



EFNASAMSETNING FÍNS SVIFRYKS Í REYKJAVÍK

Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar 2019

05.04.2022



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-278-SKY-001-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01 / 26

VERKEFNISSTJÓRI – FULLTRÚI VERKKAUPA

Þórir Ingason

VERKEFNISSTJÓRI – EFLA

Páll Höskuldsson

LYKILORÐ

Svifryk, mengun, loftgæði, uppsprettur, bílaumferð, vegaslit

STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
- Drög til yfirlustrar
- Lokið

DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

EFNASAMSETNING FÍNS SVIFRYKS Í REYKJAVÍK

Rannsóknarskýrsla

VERKHEITI

Efnasamsetning fíns svifryks í Reykjavík

VERKKAUPI

Vegagerðin

HÖFUNDUR

Páll Höskuldsson
Arngrímur Thorlacius, Efnagreiningar ehf.

ÚTDRÁTTUR

Frá lok febrúar og fram í miðjan apríl 2019 voru tekin svifrykssýni við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegur til að meta samsetningu svifryksins. Svifrykssýnum (fínu svifryki PM 2,5) var safnað á teflonsíur með sérstökum svifrykssafnara. Ryksýnin voru síðan efnagreind með plasma-massagreini og gerðar á þeim endurvarpsmælingar. Út frá niðurstöðum mælinga var útbúið fjölbreytulíkan til að rekja uppruna svifryksins. Til að fá viðmiðunargildi var safnað ryki af ætluðum uppsprettum á sams konar síur og með sama ryksafnara þannig að uppsprettusýnin og raunverulegu ryksýnin fengu sömu meðhöndlun. Eftirfarandi niðurstöður fengust: Malbik 27,6%, sótt 11,6%, jarðvegur 42,3%, bremsur 4,0% og salt 7,9%.

Rétt innan við helmingur af svifrykinu stafar af bílaumferð þar sem stærsti hlutinn kemur frá malbiki og þar á eftir frá sóti. Stærsti hluti einstakrar uppsprettu er frá jarðvegi en töluverðar jarðvegsframkvæmdir voru í borginni á sýnatökutímabilinu. Hlutfall sóts fer minnkandi miðað við síðustu mælingar frá 2015 og 2013 sem skýrist líklega af færri eldri díselbílum.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar.



ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Páll Höskuldsson Arngrímur Thorlacius	7.03.22	Stefán Þór Kristinsson	15.03.22	Páll Höskuldsson	04.04.22

SAMANTEKT

Frá lok febrúar og fram í miðjan apríl 2019 voru tekin svifrykssýni við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegur til að meta samsetningu svifryksins. Svifrykssýnum (fínu svifryki PM 2,5) var safnað á teflonsíur með sérstökum svifrykksafnara. Ryksýnin voru síðan efnagreind með plasma-massagreini auk þess voru 19 breytur fengnar með endurvarpsmælingu af yfirborði síanna á nærinnrauðu bylgjusviði (Near Infrared Reflectance, NIR). Út frá niðurstöðum mælinga var fjölbreytulíkan útbúið til að rekja uppruna svifryksins. Til að fá viðmiðunargildi var safnað ryki af ætluðum uppsprettum á sams konar síur og með sama ryksafnara þannig að uppsprettusýnin og raunverulegu ryksýnin fengu sömu meðhöndlun. Eftirfarandi niðurstöður fengust: Malbik 27,6%, sótt 11,6%, jarðvegur 42,2%, bremsur 4,0% og salt 7,9%. Miðað við þessar niðurstöður, má áætla að um helmingur af svifrykinu stafar af bílaumferð.

Engin eldfjallaaska greindist í sýnunum, annað en sést hefur í fyrri mælingu, gerð árið 2013 en þar mældist eldfjallaaska í töluverðu magni. Ekki er hægt að bera saman þessa mælingu beint við fyrri mælingar þar sem í þessari mælingu var mælt fínt svifryk þ.e. svifryk með kornastærð að þvermáli minna en 2,5 μm , en í fyrri mælingum var mælt gróft svifryk með kornastærð minni en 10 μm . Í þessum mælingum, er hlutfall jarðvegs hæst en þar á eftir kemur malbik. Hátt hlutfall jarðvegs gæti að hluta stafað af auknum framkvæmdum í borginni og þar sem áhersla hefur verið á þéttingu byggðar. Hlutfall malbiks mælist nokkuð hátt en það hefur einnig verið nokkuð stór hluti af svifrykinu í fyrri mælingum. Sótt mældist núna 11,6 % sem er nokkuð hátt hlutfall en samt lægra en mældist í síðustu mælingum þar á undan árin 2013 og 2015. Fyrir fram hefur mátt búast við að hlutfall sóts myndi aukast, þar sem fínna svifryk var greint núna miðað við fyrri greiningar og sótið er samsett úr frekar fínu ryki, en það varð ekki raunin.

Ýmsar ytri aðstæður geta haft mikil áhrif á niðurstöðurnar eins og úrkoma og vindur og því verður ekki hægt að bera að fullu saman niðurstöður mælinga sem gerðar eru á mismunandi tímum. Aðrir áhrifaþættir eins og umferðarpungi, nagladekkjanotkun og malbiksgerðir hafa ekki breyst mikið frá 2015. Þrátt fyrir ýmsar aðgerðir til að draga úr svifryksmengun frá malbiki eins og minni notkun nagladekkja og slitþolnara malbik, þá er hlutfall þess að mælast enn þá nokkuð hátt. Full ástæða er til að leita áfram leiða til að takmarka malbiksslit þar sem malbik inniheldur mörg heilsuspillandi efni sem geta orðið hluti ryksins við slit.

Einnig er mælt hátt hlutfall sóts, þó samt minna en árið 2013 og 2015 en hærra en árið 2003. Lægra hlutfall sóts núna gæti stafað af færri eldri díselbílum sem eru ekki með mengunarvarnarbúnað og hafa verið teknir úr umferð. Sótmengun er talin hafa mjög neikvæð heilsufarsáhrif og mikilvægt að lágmarka hana. Ánægjulegt er að sótmengun virðist fara minnkandi en búast má við að hún minnki enn meira á næstu árum eftir því sem hlutfall díselbíla með fullkomnari mengunarvarnarbúnaði hækkar og hlutfall nýorkubíla eykst.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
INNGANGUR OG BAKGRUNNUR	8
1.1 Almenn	8
1.2 Uppruni svifryks	9
1.3 Framhaldsmælingar	10
FRAMKVÆMD	11
2.1 Sýnataka	11
2.2 Uppsprettusýni	13
2.3 Efnagreining og útreikningur	14
NIÐURSTÖÐUR	15
UMRÆÐUR 17	
HEIMILDASKRÁ	20
VIÐAUKI A EFNAGREININGAR, LÍKANSMÍÐI OG ÚTREIKNINGAR	22

MYNDASKRÁ

MYND 1	Staðsetning sýnataka við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegjar _____	12
MYND 2	Sýnataka staðsettur uppi á þaki loftgæðastöðvar við gatnamót Grensásvegjar og Miklubrautar _____	12
MYND 3	Hlutfall einstakra upprunaefna í greindum svifrykssýnum 2019. _____	16
MYND 4	Samsetning svifryks vetur-vor 2019 _____	17
MYND 5	Samsetning svifryks samkvæmt verkefni 2015 _____	17
MYND 6	Samsetning svifryks samkvæmt verkefni 2013 _____	17
MYND 7	Samsetning svifryks samkvæmt verkefni 2003 _____	17

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1	Styrkur svifryks og veðuraðstæður yfir sýnatökutímabilið á árinu 2019 _____	15
TAFLA 2	Samsetning einstakra svifrykssýna árið 2019 _____	16

INNGANGUR OG BAKGRUNNUR

1.1 Almennt

Svifryk er sá mengunarpáttur sem hefur hvað mest áhrif á heilsu almennings sem rekja má til mengunar í borgum. Svifryki er gjarnan skipt í tvo flokka sem oft eru mældir sérstaklega þ.e. fínt svifryk (PM_{2,5}) sem er minna en 2,5 míkrometrar (µm) og gróft svifryk (PM₁₀) sem er minna en 10 µm. Þetta eru agnir sem svífa auðveldlega um í andrúmsloftinu og eiga því greiða leið ofan í öndunarfærin. Eftir því sem rykið er fínna er það talið hættulegra heilsu fólks þar sem það berst lengra niður í fínni vefi lungnanna þar sem það safnast upp og getur valdið meiri skaða. Lengi vel var mengunareftirlit miðað við PM₁₀ en nú er í vaxandi mæli farið að fylgjast með fína svifrykinu PM_{2,5}. Á Íslandi er svifryksmengun orðin alvarlegt vandamál og mælist hún í háum styrk, klukkutíma til daga í senn. Sérstakt áhyggjuefni eru tíðir atburðir með miklu af fínu svifryki. Í verstu mengunarviðburðum eða -skeiðum, í stilltu köldu veðri á vetrum, skipar Reykjavík sér á sess með menguðustum stórborgum, hvað svifryk varðar.

Uppruni svifryks getur verið af ýmsum toga, bæði náttúrulegum og af mannavöldum. Meiri líkur eru á að fína svifrykið eins og t.d. sót frá bruna jarðefnaeldsneytis stafi af mannavöldum en grófa rykið er líklegra að komi frá náttúrulegum uppsprettum. Heilsuverndarmörk fyrir svifryk hafa verið sett í reglugerð nr. 920/2016 um brennisteinsdíoxíð, köfnunarefnisdíoxíð og köfnunarefnisoxíð, bensen, kolsýring, svifryk og blý í andrúmsloftinu, styrk ósons við yfirborð jarðar og um upplýsingar til almennings [1]. Markmið reglugerðarinnar eru að viðhalda gæðum andrúmslofts þar sem þau eru mikil en bæta þau ella að því er varðar m.a. svifryk og viðhalda þeim gæðum sem felast í hreinu og ómenguðu lofti. Samkvæmt reglugerðinni má meðaltalssólarhringsstyrkur fyrir svifryk vera hæstur 50 µg/m³ og má styrkurinn fara að hámarki 35 sinnum á ári yfir þessi mörk. Einnig eru sett umhverfismörk fyrir ársmeðaltalsstyrk svifryks sem má vera hæstur 40 µg/m³ fyrir PM₁₀ og 20 µg/m³ fyrir PM_{2,5}. Svifryk er mælt reglulega í tveimur föstum mælistöðvum í Reykjavík, annars vegar á Grensásvegi og hins vegar í Fjölskyldu- og húsdýragarðinum, en auk þess eru í notkun tvær færanlegar mælistöðvar. Mesta svifryksmengunin er talin vera við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegar sem eru ein fjölförnustu gatnamót borgarinnar. Mælistöðin við Grensásveg mælir þessa mengun og eru mæliniðurstöður birtar jafnóðum á heimasíðu Reykjavíkurborgar og Umhverfisstofnunar. Fylgst er náið með styrk svifryks frá mælistöðunum og þegar styrkur fer yfir viðmiðunarmörk er lagt mat á uppruna mengunarinnar til að auðvelda ákvarðanatöku um mótvægisáðgerðir til að draga úr svifryksmenguninni. Matið byggir m.a.

á skoðun veðurgagna. Orsakir eru flokkaðar t.d. í umferð, uppþyrlun svifryks frá götum eða vegna framkvæmda eða vegna jarðvegs og ösku sem berst til borgarinnar með vindum.

1.2 Uppruni svifryks

Uppruni svifryksins getur verið af ýmsum toga en gerðar hafa verið fjórar rannsóknir við mat á uppsprettum svifryks í Reykjavík. EFLA verkfræðistofa (áður Línuhönnun) vann á árinu 2000 rannsóknarverkefnið „Magn og uppspretta svifryks – Rannsókn á loftmengun í Reykjavík“ sem styrkt var af Nýsköpunarsjóði námsmanna, Vegagerðinni og sveitarfélögum á höfuðborgarsvæðinu. Þar var kannað með samanburði á loftgæðamælingum hvernig samsetningu á svifryki í borginni væri háttað [2]. Niðurstöður þessara rannsóknar bentu til að um helmingur alls svifryks í Reykjavík kæmi frá umferðinni og stór áhrifaþáttur þar væri notkun nagladekkja.

Á árinu 2003 var unnin rannsókn á svifryki undir ritstjórn Bryndísar Skúladóttur „*Method for determining the composition of airborne particle pollution. Composition of particle air pollution in Reykjavík*“ [3]. Þróuð var aðferð til að meta samsetningu svifryksmengunar. Svifryk sem safnað var á teflon-ryksíur á árunum 1999-2002 við Miklubrautina í Reykjavík var frumefnagreint en auk þess var mælt endurvarp ljóss af sýnunum á sýnilegu og nær-innrauðu bylgjusviði. Einstök upprunasýni voru útbúin (malbik, jarðvegur, götusalt, sót og bremsuborðar) og meðhöndluð á sama hátt. Niðurstöður efnagreininganna og ljósgleypnimælinganna voru sett í sérstakt reiknimódel þar sem beitt er tölfræðilegri fjölbreytugreiningu við magngreiningu einstakra upprunaefna. Niðurstöður rannsóknarinnar sýndu að stærstan hluta svifryks í Reykjavík megi rekja til slits á götum. Samsetning vetrarsýna var að meðaltali: malbik 55%, jarðvegur 25%, sót 7%, salt 11% og bremsuborðar um 2%.

Árið 2013 vann EFLA verkfræðistofa rannsóknarverkefnið „*Samsetning svifryks í Reykjavík*“ [4] með styrk frá rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar þar sem hlutfall einstakra uppsprettuefna í svifryki voru metin. Svifrykssýnum var safnað á glertrefjasíur við loftgæðastöðina á Grensásvegi. Efnagreiningar og úrvinnsla var svo sambærileg rannsókninni sem gerð var árið 2003 [3]. Niðurstöður þessarar rannsóknar sýndu nokkuð breytta samsetningu miðað við rannsóknina frá 2003 eða: malbik 17%, jarðvegur 18%, sót 30%, salt 3%, bremsuborðar um 14% og aska 18%. Töluvert magn af ösku mældist í þessari rannsókn en hún var ekki til staðar í fyrri rannsókninni. Hlutfall svifryks frá bremsum og hlutfall sóts frá útblæstri bifreiða eykst töluvert. Á móti minnkar hlutfall malbiks og salts í svifrykinu töluvert. Einnig minnkar hlutfall jarðvegs lítillega.

Árið 2015 vann EFLA verkfræðistofa í samvinnu við Arngrím Thorlacius rannsóknarverkefnið „*Uppruni svifryks í Reykjavík*“ [5] með styrk frá rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar. Svifrykssýnum (grófu svifryki PM10) var safnað á kvarssíur með sérstökum svifrykssafnara við loftgæðastöðina á Grensásvegi. Efnagreiningar og úrvinnsla var svo sambærileg rannsókninni sem gerð var árið 2003 [3] og 2013 [4]. Niðurstöður þessarar rannsóknar voru eftirfarandi: Malbik 48.8%, sót 31,2%, jarðvegur 7,7%, bremsur 1,6% og salt 3,9%. Stór hluti eða yfir 80% af svifrykinu stafar af bílaumferð þar sem stærsti hlutinn kemur frá malbiki. Í samanburði við mælingar sem gerðar voru árin 2003 og 2013 sést að eldfjallaaska er ekki lengur til staðar sem hafði mælst í töluverðu magni 2013. Hlutfall jarðvegs fer minnkandi sem helst í hendur við lítil umsvif byggingarframkvæmda á höfuðborgarsvæðinu á þessum tíma. Einnig er áberandi að sambærilega hátt hlutfall sóts mældist árin 2015 og 2013.

1.3 Framhaldsmælingar

Tilgangur þessa verkefnisins er að meta efnasamsetningu og uppruna fíns svifryks (PM_{2,5}) sem mælist í Reykjavík (Grensásstöð). Auk þess verður verkefnið liður í því að þróa áfram sér íslenska aðferðarfræði við að meta upprunabætti svifryks með efnagreiningum og fjölbreytulíkönnum. Niðurstöður mælinga munu sýna hversu stór hluti af fínu svifryki (PM_{2,5}) má tengja við bílaumferð (útblastur bifreiða, gatnadekkja- og bremsuborðaslit, götusalt) og hve mikið við aðra þætti (jarðvegsrof).

Munurinn á þessari mælingu miðað við fyrri rannsóknir er að nú er mælt sérstaklega fínt svifryk (PM_{2,5}) en í fyrri mælingum var mælt gróft svifryk (PM₁₀). Við rannsóknir á svifryki er nú almennt aukin áhersla lögð á mælingar á fínu svifryki þar sem það er talið valda verri heilsufarsáhrifum í samanburði við það grófa.

Fyrri mælingar á grófu svifryki hafa sýnt að stór hluti svifryks er umferðartengdur og spurning hvort svo sé einnig með fínt svifryk. Margir þætti hafa áhrif á svifryksmengunina hafa tekið miklum breytingum á undanförunum árum. Slit á götum er áfram mikilvægur þáttur í myndun svifryks en gerðar hafa verið ýmsar ráðstafanir til að draga úr sliti vega og einn þáttur í því er að stuðla að minni notkun nagladekkja, en á síðustu árum hefur notkunin staðið í stað. Breytingar hafa orðið á malbikstegundum og malbikunaraðferðum til að lágmarka slit þess. Umferð hefur aukist mikið á síðustu árum og einnig hlutfall díselbíla en á sama tíma eru einnig gerðar strangari kröfur mengunarvarnarbúnað í nýjum bílum. Eldfjöll hafa gosið og aska borist til borgarinnar og jarðvegsframkvæmdir eru mismundandi á milli ára. Allt eru þetta þættir sem hafa mikli áhrif á mengun af völdum svifryks. Mælingarnar frá 2013 og 2015 sýna báðar hátt hlutfall svifryks frá bílaumferð, sérstaklega þar sem hlutfall sóts er mjög hátt.

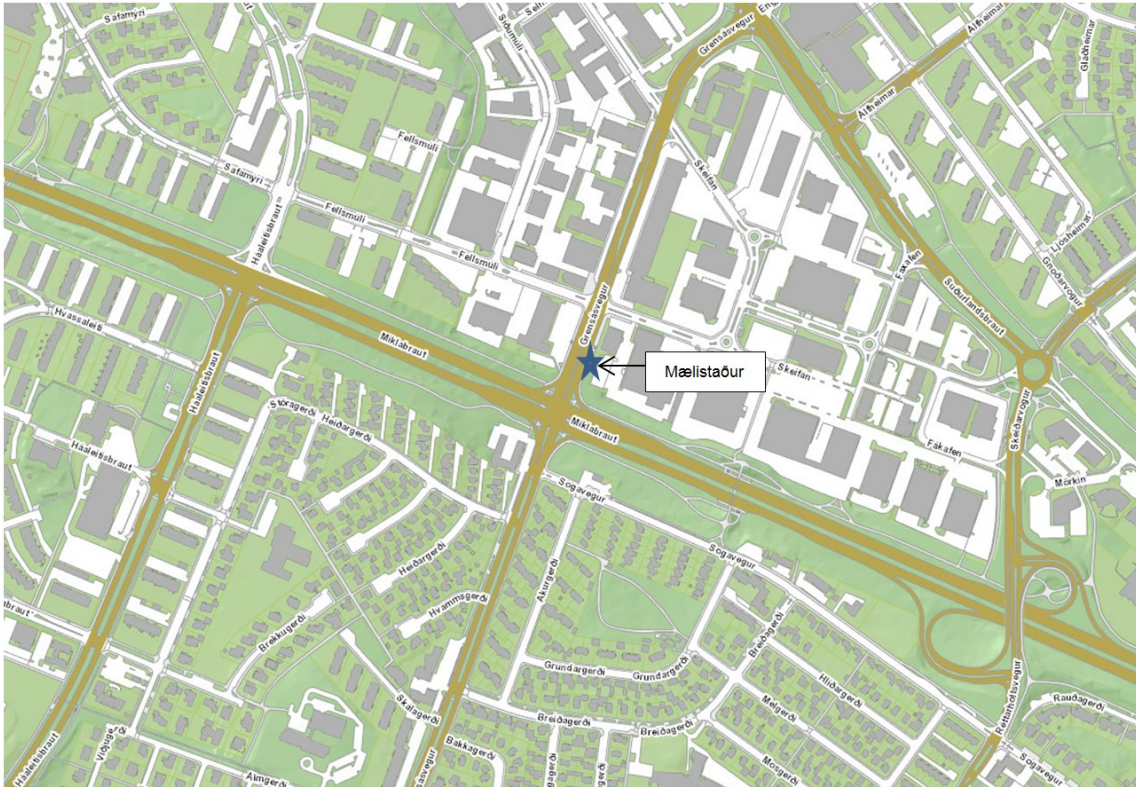
FRAMKVÆMD

Framkvæmd sýnatöku og mælinga var svipuð núna og í fyrri verkefnum frá 2003 [3], 2013 [4] og 2015 [5] nema nú var safnað fínu svifryki PM_{2,5} en ekki grófu svifryki PM₁₀ eins og gert var í fyrri mælingum. Notaðar voru teflonsíur við sýnatökuna og voru sýni tekin yfir 3 sólarhringa á hverja síu. Með því að taka sýni í 3 sólarhringa eru meiri líkur að fá flest efni mæld ofan greiningarmarka heldur en ef sýnatökutíminn hefði verið styttri. Almennt horfa menn á sólarhringsgildi þegar mengunarálag er skoðað, en hér er ekki verið að því og er áhuginn einvörðungu á efnasamsetningunni. Við síðustu mælingu árið 2015 voru notaðar kvarssíur en nú var ákveðið að breyta yfir í teflonsíur (PTFE filters, 47mm, 2,0µm) þar sem þær gefa betri nákvæmni í vigtun sem gat verið vandamál við notkun kvarssía

Til að meta hlutföll einstakra uppsprettuefna var notast við fjölbreytulíkan. Líkanið er unnið með PLS (Partial Least Squares Regression) fjölbreytuaðferð út frá magngreiningu fjölda frumefna í svifrykssýnum, sem safnað var á teflonsíur. Auk frumefnagreininga var notast við endurvarpsmælingu af yfirborði síanna á nærinnrauðu bylgjusviði (Near Infrared Reflectance, NIR). Til að fá viðmiðunargildi var safnað ryki af ætluðum uppsprettum á sams konar síur og með sama ryksafnara. Uppsprettusýni og raunveruleg ryksýni fengu þannig sömu meðhöndlun og voru efnagreind með plasma-massagreini ICP-MS og gerðar á þeim endurvarpsmælingar. Alls er notast við 54 mælistærðir eða breytur við gerð líkansins. Magngreind voru 35 frumefni úr upplausnum af teflonsíunum og auk þess voru 19 breytur fengnar með endurvarpsmælingum.

2.1 Sýnataka

Við sýnatökuna var notaður sérstakur sýnataka til svifrykssýnatöku að gerðinni Thermo Scientific Partisol-Plus 2025. Sýnatakinn sem er færarlegur er í eigu Umhverfisstofnunar sem lánaði hann í verkefnið. Sýnatakinn var staðsettur upp á þaki loftgæðastöðvarinnar við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegur (sjá myndir 1 og 2) en það er sá staður sem búast má við hvað mestri svifryksmengun í Reykjavík. Svifrykssýnum (PM_{2,5}) var safnað á 37 mm teflonsíur með því að soga loft í gegnum síurnar, 1 m³/klst., í 3 sólarhringa í senn á hverja síu. Sýnataka stóð yfir í rúma 3 mánuði, frá lok febrúar fram í byrjun júní.



MYND 1 Staðsetning sýnataka við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegur



MYND 2 Sýnataki staðsettur uppi á þaki loftgæðastöðvar við gatnamót Grensásvegur og Miklubrautar

2.2 Uppsprettusýni

Valdar voru þær ryk uppsprettur sem talið var að gætu haft martækt framlag til svifryks í borginni sem safnað er yfir seinni hluta vetrar og vor (þegar svifryk mælist mest) í nánd við gatnamót Miklubrautar og Grensásvegur þar sem umferðarmengun er hvað mest. Þessar uppsprettur eru malbik, sót, jarðvegur, bræðslusalt, dekk og efni úr bremsubúnaði. Ekki var talið líklegt að langt að komið ryk ofan af hálendi Íslands eða utanlands frá hefði marktækt framlag til heildarmagns ryks á slæmum mengunardögum, sem hér eru til skoðunar, og því ekki reynt að leggja mat á slíkt.

Malbik: Mismunandi tegundir af malbiki eru í notkun á götum Reykjavíkur þar sem notast er við mismunandi grjóttegundir og malbikunaraðferðir. Tvær stórar umferðargötur, Miklabraut og Grensásvegur, liggja við mælistöðina. Þessar götur hafa sitt hvora tegundina af malbiki. Miklabraut er lögð malbiki með innfluttu harðri grjóttegund sem á gefa mikið slitþol. Grensásvegur er aftur á móti lagður með malbiki með innlendri grjóttegund þar sem slitþolið verður ekki eins mikið og með notkun innflutta grjótsins. Tekin voru tvö malbikssýni, annað úr Miklabrautinni og hitt úr Grensásvegi. Sýnin voru spænd upp með sérstökum nagladekkjahermi og rykinu síðan safnað á síur með ryksýnatakanum.

Bremsuborðar: Fengið var ryksýni frá hemlaverkstæðinu Hemli í Kópavogi. Rykið myndast við viðgerðarvinnu á hemlaborðum og aðallega við slípivinnu á hemlaborðum.

Sót: Sótssýni var fengið úr útblæstri bílvéla. Útblástur tveggja bílvéla, annars vegar díselvélar og hins vegar bensínvélar, var leiddur inn í plasthólk þar sem ryksýni voru tekin með ryksýnatakanum.

Salt: Saltssýni kom frá götusalti sem borið er á götur borgarinnar til hálkvarnar. Notast var við sama sýni og í rannsókninni árið 2003 [3]. Saltið er leyst upp beint og mæliniðurstöður af þeirri upplausn notaðar til viðmiðunar enda ekki talið líklegt að malaðar agnir af saltinu hefðu marktækt frábrugðið innihald frá heilum saltkornum.

Jarðvegur: Notuð voru sömu sýni og notuð voru við rannsóknina árið 2003 [3]. Sýnin eru valin m.t.t. ríkjandi austlægrar vindáttar í Reykjavík. Sýnin voru tekin á tveimur stöðum. Annað sýnið er tekið við Korpu við austurjaðar Reykjavíkur. Þar var tekið bæði sýni úr yfirborði og svo einnig aðeins undir yfirborðinu. Hitt sýnið er tekið úr námu við Mosfell 20 km NA frá Reykjavík.

Dekk: Ekki tókst að búa til ryk úr dekkjum en í staðin voru örður klipptar úr dekkjakurli leystar upp beint og mæliniðurstöður af þeirri upplausn notaðar til viðmiðunar

Ryki af uppsprettuefnum var safnað með því að þyrlla upp ryki, með þrýstilofti, inni í 0.5L plastflösku sem opin var um víða slöngu upp í inntak safnarans. Þannig dregur safnarinn ryk úr þessum gervirykmekki líkt og um raunverulega rykmengun væri að ræða. Þessar ryksíur voru vigtaðar fyrir og eftir á sama hátt og mengunarsýnin. Ryk hefur almennt aðra efnasamsetningu en upprunaefnið sjálft, nema um mjög einsleitan efnivið sé að ræða. Sér í lagi er hægt að reiknað með umtalsverðum mun fyrir efnivið á borð við jarðveg, malbik og jafnvel bremsuleifarnar. Reiknað var með að bræðslusalt og dekk séu fremur einsleit efni og líkur á að ryk af þessum uppsprettum væri áþekkt ósundruðu sýni að efnasamsetningu. Því voru sýni af þessum uppsprettum greind án tilraunar til rykmyndunar.

2.3 Efnagreining og útreikningur

Hver sía var vigtuð með greiningarvog með nákvæmni upp á 0,01 mg. Sýnin voru síðan leyst upp í saltpéturssýru og vetnisperoxíði með hitun í örbylgjuofni undir þrýstingi. Uppleystu sýnin voru svo frumefnagreind með plasma-massagreini. Auk frumefnagreininga var notast við endurvarpsmælingu af yfirborði síanna á nærinnrauðu bylgjusviði (Near Infrared Reflectance, NIR). Út úr mælingunum fengust alls 54 mælistærðir eða breytur. Magngreind voru 35 frumefni úr upplausnum af teflonsíunum og auk þess voru 19 breytur fengnar með endurvarpsmælingum. Niðurstöður efnagreininganna og endurvarpsmælinganna voru sett í sérstakt reiknimódel þar sem beitt er tölfræðilegri fjölbreytugreiningu við magngreiningu einstakra upprunaefna. Efnagreingarnar og líkansmíðin voru gerðar af Arngrími Thorlacius hjá Efnagreiningu ehf. Nánari lýsing á aðferðum við efnagreiningar, líkansmíði og útreikningum er að finna í viðauka 1.

NIÐURSTÖÐUR

Tekin voru samtals 25 sýni á tímabilinu 28. febrúar 2019 til 2. júní 2019. Í töflu 1 er að finna yfirlit sýnatökudaga þar sem koma fram veðuraðstæður meðan á sýnatöku stóð og meðalstyrkur svifryks á hverju sýnatöku bili sem stóð yfir í 72 tíma. Veðurupplýsingar eru fengnar frá Veðurstofu Íslands [6].

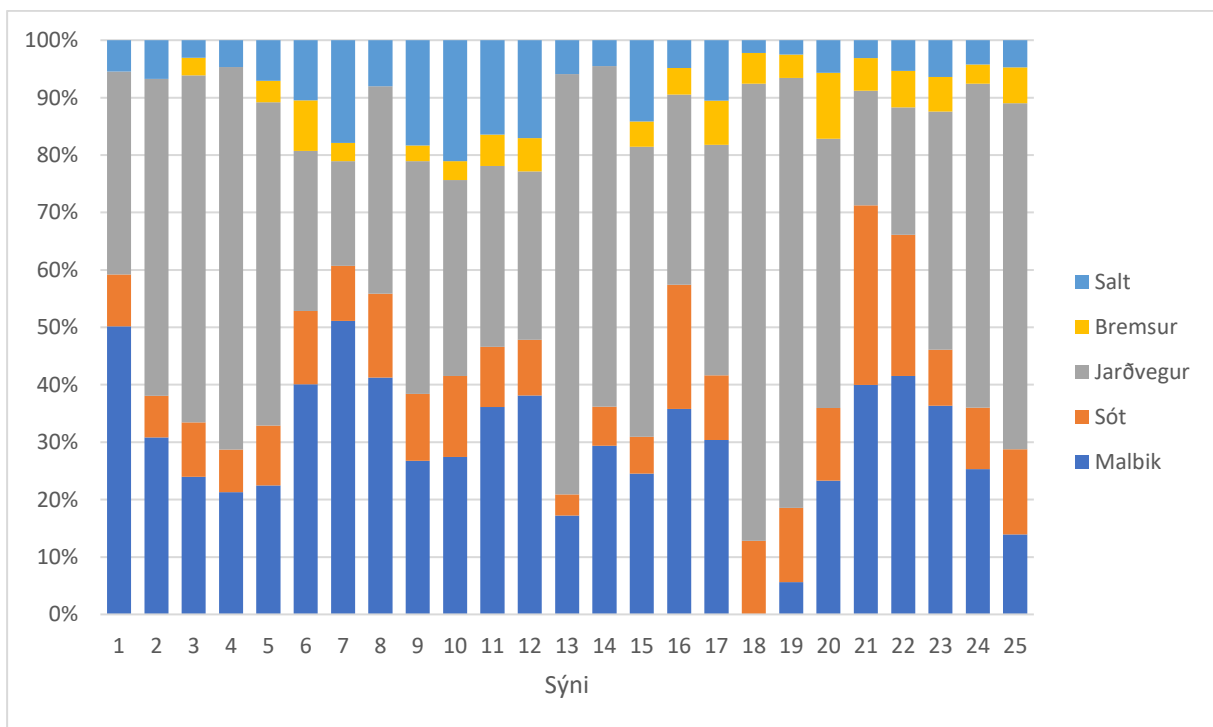
TAFLA 1 Styrkur svifryks og veðuraðstæður yfir sýnatökutímabilið á árinu 2019

Sýni	Dagsetning	Vindhraði [m/s]	Hitastig [°C]	Raki [%]	Úrkoma [mm/dag]	Svifryk PM _{2,5} [µg/m ³]
1	28.2-02.3	3,3	4,3	77,3	10,1	16,2
2	03.3-05.3	1,5	-0,1	65,0	0,0	55,7
3	06.3-08.3	4,2	-1,2	60,3	0,0	49,4
4	09.3-11.3	4,1	0,6	56,0	0,1	47,4
5	12.3-14.3	3,1	1,8	78,7	1,7	44,0
6	15.3-17.3	3,7	5,2	70,6	1,7	11,3
7	18.3-20.3	7,6	2,2	80,3	4,4	15,2
8	21.3-23.3	5,3	0,5	78,3	2,4	10,7
9	24.3-26.3	5,6	3,3	79,3	5,2	26,4
10	27.3-29.3	6,4	0,3	79,3	5,3	13,8
11	30.3-01.4	3,3	0,0	80,0	4,5	9,4
12	02.4-04.4	4,3	1,8	72,7	1,3	16,2
13	05.4-07.4	2,6	3,7	64,3	0,6	41,4
14	08.4-10.4	4,2	5,4	61,0	0,0	50,1
15	28.4-30.4	4,6	10,0	70,3	0,1	28,6
16	01.5-03.5	2,6	7,0	80,7	3,3	12,2
17	04.5-06.5	2,0	7,2	63,3	0,1	22,8
18	07.5-09.5	3,3	5,3	53,3	0,0	19,9
19	10.5-12.5	3,8	3,3	46,7	0,0	24,4
20	16.5-18.5	2,8	9,6	81,7	4,1	6,1
21	19.5-21.5	1,7	8,8	83,7	1,8	10,4
22	22.5-24.5	2,2	9,7	76,3	0,1	15,8
23	25.5-27.5	2,7	9,3	69,7	0,0	13,2
24	28.5-30.6	3,1	7,1	52,7	0,0	16,4
25	31.5-02.6	2,8	7,9	59,0	0,6	19,9

Niðurstöður útreikninga á samsetningu svifrykssýna er að finna í töflu 2 og mynd 3 sýnir hlutfallssamsetningu skilgreindra upprunaefna í súluriti. Ryk frá dekkjum greindist ekki og er því sleppt.

TAFLA 2 Samsetning einstakra svifrykssýna árið 2019

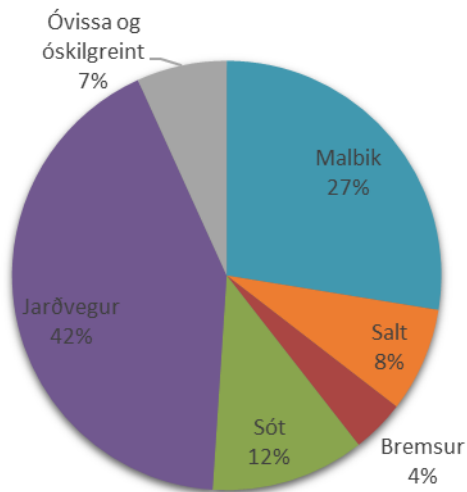
Sýni	Dagsetning	Malbik [%]	Sót [%]	Jarðvegur [%]	Bremsur [%]	Salt [%]	Óvissa og óskilgreint [%]	Svifryk PM _{2,5} [µg/m ³]
1	28.2-02.3	44	8	31	0	5	12	16,2
2	03.3-05.3	29	7	52	0	6	6	55,7
3	06.3-08.3	22	9	55	3	3	8	49,4
4	09.3-11.3	19	7	59	0	4	11	47,4
5	12.3-14.3	23	11	58	4	7	-2	44,0
6	15.3-17.3	46	15	32	10	12	-16	11,3
7	18.3-20.3	44	8	16	3	15	14	15,2
8	21.3-23.3	31	11	27	0	6	24	10,7
9	24.3-26.3	23	10	35	2	16	14	26,4
10	27.3-29.3	26	13	32	3	20	7	13,8
11	30.3-01.4	34	10	30	5	16	5	9,4
12	02.4-04.4	36	9	28	6	16	4	16,2
13	05.4-07.4	15	3	64	0	5	13	41,4
14	08.4-10.4	23	5	46	0	4	22	50,1
15	28.4-30.4	25	6	51	4	14	-1	28,6
16	01.5-03.5	36	22	33	5	5	0	12,2
17	04.5-06.5	31	11	41	8	11	-2	22,8
18	07.5-09.5	0	11	67	4	2	16	19,9
19	10.5-12.5	5	11	64	3	2	15	24,4
20	16.5-18.5	24	13	48	12	6	-3	6,1
21	19.5-21.5	42	33	21	6	3	-6	10,4
22	22.5-24.5	40	24	22	6	5	3	15,8
23	25.5-27.5	34	9	39	6	6	6	13,2
24	28.5-30.6	24	10	54	3	4	4	16,4
25	31.5-02.6	12	12	50	5	4	17	19,9
Meðaltal		27,6	11,6	42,2	4,0	7,9	6,8	23,9



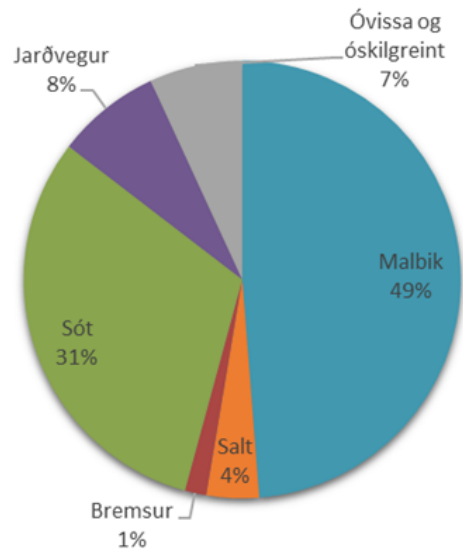
MYND 3 Hlutfall einstakra upprunaefna í greindum svifrykssýnum 2019.

UMRÆÐUR

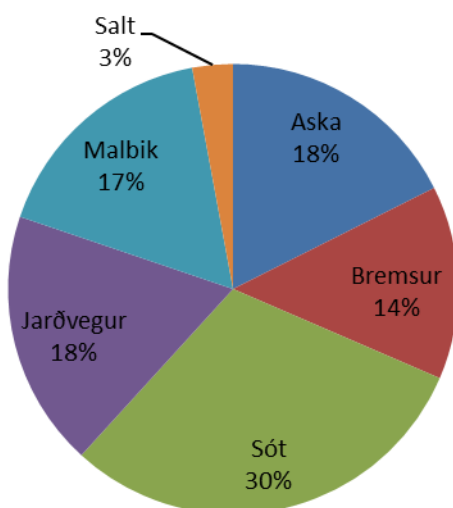
Hafa þarf í huga að niðurstöður mælinganna endurspeglar aðeins svifryksmengunina á því tímabili sem sýnataka stóð yfir þ.e. yfir vetra- og vormánuði frá lok febrúar til byrjun júní. Gera má ráð fyrir að veðuraðstæður hafi töluverð áhrif á samsetningu svifryks þar sem búast má við að hlutfall vegryks og jarðvegs sé hærra á þurrum dögum en sót og salt meira áberandi þegar úrkoma er eða snjór á jörðu. Sýnatökutímabilið náð yfir rúma þrjá mánuði þar sem bæði voru blautir og þurrir dagar. Mynd 4 sýnir meðaltalshlutföll einstakra upprunaefna og á myndum 5, 6 og 7 eru niðurstöður rannsókna sem gerðar voru árið 2003 [3], 2013 [4] og 2015 [5].



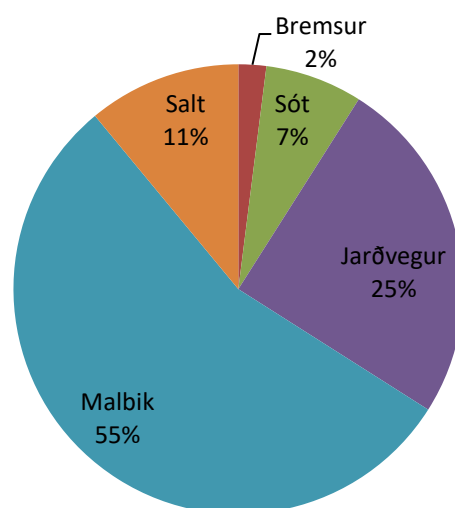
MYND 4 Samsetning svifryks vetur-vor 2019



MYND 5 Samsetning svifryks samkvæmt verkefni 2015



MYND 6 Samsetning svifryks samkvæmt verkefni 2013



MYND 7 Samsetning svifryks samkvæmt verkefni 2003

Við samanburð verkefna þarf að hafa í huga að í þessu verkefni var mælt fínt svifryk PM_{2,5} en í hinum verkefnunum var mælt gróft svifryk PM₁₀ þar sem búast má við mismunandi samsetningu eftir grófleika svifryksins. Í rannsókninni núna var notast við teflonsíur sem eru stöðugri við vigtun en kvartssíur sem notaðar voru í rannsókninni 2015. Heilt yfir gekk vel að vinna úr niðurstöðum og fengust betri líkön núna en áður hafa fengist í fyrri verkefnum. Töluverður breytileiki er á hlutfalli einstakra upprunaefna á milli sýna sem líklega skýrist af breytilegum ytri aðstæðum eins og veðuraðstæðum og umferðarþunga einstaka daga. Ekki var hægt að finna afgerandi beina fylgni á milli mæliniðurstaðna og veðurskilyrða. Í því samhengi er rétt að benda á að hvert sýni er tekið yfir 3 sólarhringa og veðuraðstæður geta verið mjög breytilegar á þeim tíma. Til að geta metið fylgni á milli hlutfalla einstakra efna og ytri aðstæðna hefði þurft að taka fleiri sýni og hvert sýni í styttri tíma.

Nokkur hluti flokkast sem „óvissa og óskilgreint“ sem stendur fyrir óvissu í mælingum og önnur efni sem ekki voru skoðuð sérstaklega. Hér ræður óvissan mestu en stundum lentu reiknuð mæligildi innan skekkjumarka en í þeim tilfellum voru gildin sett sem núll, en samt viðbúið að þar hafi eitthvað framlag átt sér stað.

Í rannsókninni núna sást engar vísbendingar um eldfjallaösku og var hún því ekki höfð með, en hún hafði mælst 18 % í rannsókninni 2013. Þetta er þó í samræmi við greiningu sem gerð var 2015, þar sem engin aska greindist og engin eldgos þar sem aska hefur borist til Reykjavíkur hafa orðið í millitíðinni frá 2013 til 2019. Askan sem myndaðist í eldgosunum í Eyjafjallajökli 2010 og Grímsvötnum 2011 virðist því ekki vera lengur til staðar í svifrykinu.

Hlutfall malbiks mældist 27,6% og er næst stærsti hluti svifryksins á eftir jarðvegi. Þetta er nokkur minnkun frá mælingunni sem gerð var 2015 en aukning miðað við mælinguna frá 2013. Erfitt er að segja nákvæmlega hvað veldur þessum mikla mismun í niðurstöðum. Skýringin á lágum styrk árið 2013 var að einhverju leiti rakin til mikils votviðris á því mælitímabili en gera má ráð fyrir að votviðri dragi sérstaklega mikið úr svifryksmyndun frá malbiki. Minnkun núna miðað við árið 2015 getur skirst af annarskonar samsetningu á fínu og grófu svifryki þannig minna sé af malbiksögnum í fína rykinu. Aðrir áhrifaþættir eins og umferðarþungi, nagladekkjanotkun og malbiksgerðir höfðu ekki breyst mikið frá 2013 og 2015. Enginn verulegur munur er á malbiksryki eftir 15. apríl þegar nagladekkjatímabilinu líkur svo ekki verður hægt að fullyrða um áhrif nagladekkja á svifryksmengunina út frá þessum gögnum. Þó bannað sé að aka á nagladekkjum eftir 15. apríl þá er ljóst að einhverjir keyra áfram á nagladekkjum fram yfir þann tíma. Einnig var nokkuð þurrviðrasamt á mælitímabilinu eftir 15. apríl þar sem búast má við meiri mengun frá hverju nagladekki og uppþyrlun af gömlu ryki, þannig að mæld heildar svifryksmengunin þarf ekki endilega að minnka þó fjöldi nagladekkja í umferð minnki. Þrátt fyrir að ýmislegt hafi verið gert til að draga úr svifryksmengun frá malbiki eins og að draga úr notkun nagladekkja og nota slitþolnara malbik, þá er hlutfall þess að mælast nokkuð hátt. Full ástæða er til að leita áfram leiða til að takmarka malbiksslit þar sem malbik inniheldur mörg heilsuspillandi efni eins og t.d. fjölhringja arómatísk kolvetrissambönd (PAH-efni).

Hlutfall jarðvegs mældist 42,2% sem er töluvert hærra en mældist í fyrri verkefnum. Svo virðist sem hlutfall fíns svifryks sé hærra í jarðvegi en mörgum öðrum uppsprettum. Einnig getur haft hér áhrif að miklar jarðvegsframkvæmdir voru í borginni á þessum tíma sem tengjast sórum framkvæmdum og

þéttingu byggðar með tilheyrandi jarðvegsframkvæmdum inni í borginni í nálægð við sýnatökustaðinn. Hér hefur veðurfar líka mikil áhrif þannig að búast má við miklum sveiflum í þessum þætti.

Svifryk frá bremsum mældist núna 4% sem er töluvert lægra en í mælingunni 2013 en hærra en í mælingunni 2015. Erfitt er að skýra þennan mun en geta ýmsar ytri aðstæður spilað inn í eins og veður og þróun í bremsubúnaði.

Hlutfall salts mældist núna um 7,9 % sem er nokkuð hærra en mældist 2013 og 2015 en lítið eitt lægra en mældist 2003. Seinni hluta mælitímabilsins þegar farið er að hlýna í veðri og söltun gatna hætt , mældist minna magn af salti í sýnunum.

Hlutfall sóts, um 11,6 %, mældist töluvert lægra en árið 2015 og 2013 en hærra ef miðað við árið 2003. Niðurstöðurnar eru á skjön við það sem búist hefði verið við þar sem sótið er samsett úr frekar fínu ryki. Erfitt er að skýra þennan mun en hugsanlega er aukið magn annarra tegunda eins og jarðvegs að lækka hlutfallið. Hlutfall eldri bíla án mengunarvarnarbúnaðar hefur eflaust minnkað töluvert frá 2015 en sótmengun frá þeim er mun meiri en frá nýjum bílum sem hafa mengunarvarnarbúnað. Við árslok 2015 var meðalaldur fólksbifreiða 12,7 ár sem þýðir að meðalbíll í umferð er framleiddur 2002-2003. Sami meðalaldur var á fólksbílaflotanum í árslok 2019 sem þýðir að meðalfólksbíll var framleiddur 2006-2007, en hins vegar er meðalaldur fólksbíla sem skráðir eru í notkun aðeins 9,86 ár, eða framleiddur 2010 [7] [8]. Mikil bæting á mengunarvarnarbúnaði átti sér stað á milli þessara ára, þar á meðal vegna innleiðingar Euro 4 mengunarstaðals árið 2006. Þó hlutfal sóts í svifryki hafi lækkað er það enn töluvert hátt. Loftbornar agnir eða svifryk er sá þáttur loftmengunar sem sýnir mesta fylgni við heilsuvandamál hvers kyns og flestir telja sótið þar eiga mikinn hlut að máli [9]. Í sótinu eru svonefnd PAH-efni þ.e. fjölhringja arómatísk kolvetnissambönd og í þeim flokki eru efni sem án efa valda krabbameinum. Mengun frá díselbifreiðum er þekkt vandamál í mörgum stórborgum og hafa nokkrar borgir nú þegar takmarkað eða hyggjast takmarka umferð díselbíla [10]. Oslóborg hefur t.d. nú þegar sett reglur um takmörkun umferðar díselbifreiða þegar loftmengun í borginni fer yfir ákveðin viðmið [11].

Mælingarnar sýna að stór hluti eða 43,2% af mældu heildar fínu svifryki (malbik 27.6%, sótt 11,6% og bremsur 4,0%) má rekja beint til bílaumferðar. Gera má ráð fyrir að þetta svifryk hafi neikvæð heilsufarslegáhrif og þá sérstaklega sótið sem inniheldur ýmis eitrefni sem getur borist langt niður í öndunarfæri. Svifryksmengun frá malbiki hefur verið þekkt lengi og lagt hefur verið í ýmsar aðgerðir til að draga úr þeirri mengun. Niðurstöður þessarar rannsóknar sýna að hlutfall malbiks í fínu svifryki er töluvert hátt og því full ástæða til að halda áfram að leita leiða til að draga úr þeirri mengun. Greinilegt er að hlutfall sóts er umtalsvert en mælist nú minna en 2013 og 2015. Á síðustu árum hafa verið gerða auknar kröfur á bílaframleiðendur varðandi minnkun á útblástursmengun bílvéla. Ekki er vitað til að gripið hafi verið til sérstakra ráðstafanna af hálfu yfirvalda hér á landi til að draga úr sótmengun að öðru leyti. Mikilvægt er að halda sótmengun í lágmarki en búast má við sótmengun fari minnkandi eftir því sem fjöldi eldri díselbifreiða án mengunarvarnarbúnaðar fækkar og fjöldi nýorkubíla vex. Erfitt er að meta að hversu miklu leyti gögn í þessari greiningu eru samanburðarhæf gögnum úr fyrri greiningum þar sem um er að ræða fínna svifryk, auk þess að aðferðafræði við mælingar og líkanagerð eru betri. Þó myndast með þessu góður samanburðarhæfur grunnur af gögnum sem hægt er að nýta til samanburðar næst þegar efnagreiningar af þessum toga eru framkvæmdar.

HEIMILDASKRÁ

- [1] Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, *Reglugerð nr. 920/2016 um brennisteinsdíoxíð, köfnunarefnisdíoxíð og köfnunarefnisoxíð, bensen, kolsýring, svifryk og blý í andrúmsloftinu, styrk ósons við yfirborð jarðar og upplýsingar til almennings.*, 2016.
- [2] Ylfa Thordarson, „Magn og uppspretta svifryks - Rannsókn á loftmengun í Reykjavík,“ Línuhönnun verkfræðistofa, Reykjavík, 2000.
- [3] Bryndís Skúladóttir, Arngrímur Thorlacius, Steinar Larssen, Guðmundur G. Bjarnason og Hermann Þórðarson, „Method for determining the composition of airborne particle pollution - Composition of particle air pollution in Reykjavik,“ IceTec - Technological Institute of Iceland, Reykjavík, 2003.
- [4] Páll Höskuldsson, *Samsetning svifryks í Reykjavík*, Reykjavík: EFLA, 2013.
- [5] Páll Höskuldsson, Arngrímur Thorlacius, *Uppruni svifryks í Reykjavík*, Reykjavík: EFLA, 2017.
- [6] G. E. Jóhannsdóttir, *Tölvupóstur frá 08. 03. 2022*, Veðurstofa Íslands.
- [7] Emil B. Karlsson, Pálmar Þorsteinsson, *Árbók bílgreina 2016 - Hagtölur um íslenskar bílgreinar*, Reykjavík: Rannsóknasetur verslunarinnar og Bílgreinasamband Íslands, 2016.
- [8] Árni Sverrir Hafsteinsson, Aron Valgeir Gunnlaugsson og Pálmar Þorsteinsson, *Árbók bílgreina 2020 - Hagtölur um íslenskar bílgreinar*, Reykjavík: Rannsóknasetur verslunarinnar og Bílgreinasambandið, 2020.

- [9] Wikipedia, „Diesel exhaust,“ [Á neti]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_exhaust. [Skoðað 26 júní 2017].
- [10] The Guardian, „Four of world's biggest cities to ban diesel cars from their centres,“ [Á neti]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2016/dec/02/four-of-worlds-biggest-cities-to-ban-diesel-cars-from-their-centres>. [Skoðað 8 Mars 2022].
- [11] Oslo kommune, „Forskrift om midlertidig trafikkregulerende tiltak ved høy luftforurensning, Oslo kommune, Oslo,“ [Á neti]. Available: <https://lovdata.no/dokument/OV/forskrift/2016-12-01-1424>. [Skoðað 8 mars 2022].

VIÐAUKI A EFNAGREININGAR, LÍKANSMÍÐI OG ÚTREIKNINGAR

Gagnasafnið

Líkönin byggjast á 54 mælistærðum eða breytum. Magngreind voru 35 frumefni úr upplausnum af teflonsíunum sem svifrykinu var safnað á. Síurnar voru leystar upp í blöndu af saltpéturssýru og flúrsýru með örbylgjuhitun undir þrýstingi. Frumefnin voru öll mæld með rafgas-massagreiningu (ICP-MS). Auk þess eru 19 breytur fengnar með endurvarpsmælingu af yfirborði síanna á nærinnrauðu bylgjusviði (Near Infrared Reflectance, NIR). NIR-róf eru mælingar endurvarps við 909 mismunandi bylgjulengdir, á bilinu 901 nm til 2604 nm. Bylgjulendirnar eru jafndreifðar á tíðnskala. Einstök mæligildi í NIR-rófi eru $\log(1/R)$ þar sem R er ljósmagn (intensity) endurvarps sem mælist við viðkomandi bylgjulengd.

Sýni

Líkanasmíðin byggist á mældum niðurstöðum fyrir 6 mismunandi ætlaðar uppsprettur svifryks í Reykjavík. Þetta eru jarðvegur (2 sýni), malbik (2 sýni), bremsufletir (1 sýni), gosaska (fínt ryk af Markarfljótsaurum), sót úr útblæstri díselbíl (1 sýni) og götusalt (1 sýni) alls 8 sýni. Svifrykssýni af uppsprettunum eru fengin með því að þyrlla upp ryki úr möluðu sýni af ætluðum uppsprettum með þrýstilofti. Loftstraumurinn ber rykið inn í haus svifrykksafnara sem tekur til sín ryk með sama hætti og við söfnun raunverulegs svifryks. Hverju uppsprettusýni er þannig safnað a.m.k. tvær teflonsíur í mismiklu magni. Magn svifryks (uppsprettusýni og svifrykksýni frá Grensásvegi) var mælt með nákvæmnisvog ($d=0,01\text{mg}$) með vigtun fyrir og eftir söfnun. Síurnar voru þurrkaðar við 70°C fyrir og eftir söfnun til að lágmarka skekkju vegna ásogaðs raka.

Formeðhöndlun NIR-gagna

Það er einkennandi fyrir NIR-róf að mælimerki eru summa framlaga frá efniviði sýnis sem mælt er. Öll lífræn efni gefa NIR-róf og mörg ólífræn einnig. Þarna ægir því mörgu saman og upplausn lítil þ.e. sjaldnast hægt að greina skýra toppa í rófum. Til viðbótar kemur svo ósértækt framlag vegna ljósdreifni (scattering), sem kemur fram sem tilfærsla bakgrunnsmerkis (fremur jöfn hækkun rófa yfir vítt bil bylgjulengda). Menn forðuðust þess vegna lengi vel þetta mælisvið við magngreiningu efna eða þar til

fram komu tölvur og reikniaðferðir (fjölbreytu-stærðfræði) til að greina í sundur framlag hinn ýmsu þátta í sýninu. NIR-mælingum fylgir svo, líkt og öðrum litrófsmælingum, mæliskekkja.

Rófin þarf því fyrst að jafna til að minnka áhrif mæliskekkjunnar. Hér var notast við svonefnda Savitsky-Golay jöfnun (smoothing) með 21-punkts glugga. Eftir það voru rófin diffrúð til að fjarlægja sem mest áhrif ljósdreifingar. Loks voru rófin leiðrétt með því að draga frá leiðrétt róf mæld af hreinni teflónsú.

NIR-róf gefur upplýsingar um margvíslegt efnainnihald og til að mæling á tiltekinni bylgjulengd sé nothæf til manganreiningar verða mælimerki fyrir mismikið magns ryks að vera í sem næst sama hlutfalli og magn ryksins. Bylgjulengdir voru valdar úr rófum af uppsprettusýnum þar sem leiðrétt mælimerki deilt með massa ryks (mg) var sem líkast fyrir sama sýni. Þetta var gert fyrir allar uppsprettur og síðan valdar úr endanlegar bylgjulengdir þar sem gott samræmi fannst fyrir allar/margar uppsprettur. Þessar bylgjulengdir, skráðar í namómetrum, má sjá í töflunni með breytunum sem notaðar voru til að reikna líkönin.

Formeðhöndlun allra gagna fyrir fjölbreytulíkon

Gögn fyrir allar breytur voru formeðhöndlaðar með miðjun (meðaltal allra mæligilda viðkomandi breytistærðar dregið frá öllum mæligildum) og normun (deilt í öll mæligildi með mismuni á hæsta og lægsta mæligildi fyrir viðkomandi breytistærð).

Líkanasmíðin

Hugbúnaðurinn reiknar líkan fyrir eina uppsprettu í senn, byggt á formeðhöndluðu safni gagna. Líkonun byggjast á höfuðþáttum (principal components) og hverju líkani fylgja upplýsingar um það hve hver höfuðþáttur skýrir stóran hluta af breytileikanum (variability). Jafnframt fylgir ráðgjöf um hve marga höfuðþætti sé ráðlegt að taka með. Með fjölgun þátta fæst betri fylgni fyrir kvörðunarsýnin (calibration set) þ.e. uppsprettunnar, en á móti kemur að mæliskekkjur og slæmar breytur fá aukið vægi. Því er mikilvægt að byggja líkon á hæfilegum fjölda höfuðþátta. Við gerð líkans má fjarlægja tiltekna breytur og/eða gefa breytum misjafnt vægi. Grunnstilling fyrir vægi allra btreytna er 1,0 en hér var notast við vægi á bilinu 0,5 til 6,0 en oftast var vægið 1,0.

Líkan fyrir tiltekna uppsprettu verður til við margendurtekinn útreikning líkansins þar sem spilað er með fjölda höfuðþátta, val breytna og vægi breytna þar til ekki verður lengra komist. Árangur mælist í mismuni á mældu og reiknuðu gildi (Root Mean Square Error, RMSE) og í fylgnistuðli, reiknuðum í öðru veldi (R^2) í okkar hugbúnaði. Þessar mælistærðir eru reiknaðar bæði fyrir uppsprettusýnin (calibration set) og raunverulegu svifrykssýnin (unknowns). Markmiðið er þá að fá sem hæst gildi fyrir fylgnistuðla (sem næst 1) og sem lægst gildi fyrir metna meðalskekkju (RMSE). Gott líkan einkennist af því að báðir þessir þættir (skekkja og fylgni) séu auk þess sem líkastir fyrir hvort tveggja uppsprettusýnin og svifrykið.

Líkan fyrir jarðveg

44 breytur, 6 höfuðþættir. RMSE: 1,94 / 3,14 (uppsprettur / svifryk) og R^2 : 0,998 / 0,995 .
Breytum hafnað: Ca, P, Fe, Nb, Sm, Ho, 1281 nm, 1302 nm, 1445 nm, 1460 nm.
Breytur með aukið vægi: K, Al, Sr, Dy, Er .

Líkan fyrir malbik

45 breytur, 5 höfuðþættir. RMSE: 2,55 / 5,03 (uppsprettur / svifryk) og R^2 : 0,997 / 0,988 .
Breytum hafnað: Ca, P, Nb, Sm.
Breytur með aukið vægi: Al, Cd, Sr, La, Ce, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, W. Al með vægið 4,0.

Líkan fyrir bremsufleti

49 breytur, 3 höfuðþættir. RMSE: 1,83 / 2,58 (uppsprettur / svifryk) og R^2 : 0,991 / 0,988 .
Breytum hafnað: Ca, P.
Breytur með aukið vægi: K, Al, Sr, Dy, Er .

Líkan fyrir gosösku

3 breytur, 3 höfuðþættir. RMSE: 1,24 / 2,30 (uppsprettur / svifryk) og R^2 : 0,999 / 0,996 .
Breytum hafnað: Ca, Mg, K, Na, Mn, Se, Co, Al, V, Ni, As, Nb, Gd, Sm, Er, W, 1281 nm-1486 nm, 1517 nm - 1572 nm, 1724 nm - 1812 nm (aðeins fjórar NIR-breytur notaðar).
Breytur með aukið vægi: Zn, Cu, Mo, Cr, Ga, Be, Cd, Sr, Sb, Ba, La, Ce, Eu, 1495 nm, 1694 nm, 1953 nm, 2013 nm. Cd með langmest vægi þ.e. 6,0 .

Líkan fyrir sót

40 breytur, 2 höfuðþættir. RMSE: 1,57 / 2,54 (uppsprettur / svifryk) og R^2 : 0,998 / 0,995 .
Breytum hafnað: Ca, K, Zn, Al, Ni, Ga, As, Sr, La, Sm, Gd, Dy, Er, 1694 nm.
Breytur með aukið vægi: Co, V, Be, Cd.

Líkan fyrir salt

8 breytur, 2 höfuðþættir. RMSE: 1,89 / 2,78 (uppsprettur / svifryk) og R^2 : 0,997 / 0,994 .
Notar breytur: Ca, P, K, Na, Fe, Mn, Zn, Cu .
Breytur með aukið vægi: Na, Fe .

Breytur notaðar við smíði líkana

Fjöldi	Jarðvegur 44	Malbik 45	Bremsufletir 49	Gosaska 23	Sót 40	Salt 8	Allar breytur 54
				P	P Mg	Ca P	Ca P Mg
	Mg K Na	Mg K Na	Mg K Na		Na Fe	K Na Fe	K Na Fe
	Mn Zn Cu Se Co Mo Al Si V Cr Ni Ga As Be Ti	Mn Zn Cu Se Co Mo Al Si V Cr Ni Ga As Be Ti	Mn Fe Mn Zn Cu Se Co Mo Al Si V Cr Ni Ga As Be Ti	Fe Zn Cu	Mn Cu Se Co Mo Si V Cr	Mn Zn Cu	Mn Zn Cu Se Co Mo Al Si V Cr Ni Ga As Be Ti
	Cd Sr Sb Ba La Ce	Cd Sr Sb Ba La Ce	Cd Sr Sb Ba La Ce	Cd Sr Sb Ba La Ce	Be Ti Nb Cd Sb Ba Ce	Be Ti Nb Cd	Be Ti Nb Cd Sr Sb Ba La Ce
	Eu Gd Dy	Eu Gd Dy Ho	Eu Gd Dy	Eu	Eu	Eu	Sm Eu Gd Dy Ho
	Er W	Er W	Er W	Dy Ho	Ho	Ho	Er W
			1281				1281
		1302	1302				1302
	1380	1380	1380				1380
	1398	1398	1398				1398
	1422	1422	1422				1422
		1445	1445				1445
		1460	1460				1460
	1486	1486	1486				1486
	1495	1495	1495	1495			1495
	1517	1517	1517				1517
	1539	1539	1539				1539
	1553	1553	1553				1553
	1566	1566	1566				1566
	1572	1572	1572				1572
	1694		1694	1694			1694
	1724	1724	1724				1724
	1812		1812				1812
	1953		1953	1953			1953
	2013		2013	2013			2013

Tækja- og hugbúnaður

Svifrykksafnafri Thermo Parisol Plus 2025 (BNA).

ICP-MS tæki: Thermo X-series II (BNA).

NIR-tæki: Arcoptix FT-NIR Rocket (Sviss).

Örgbylgjuofn: Anto Paar Multiwave Go (Austurríki)

Hugbúnaður f. fjölbreytugreiningu: Unscrambler v. 10.5 (Camo Software, Noregi)