



## UPPRUNAGREINING SVIFRYKS Á AKUREYRI

Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar 2020-21

01.06.2023





## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2970-354-SKY-001-V01

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

1 / 23

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Ólafur Sveinn Haraldsson

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Helgi Már Pálsson

### LYKILORÐ

Svifryk, Akureyri, Vegagerðin, upprunamæling, umhverfismál, loftgæði, umferð, nagladekk

### STAÐA SKÝRSLU

- Drög  
 Drög til yfirlustrar  
 Lokið

### DREIFING

- Opin  
 Dreifing með leyfi verkkaupa  
 Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Upprunagreining svifryks á Akureyri

### VERKHEITI

Svifryk á Akureyri, efnasamsetning - Rannsóknarverkefni

### VERKKAUPI

Vegagerðin

### HÖFUNDUR

Snævarr Örn Georgsson

### ÚTDRÁTTUR

Frá því í nóvember 2020 fram í júní 2021 voru tekin svifrykssýni við Strandgötu á Akureyri til að meta samsetningu svifryksins. Svifrykssýnum var safnað á teflonsíur með sérstökum svifrykssafnara sem Umhverfisstofnun lagði til. Ryksýnin voru síðan efnagreind með plasmamassagreini 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 36%
- sandur 22%
- jarðvegur 21%
- salt 18%
- bremsur 3%
- sót 1%

## ÚTGÁFUSAGA

---

| NR. | HÖFUNDUR              | DAGS.   | RÝNT                    | DAGS.  | SAMPYKKT              | DAGS.  |
|-----|-----------------------|---------|-------------------------|--------|-----------------------|--------|
| 01  | Snævarr Örn Georgsson | 27.4.23 | Helgi Már Pálsson       | 2.5.23 | Snævarr Örn Georgsson | 5.5.23 |
|     |                       |         | Páll Höskuldsson        | 3.5.23 |                       |        |
|     |                       |         | Jón Valgeir Halldórsson | 4.5.23 |                       |        |

---

## EFNISYFIRLIT

|           |                                 |    |
|-----------|---------------------------------|----|
| 1         | INNGANGUR                       | 7  |
| 1.1       | Uppruni svifryks                | 8  |
| 2         | FRAMKVÆMD SÝNATÖKU              | 10 |
| 2.1       | Upprunasýni                     | 12 |
| 3         | EFNAGREINING SÝNA               | 13 |
| 4         | NIÐURSTÖÐUR                     | 14 |
| 5         | UMRÆÐUR                         | 17 |
| 6         | HEIMILDASKRÁ                    | 19 |
| VIÐAUKI A | GREINARGERÐ EFNAGREININGAR EHF. | 20 |

## MYNDASKRÁ

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>MYND 1.1</b> | Akureyri á fallegum vetrardegi. Þá er því miður stundum hætt við háum svifrykstoppum ef aðstæður eru réttar. _____             | 7  |
| <b>MYND 2.1</b> | Sýnatakinn við Strandgötu. Sýnatakinn er hægra megin í búrinu og loftgæðamælir UST er vinstra megin. _____                     | 10 |
| <b>MYND 2.2</b> | Staðsetning sýnatakans á Akureyri merkt með rauðri stjörnu við Strandgötu. Mynd: Kortasjá Akureyrarbæjar/Loftmyndir ehf. _____ | 11 |
| <b>MYND 2.3</b> | Dæmi um sýnatöku á upprunasýnum. Jarðvegshaugar á Glerárdal (t.v.) og hálfuvarnarefni Akureyrarbæjar (t.h.). _____             | 12 |
| <b>MYND 4.1</b> | Hlutfall einstakra upprunaefna í greindum svifrykssýnum á Akureyri veturinn 2020-21. _____                                     | 16 |
| <b>MYND 4.2</b> | Heildarmagn efna í hverju efnagreindu sýni. _____  | 16 |
| <b>MYND 5.1</b> | Meðaltalshlutföll einstakra upprunaefna í svifryki á Akureyri veturinn 2020-21. _____  | 17 |

## TÖFLUSKRÁ

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>TAFLA 4.1</b> | Veðuraðstæður yfir sýnatökutímabilið og magn ryks á hverri síu. Litakvarðinn sýnir hvaða síur söfnuðu mestu (rautt) og minnstu (grænt) svifryki. _____ | 14 |
| <b>TAFLA 4.2</b> | Samsetning einstakra svifrykssýna á Akureyri veturinn 2020-21. _____   | 15 |

## 1 INNGANGUR

Undanfarin ár hefur svifryk verið til vandræða á Akureyri og reglulega mælist styrkur þess yfir þeim hámarksgildum sem tiltekin eru í reglugerð. Þessi há styrkur svifrykstoppa hefur valdið áhyggjum og kallað eftir viðbrögðum til að bregðast við og draga út svifryksmengun. Til að aðgerðir séu sem árangursríkastar er mikilvægt að vita hvaðan svifrykið er að koma svo hægt sé að grípa til aðgerða gegn uppsprettu þess.

Í þeim tilgangi fékk verkfræðistofan EFLA rannsóknarstyrk frá Vegagerðinni til að safna sýnum af svifryki og greina innihaldsefni þess svo hægt væri að leggja mat á uppruna þess. Akureyrarbær og Norðurorka styrkja einnig verkefnið.

EFLA hefur áður unnið sambærilegt verkefni þegar uppruni svifryks var greindur í Reykjavík árin 2013, 2015 og 2019. Þau verkefni voru líka rannsóknarverkefni fyrir Vegagerðina.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.



**MYND 1.1** Akureyri á fallegum vetrardegi. Þá er því miður stundum hætt við háum svifrykstoppum ef aðstæður eru réttar.

Uppruni svifryks getur verið af ýmsum toga, bæði náttúrlegum og af mannavöldum. 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 ómengdu lofti. Samkvæmt reglugerðinni má meðaltalssólarhringsstyrkur fyrir svifryk vera hæstur 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  fyrir PM10 og 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  fyrir PM2,5. Svifryki er gjarnan skipt í tvo flokka sem oft eru mældir sérstaklega þ.e. fínt svifryk (PM2,5) sem er minna en 2,5 míkrometrar ( $\mu\text{m}$ ) og gróft svifryk (PM10) sem er minna en 10  $\mu\text{m}$ . 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.

PM10 svifryk er mælt á Akureyri í mælistöð við Strandgötu, andspænis Hofi menningarhúsi, ásamt því að mæla styrk  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  og skrásetja veðurfarsupplýsingar. Mæliniðurstöður eru birtar jafnóðum á vefsíðu Umhverfisstofnunar, [www.loftgaedi.is](http://www.loftgaedi.is).

## 1.1 Uppruni svifryks

Uppruni svifryksins getur verið af ýmsum toga en gerðar hafa verið fimm 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 þess að um helmingur alls svifryks í Reykjavík kæmi frá umferðinni og stór áhrifapáttur 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. Svifryki 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 meggi 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 síðan 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 jókst 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 kvarssiur 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%, sótt 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 byggingaframkvæmda á höfuðborgarsvæðinu á þessum tíma. Einnig er áberandi að sambærilega hátt hlutfall sóts mældist árin 2015 og 2013.

Árið 2019 vann EFLA verkfræðistofa í samvinnu við Arngrím Thorlacius rannsóknarverkefnið „Efnasamsetning fíns svifryks í Reykjavík“ [6]. Svifrykssýnum (fínu svifryki PM 2,5) var safnað á teflonsiur með sérstökum svifrykssafnara. Ryksýnin voru síðan efnagreind með plasma-massagreini og gerðar á þeim endurvarpsmælingar. Eftirfarandi niðurstöður fengust: Malbik 27,6%, sótt 11,6%, jarðvegur 42,3%, bremsur 4,0% og salt 7,9%.

Þó að niðurstöður þessa rannsókna gefi ákveðna hugmynd um uppruna svifryks þá eru aðstæður í Reykjavík mjög frábrugðnar þeim á Akureyri, sérstaklega hvað varðar umferðarpunga, umferðarhraða, veðurfar og tilhögun hálkuvana. Nýjasta rannsóknin í Reykjavík einblíndi svo á PM2,5 og það er því ekki hægt að heimfæra þessar niðurstöður upp á Akureyri, því var talið áhugavert að gera sérstaka rannsókn þar.

## 2 FRAMKVÆMD SÝNATÖKU

Sýnataka á svifryki fór fram með hléum á Akureyri frá nóvember 2020 og fram í júní 2021. Við verkefnið var notaður sérstakur sýnataka til svifrykksýnatöku að gerðinni Thermo Scientific Partisol-Plus 2025. Sýnatakinn, sem er færánlegur, er í eigu Umhverfisstofnunar sem lánaði hann í verkefnið.

Notaðar voru teflonsíur við sýnatökuna og voru sýni tekin yfir 3 sólarhringa á hverja síu en með því eru meiri líkur að fá sem flest efni mæld ofan greiningarmarka heldur en ef sýnatökutíminn hefði verið styttri. Almennt er horft á sólarhringsgildi þegar mengunarálag er skoðað, en hér beinist áhuginn einvörðungu að efnasamsetningunni. Alls voru tekin sýni á 30 síur, samtals í 90 sólarhringa á fyrrnefndu tímabili.



**MYND 2.1** Sýnatakinn við Strandgötu. Sýnatakinn er hægra megin í búrinu og loftgæðamælir UST er vinstra megin.

Sýnatakinn var staðsettur í sama búri og loftgæðamælir Umhverfisstofnunar við Strandgötu gegnt Hofi og sáu starfsmenn Akureyrarbæjar um að koma honum fyrir. Starfsmaður EFLU sá svo um meðhöndlun á síum og framkvæmd sýnatöku. Við uppsetningu sýnatakans var miðað við að hafa loftinntakið í svipaðri hæð og jafn langt frá götunni og loftinntakið á loftgæðamæli Umhverfisstofnunar svo það væri hægt að bera saman niðurstöður úr báðum mælitækjum. Sýnatakinn var nálægt gatnamótum Strandgötu við Glerárgötu, en Glerárgata er hluti af Þjóðvegi 1 sem fer gegnum Akureyri og umferðarþyngsta gata bæjarins. Samkvæmt umferðatölum Vegagerðarinnar er árdagsumferð Glerárgötu við gatnamót Strandgötu um 10.000 ökutæki [7].



## 2.1 Upprunasýni

Til að geta metið mögulegan uppruna svifryks þurfti að taka samanburðarsýni í hugsanlegum uppsprettum á og við Akureyri. Á rannsóknarstofu Efnagreiningar ehf. voru þegar til samanburðarsýni af sóti úr útblæstri díselbíls, bremsuflötum og götusalti. Því var safnað staðbundnum upprunasýnum sem væru líkleg til að hafa merkjanlegt framlag til svifryks á Akureyri og voru það einkum malbik, jarðvegssýni og háلكuvarnarefni. Jarðvegssýni voru tekin á stöðum þar sem vindur hefur greiðan aðgang að lausu jarðefni á yfirborði og ríkjandi vindáttir eiga möguleika á að bera svifryk til Akureyrar.

- Jarðvegssýni voru tekin úr efnishaugum á gamla urðunarsvæðinu í Glerárdal ofan bæjarins.
- Jarðvegssýni voru tekin af torfærusvæði Bílklúbbs Akureyrar í Hlíðarfjalli.
- Jarðvegssýni voru tekin í opnum húsagrunnum í Hagahverfi, en á sýnatökutíma var mikið um lausan jarðveg á því svæði.
- Sandsýni var tekið af framburði á bökkum Eyjafjarðarár skammt norðan Hrafnagils.
- Sýni voru tekin af háلكuvarnarefni Akureyrarbæjar sem er borið á götur (saltblandaður óþveginn sandur).
- Sýni voru tekin af háلكuvarnarefni Isavia sem borið er á Akureyrarflugvöll (þveginn sandur).
- Sýni voru tekin af malbiki á Strandgötu sunnan við sýnatökustaðinn.



**MYND 2.3** Dæmi um sýnatöku á upprunasýnum. Jarðvegshaugar á Glerárdal (t.v.) og háلكuvarnarefni Akureyrarbæjar (t.h.).

### 3 EFNAGREINING SÝNA

Að sýnatöku lokinni voru sýnin send til Efnagreiningar ehf. á Akranesi, þar sem þau voru greind af Arngrími Thorlacius, og sett inn í líkön til að meta líklegan uppruna þeirra. Líkönin byggjast á 48 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 13 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 tíðniskala. Mæligildin eru hliðstæð ljósgleypni (absorbance) þ.e. þau eru í beinu hlutfalli við styrk efnis. Magn svifryks á síum (uppsprettusýni og svifrykksýni) var mælt með nákvæmnisvog ( $d=0,01\text{mg}$ ) fyrir og eftir söfnun. Síurnar voru þurrkaðar við  $60^\circ\text{C}$  fyrir og eftir söfnun til að lágmarka skekkju vegna ásogaðs raka.

Eftirfarandi breytur (styrkir frumefna og endurvarpsgildi fyrir NIR-bylgjulengdir) voru notaðar við smíði líkana:

- Frumefni: Ca, Mg, K Na, P, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, Al, Li, Be, Ti, Cr, Ni, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Nd, Eu, Ho, Tm, W, Tl,
- Endurvarpsgildi: 2232 nm, 2140 nm, 1947 nm, 1935 nm, 1860 nm, 1825 nm, 1788 nm, 1778 nm, 1743 nm, 1734 nm, 1719 nm, 1678 nm, 1669 nm.

Sérstakur hugbúnaður var síðan notaður við gerð líkans sem reiknar út líkurnar á uppruna efna miðað við þau upprunasýni sem búið er að mæla til samanburðar. Ekki voru allar síur sem notaðar voru við sýnatöku nothæfar þar sem uppsafnað svifryk var ekki nægjanlegt til að mismunandi efni væru greinanleg. Sýni sem vigtuðust undir 0,7 mg voru ekki tekin með í líkanasmíðina. Alls voru 19 af 30 síum notaðar. Nánar er hægt að lesa um virkni hugbúnaðarins og líkansins og fræðin þar á bak við í greinargerð Efnagreiningar ehf. sem fylgir með í viðauka A.

## 4 NIÐURSTÖÐUR

Áður en farið er yfir niðurstöður er rétt að hafa í huga að þessi aðferð byggir á líkanareikningum og skilar því ekki hárnákvæmum raunniðurstöðum. Hún gefur þó góða hugmynd um samsetningu svifryks og uppruna þess sem er mjög gagnlegt og nýtist í þeirri vegferð að draga úr svifryki. Einnig er rétt að benda á að þrjú upprunasýni voru mjög lík innbyrðis, þ.e. sandur, jarðvegur og malbik. Sérstaklega er erfitt að greina á milli sands og jarðvegs sökum þess hve stór hluti háلكuvarnarefna á götum Akureyrar er óþveginn sandur sem inniheldur talsvert af fínum jarðefnum.

Alls voru tekin sýni á 30 síur frá því í nóvember 2020 og fram í júní 2021 og mældist ryk á 27 þeirra. Þrjár síur (nr. 6, 7 og 8) um miðjan desember 2020 voru ónothæfar sökum þess að mjög mikil úrkoma var á þeim tíma sem að batt allt svifryk. Átta síur til viðbótar reyndust síðan með það lítið rykmagn að ekki var hægt að nota það í efnagreiningar.

**TAFLA 4.1** Veðuraðstæður yfir sýnatökutímabilið og magn ryks á hverri síu. Litakvarðinn sýnir hvaða síur söfnuðu mestu (rautt) og minnstu (grænt) svifryki.

| SÝNI | DAGS.       | HITASTIG [C°] | ÚRKOMA [mm/dag] | VINDHRAÐI [m/s] | RYK Á SÍU [mg] |
|------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1    | 18.11-20.11 | -4,6          | 0,6             | 2,2             | 2,81           |
| 2    | 21.11-23.11 | -2,0          | 5,0             | 2,8             | 0,49           |
| 3    | 24.11-26.11 | 0,3           | 2,4             | 3,4             | 0,67           |
| 4    | 27.11-29.11 | 1,7           | 0,4             | 3,4             | 1,13           |
| 5    | 30.11-2.12  | 0,6           | 2,7             | 8,1             | 0,45           |
| 6    | 10.12-12.12 | 4,4           | 7,0             | 2,1             | ómarktækt      |
| 7    | 16.12-18.12 | 2,3           | 17,5            | 3,4             | Ómarktækt      |
| 8    | 19.12-21.12 | 0,6           | 9,1             | 5,0             | ómarktækt      |
| 9    | 22.12-24.12 | -2,2          | 0,1             | 2,9             | 1,02           |
| 10   | 25.12-27.12 | 1,1           | 5,2             | 5,2             | 2,25           |
| 11   | 28.12-30.12 | -4,3          | 3,8             | 3,3             | 0,56           |
| 12   | 31.12-2.1   | -3,5          | 0,0             | 2,2             | 0,66           |
| 13   | 3.1-5.1     | 5,2           | 0,0             | 3,9             | 3,53           |
| 14   | 6.1-8.1     | -2,4          | 0,5             | 3,9             | 0,95           |
| 15   | 9.1-11.1    | -6,8          | 2,2             | 2,9             | 0,43           |
| 16   | 13.4-15.4   | 7,9           | 0,0             | 3,7             | 2,70           |
| 17   | 16.4-18.4   | 6,6           | 2,3             | 3,4             | 2,06           |
| 18   | 19.4-21.4   | 4,4           | 0,0             | 2,2             | 2,24           |
| 19   | 22.4-24.4   | 6,9           | 0,0             | 1,5             | 1,80           |
| 20   | 25.4-27.4   | 4,2           | 0,7             | 3,0             | 1,02           |
| 21   | 11.5-13.5   | 3,5           | 0,0             | 2,1             | 0,96           |
| 22   | 14.5-16.5   | 3,7           | 0,0             | 2,1             | 0,84           |
| 23   | 17.5-19.5   | 2,4           | 0,0             | 2,3             | 0,80           |
| 24   | 20.5-22.5   | 3,4           | 0,0             | 2,5             | 0,42           |
| 25   | 23.5-25.5   | 6,5           | 4,1             | 2,4             | 0,90           |
| 26   | 26.5-28.5   | 12,7          | 0,0             | 2,9             | 1,93           |
| 27   | 29.5-31.5   | 11,6          | 0,0             | 4,5             | 1,25           |
| 28   | 1.6-3.6     | 9,9           | 0,6             | 2,7             | 0,80           |
| 29   | 4.6-6.6     | 12,5          | 0,4             | 2,2             | 0,50           |
| 30   | 7.6-9.6     | 10,4          | 0,5             | 2,5             | 1,00           |

Upplýsingar um veðurfar í töflu 4.1 fengust úr daglegu yfirliti Veðurstofu Íslands[8] og eru meðaltalsgildi yfir þrjá sólarhringa. Það geta því hafa verið mjög mismunandi skilyrði innan þess tíma en þetta gefur engu að síður ágæta hugmynd um aðstæður hverju sinni fyrir hverja síu.

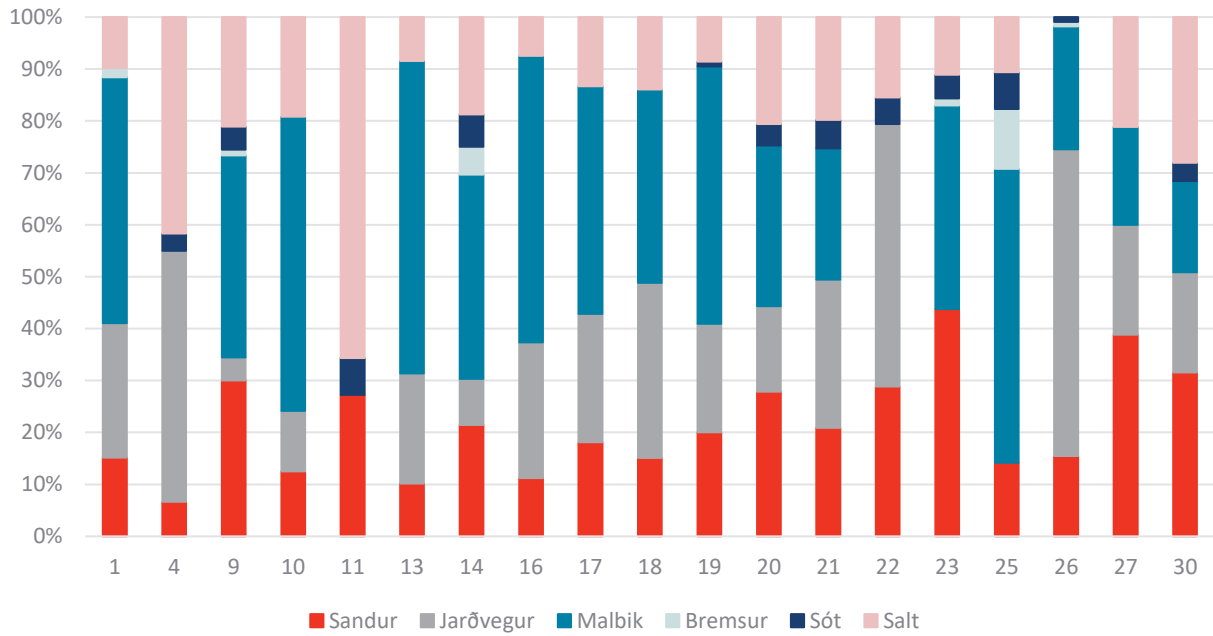
Niðurstöðurnar sem að líkan Efnagreiningar ehf. skilaði um samsetningu upprunaefna í ryksýnum eru eftirfarandi:

**TAFLA 4.2** Samsetning einstakra svifrykssýna á Akureyri veturinn 2020-21.

| SÝNI | DAGS.       | SANDUR [%] | JARÐVEGUR [%] | MALBIK [%] | BREMSUR [%] | SÓT [%] | SALT [%] | ÓVISSA OG ÓSKILGREINT [%] |
|------|-------------|------------|---------------|------------|-------------|---------|----------|---------------------------|
| 1    | 18.11-20.11 | 17         | 29            | 53         | 2           | 0       | 11       | -12                       |
| 2    | 21.11-23.11 |            |               |            |             |         |          |                           |
| 3    | 24.11-26.11 |            |               |            |             |         |          |                           |
| 4    | 27.11-29.11 | 4          | 29            | 0          | 0           | 2       | 25       | 40                        |
| 5    | 30.11-2.12  |            |               |            |             |         |          |                           |
| 6    | 10.12-12.12 |            |               |            |             |         |          |                           |
| 7    | 16.12-18.12 |            |               |            |             |         |          |                           |
| 8    | 19.12-21.12 |            |               |            |             |         |          |                           |
| 9    | 22.12-24.12 | 27         | 4             | 35         | 1           | 4       | 19       | 10                        |
| 10   | 25.12-27.12 | 15         | 14            | 68         | 0           | 0       | 23       | -20                       |
| 11   | 28.12-30.12 | 27         | 0             | 0          | 0           | 7       | 65       | 1                         |
| 12   | 31.12-2.1   |            |               |            |             |         |          |                           |
| 13   | 3.1-5.1     | 12         | 25            | 71         | 0           | 0       | 10       | -18                       |
| 14   | 6.1-8.1     | 24         | 10            | 44         | 6           | 7       | 21       | -12                       |
| 15   | 9.1-11.1    |            |               |            |             |         |          |                           |
| 16   | 13.4-15.4   | 12         | 28            | 59         | 0           | 0       | 8        | -7                        |
| 17   | 16.4-18.4   | 19         | 26            | 46         | 0           | 0       | 14       | -5                        |
| 18   | 19.4-21.4   | 13         | 29            | 32         | 0           | 0       | 12       | 14                        |
| 19   | 22.4-24.4   | 21         | 22            | 52         | 0           | 1       | 9        | -5                        |
| 20   | 25.4-27.4   | 27         | 16            | 30         | 0           | 4       | 20       | 3                         |
| 21   | 11.5-13.5   | 19         | 26            | 23         | 0           | 5       | 18       | 9                         |
| 22   | 14.5-16.5   | 28         | 49            | 0          | 0           | 5       | 15       | 3                         |
| 23   | 17.5-19.5   | 67         | 0             | 60         | 2           | 7       | 17       | -53                       |
| 24   | 20.5-22.5   |            |               |            |             |         |          |                           |
| 25   | 23.5-25.5   | 16         | 0             | 64         | 13          | 8       | 12       | -13                       |
| 26   | 26.5-28.5   | 17         | 65            | 26         | 1           | 1       | 0        | -10                       |
| 27   | 29.5-31.5   | 33         | 18            | 16         | 0           | 0       | 18       | 15                        |
| 28   | 1.6-3.6     |            |               |            |             |         |          |                           |
| 29   | 4.6-6.6     |            |               |            |             |         |          |                           |
| 30   | 7.6-9.6     | 18         | 11            | 10         | 0           | 2       | 16       | 43                        |

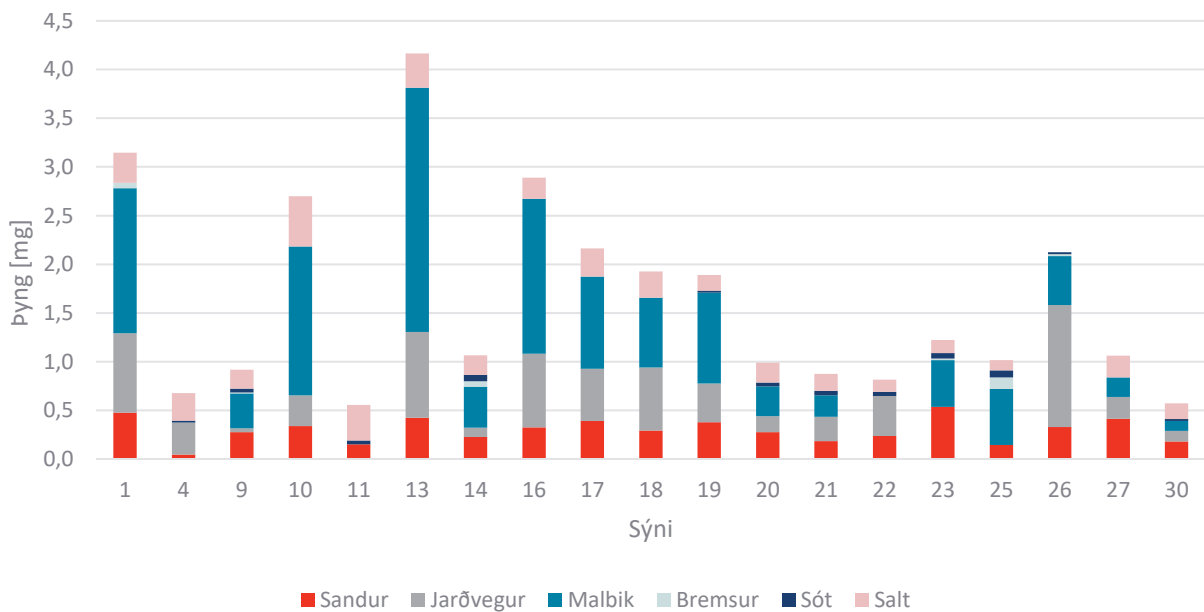
Á næstu blaðsíðu má svo sjá hlutfallssamsetningu skilgreindra upprunaefna í súluriti.

### Hlutfall upprunaefna í sýnum



MYND 4.1 Hlutfall einstakra upprunaefna í greindum svifrykksýnum á Akureyri veturinn 2020-21.

### Heildarmagn efna í sýnum

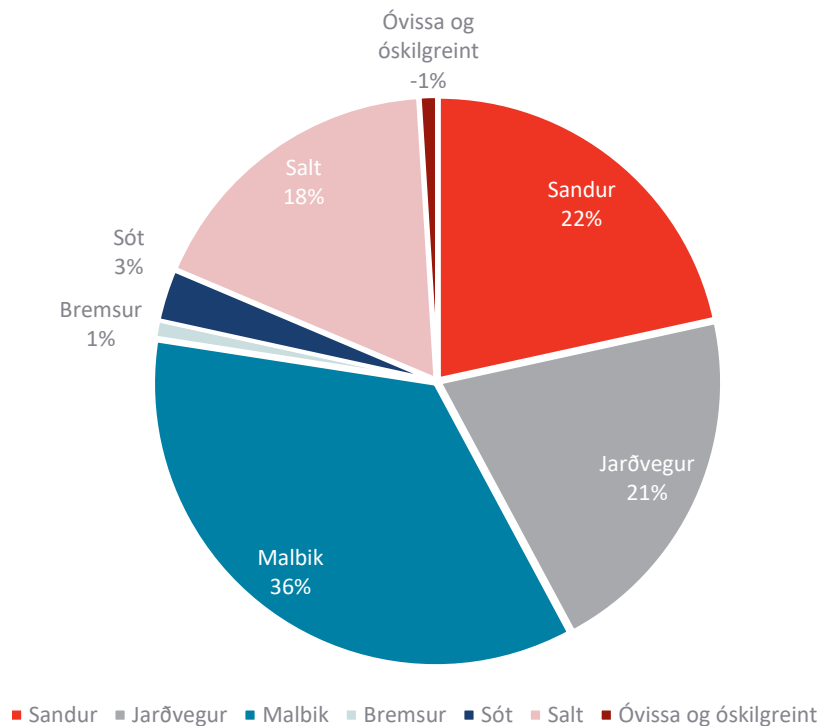


MYND 4.2 Heildarmagn efna í hverju efnagreindu sýni.



## 5 UMRÆÐUR

Hafa þarf í huga að niðurstöður mælinganna endurspeгла aðeins svifryksmengunina á því tímabili sem sýnataka stóð yfir þ.e. yfir vetra- og vormánuði frá nóvember 2020 fram í byrjun júní 2021. 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 náði yfir nokkurra mánaða tímabil þar sem bæði voru blautir og þurrir dagar, auð jörð og snjóþekja, slabb á götum o.s.frv. Mynd 4 sýnir meðaltalshlutföll einstakra upprunaefna.



**MYND 5.1** Meðaltalshlutföll einstakra upprunaefna í svifryki á Akureyri veturinn 2020-21.

Stærsta einstaka upprunaefnið var malbik, um 36%. Hlutfall malbiks í sýnum sveiflaðist nokkuð en var almennt minnst í lok sýnatökutímabilsins í lok maí og byrjun júní þegar svo til öll ökutæki eru komin á sumardekk, en maí 2020 var kaldur framan af og nokkuð um næturfrost í mánuðinum sem gæti hafa lengt nagladekkjatímabilið á Akureyri. Það er því líklegt er að nagladekkjanotkun eigi merkjanlegan þátt í því malbiksslitu sem að býr til hjólför í götum og framkallar um þriðjung svifryks á Akureyri. Full ástæða er til að leita leiða til að takmarka malbiksslit þar sem malbik inniheldur mörg heilsuspillandi efni eins og t.d. fjölhringja arómatísk kolvetnissambönd (PAH-efni).

Sandur (22)% og jarðvegur (21%) mynda samanlagt um 43% af svifryki á Akureyri og ekki var hægt að greina mismunandi uppsprettur þar sem þær eru mjög líkar hvor annarri. Líklegt má þó telja að hálkvarnarefni sem dreift er á göturnar sé stærsti hluti þessara efna þar sem hæstu svifrykstoppur eiga sér stað þegar götur þorna eftir blaut tímabil eða frostakafli. Gott dæmi um það er sýni 13 frá því 3.-5. janúar 2021, en það er sú sía sem safnaði mestu ryki. Dagana á undan hafði verið frost og fallett vetrarveður og ryk bundið í snjó og klaka. Þann 2. janúar byrjaði að hvesa úr suðri og hitinn fór hækkandi með deginum og byrjaði verulega að hlána. Það var þó ekki fyrr en að göturnar náðu að þorna daginn eftir að mikið svifryk fór að myndast. Utanaðkomandi jarðefnaryk er án efa til staðar, en ryk af götum bæjarins virðist vera ráðandi þáttur.

Hátt hlutfall salts í svifryki veður strax athygli en til samanburðar hefur salthlutfall í fjórum sambærilegum rannsóknum í Reykjavík verið 11%, 8%, 4% og 3%. Það er því mjög líklegt að hér gæti áhrifa sjávarseltu, en í sterkum norðan- og sunnanáttum er líklegt að sjávarsalt berist yfir Oddeyrina og þar með Strandgötu þar sem sýnatakin var staðsettur. Salthlutfall hélst nokkuð stöðugt út allan sýnatökutímamann, en magn salts í hverri síu minnkaði nokkuð eftir miðjan apríl samhliða minnkun svifryks. Ef sjórinn væri eina uppspretta salts þá ætti magn þess að haldast stöðugra sökum ótakmarkaðs framboðs í sjónum en sú er ekki raunin. Hluti saltsins kemur því líklega annarsstaðar frá og líklega má tengja það við hálkvarnarefni sem dreift er á götur bæjarins, en erfitt er að greina á milli þess og sjávarsalts.

Hlutfall upprunaefna sem má tengja beint við bílana sjálfa, sót frá díselbílum (3%) og bremsuagnir (1%), er mjög lítið og mun minna en í sambærilegum rannsóknum í Reykjavík. Minni umferðarþungi og lítill umferðarhraði spilar þar líklega stóran þátt. Staðbundnar aðstæður gætu einnig átt hlut að máli, mælirinn er á opnu svæði við sjóinn þar sem útblástur frá bílum dreifist vel og þynnist líklega fljótt út í stað þess að skermast af byggingum eða gróðri á þann hátt að styrkur haldist lengur eða magnist upp.

Niðurstöður voru almennt nokkuð frábrugðnar fyrri sambærilegum rannsóknarverkefnum í Reykjavík. Hlutur salts var áberandi hærrí en það má að öllu líkindum tengja beint við nálægð við sjó. Hlutfall sóts og bremsuagna var á móti mun lægri en það markast af töluvert minni umferðarþunga og hraða á Akureyri. Mun meira greindist af jarðvegi í svifryki á Akureyri og skýrist það að stærstum hluta með mismunandi hálkvarnaraðferðum milli Akureyrar og Reykjavíkur. Malbik var 36% á Akureyri en í fyrri rannsóknum í Reykjavík hefur það mælst á bilinu 17-55%, sem sýnir vel breytileika niðurstaða eftir aðstæðum hverju sinni og hve varlega þarf að fara í að draga ályktanir út frá einni stakri rannsókn.

Töluverður breytileiki er á hlutfalli einstakra upprunaefna á milli sýna sem líklega skýrist af breytilegum ytri aðstæðum eins og veðurskilyrðum og umferðarþunga einstaka daga. Ekki var hægt að finna afgerandi beina fylgni á milli mæliniðurstöðu og veðurskilyrða. Í því samhengi er rétt að benda á að hvert sýni er tekið yfir 3 sólarhringa og veðurskilyrði 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. Alls má þó tengja um 40% af svifryki á Akureyri beint við bílaumferð (malbik 36%, sót 3% og bremsur 1%). Hálkvarnarefni á götum bæjarins, sem er annar veigamikill þáttur svifryks, er svo óbein afleiðing bílaumferðar.

## 6 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 Reykjavík,“ 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] Páll Höskuldsson og Arngrímur Thorlacius, „Efnasamsetning fíns svifryks í Reykjavík,“ EFLA, Reykjavík, 2022.
- [7] Vegagerðin, „Umferð og slysatíðni,“ [Á neti]. Available: <https://umferd.vegagerdin.is/>. [Skoðað 25 apríl 2023].
- [8] Veðurstofa Íslands, „Daglegt yfirlit veðurs á Akureyri,“ [Á neti]. Available: <https://www.vedur.is/vedur/vedurfar/daglegt/akureyri/>. [Skoðað 27 apríl 2023].

## VIÐAUKI A GREINARGERÐ EFNAGREININGAR EHF.

### Fjölbreytulíkön með PLS-aðferð (Partial Least Squares Regression)

#### Gagnasafnið

Líkönin byggjast á 48 mælistærðum eða breytum. Magngreind voru 35 frumefni úr upplausnum af teflonsíunum sem svifrykinu var safnað á. Síurnar voru leystar upp í blöndu af saltþéturssýru og flúrsýru með örbylgjuhitun undir þrýstingi. Frumefnin voru öll mæld með rafgas-massagreiningu (ICP-MS). Auk þess eru 13 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. Bylgjulengdirnar eru jafndreifðar á tíðniskala. Einstök endurvarpsgildi (reflectance) í NIR-rófi eru  $\log(1/R)$  þar sem R er ljósmagn (intensity) endurvarps sem mælist við viðkomandi bylgjulengd. Mæligildin eru hliðstæð ljósgleypni (absorbance) þ.e. þau eru í beinu hlutfalli við styrk efnis.

#### Sýni

Líkanasmíðin byggist á mældum niðurstöðum fyrir 6 mismunandi ætlaðar uppsprettur svifryks á Akureyri. Þetta eru jarðvegur (3 sýni), sandur (3 sýni), malbik (2 sýni), bremsufletir (1 sýni), sót úr útblæstri díselbíls (1 sýni) og götusalt (1 sýni) alls 11 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. Svifryki var safnað við gatnamót Glerárgötu og Strandgötu, 3 daga í senn. Við vöktun er algengt að safna sólarhringssýnum, en hér er safnað í lengri tíma til að fá fleiri marktæk gildi úr efnagreiningum (til að forðast að fjöldi sýna mælist með styrki undir greiningarmörkum).

Magn svifryks (uppsprettusýni og svifrykksýni) var mælt með nákvæmnisvog ( $d=0,01\text{mg}$ ) með vigtun fyrir og eftir söfnun. Síurnar voru þurrkaðar við  $60^\circ\text{C}$  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.

NIR-róf gefur upplýsingar um margvíslegt efnainnihald og til að mæling á tiltekinni bylgjulengd sé nothæf til magngreiningar 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 nanómetrum, má sjá í töflunni með breytunum sem notaðar voru til að reikna líkönin.

### Formeðhöndlun allra gagna fyrir fjölbreytulíkön

Gögn fyrir allar breytur voru formeðhöndlaðar með miðjun (meðaltal allra mæligilda viðkomandi breytistærðar dregið frá öllum mæligildum) og skölun (deilt í öll mæligildi með fjarlægð á milli fjórðungsskila, interquartile range).

### Mæligögn

Eftirfarandi breytur (styrkir frumefna og endurvarpsgildi fyrir NIR-bylgjulengdir) voru notaðar við smíði líkana:

Ca, Mg, K Na, P, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, Al, Li, Be, Ti, Cr, Ni, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Nd, Eu, Ho, Tm, W, Tl, 2232 nm, 2140 nm, 1947 nm, 1935 nm, 1860 nm, 1825 nm, 1788 nm, 1778 nm, 1743 nm, 1734 nm, 1719 nm, 1678 nm, 1669 nm.

## Líkanasmíðin

Hugbúnaðurinn reiknar líkan fyrir eina uppsprettu í senn, byggt á formeðhöndluðu safni gagna. Líkönin 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 líkön á hæfilegum fjölda höfuðþátta. Við gerð líkans má fjarlægja tiltekna breytur og/eða gefa breytum misjafnt vægi. Grunnstilling fyrir vægi allra breytna er 1,0 en hér var notast við vægi á bilinu 0,1 til 3,5 en oftast var vægið 1,0. Gildið 0,1 var notað í stað þess að kasta breytu út úr safninu því þannig er einfaldara að taka breytu með aftur, ef þess gerist þörf.

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.

Eins og minnst var á hér að ofan þá eykst hlutfallsleg mæliskekkja eftir því sem minna magn er leyst upp og efnagreint. Hér voru sýni sem vigtuðust undir 0,7 mg ekki tekin með í líkanasmíðina.

## Tækja- og hugbúnaður

Svifrykksafnari Thermo Parisol Plus 2025 (BNA).

ICP-MS tæki: Thermo iCAP RQ (BNA).

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

Örgbylgjuofn: Anton Paar Multiwave Go (Austurríki)

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

Niðurstöður úr líkönum

Fyrst ber að benda á að niðurstöðurnar eru spágildi úr líkönum og eðlilega eru niðurstöður með allmikla skekkju. Gert er eitt líkan fyrir hverja uppsprettu og spágildið gefur áætlað hlutfall viðkomandi uppsprettu í tilteknu sýni, mælt í massaprósentu. Samanlagðar massaprósentur allra uppsprettna fyrir tiltekið sýni er þá ákveðinn mælikvarði á áreiðanleika aðferðarfræðinnar.

Þetta viðfangsefni var sérlega krefjandi sökum þess hve líkar þrjár uppsprettanna voru innbyrðis þ.e. jarðvegur, sandur og malbik. Þetta má glögg sjá í niðurstöðunum. Líkan fyrir tiltekna uppsprettu ætti að gefa viðkomandi uppsprettu gildi sem næst 100%. 56 af þeim 19 sýnum sem tekin voru með í líkanagerðina sýndu stærra frávik en +/- 20% frá 100% heildarmagni. Áðurgreindar þrjár uppsprettur sýndu stærst frávik frá því og þær gáfu allar marktæk framlög til líkana fyrir hinar tvær. Jarðvegur og malbik gáfu í nokkrum tilvikum stór neikvæð gildi, sem gefur til kynna að viðkomandi sýni hafi reiknast illa í líkaninu. Þessi tilvik fara í stórum dráttum saman við slæma útkomu fyrir heildarmagnið.

| Sample* | Sand | Soil | Asphalt | Brakes | Soot | Salt | Total |
|---------|------|------|---------|--------|------|------|-------|
|         | %    | %    | %       | %      | %    | %    |       |
| Sand    | 79   | 13   | 4       | 1      | 0    | 12   | 110   |
| Soil    | 10   | 65   | 7       | 0      | 1    | -5   | 77    |
| Asphalt | 14   | 34   | 84      | 3      | -2   | 0    | 134   |
| Brakes  | 0    | -1   | 2       | 99     | 0    | 1    | 102   |
| Salt    | 2    | 2    | -2      | -4     | 0    | 95   | 94    |
| Soot    | 0    | -2   | -1      | 1      | 100  | -7   | 91    |
| 609     | 17   | 29   | 53      | 2      | -1   | 11   | 112   |
| 613     | 4    | 29   | -6      | -2     | 2    | 25   | 52    |
| 617     | 12   | 25   | 71      | -1     | -2   | 10   | 115   |
| 618     | 24   | 10   | 44      | 6      | 7    | 21   | 112   |
| 619     | 27   | -6   | -32     | 0      | 7    | 65   | 61    |
| 622     | 15   | 14   | 68      | -2     | -2   | 23   | 116   |
| 623     | 27   | 4    | 35      | 1      | 4    | 19   | 90    |
| 625     | 19   | 26   | 23      | -2     | 5    | 18   | 89    |
| 626     | 19   | 26   | 46      | -1     | -2   | 14   | 102   |
| 627     | 16   | -2   | 64      | 13     | 8    | 12   | 111   |
| 628     | 12   | 28   | 59      | 0      | -2   | 8    | 105   |
| 630     | 17   | 65   | 26      | 1      | 1    | -5   | 105   |
| 632     | 27   | 16   | 30      | 0      | 4    | 20   | 97    |
| 633     | 33   | 18   | 16      | 0      | 0    | 18   | 86    |
| 634     | 28   | 49   | -15     | 0      | 5    | 15   | 82    |
| 637     | 67   | -23  | 60      | 2      | 7    | 17   | 130   |
| 638     | 13   | 29   | 32      | -1     | -1   | 12   | 85    |
| 639     | 21   | 22   | 52      | 0      | 1    | 9    | 105   |
| 640     | 18   | 11   | 10      | 0      | 2    | 16   | 57    |
| Average | 22   | 19   | 33      | 1      | 2    | 17   | 95    |