, slímmyndunar og versunar á astma og jafnvel eykur hættuna á sýkingum í öndunarvegi. Aldraðir, börn og sjúklingar með lungnasjúkdóma eru í mestri hættu á alvarlegum skaða (WHO, 2021a).

Ertung í nefi, augum og koki og hausverkur eru einkenni sem geta komið við skammtíma-brennisteinsmengun. Talið er að við styrk yfir  $2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fái líklegast allir einkenni eins og ertingu í öndunarfærum, hósta og jafnvel hausverk. Ef styrkur fer yfir  $150.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  geta lífshættuleg einkenni gert vart við sig. Eftir því sem styrkur brennisteins í andrúmslofti hækkar því meiri einkenni geta komið fram, þar á meðal ógleði, uppköst og magaverkir. Það að brennisteinninn komist í snertingu við húð getur valdið sársauka, miklum roða og auk þess blöðrum. Rannsóknir sem skoða langtímaáhrif benda á að áhrif brennisteins geta verið þrálát öndunarfæraeinkenni, nefrennsli, hósti og astmi. Jafnvel er hættu á vaxtarskerðing hjá fósttri og fyrirburafæðingu. Brennisteinninn í augum getur valdið aukningu á vökva í augum og jafnvel valdið blindu (WHO, 2016; Þórólfur Guðnason, 2021). Aðrar rannsóknir benda til að brennisteinninn í andrúmslofti geti valdið ófrjósemi, hækkuðum blóðþrýstingi og krabbameini. Hjá þeim sem eru með undirliggjandi sjúkdóma geta langvarandi öndunarvandamál eins og efnaberkjubólga (e. chemical bronchopneumonia) og berkjukrampi (e. bronchospasm) komið við mikla útsetningu fyrir brennisteinsmengun. Lungnateppusjúklingar geta fundið fyrir meiri mæði og andþyngslum þegar svífryk er í andrúmsloftinu.

Litið var yfir rannsókn sem sýnir fram á að um ein klukkustund daglega í eitt ár í andrúmslofti með hátt magn af brennisteini tengist astma hjá börnum. Börn með astma eru næmari fyrir skaðlegum



áhrifum loftmengunar á öndunarfærin (Rosser, 2020). Kínverska rannsóknin sem var til skoðunar sýnir tengsl á milli lungnakrabbameins og mengunar frá brennisteini í andrúmsloftinu. Áætlað er að um 1% aukning sé á að SO<sub>2</sub> losun geti leitt til 0,004 fleiri dauðsfalla á hverja 100.000 íbúa vegna lungnakrabbameins í Kína (Xing o.fl., 2019). Í mörgum rannsóknum er talað um tengsl á milli brennisteinsmengunar og krabbameins en þau þarf að rannsaka betur. Ein rannsóknanna frá Rússlandi benti til sambands á milli mengunar brennisteins í andrúmslofti og aukinnar tíðni framleiðslu slíms í lungum og langvarandi hósta. Auk þess sem SO<sub>2</sub> hefur áhrif á astmasjúklinga getur þessar afleiðingar hugsanlega stafað af vanhæfi þeirra til að framleiða nauðsynlegt magn af IL-10 til að leysa upp bólgu sem SO<sub>2</sub> veldur. Þessar rannsóknir sýna sambandið á milli styrks SO<sub>2</sub> og iðnvæðingar og gefa innsýn í hversu mikilvægt er að setja upp leiðbeiningar um loftgæði (Reno o.fl., 2015).

Rannsóknir hafa verið gerðar til að rannsaka mögulegt sambands milli magna SO<sub>2</sub> í andrúmslofti og tíðni öndunarfærasjúkdóma. Í rannsókn Vepkhvadze o.fl. kom fram að mikilvægt væri að hafa í huga að fyrir utan SO<sub>2</sub> væru mörg önnur mengandi efni sem væru skaðleg í litlum styrkleika og væru einnig áhættuþáttur fyrir þróun öndunarfærasjúkdóma. Sýnt hefur verið fram á að áhrif af einu efni í einu af ákveðnum styrk hafi ekki skaðleg áhrif á heilsu fólks. Um leið og þessi efni blandast saman verða áhrif þeirra sterkari og þau hafa augljóslega áhrif á heilsu fólks, þá sérstaklega á öndunarfærin. Því var bent á mikilvægi þess að grípa til brynna aðgerða til að bæta loftgæðin í umhverfinu enn frekar sem varð grundvöllur þess að lágmarka marga langvinna sjúkdóma (Vepkhvadze o.fl., 2017).

Niðurstöður rannsóknar Liangs og féлага sýndu að tenging væri á milli bráðrar útsetningar fyrir loftmengun, þ.m.t. SO<sub>2</sub>, og aukning á sjúkrahúsinnlögnum vegna IFP. Lögðu þeir mikla áherslu á að mikilvægi þess að vernda viðkvæmustu hópana og plánetuna í heild sinni. Þau einkenni sem eru algengust hjá IPF-sjúklingum eru hósti, sem er yfirleitt þurr og mæði sem byrjar við áreynslu, þróast síðan í mæði við litla áreynslu en endar á mæði í hvíld. Oft og tíðum fylgir almennur slappleiki og lystarleysi IPF (Liang o.fl., 2022).

Í rannsókn Wigenstam o.fl. voru rottur notaðar við rannsóknina. Niðurstöður sýndu að bráð svörun kæmi fram eftir að þær hefði andað andað SO<sub>2</sub> að sér. Efnið olli ekki aðeins staðbundinni lungnabólgu svörun heldur einnig almennum áhrifum sem komu fram nokkrum klukkustundum eftir útsetningu fyrir efninu. Sú svörun sem kom fram í lungum voru vefjaskemmdir (e. tissue injury), bráð daufkyrningabólga í lungum (e. acute neutro-philic lung inflammation) og ofvirkni í öndunarfærunum (e. hyperreactivity of large airways). Í kjölfar bráðrar daufkyrningabólgu kom fram langvarandi bólga sem einkenndist af átfrumum (e. macrophages) og eósínóólum (e. Eosinophils) en auk þess var aukning á boðefnum sem ýttu undir lungnatrefjun TGF-β1 (e. pro-fibrotic cytokine). Lungnatrefjun (e. pulmonary fibrosis) kom fram 14 dögum eftir útsetningu fyrir SO<sub>2</sub> eins og greining gaf til kynna á kollagenútfellingunni (e. collagen deposition) á lungnavef og vefjameinafræðilegu mati (e. histopathology evaluation). Sýnt var fram á að notkun barkstera snemma dró verulega úr bráðri bólgusvörun í öndunarvegi. Í þessari meðferð tókst hins vegar ekki að vernda gegn lungnaskemmdum og altækum skaða á heilsu. Með því að nota þetta rottulíkan í rannsókninni fyrir bráðum lungnaskaða gefst sá möguleiki að skilja hvaða áhrif SO<sub>2</sub> hefur á lungun og á líkamann allan, bæði stuttu eftir útsetningu fyrir efninu og síðar, þ.e.a.s. nokkrum klukkustundum síðar (Wigenstam o.fl., 2016).

## 4.2 Hvað gerist ef við bregðumst ekki við brennisteinsmengun?

Talið er að hreint loft séu grundvallarmannréttindi og það sé skilyrði fyrir heilbrigði fólks og samfélagsins alls. Rannsóknir hafa sýnt fram á að þrátt yfir framfarir í loftgæðum undanfarna þrjá áratugi deyi milljónir manna ótímabærum dauða sem mun aukast ef ekkert er að gert. Að jafnaði eru þetta viðkvæmustu- og jaðarsettu hóparnir sem verða fyrir mestum áhrifum SO<sub>2</sub>-mengunar. Ein mest umhverfisáhættan vegna loftmengunar er heilsa mannsins. Því var talið að nauðsynlegt að draga úr loftmengun sem dregur þá á sama tíma úr sjúkdómsbyrði, m.a. lungnakrabbameins, langvinnra og bráðaöndunarfærasjúkdóma og astma. Því meiri sem loftmengunin var því verra varð ástand hjarta og öndunarfæra (WHO 2021b; WHO 2021c).

Talið var að erfitt væri að komast hjá loftmengun þar sem hún væri í kringum allt og alla. Mikilvægt væri þó að gera betur við að reyna að draga úr menguninni. Faraldsfræðileg göng sýndu að við aukna mengun í andrúmslofti fjölgaði innlögnum á bráðamóttöku vegna langvinnrar lungnateppu og einnig var aukning á sjúkrahusinnlögnum. Tenging var á milli þess að hafa orðið fyrir útsetningu fyrir SO<sub>2</sub> og öndunarfæraeinkenna, s.s. önghljóða (e. wheeze), mæði (e. dyspnea), astma, öndunarfærasjúkdóma og jafnvel köfnunar (e. respiratory mortality) (Saygin, 2017).

WHO skipti helstu mengunarefnum í andrúmsloftinu upp í fjögur stig eftir magni og skaðsemi. Í fyrsta sæti var svifryk (e. particulate matter), í öðru sæti var köfnunarefnisdíoxíð (e. nitrogen dioxide), í þriðja sæti var brennisteinsdíoxíð (e. sulphur dioxide) og í fjórða sætinu var óson (e. ozone). Þegar öll þessi mengandi efni blönduðust saman hafði það hörmuleg áhrif á börn á heimsvísu. Allt að 14% barna á aldrinum 5-18 ára voru með astma sem tengdist meðal annars loftmengun. Árið 2018 dóu 543.000 börn sem voru yngri en fimm ára af völdum öndunarfærasjúkdóms sökum loftmengunar. Krabbamein hjá börnum tengdist einnig loftmengun. Loftmengun hafði áhrif heilavöxt ófæddra barna. Það greindist tenging á milli vitrænnar skerðingar bæði hjá börnum og fullorðnum og loftmengunar (WHO, 2018).

Í rannsókn Chens o.fl. fengust þær niðurstöður að hitabreytingar og SO<sub>2</sub> gætu saman haft áhrif á dánartíðni og þá aðallega ýtt undir ótímabæran dauða. Líklegast var það líffræðileg skýring þar sem hitastig og SO<sub>2</sub> hefur áhrif á heilsufar. Niðurstöður þeirra sýndu fram á mikilvægi þess að huga að samspili áhrifa SO<sub>2</sub> og hitastigs á heilsufar fólks í framtíðinni. Þeir nefna svo út frá niðurstöðum sínum mikilvægi þess að auka stýringu á losun á SO<sub>2</sub> þá daga sem er mjög heitt. Ef ekkert er að gert mun ótímabærum dauðsföllum fjölga í framtíðinni sökum SO<sub>2</sub>-mengunar (Chen, 2017).

### 4.2.1 Hvað getum við gert til að koma í veg fyrir áframhaldandi SO<sub>2</sub>-mengun?

Eftir því sem meðvitund alheimsins um loftmengun eykst þá eykst mikilvægi þess að leggja fram ráðleggingar sem eru byggðar á sönnunargögnum um aðferðir til að draga úr áhrifum hennar. Meginstefna hins opinbera er að draga úr loftmengun. Einnig er þó hægt að draga úr áhrifum með persónulegu vali (Carlsten o.fl., 2020). Með því að draga úr loftmengun drögum við úr sjúkdómum á borð við astma og langvinna lungnateppu. Samkvæmt reglugerð 920/2016 var markmiðið að viðhalda gæðum andrúmsloft og bæta þau með því að lágmarka efni eins og brennisteinsdíoxíð o.fl. (Reglugerð um brennisteinsdíoxíð, 2016).

Þær hugmyndir sem hafa komið fram til að draga úr SO<sub>2</sub>-mengun í andrúmslofti eru að auka göngu eða hjólareiðar eða jafnvel nota almenningsgöngur í staðinn fyrir að keyra bíl. Það myndi hafa þær

afleiðingar að draga úr umferðaraukningu og álagið yrði minna sem myndi hjálpa til við að draga úr mengun. Í kjölfari myndi það efla lýðheilsu fólks í heiminum. Ef þetta hentar ekki þá mætti efla notkun á rafbílum, fjölga hleðslustöðum og gera aðgengi að rafbílum betra. Rafbílar eru mun loftslagsvænni samgöngumáti en bensín- eða dísilbílar. Því er hægt að draga þannig úr loftmengun með aukinni rafbílavæðingu (umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2017). Þótt rafbílar séu farartæki framtíðarinnar og mengi minna en venjulegir dísil- og bensínbílar menga þeir út frá dekkjum og útblæstri frá öðrum þörtum vélarinnar. Því hafa þeir slæm áhrif á umhverfið og heilsu fólks sem þarf að rannsaka betur (Carlsten o.fl., 2020).

Kol voru talin meðal stærstu eldsneytisgjafa fyrir raforkuframleiðslu um allan heim. Kolaorkuver voru mikill meirihluti allrar losunar mengunarefna sem tengdust þá framleiðslu á orku. Í Bandaríkjunum voru 60% af losun SO<sub>2</sub> tengd við kolaorkuver en 50% í Kína. Ef ekkert verður að gert munu þessar tölur fara hækkandi. Kolaorkuverin í Bandaríkjunum eru farin að nota tæknibúnað sem fangar allt að 98% af SO<sub>2</sub> sem hefðu annars farið út í andrúmsloftið (Amster og Levy, 2019; U.S. Environmental Protection Agency, e.d.-a). ESB hefur sett tilskipun varðandi loftgæði. Tvönn konar viðmiðunarmörk voru sett fyrir SO<sub>2</sub> í þeim tilgangi að vernda heilsu fólks, þá sérstaklega þess sem hefur undirliggjandi sjúkdóma. Viðmiðunarmörkin voru metin frá klukkustundar- eða sólarhringsmeðaltali. Þegar miðað var við klukkustundarviðmiðun mátti SO<sub>2</sub> ekki fara oftar yfir 350 µg/m<sup>3</sup> en 24 sinnum á ári. Hins vegar þegar miðað var við sólarhringsviðmiðun mátti SO<sub>2</sub> ekki fara oftar yfir 125 µg/m<sup>3</sup> en þrisvar sinnum á ári (umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2017).

Í niðurstöðum greinarinnar eftir þá Guarnieri og Balmes (2014) kemur fram að skammtímaútsetning fyrir O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> og loftmengun tengd við umferð (e. traffic-related air pollution) er talin auka hættuna á versnun á astmaeinkennum. Sérstaklega var talað um ung börn með astma sem búa við fátækt í borgum þar sem var mikil mengun. Þau voru útsettari fyrir mengun en önnur börn og urðu fyrir skaðlegum áhrifum hennar. Það var blöndun mengunar sem kom út frá umferð sem olli versnun astma og kom jafnvel astma af stað. Það þarf að bæta loftgæðin til að koma í veg fyrir versnandi heilsu fólks og fækka nýjum astmatilfellum. Það krefst öflugra samstilltra aðgerða stjórnvalda með því að breyta hagkerfum bæði í þróuðum sem og þróunarlöndunum. Stöðva þarf brennslu jarðefnaeldsneyta fyrir flutninga hvort sem það er til einkanota eða hjá fyrirtækjum sem og til orkuframleiðslu (Guarnieri og Balmes, 2014).

Manisalidis o.fl. töldu að erfitt væri að uppræta umhverfismengunarvandann sem er af mannavöldum. Góð lausn að þeirra mati var sú að yfirvöld og lækna ættu að vinna í nánú samstarfi til að reyna laga eða bæta ástandið vegna mengunar. Það væri þá hlutverk ríkisstjórnar að fræða fólk og miðla nægum upplýsingum í samráði við fagfólk í þessum málum til að ná sem bestum árangri við að draga úr mengun (Manisalidis o.fl., 2020).

#### **4.2.2 Hvað skal gera til að draga úr útsetningu fólks fyrir mengun?**

Mikilvægi þess hefur verið sannað að forðast líkamlega áreynslu utandyra þá daga sem loftmengunin er mikil eða að vera í nálægð við upptök hennar. Í rannsókn Carlstens o.fl. var settur fram listi frá einum upp í tíu þar sem það var tíundað hvað hægt væri að gera til draga úr útsetningu fólks fyrir mengun og hvað það gæti gert sjálft til að draga úr menguninni.

Tilgangurinn var að draga úr öndunarfæraeinkennum sem koma í kjölfar loftmengunar eða valda því að öndunarfærasjúkdómar versna, s.s. astmi, COPD og lungnakrabbamein svo einhver dæmi séu nefnd. Það eru eldri borgarar, börn, fóstur, ófrískar konur, lungna- og hjartveikir sem eru í mestri hættu á að verða fyrir skaða af mengun. N95-andlitsgrímur er hægt að nota þegar mengunarmörk eru í hámarki. Mælt er með því að fólk með langvinna öndunar-, hjarta- eða aðra sjúkdóma sem gera öndun erfiða noti N95 þegar mengun er í hámarki til að koma í veg fyrir innöndun á mengunarefnum. Notkun á andlitsgrímum með síum til að draga úr innöndun á mikilli loftmengun færast í vöxt í Asíu. Virknin er ólík eftir gerð grímu og síu. Síurnar eru hannaðar til að fjarlægja agnir. Ódýrar taugrímur fjarlægja aðeins 15% af stærð agna sem eru frá útblæstri bíla og eru því mun verri vörn gegn fingerðum ögnum en N95. Einnota skurðaðgerðargrímur virðast áhrifaríkari en klútar. Hins vegar er oft mikill leki inn á við í skurðaðgerðargrímum (Carlsten o.fl., 2020). Til að draga úr nálægð við útblástur frá ökutækjum þarf almenningur að fara frá vélknúnum samgöngum þegar hann hjólar eða gengur. Einnig þarf að bæta almenningssamgöngur auk þess að forðast miklar umferðargötur, velja leiðir með opnum rýmum og nota uppfærðar rauntímaupplýsingar um staðbundin loftgæði, svo sem farsímaforrit sem segir til um loftgæði. Bæta þarf síun og loftræstingu í ökutækjum og þegar mengun er mikil hafa lokaða glugga. Þá þarf að huga að viðhaldi ökutækja. Nota ætti lofthreinsisíu heima við til að hreinsa loftið heima hjá sér og einnig er talið mikilvægt að hreinsa eldsneyti (Carlsten o.fl., 2020).

Í fræðigreini Guarnieri sog Balmes (2014) var nefnd aðferð til að draga úr versnun á astma vegna loftmengunar sem væri að sveitastjórnir eða ríkið gæfi út viðmiðunarmörk þegar loftmengun væri spáð í meira magni en vanalega sem fólk gæti miðað við. Fólk með astma eða hjarta- og lungnasjúkdóma var hvatt til að vera innandyra á þeim dögum sem mengun var mikil í andrúmsloftinu. Læknar ættu einnig að hvetja fólk með astma og foreldra barna með astma að forðast óþarfa útiveru á dögum þar sem mengun í andrúmslofti er mikil. Sérstaklega ef það hefur í för með sér mikla hreyfingu þar sem andardráttur eykst á mínútu og þar með eykst heildarinnöndun á mínútu. Þeir töldu að þetta ætti að gera daglega til að halda utan um þessi viðmiðunarmörk. Mikilvægt væri að birta þessi gögn daglega svo fólk gæti fylgt þeim eftir og haldið sig innandyra ef það á við vegna sjúkdómsástands. Því er talið mikilvægt að hafa eins konar viðvörðunarkerfi til að geta verndað viðkvæmustu hópana en það er þá á ábyrgð fólksins sjálft hvort það fylgi því eftir eða ekki (Guarnieri og Balmes, 2014).

Í rannsókn Carlstens o.fl. (2020) fengust þær niðurstöður að loftmengun hefði neikvæð áhrif á lungnaheilsu fólks. Því var talin þörf fyrir aðgerðir til að hjálpa sjúklingum og almenningi að lágmarka daglega útsetningu. Þeir töldu að aðferðirnar þyrftu að vera sniðnar að hverjum einstaklingi fyrir fyrir sig, háð útsetningu fyrir loftmengun, næmni, heilsulæsi, fjárhagsstöðu og stuðningsneti. Ráðgjafar þurfa að sinna þessu og þróa þessa nálgun út frá hverjum einstaklingi fyrir sig með því skilyrði að það sé sveigjanleiki í þessum aðferðum þar sem skynjun fólks á mengun er mismunandi og hvernig það bregst við henni. Þeir töldu að það að setja fram eins konar aðferðir hefði haft góð áhrif á fólk þó svo það væru ekki til nein „örugg“ neðri mörk mengunar en gott að hafa eitthvað til að miða við. Einnig töldu þeir að ávinningurinn yrði meira áberandi hjá viðkvæmum einstaklingum eins og þeim sem eru með langvinna lungnasjúkdóma og eru aldraðir. Þær niðurstöður sem komu á óvart hjá þeim var að ráðlagður dagskammtur af C- og E-vítamíni hjálpaði til við að draga úr skertri lungnastarfsemi og minnkaði einnig berkjusamdrætti sem stafaði af skammtímaútsetningu á O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> og svífryki (Carlsten o.fl., 2020).

### 4.3 Áhrif COVID-19 á mengun

Vissulega hafði COVID-19 áhrif á allt samfélagið. Fólk fór að vinna meira heima og keyrði bíla minna. Í stórum borgum mátti fólk ekki sjást úti og var sett útgöngubann í nokkrum borgum vegna fjölda smita og dauðsfalla. Rannsókn sem var gerð í Bangkok í Taílandi sýndi að meðalstyrkur  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) frá 1. janúar til 31. mars 2019 var  $2,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Á sama tímabili árið 2020 þegar COVID-19 faraldurinn var að aukast jókst daglegur styrkur  $\text{SO}_2$  lítillega og meðalstyrkur náði hæst upp í  $3,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Magn  $\text{SO}_2$  reyndist vera undir  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sem eru sólarhringsviðmiðunarmörk WHO (WHO, 2018; Sangkham o.fl., 2021). Þessi rannsókn gekk út á að meta loftmengun og veðurfarsbreytingar vegna COVID-19. Niðurstöður rannsóknarinnar sýndu að NO lækkaði á meðan á útbreiðslu COVID-19 stóð á en aftur á móti hækkaði CO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  og hitastig verulega miðað við sama tímabil árið áður. Þetta þýðir að þó að COVID-19 hafi skolið á þá hélt mengun áfram. Ef litið er á björtu hliðarnar þá hefur COVID-19 opnað augu fólks fyrir möguleikanum á að vinna heima, panta matvörur á netinu og fá þær sendar heim. Þó að niðurstöður rannsóknarinnar hafi ekki sýnt lækkun á  $\text{SO}_2$  þá getur það verið vegna þess að rannsóknin var gerð á svo stuttum tíma. Ef litið væri á árið 2020 eða 2021 í heild þá gæti mögulega sést munur á brennisteini í andrúmslofti. Rannsaka þarf betur áhrif COVID-19 á umhverfismengun (Sangkham o.fl., 2021).

### 4.4 Rannsóknir á lyfinu Azithromycin

Rannsókn var gerð á músum til að athuga hvort Azithromycin-lyfið hefði verndandi áhrif á öndunarfærasjúkdóma og útsetningu fyrir  $\text{SO}_2$ . Músum var gefið Azithromycin vegna útsetningar fyrir  $\text{SO}_2$ . Barka- og lungnasýni voru tekin úr músum þremur dögum eftir útsetningu fyrir  $\text{SO}_2$ . Berkjuþekjan sýndi nokkur merki um losun frumna í þekjulaginu sem sást af ójöfnu yfirborði í því og frumur virtust flagna af toppi lagsins. Rannsóknir eins og þessi sýna þörf fyrir bakteríudrepandi lyf. Þekjuvefur í öndunarveginum er fyrsta varnarlínan gegn ýmsum sýklum og hættulegum utanaðkomandi ögnum eins og  $\text{SO}_2$ . Þess vegna skiptir miklu máli að styrkja þekjuvef í sjúklingum með öndunarfærasjúkdóma, sérstaklega til að vernda þá með ónæmisbælingu. Niðurstöður rannsóknar benda til þess að sýklalyfið Azithromycin ætti að vera notað sem meðferð við lungnaskaða eins og bráðu andnauðarheilkenni (ARDS). Þessi rannsókn sýnir fyrst og fremst að útsetning fyrir  $\text{SO}_2$  getur framkallað bólgur í lungnavef og að bólgusvörun minnkar ef Azithromycin-meðferð er gefin fyrir útsetningu. Azithromycin hefur verndandi áhrif í stuttri útsetningu af  $\text{SO}_2$  eins og í eldgosu eða skógareldum en ekki langvarandi útsetningu eins og mengun í stórborg. Rannsóknin bendir til þess að Azithromycin gæti haft verndandi áhrif fyrir einstaklinga með skerta lungnastarfsemi með fyrirsjáanlega hættu á að verða fyrir  $\text{SO}_2$ , svo sem við árstíðabundnar breytingar á mengun borgarinnar eða á ferðalögum (Joelsson o.fl., 2020).

## 5 Umræða

Megintilgangur ritgerðarinnar var að athuga hvers konar áhrif brennisteinsmengun hefði á lungnastarfsemi okkar og hvað við gætum gert til að draga úr henni. Brennisteinsmengun hefur áhrif á lungnastarfsemi og getur valdið langvarandi lungnateppu, krabbameini og astma hjá fullorðnum og börnum. Við gerð ritgerðarinnar var notast við eftirfarandi gagnasöfn: PubMed, Scopus, Web of Science og Google Scholar. Auk þess var notast við heimildir af heimasíðum sem eru viðurkenndar stofnanir. Þá var notast við viðurkennda kennslubók en að litlu leyti ásamt bók sem fjallaði um loftgæði. Við heimildaleit voru ákveðin skilyrði sett til að takmarka það efni sem var í boði. Inntökuskilyrðin voru greinar frá tímabilinu 2012-2022. Þær þurftu að vera á íslensku eða ensku og líklegar til að svara rannsóknarspurningum höfunda. Notast var við einungis ritrýndar tímaritsgreinar sem voru annaðhvort eigindlegar, meginlegar eða fræðilegar rannsóknir. Útilokunarskilyrði voru ef greinar voru eldri en tíu ára, ef þær svöruðu ekki rannsóknarspurningum höfunda eða fjölluðu ekki nægilega vel um áhrif á heilsu fólks almennt eða á lungun sjálf.

Mengun í andrúmslofti af völdum brennisteins er gríðarlega alvarlegt vandamál sem allur heimurinn þarf að koma saman að og takast á við, ekki bara fyrir lífríkið og dýrin heldur fyrir heilbrigði okkar og fyrir framtíð barnanna okkar. Brennisteinsmengun hefur afar mikil áhrif á heilbrigði okkar, ekki bara á lungun heldur einnig á frjósemi og hjarta og æðakerfið. Einnig hefur mengunin áhrif á skap okkar. Brennisteinn er þekktur bólguhvati í öndunarfærum. Nokkrar rannsóknir hafa sýnt fram á að útsetning fyrir  $\text{SO}_2$  auki tjáningu bólgueyðandi frumuvaka svo sem IL-6 og TNF $\alpha$  í músalungum (Joelsson o.fl., 2020).

Brennisteinsmengun kemur aðallega frá kola- og olíuðnaði og jarðefnaeldsneyti en einnig getur brennisteinsmengun komið frá náttúrulegum aðstæðum eins og eldgosum, skógareldum og rotnun. Brennisteinn eða eins og hann er oft kallaður,  $\text{SO}_2$ , er lyktarlaus og skaðleg lofttegund sem er að finna í andrúmsloftinu. Gróður getur tekið upp brennisteinsdíoxíð og getur umbreytt því í sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Ef mikið af brennisteinsdíoxíð er til staðar þá á gróður erfitt með umbreytingu og þá geta komið fram gróðurskemmdir (Umhverfisstofnun, e.d).

Svo hægt sé að draga úr brennisteinsmengun þá þarf að bæta almenningssamgöngur. Hvetja þarf fólk til að ganga eða hjóla því það bætir bæði heilsu og hjálpar til við að draga úr brennisteinsmengun. Auk þess þarf að hvetja fólk til að nota rafbíla þótt þeir mengi vissulega líka en töluvert minna en dísil- og bensínbílar. Einnig þarf að draga úr kola- og olíuframleiðslu og útblæstri frá álverum. WHO setti fram lista með ráðleggingum árið 2021 sem er skipt upp í átta þrep sem nefnist AQG (Air Quality Guidelines). Á honum kemur fram hversu mikil loftgæði eru nauðsynleg til að vernda lýðheilsu manna um allan heim. Á Íslandi þarf að vekja betur athygli á hættunni sem brennisteinsmengun hefur á heilsu fólks auk þess að vekja athygli á að brennisteinn kemur ekki bara frá umferð bíla og báta heldur einnig frá eldgosum, skógareldum og rotnun.

Á Indlandi er mesta mengunin í heiminum. Þar á eftir koma Rússland og Kína. Indland mengar um 21% af  $\text{SO}_2$  í öllum heiminum. Indverjar eru í herferð til að draga úr mengun sinni. Ástæðan er raforkuframleiðsla sem byggist á kolum og þá er skortur á tækjabúnaði sem dregur úr mengun. Rússland losar í kringum 12% af  $\text{SO}_2$  í öllum heiminum. Rússar eru einnig að reyna að draga úr mengun sinni en

mesti mengunarvaldur hjá þeim er álver. Kína losar um það bil 8% af SO<sub>2</sub> í heiminum en fyrir nokkrum árum var Kína mesti mengunarvaldur í heiminum. Kínverjar tóku hart á mengun sinni og hafa náð miklum framförum. Aðalmengunarvaldur þeirra er kolabrennsla (Dahiya o.fl., 2020).

Rannsaka þarf betur áhrif COVID-19 og minnkun brennisteins í andrúmslofti því þegar COVID-19 var í hámarki var fólk heima hjá sér, keyrði minna og nánast öll framleiðsla lág niðri. Þá þarf að skoða hvort COVID-19 hafi breytt hugarfari almennings um bílanotkun. Mjög margt fólk hefur þurft að vinna heima frá því faraldurinn skall á og margir fengið matvæli send heim. Skoða þarf hvort þetta muni halda áfram og hvort vitundarvakning sé orðin það mikil í samfélaginu að það dragi úr umferð bíla og annarra farartækja eins og báta, flugvéla Auk þess þarf að rannsaka betur áhrif sýklalyfsins Azithromycin á útsetningu fyrir SO<sub>2</sub>.

Rannsóknargreinarnar sem skoðaðar voru í samantektinni voru frá ýmsu löndum og ýmsum menningarheimum en þrátt fyrir það voru niðurstöður þeirra á eina leið; það þyrfti að grípa til aðgerða til að sporna gegn óhóflegri brennisteinsmengun. Niðurstöður rannsókna voru líka á einu máli um að brennisteinn hefði slæm áhrif á heilsu manna og ef ekkert yrði að gert til að draga úr mengun myndi það hafa skaðleg áhrif á heilsu fólks. Aðallega mun það hafa í för með sér að aukning verður á lungnatengdum sjúkdómum eins og langvinnri lungnateppu (e. COPD), astma og krabbameini.

## 5.1 Styrkleikar og veikleikar

Þróaðar voru rannsóknarspurningarnar: Hvaða áhrif hefur brennisteinn í andrúmslofti á lungnaheilsu? Hvað er hægt að gera til að draga úr brennisteini í andrúmslofti svo hægt sé að sporna við heilsuskaða? Til að leita svara við þessum rannsóknarspurningum höfunda var gerð víðtæk og greinargóð heimildaleit. Notast var við nokkur leitarorð sem voru fjölbreytt til að eiga möguleika á að finna sem flestar greinar sem væru nægilega góðar og myndu standast kröfur til að geta svarað rannsóknarspurningunum. Til að meta styrkleika þessarar fræðilegu samantektar var notast við inntöku- og útilokunarskilyrði sem hjálpaði mikið til við að sía út þær heimildir sem ekki var gagn að. Höfundar hefðu viljað styðjast við fleiri rannsóknir í þessari samantekt en ekki var til nægilega mikið af rannsóknum sem gátu svarað þeim rannsóknarspurningum sem settar voru fram. Því var notast við fræðilegt efni frá viðurkenndum stofnunum.

Þeir veikleikar sem komu fram í þessari samantekt voru ákveðin viðfangsefni sem höfundar hefðu viljað fjalla um en það voru til of fáar heimildir og því erfitt að fá svör við þessum viðfangsefnum. Viðfangsefnin voru: framtíðarspár fyrir SO<sub>2</sub> í andrúmslofti, upplifun fólks sem býr í borgum með mikilli SO<sub>2</sub>-mengun í andrúmsloftinu, hvernig það upplifir heilsu sína vegna þess og hver áhrif mengunar eru á heilbrigðiskerfið. Við gerð þessa verkefnis fundust engar íslenskar rannsóknir um hvaða áhrif SO<sub>2</sub> hefði á lungnaheilsu, hvernig hægt væri að draga úr SO<sub>2</sub>-mengun í andrúmslofti eða hjúkrunarfræðilega nálgun sem beinist að SO<sub>2</sub>-mengun. Fróðlegt væri að sjá rannsóknarniðurstöður um tíðni lungnasjúkdóma á Íslandi sökum SO<sub>2</sub>-mengunar í andrúmslofti. Mikilvægt væri að þær væru ekki tengdar eldgosum þar sem það hefur þegar verið rannsakað heldur almennt um SO<sub>2</sub>-mengun á Íslandi.

Þessi samantekt hefur gefið höfundum tækifæri til að öðlast mikilvæga þekkingu á þessu brýna viðfangsefni sem er flókið en mikið er hugað að á heimsvísu. Hægt er að draga góðan lærdóm út frá þessari samantekt. Hversu mikilvægt sé að huga að SO<sub>2</sub>-mengun í andrúmsloftinu, ásamt því að stuðla

að góðri samvinnu þjóða til að draga úr SO<sub>2</sub>-mengun. Áhrif SO<sub>2</sub> eru afar mikið á lungnaheilsu fólks úti um allan heim. Það þarf að huga vel að þessu að mati höfunda þar sem þetta hefur ekki áhrif bara á mannfólkið heldur einnig á dýra- og plönturíkið. Það þarf að veita þessu viðfangsefni athygli svo framtíðin öðlist betri þekkingu og færni til að draga úr SO<sub>2</sub>-mengun sem myndi bæta lýðheilsu fólks og þá aðallega lungnaheilsu þess.



## Ályktanir

Af niðurstöðum þessarar samantektar má álykta að mengun af völdum brennisteins hafi gríðarleg áhrif á heilsu fólk, bæði á lungnastarfsemi og almennt heilsufar. Fjölmargar rannsóknir hafa sýnt svarta útkomu. Aukning hefur verið á lungnatengdum sjúkdómum við mikla mengun frá brennisteini á borð við astma, langvinna lungnateppu (e. COPD), lungnatrefjun (e. pulmonary fibrosis) og krabbamein. Aðra sjúkdóma má einnig tengja við mengun frá brennisteini eins og hjarta- og æðasjúkdómar, ófrjósemi og skertan heilavöxt ungabarna.

Miðað við niðurstöður rannsókna sem þessi samantekt byggist á þarf heimurinn að standa saman. Setja þarf harðari reglur til að sporna við aukningu á brennisteinsmengun. Það að dregið verði úr brennisteinsmengun hefur ekki bara jákvæð áhrif á heilsu fólks því það hefur einnig gríðarlega mikil áhrif á allt lífríkið á jörðinni. Reglur eru um heildarlosun brennisteins í andrúmsloftið en ekki eru öll lönd sammála um þær reglur og losa þá meira en segir til um í reglunum.

Mikið hefur verið talað um brennistein í andrúmslofti og margar rannsóknir verið gerðar. Lítið hefur áunnist og betur má ef duga skal! Sömu lönd eru ár eftir ár á listanum yfir lönd sem menga hvað mest og lítið dregur úr mengun. Þó hafa Kínverjar tekið sig á. Þeir náðu töluvert að bæta stöðu sína á listanum. Aftur á móti eru sumar ríkisstjórnir, eins og Búlgaríu, á móti reglum sem eru gerðar og losa meira magn en leyfilegt er. Aðrar þjóðir sem og WHO þurfa að beita meiri hörku á þau lönd sem brjóta þessi lög. Á Íslandi þarf auk þess að efla umræðu um mengun af völdum brennisteins. Mikið er fjallað um mengun almennt en ekki mikið talað um þau slæmu áhrif sem mengun hefur á heilsu okkar.

Ávinningur þess að draga úr brennisteinsmengun og mengun yfirhöfuð er að þá verður minni mengun í andrúmsloftinu sem við öndun að okkur. Þá verður talsvert minna um sjúkdóma eins og astma hjá börnum, ófrjósemi og vaxtarskerðingu. Ávinningurinn er meiri en tapið þegar kemur að minnkun mengunar. Vissulega er það kostnaðarsamt að kaupa hreinsitæki fyrir kola- og olíuframleiðslu en ávinningurinn er mikill.

Afar brýnt er að gera fleiri rannsóknir á áhrifum brennisteinsmengunar á heilsu. Þá þyrfti að gera langtímarannsóknir á því hvernig COVID-19 hefur haft áhrif á lækun eða hækkun  $SO_2$  í umhverfinu. Einnig væri vert að skoða hver áhrif stríðsins í Úkraínu eru á mengun í lofti. Loks þarf að rannsaka betur lyf sem geta hjálpað til við að halda niðri öndunarfærasjúkdómum sem tengjast mengun eins og sýklalyfið Azithromycin eða ef til vill önnur lyf. Þessi fræðilega samantekt opnar vonandi umræðuna um hversu gríðarlega mikilvægt er að draga úr mengun í andrúmslofti. Auka þarf umræðuna um mikilvægi þess að efla mengunarlausan lífsstíl eins og að ganga eða hjóla frekar í vinnuna eða skóla. Ef fólk kærir sig ekki um að ganga eða hjóla þá efla rafbílanotkun þótt rafbílur mengi þá menga þeir ekki eins mikið og bensín- og dísilbílur. Það þarf að rannsaka betur áhrif brennisteinsmengunar í umhverfi hér á landi. Efla þarf stóru löndin sem menga mest við að draga verulega úr útblæstri sínum. Þá þarf að bregðast harðar við þeim þjóðum sem brjóta reglur um brennisteinslosun og fá þau með í baráttuna gegn mengun.

## Heimildaskrá

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2014, 21. október). *Medical Management Guidelines for Sulfur Dioxide*.  
<https://wwwn.cdc.gov/TSP/MMG/MMGDetails.aspx?mmgid=249&toxid=46>
- Ahn, E. og Kang, H. (2018). Introduction to systematic review and meta-analysis. *Korean journal of anesthesiology*, 71(2), 103. <https://doi.org/10.4097/kjae.2018.71.2.103>
- Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra. (2014, 22. október). *Nokkur gasmengun enn á Höfn í Hornafirði og nágrenni*. <https://www.almannavarnir.is/bardarbunga/holuhraun/nokkur-gasmengun-enn-a-hofn-i-hornafirði-og-nagrenni/>
- Amster, E. og Lew Levy, C. (2019). Impact of coal-fired power plant emissions on children's health: a systematic review of the epidemiological literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph16112008>
- Cao, Y., Chen, M., Dong, D., Xie, S. og Liu, M. (2020). Environmental pollutants damage airway epithelial cell cilia: Implications for the prevention of obstructive lung diseases. *Thoracic cancer*, 11(3), 505-510. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.13323>
- Carlsten, C., Salvi, S., Wong, G. W. og Chung, K. F. (2020). Personal strategies to minimise effects of air pollution on respiratory health: advice for providers, patients and the public. *European Respiratory Journal*, 55(6). <https://doi.org/10.1183/13993003.02056-2019>
- Chaudhry, R. og Bordoni, B. (2021). *Anatomy, Thorax, Lungs*. StatPearls.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29262068/>
- Chen, F., Qiao, Z., Fan, Z., Zheng, Q., Wu, Y., Zhang, M., Cui, Y., Deng, Y., Luo, B., Zhang, W., Ji, K., Qiao, X., Zhao, X. og Li, X. (2017). The effects of Sulphur dioxide on acute mortality and years of life lost are modified by temperature in Chengdu, China. *Science of The Total Environment*, 576, 775-784. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.161>
- Dahiya, S. og Myllyvirta, L. (2019). Global SO<sub>2</sub> emission hotspot database. *Greenpeace*.  
[https://www.greenpeace.org/static/planet4-india-stateless/2019/08/18d5ef6f-global-hotspot-and-emission-sources-for-so2\\_august-2019.pdf](https://www.greenpeace.org/static/planet4-india-stateless/2019/08/18d5ef6f-global-hotspot-and-emission-sources-for-so2_august-2019.pdf)
- Dahiya, S., Anhäuser, A., Farrow, A., Thieriot, H., Chanchal, A. og Myllyvirta, L. (2020). Ranking the World's Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) Hotspots: 2019-2020. *Delhi: Center for Research on Energy and Clean air & Greenpeace India*. <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mena-stateless/a372e5fe-so2-report-english.pdf>
- Davis, S. og Edwards, C. W. (2021). *Forced Expiratory Volume*. StatPearls.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK540970/>
- Fortin, F. (2006). *Veður og umhverfi* (Unnur Ólafsdóttir, þýð). Mál og menning / Edda útgáfa hf. (Upphaflega útgáfan 2005).
- Guarnieri, M. og Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383 (9928), 1581-1592. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)
- Gunnar Guðmundsson, Ragnhildur Guðrún Finnbjörnsdóttir, Þorsteinn Jóhannsson og Vilhjálmur Rafnsson. (2019). Loftmengun á Íslandi og áhrif hennar á heilsu manna: Yfirlitsgrein. *Læknaþið*, 105(10), 443-452.
- Joelsson, J. P., Krickler, J. A., Arason, A. J., Sigurdsson, S., Valdimarsdóttir, B., Gardarsson, F. R., Page, C. P., Lehmann, F., Gudjonsson, T. og Ingthorsson, S. (2020). Azithromycin ameliorates sulfur dioxide-induced airway epithelial damage and inflammatory responses. *Respiratory research*, 21(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01489-8>
- Liang, L., Cai, Y., Lyu, B., Zhang, D., Chu, S., Jing, H., Rahimi, K. og Tong, Z. (2022). Air pollution and hospitalization of patients with idiopathic pulmonary fibrosis in Beijing: a time-series study. *Respiratory research*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-01998-8>
- Lungnakrabbamein. (e.d.). *Hlutverk lungna*. <https://lungnakrabbamein.is/hlutverk-lungna/>

- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. og Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8(14), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Polit, D. F. og Beck, C. T. (2017). *Nursing research, generating and assessing evidence for nursing practice* (10. útg.). Wolters Kluwer Health.
- Reglugerð um brennisteinsdíoxíð, köfnunarefnisdíoxíð og köfnunarefnisoxíð, bensen, kolsýring, svifryk og blý í andrúmsloftinu, styrk ósons við yfirborð jarðar og um upplýsingar til almennings nr. 920. (2016). <https://www.reglugerd.is/reglugerdir/eftir-raduneytum/umhverfisraduneyti/nr/20277>
- Reno, A. L., Brooks, E. G. og Ameredes, B. T. (2015). Mechanisms of heightened airway sensitivity and responses to inhaled SO<sub>2</sub> in asthmatics. *Environmental health insights*, 9. <https://doi.org/10.4137%2FEHI.S15671>
- Rosser, F., Forno, E., Kurland, K. S., Han, Y. Y., Mair, C., Acosta-Pérez, E., Canino, G. og Celedón, J. C. (2020). Annual SO<sub>2</sub> exposure, asthma, atopy, and lung function in Puerto Rican children. *Pediatric pulmonology*, 55(2), 330-337. <https://doi.org/10.1002/ppul.24595>
- Samtök lungnasjúklinga. (e.d.). *Lungnatrefjun*. <https://www.lungu.is/lungnatrefjun>
- Sangkham, S., Thongtip, S., & Vongruang, P. (2021). Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak. *Environmental research*, 197, 111104. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111104>
- Saygin, M., Gonca, T., Öztürk, Ö., Has, M., Çalışkan, S., Has, Z. G. og Akkaya, A. (2017). To investigate the effects of air pollution (PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub>) on the respiratory diseases asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *Turkish thoracic journal*, 18(2), 33-39. doi:10.5152/TurkThoracJ.2017.16016
- Tortora, J. og Nielsen, M. (2014). *Principles of Human Anatomy*. Wiley.
- U.S. Environmental Protection Agency. (e.d.-a). *Progress Cleaning the Air and Improving People's Health*. <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/progress-cleaning-air-and-improving-peoples-health>
- U.S. Environmental Protection Agency. (e.d.-b). *Sulfur Dioxide Basics*. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. (2017). *Hreint loft til framtíðar: Áætlun um loftgæði á Íslandi 2018-2029*. <https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Hreint%20loft%20til%20fram%20C3%AD%20C3%B0ar,%20lokaeintak.pdf>
- Umhverfisstofnun.(e.d). *Brennisteinsdíoxíð*. <https://ust.is/loft/loftgaedi/brennisteinsdioxid/>
- Vepkhvadze, N., Kiladze, N., Khorbaladze, M., Kochoradze, T., & Kugoti, I. (2017). Impact of sulphur dioxide on the respiratory system of Tbilisi population. *Georgian Medical News*, (265), 1114-1119.
- Wigenstam, E., Elfsmark, L., Bucht, A. og Jonasson, S. (2016). Inhaled sulfur dioxide causes pulmonary and systemic inflammation leading to fibrotic respiratory disease in a rat model of chemical-induced lung injury. *Toxicology*, 368-369, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2016.08.018>
- World Health Organization. (2016, 24. október). *Possible short-term and long-term health effects of persistent fumes from al-Mishraq Sulfur factory*.
- World Health Organization. (2021a, 22. september). *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization. (2021b). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Health Organization. (2021c, 22. september). *New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution: Air pollution is one of the biggest environmental threats to human health, alongside climate change*. <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

- World Health Organization. (e.d.). *How air pollution is destroying our health*. <https://www.who.int/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>
- Xing, D. F., Xu, C. D., Liao, X. Y., Xing, T. Y., Cheng, S. P., Hu, M. G. og Wang, J. X. (2019). Spatial association between outdoor air pollution and lung cancer incidence in China. *BMC Public Health*, 19, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7740-y>
- Zhong, Q., Shen, H., Yun, X., Chen, Y., Ren, Y., Xu, H., Shen, G., Ma, J. og Tao, S. (2019). Effects of International Fuel Trade on Global Sulfur Dioxide Emissions. *Environmental science & Technology Letters*, 6, 727-731. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00617>
- Þórólfur Guðnason. (2021, 4. mars). *Hver eru áhrif SO<sub>2</sub> á mannslíkamann? Eru einhver langtímaáhrif þekkt?*. Embætti Landlæknis. <https://www.landlaeknir.is/um-embættid/greinar/grein/item44510/Hver-eru-ahrif-SO2-a-mannslíkamann--Eru-einhver%20langtímaáhrif-thekkt->