

# Måling av NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> i vegtunnelar

Alternative tiltak mot svevestøv i Rogfast

STATENS VEGVESENS RAPPORTAR

Nr. 390



## Tittel

Måling av NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> i vegtunnelar

## Undertittel

Alternative tiltak mot svevestøv i Rogfast

## Forfattar

Gunnar Lotsberg

## Avdeling

Ressursavdelinga

## Seksjon

Prosjekteringsseksjonen

## Prosjektnummer

305489

## Rapportnummer

Nr. 390

## Prosjektleder

Gunnar Söderholm

## Godkjent av

Torill Felde

## Emneord

Tunnel, ventilasjon, luftkvalitet, utsleppsfaktorer, vegstøv, svevestøv, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>

## Samandrag

Formålet med denne rapporten er å gje eit sikkert grunnlag for planlegging av ventilasjonsanlegg i lange tunnelar.

Målingar i fleire tunnelar i 2016 viser at konsentrasjonen av NO<sub>2</sub> har endra seg lite dei ti siste åra. Dei viktigaste årsakene er overgang frå bensin til dieseldrift for personbilar og redusert NO<sub>x</sub>-utslepp frå tunge køyretøy.

Strengare utsleppskrav for nye bilar vil gje ein gradvis reduksjon av NO<sub>2</sub>-utslepp i åra framover. Vi reknar med at innan 2025 vil svevestøv bli den største utfordringa for ventilasjon av lange tunnelar.

Registrering av PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> viser at vegstøv frå asfaltslitasje er den dominerende kjelda til svevestøv. Nye tiltak må vurderast for å redusere produksjon og resirkulering av sand og støv i tunnelar.

## Title

Measurement of NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in road tunnels

## Subtitle

Alternative measures against particulate matter in Rogfast

## Author

Gunnar Lotsberg

## Department

Ressursavdelinga

## Section

Detailed Design Section

## Project number

305489

## Report number

No. 390

## Project manager

Gunnar Söderholm

## Approved by

Torill Felde

## Key words

Tunnel, ventilation, air quality, emission factors, road dust, particulate matter, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>

## Summary

The purpose of this report is to provide a reliable basis for design of ventilation in long tunnels.

Measurements in several tunnels shows little change of NO<sub>2</sub> concentration in the past decade. Increased use of diesel fuel for private cars and reduced NO<sub>x</sub> emissions from heavy vehicles are the main reasons.

Stricter emission requirements for new cars will result in a gradual reduction of NO<sub>2</sub> emissions in the coming years. We expect that particulate matter will be the biggest challenge for ventilation of long tunnels by 2025.

Registration of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> show that road dust from pavement wear is the predominant source of particulate matter. New measures must be assessed in order to reduce the production and resuspension of fine sand and dust particles in tunnels.

## Ord og uttrykk

Ab 11	Forkorting for <i>Asfaltbetong</i> (11 står for største steindimensjon som går gjennom 11,2 mm sikt. Standard siktdimensjonar: 4, 8, 11,2, 16 og 22 mm).
ABS 16	Forkorting for: <i>Asfaltbetong med steinrikt tilslag</i> . ABS er ein svensk, varm, verksblanda, tett og slitesterk asfaltbetong som er velegna på vegar med stor piggdekkslitasje
NEDC	Forkorting for <i>New European Driving Cycle</i> . Standard EU-test som blir brukt ved kontroll av CO <sub>2</sub> og NO <sub>x</sub> .
NEDC hot	Start av køyresyklus med varm motor.
NO <sub>x</sub>	Forkorting for ei blanding av minst to nitrøse gassar. Dei to dominerande nitrøse gassane i tunnellufta er NO (nitrogenoksid) og NO <sub>2</sub> (nitrogen-dioksid).
PAH	Forkorting for <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i> . I Noreg er det utarbeidd klassegrenser for dei 16 mest skadelege PAH-variantane i sediment og vatn. Grenseverdiane baserer seg på kunnskap om toksisitet av dei ulike stoffa og kva som er akseptabel eksponering for miljøet..
PCB	Forkorting for <i>Polychlorinated biphenyl</i> . Dette er ei gruppe stabile industri-kjemikaliar som vart utvikla på 1920-talet. I dag er det er forbod mot bruk av PCB på grunn av mange negative effektar for helse- og miljø. PCB finst i en del gamle produkt.
PM	Forkorting for <i>Particulate matter</i> . Sjå <i>svevestøv</i> .
PM <sub>10</sub>	<i>Svevestøv</i> med partikkeldiameter 0 - 10 mikrometer (10 µm = 0,010 mm).
PM <sub>2,5</sub>	<i>Svevestøv</i> med partikkeldiameter 0 - 2,5 µm (0,0025 mm).
Porfyr	Vulkansk bergart som blir brukt som <i>tilslag</i> ved produksjon av slitesterke vegdekke som til dømes ABS 16. Dalaporfyr eller Älvdalsporfyr kjem frå vulkanske formasjonar i norra Dalarna og södra Härjedalen i Sverige.
PPM	Forkorting for <i>Parts per million</i> . Eit gassvolum på 1,0 liter i eit volum på 1,0 m <sup>3</sup> svarar til ein gasskonsentrasjon på 1000 ppm (=1,0 promille).
SEM	Forkorting for <i>Scanning electron microscope</i>
SPS	Forkorting for <i>Spesifikk Piggdekk Slitasje</i> . SPS er definert som gram bortsliten asfalt pr. km veg pr. passering av ein personbil som har piggdekk på fire hjul. Ved 50 % piggdekkandel i 50 % av året, blir teoretisk piggdekkslitasje 25 % av SPS.
Ska 16	Forkorting for <i>Sjelettasfalt</i> som er ein norsk asfaltbetong med steinrikt <i>tilslag</i> . I hb. N200 Vegbygging blir <i>Ska 16</i> tilrådd brukt på veg utanfor tettbygde strom når <i>ÅDT</i> er over 5000.
Svevestøv	Samlenamn for partiklar som er så lette at dei opptrer som ein gass i luft, og er så små at dei er inhalerbare og kan være helseskadelege.
Tilslag	Samlenamn på steinmaterialane som blir brukte i asfalt og betong
ÅDT	Forkorting for <i>Årsdøgntrafikk</i> som er total trafikkmengde gjennom eit heilt år dividert på 365 (366 i skotår).

## Innhold

1	Forord .....	6
2	Bakgrunn .....	7
2.1	Dieselmotor og NO <sub>2</sub> -utslepp .....	7
2.2	Utslepp av sot og produksjon av vegstøv .....	13
3	Samandrag og konklusjon .....	14
4	Klassifisering av støv og slam (TA-2553/2009) .....	17
5	Eldre rapportar om slam, støv, tunnelvask og NO <sub>x</sub> .....	18
6	Slitasje av vegdekke, bildekk og bremsar .....	24
7	Sideareal og lagringsplass for sand og støv .....	30
8	Rutinar for reinhald av tunnelar .....	32
9	Måling og analyse av gass, støv og slam i Region vest i 2016 .....	34
9.1	Rv. 55 Stedjeberg tunnelen .....	35
9.1.1	Trafikk, ventilasjon og luftkvalitet .....	35
9.1.2	Temperatur, nedbør og støvnivå (PM 2,5 og PM10) .....	37
9.2	Rv. 5 Fodnestunnelen .....	39
9.2.1	Trafikk, ventilasjon og luftkvalitet .....	39
9.2.2	Temperatur, nedbør og støvnivå (PM2,5 og PM10) .....	48
9.3	E16 Lærdalstunnelen .....	50
9.3.1	Endring av volumforhold NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> frå 2007 til 2016 .....	50
9.3.2	Utrekning av nye emisjonsverdiar for NO <sub>2</sub> og NO .....	55
9.3.3	Volumandel NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> i juli 2016 (ferietrafikk) .....	57
9.3.4	Støv- og slamproduksjon i Lærdalstunnelen .....	63
9.4	E16 Gudvangatunnelen .....	66
9.4.1	Trafikk, ventilasjon og luftkvalitet .....	67
9.4.2	Utrekning av emisjonsverdi for NO <sub>2</sub> frå personbilar .....	70
9.4.3	Støvnivå (PM2,5 og PM10) ca. 10 km frå Gudvangen .....	73
9.5	E39 Byhaugtunnelen i Stavanger .....	75
9.5.1	Styring og drift av ventilasjonsanlegget i Byhaugtunnelen .....	75
9.5.2	CO-konsentrasjon, siktmåling og ventilasjon .....	77
9.5.3	Måling av gjennomsnittleg trekk med heliumballongar .....	83
9.5.4	Støvnivå (PM2,5 og PM10) utanfor nordre tunnelportal (Tasta) .....	83
9.6	Rv. 47 Karmøy tunnelen .....	89
9.6.1	Trafikktal mai – juni 2016 .....	89
9.6.2	Ventilasjon og NO <sub>x</sub> -konsentrasjon .....	90
9.6.3	Støvnivå (PM2,5 og PM10) .....	94

9.6.4	Botnsediment i slam- og oljekummar .....	101
9.6.5	Analysar av støv og slam frå januar/februar 2016 .....	103
9.6.6	Samanlikning av støvfraksjonar vinter og sommar .....	109
9.6.7	Bruk av såpe ved tunnelvask .....	111
9.6.8	Vassmengder ved heilvask .....	111
10	Prognoser for dekkelitasje og slammengder i Rogfast .....	112
10.1	Dekkeslitasje.....	112
10.2	Temperatur og støvproduksjon.....	112
10.3	Sedimentering av slam .....	113
10.4	Olje- og slamavskiljing .....	114
11	Alternative tiltak mot svevestøv i Rogfast.....	116
11.1	Vegdekke med stor slitasjemotstand .....	116
11.1.1	Krav til asfaltdekke .....	116
11.1.2	Krav til betongdekke.....	118
11.2	Sideareal og støvlagring .....	119
11.2.1	Geometrisk utforming .....	119
11.2.2	Vassrenne med utnytting av lekkasjevatnet .....	121
11.2.3	Sandfeller ved sjaktene i Rogfast .....	121
11.3	Støvsuging med robot .....	122
11.4	Vinterfartsgrense.....	123
11.5	Fast ventilasjonsretning ved tovegstrafikk.....	123
12	Oppsummering og konklusjon .....	124
12.1	Stigningsfaktorar for NOx-emisjon .....	124
12.2	Utvikling av NOx-emisjon .....	125
12.3	Dimensjonerande NO <sub>2</sub> -nivå i Rogfast.....	126
12.4	Svevestøv og slam: Frå avfall til ressurs? .....	129
12.5	Tiltak mot svevestøv i Rogfast, vidare arbeid.....	130
13	Referansar: .....	131

## Vedlegg

1. Notat om innsamling av støv- og slamprøver
2. Notat frå NIVA og Teknova (15.11.2016)
3. Tabellar med analyseresultat
4. SEM-analyser
5. Micro Ultra, sikkerhetsdatablad
6. TK 730 Clean Extra Kraftvask, sikkerhetsdatablad

## 1 Forord

Etter at katalysatoren vart standardutstyr på nye personbilar med bensinmotor i 1992, vart det registrert gradvis mindre CO og bly i tunnelluft og støv. Seinare har partikkelfilter og ny teknologi for NO<sub>2</sub>-reinsing, langt på veg fjerna utslepp av synleg røyk frå tungtrafikken. Ventilasjonsbehovet i den 24,5 km lange Lærdalstunnelen er derfor vesentleg mindre i dag enn det som vart lagt til grunn ved prosjekteringa for over 20 år sidan.

Frå 1.1.2007 vart slagvolum erstatta av CO<sub>2</sub>-utslepp ved utrekning av eingongsavgift ved kjøp av personbilar. Dette gav eit kraftig prisfall på bilar med dieselmotor og stor overgang frå bensin til dieseldrift frå 2007 til 2016. Dei siste åra har fleire uavhengige kontrollar av nye personbilar med dieselmotor, avslørt til dels store avvik mellom utsleppskrav og faktisk utslepp av NO<sub>2</sub>. Det er naturleg å stille spørsmål om dette kan få konsekvensar for ventilasjonsbehov og energibruk i lange tunnelar.

Målet med denne rapporten er å samle eksisterande kunnskap og gje eit sikrere grunnlag for dimensjonering av nye ventilasjonsanlegg. Målingar av luftkvaliteten over mange år, viser effekten av ny motorteknologi og endra fordeling mellom bensin og dieseldrift. Dette er nyttig kunnskap når det skal lagast prognoser for utviklinga etter 2025. I denne rapporten er det lagt mest vekt på NO<sub>2</sub>, svevestøv og slam frå tunnelvask. Analyse av vaskevatt vart kutta ut for å spare kostnader og fordi miljøproblema med vaskevatt er godt dokumenterte i Norwat-prosjektet (2012-2015), rapport nr. 619 (2016) og fleire eldre rapportar.

Mange ressurspersonar i Statens vegvesen har vore med på innsamling av data og gjeve gode råd og nyttige tilbakemeldingar i samband med kvalitetssikring av rapporten. Stor takk til alle! Stor takk også til Carl Levin som tok ut støv- og slamprøver av svært jamn kvalitet i Karmøytunnelen og koordinerte analysearbeidet i lag med Sissel Brit Rannekleiv (NIVA) og Hege Indrelied (Teknova).

Kjemiske analysar av metall og PAH i støv og slam vart utført av Eurofins Environment Testing Norway AS (Moss).

Analyse av partikkelfordeling vart utført med lasergranulometri ved Universitetet i Reading (London).

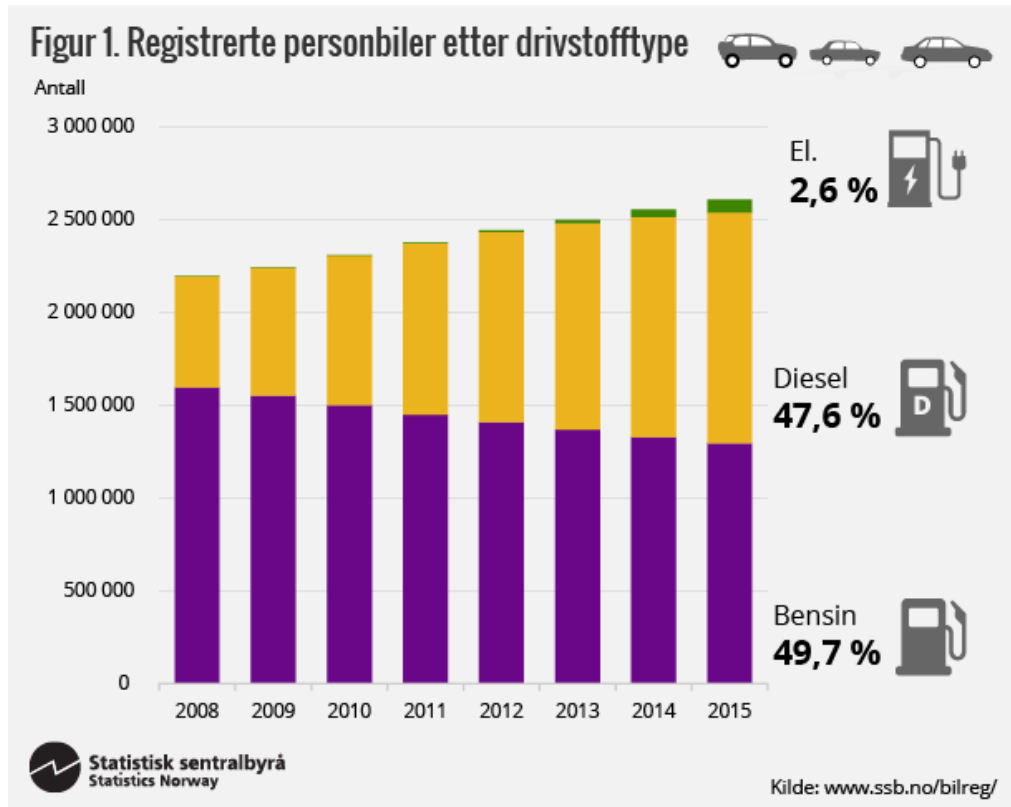
Kartlegging av ulike hydrokarbonar og karbonbindingar vart utført med pyrolyseteknikk ved Deltares (Delft, Nederland).

Mikroskopskanning og røntgenspektroskopi vart utført av laboratoriet til Elkem AS (Kristiansand).

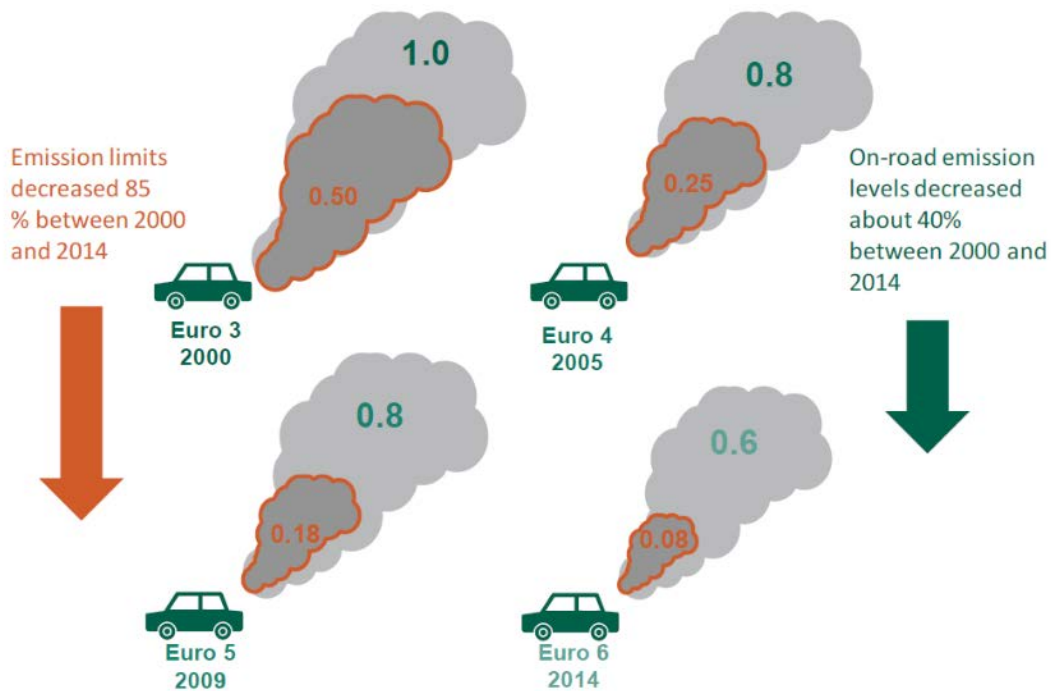
Støvmåling i tunnelane vart utført med utstyr frå Hugo Tillquist AB. Utstyret vart plassert ut og sett i drift av Mesta AS i samarbeid med fylkesavdelingane i Statens vegvesen Region vest

## 2 Bakgrunn

### 2.1 Dieselmotor og NO<sub>2</sub>-utslepp

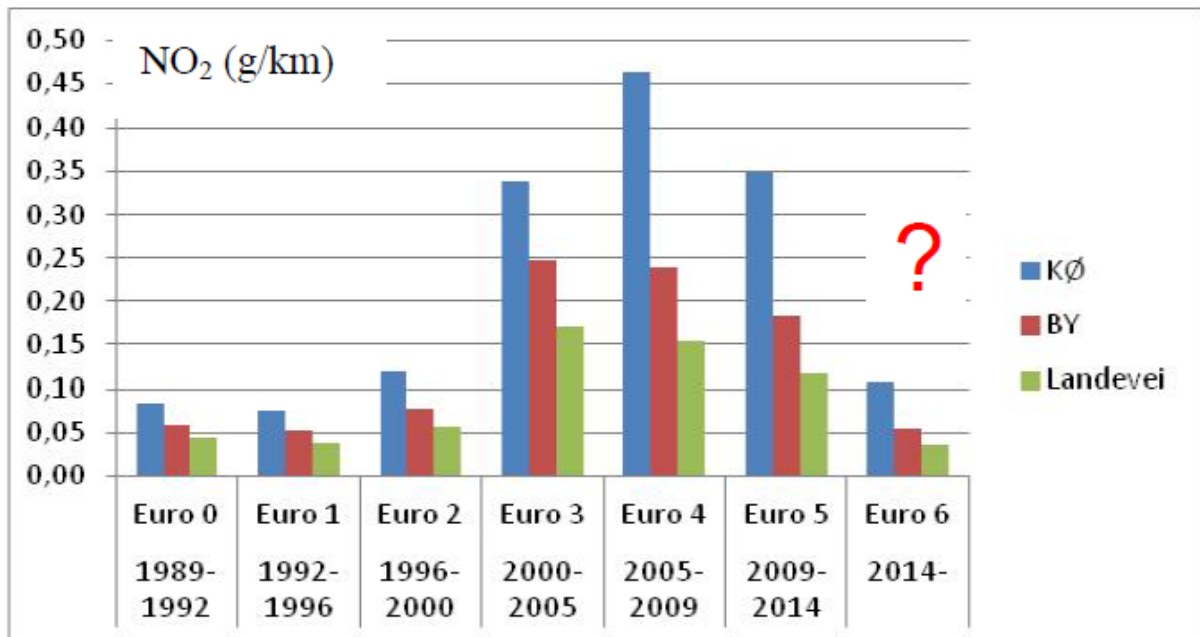


Figur 1: Det har vore stor auke i personbilar med dieseldrift etter omlegginga av bilavgiftene i 2007

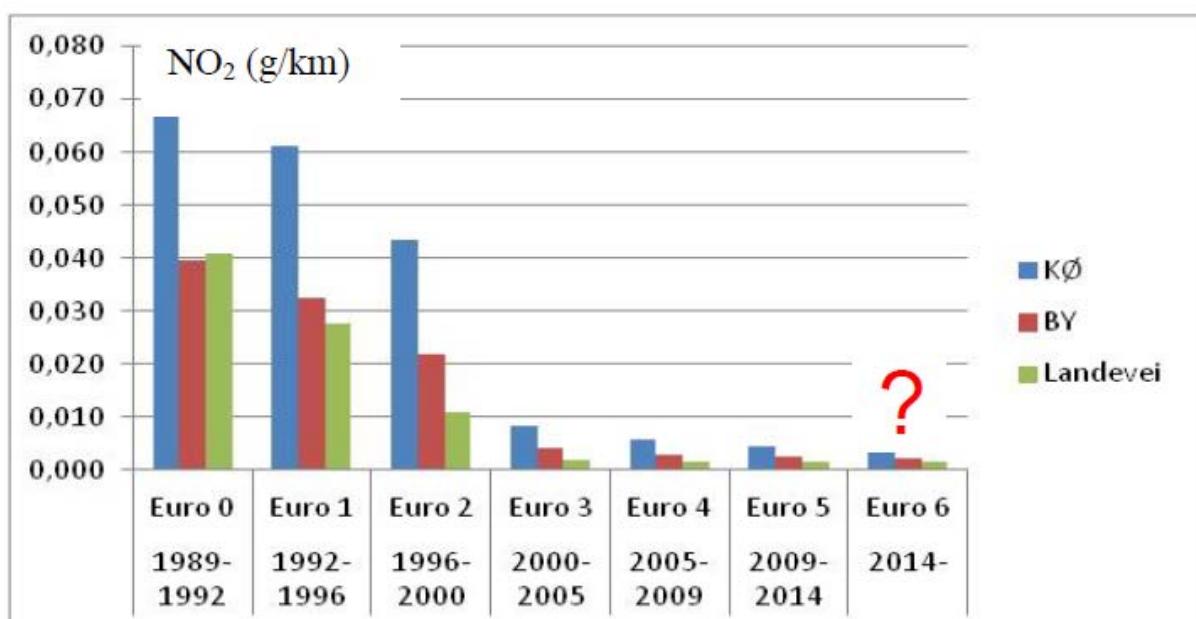


Figur 2: Samanlikning av grenseverdier for NO<sub>x</sub> (µg/km) og målt utslepp frå personbilar med dieselmotor ([www.gov.uk](http://www.gov.uk))

Overgangen fra bensin til diesel vart større enn venta ved oppdatering av hb. 021 (N500) i 2010. Utskifting av 15 – 20 år gamle personbilar med bensinmotor med nye og ofte større bilar med dieseldrift, gav dermed gradvis større NO<sub>2</sub>-utslepp frå 2007 til 2016. I 2015 vart det utført nye avgassmålingar i Tyskland, Frankrike og England som viste at mange bilar har langt større NO<sub>x</sub>-utslepp i trafikken enn ved typegodkjenning der bilane blir testa etter ein standard køyresyklus, *New European Driving Cycle* (NEDC). Figur 2 viser at det er store avvik mellom grenseverdiar og faktisk utslepp av NO<sub>x</sub> frå personbilar med dieselmotor. Figur 5 viser eksempel på mange store avvik mellom laboratoriemålingar og faktisk utslepp av NO<sub>2</sub> ved testing i trafikken.



Figur 3: Utvikling i utsleppskrav for NO<sub>2</sub> frå nye personbilar med dieselmotor. Kjelde: TØI/HBEFA (2011)



Figur 4: Utvikling i utsleppskrav for NO<sub>2</sub> frå nye personbilar med bensinmotor. Kjelde: TØI/HBEFA (2011)



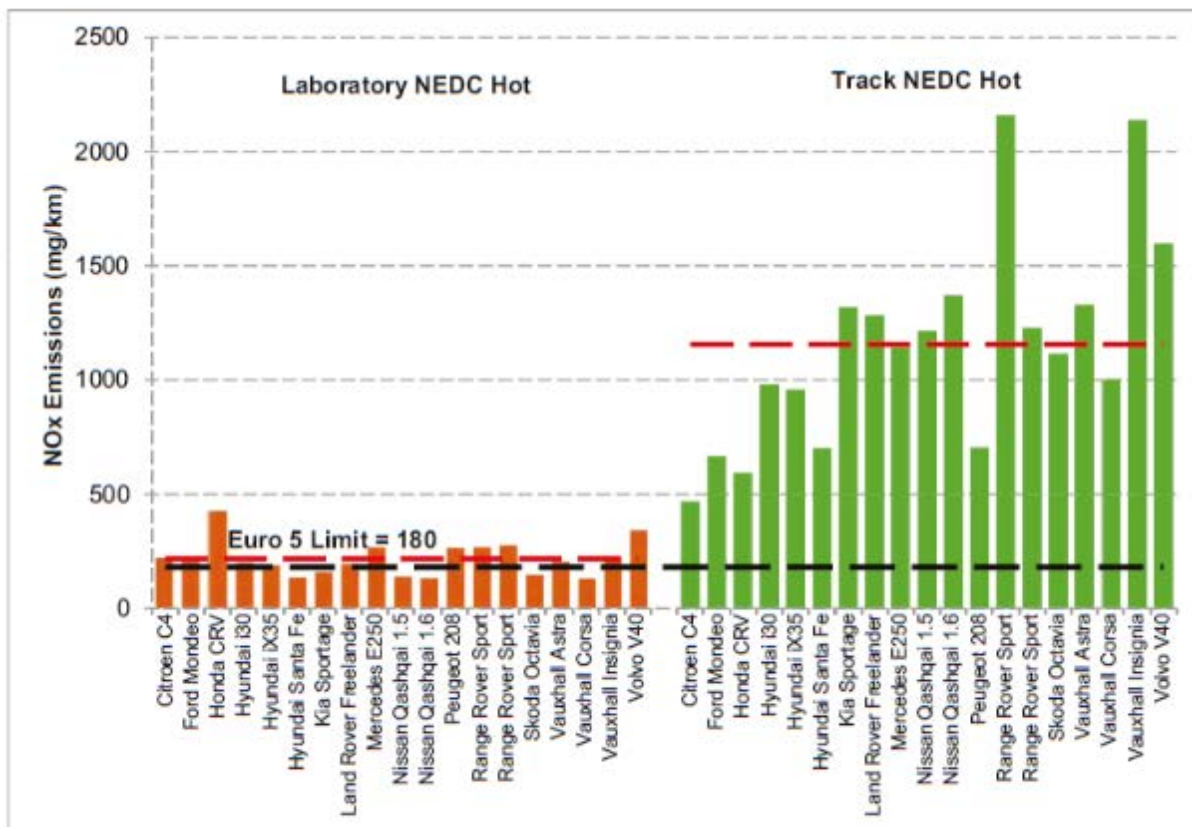


Figure D-3 Laboratory NEDC hot versus track NEDC hot - Euro 5 vehicles

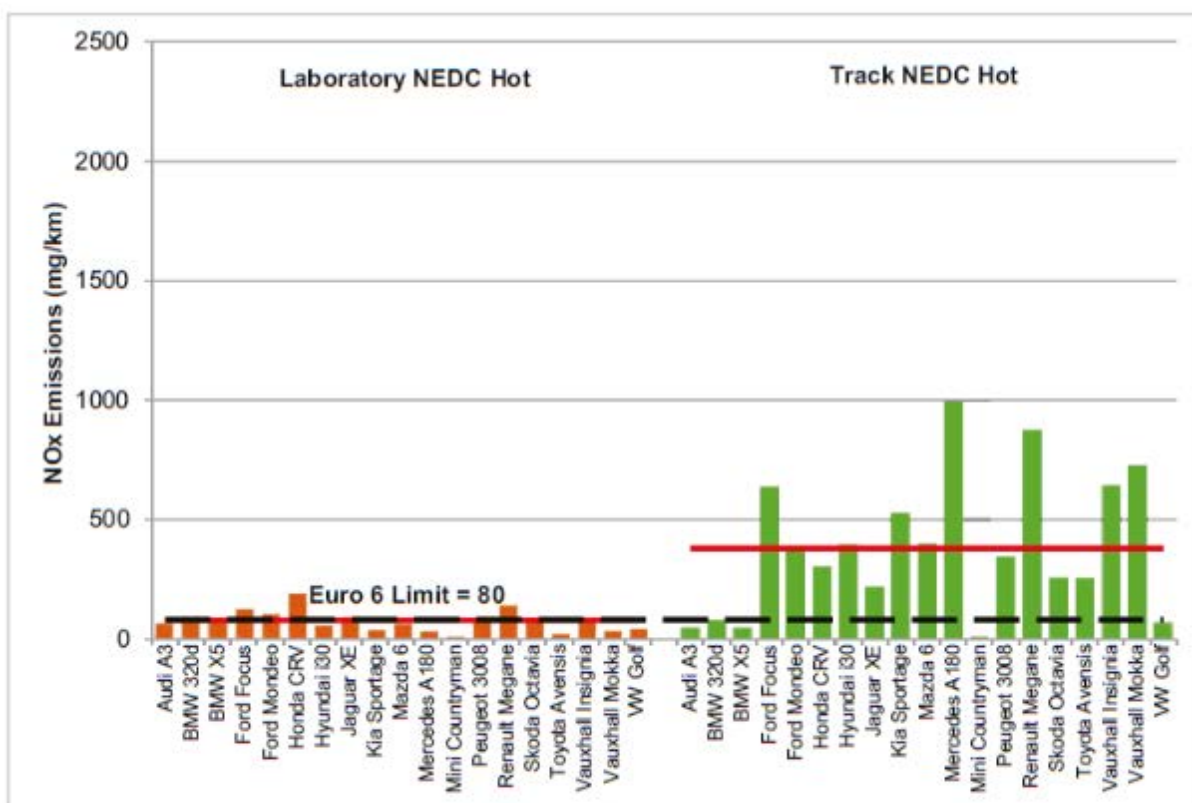
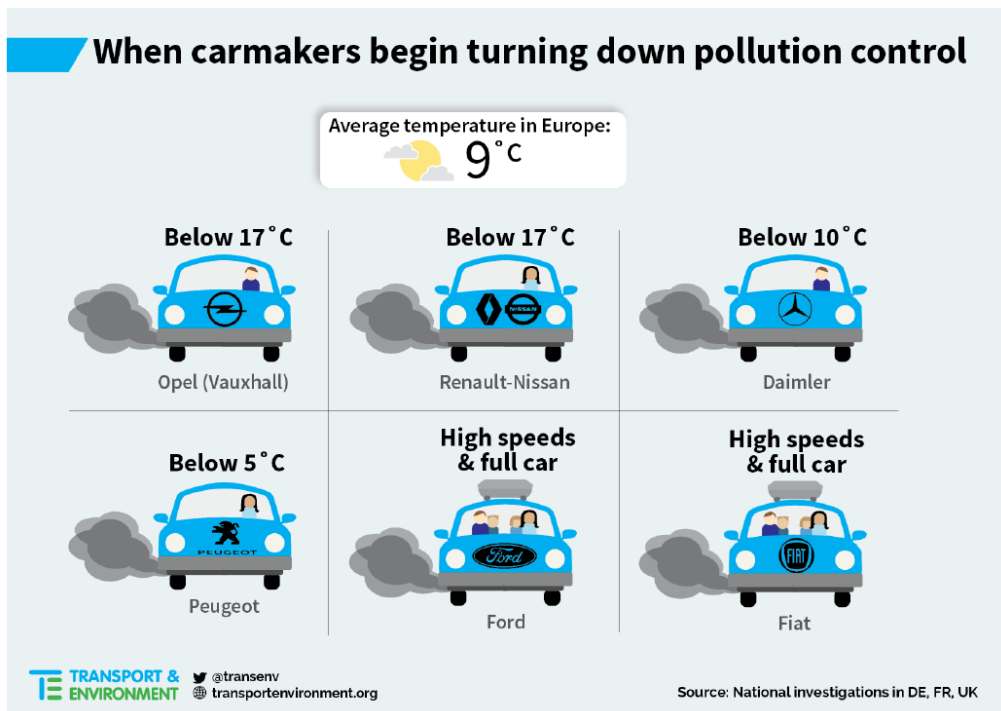


Figure D-4 Laboratory NEDC hot versus track NEDC hot - Euro 6 vehicles

Figur 5: NOx-utslepp frå nye bilar ligg 5 – 6 gonger over grenseverdiane for Euro 5 og 6 (Kjelde: www.gov.uk)



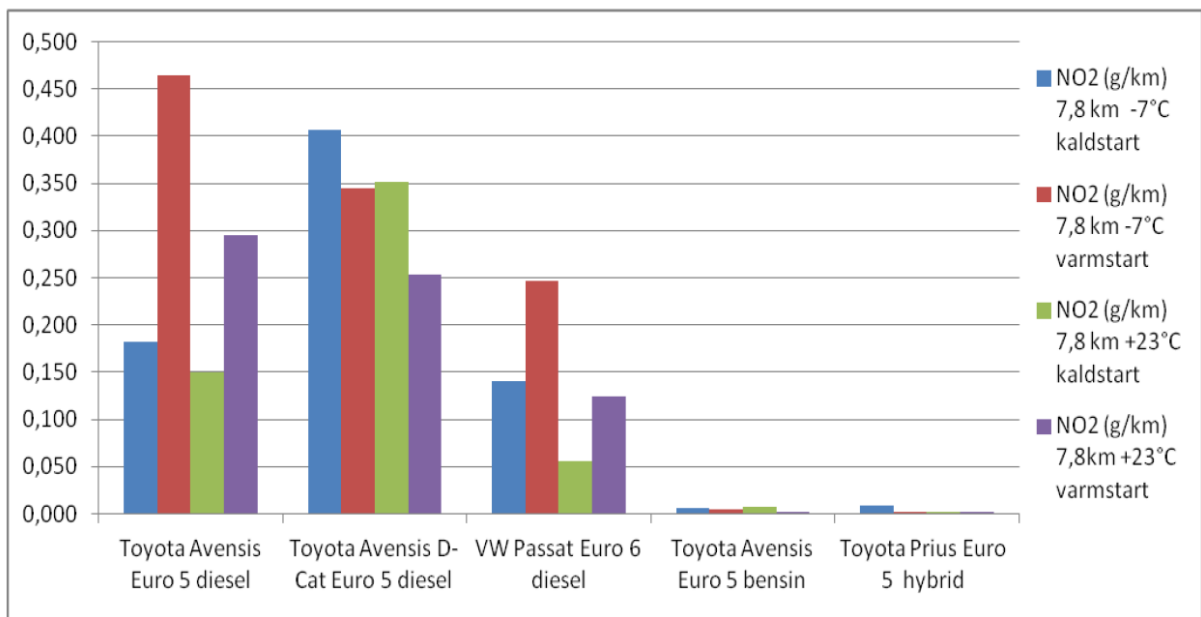
Figur 6: Problem med kondens har medført at utstyr for NO<sub>2</sub>-reinsing blir slått av både ved låg lufttemperatur og ved høg fart og full bil. Figuren viser temperaturgrensar for bilar som er godkjende ved standard testsyklus. (www.TU.no)

Figur 6 viser eksempel på at europeiske bilprodusentar slår av EGR-systemet (*Exhaust Gas Recirculation*) slik at NO<sub>2</sub>-utsleppet går opp ved låg temperatur og ved landevegskjøring. I tunnelar med lufttemperatur rundt 10 °C, ligg det gjennomsnittlege NO<sub>2</sub>-utsleppet frå ein stor del av personbilane med Euro 5 og Euro 6 dieselmotor, langt over grenseverdiane i figur 3. I dag har mange nye dieselmotorar 4 – 5 gonger større NO<sub>2</sub>-utslepp enn 15 år gamle bensindrivne bilar<sup>1</sup>. Utsifting av gamle personbilar har dermed ikkje gjeve den nedgangen i NO<sub>2</sub>-utslepp i tunnelane som var venta då Euro 6 vart gjort gjeldande for nye bilar frå 2014.

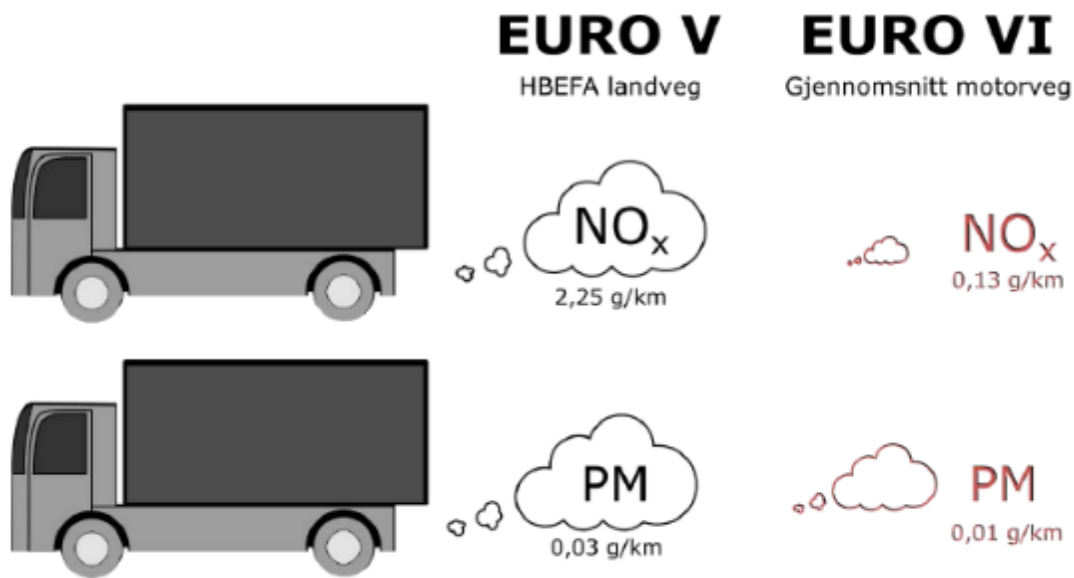
Dersom trenden med overgang frå bensen til dieseldrift held fram, er det lite sannsynleg at NO<sub>2</sub>-utsleppet frå personbiltrafikken kjem tilbake til 2007-nivået før Rogfast blir opna for trafikk. Figur 7 som er kopiert frå TØI-rapport nr. 1259/2013, viser eksempel på store variasjonar i NO<sub>2</sub>-utslepp for nokre bilmodellar med dieselmotor, medan NO<sub>2</sub>-utslepp frå bilar med bensinmotor går mot null.

Utviklinga i NO<sub>2</sub>-utsleppa frå personbiltrafikken har medført ein del utfordringar ved ventilasjon av lange tunnelar i samband med stor utfartstrafikk rundt jul og påske. Men frå måndag til fredag i resten av året, har ikkje NO<sub>2</sub>-nivået fått like store konsekvensar fordi bussar og lastebilar har sleppt ut gradvis mindre NO<sub>2</sub> etter 2007. Dei største endringane kom etter innføring av Euro 5 og 6 og bruk av SCR (*Selective Catalytic Reduction*) på store dieselmotorar. Her blir *AdBlue*® som er ei blanding av 32,5 % demineralisert urea og saltvatn, sprøyta inn bak partikkelfilteret i dieselmotoren for å utvikle ammoniakk. Ved nøyaktig dosering reagerer all ammoniakken med NO<sub>2</sub> slik at det blir produsert vatn og rein nitrogen. Dette gjev lågt NO<sub>2</sub>-utslepp frå bussar og lastebilar som er produserte etter 2013.

<sup>1</sup> European Research Group on Mobile Emission Sources, <http://www.ermes-group.eu/web/>



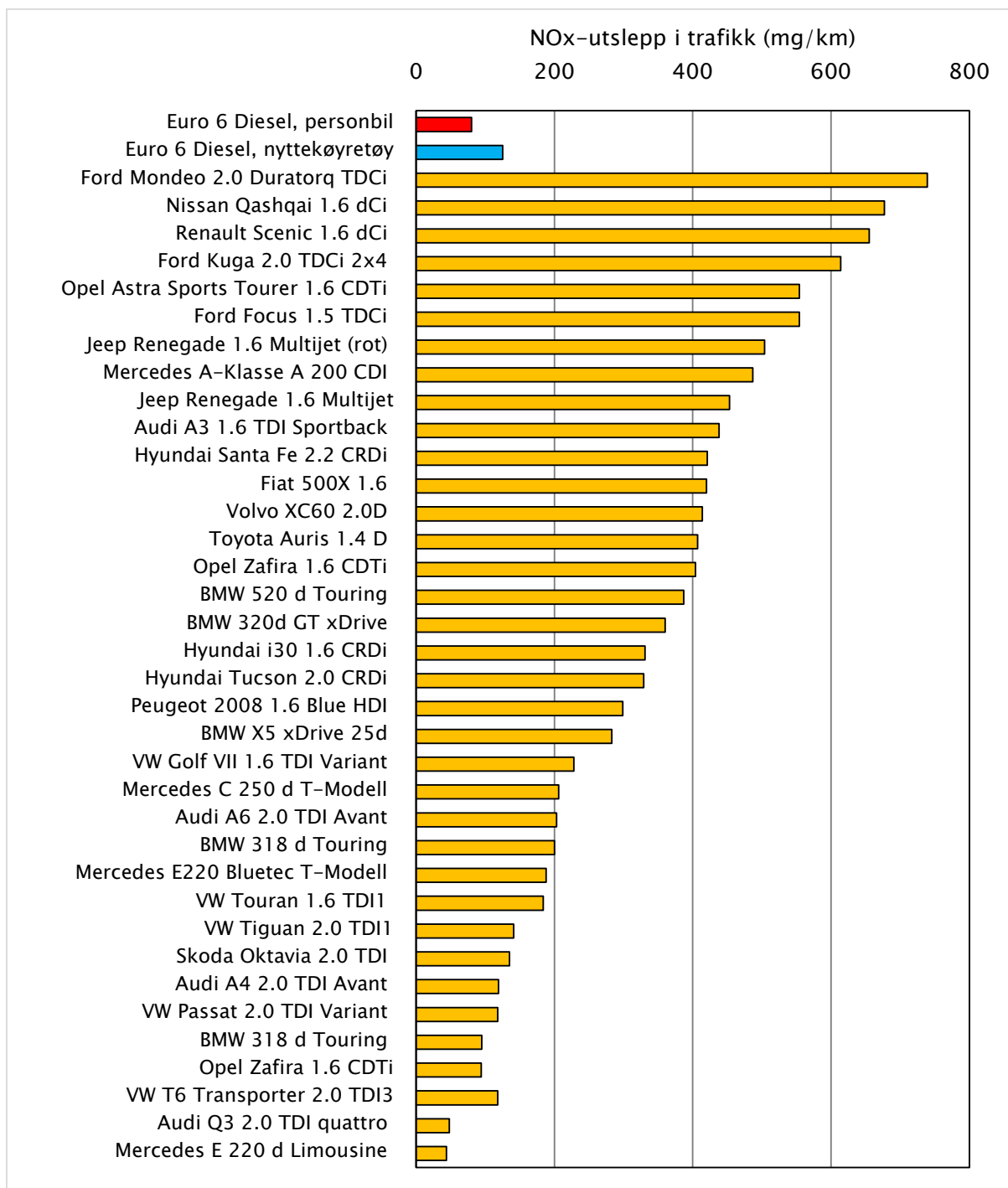
Figur 7: Eksempel på store variasjonar i NO<sub>2</sub>-utslepp ved alternativ køyresyklus (Kjelde: TØI, 2013)



Figur 8: Gjennomsnittleg utslepp av NO<sub>x</sub> og PM<sub>10</sub> frå fem lastebilar med Euro VI dieselmotor samanlikna med tilsvarende Euro V motor. (Kjelde TØI).

Figur 8 viser at det kan ventast store endringar innan 2025 når tunge køyretøya med Euro V motor er erstatta av nye køyretøy som oppfyller krava til Euro VI.

For personbilane med dieselmotor kjem nedgangen nokre år seinare fordi bilprodusentane har fått utsetjing før krava til Euro 6 blir gjort gjeldande for landevegskøyring. Frå 2017 kan det faktiske NO<sub>2</sub>-utsleppet frå nye bilar liggje maksimalt 2,1 gonger over Euro 6-grensa frå 2014, men frå 2020 skal grenseverdiane for Euro 6 følgjast.



Figur 9: Utsleppskrav Euro 6 og gjennomsnittleg NOx-utslepp frå 36 nye bilar med dieselmotor i 2016<sup>2</sup>

Sommaren 2016 vart det målt NOx-utslepp frå 36 bilar med dieselmotor på ei 31,5 km lang teststrekning i Berlin. Det vart køyrt ti runder på ei blanding av bygater, landeveg (80 km/t) og motorveg (120 km/t). Figur 9 viser at med unntak av to bilmodellar, ligg gjennomsnittsverdiane til dels langt over grenseverdiane for Euro 6. Gjennomsnittsverdien på 329 mg/km ligg på omtrent same nivå som resultatet av NEDC-testen av Euro-6-bilar på side 9.

<sup>2</sup> Kjelde: [http://www.duh.de/pressemitteilung.html?&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=3925](http://www.duh.de/pressemitteilung.html?&tx_ttnews[tt_news]=3925)

## 2.2 Utslepp av sot og produksjon av vegstøv

Frå 2009 har partikkelfilteret på nye bilar medført ein gradvis reduksjon av synleg røykut-slepp både frå personbilar og tunge køyretøy. Innan 2025 kan det ventast at utslepp av sot-partiklar som er mindre enn 0,01 mm (PM10), er redusert til 1/10 av emisjonsverdiane i hb. 021 frå 2010.

Kondens og vegstøv vil truleg gje dei største utfordringane ved ventilasjon og reinhald av Rogfast. Utfordringane med tørt vegstøv er større i nye tunnelar med 100 % vatn- og frost-sikring enn i eldre tunnelar der det vart akseptert små vasslekkasjar i veggen. Fukting av lufta frå mange små lekkasjar, kan vere nok til å hindre uttørking av deponert støv. Dette er godt synleg i ein del eldre tunnelar som ikkje har fast dekke på sidearealet. Slam- og støvlaget kan bli 10 – 50 mm tjukt før det blir fjerna ved støvsuging og vask.

I rapport nr. 138: «E39 Rogfast, Tunnelventilasjon og luftkvalitet» frå 2012, er det vist eksempel på produksjon av kondensvatn i sommarhalvåret og svevestøv om vinteren. I rapporten vart det foreslått å sjå nærare på alternativet med bruk av lekkasjevatn til luftfukting i samband med detaljprosjektering av tunnelen. Sjølv om støvet ofte tørkar opp i undersjøiske tunnelar, ser det ut til at saltet har ein god støvbindande effekt på strekningar med fuktige vegger og/eller sideareal.

I moderne tunnelar med tette vegg- og takelement, kan det ventast tørr vegbane om vinteren i store delar av tunnelen på grunn av stigande temperatur innover frå portalane. Ved lufttemperatur under ca. 10 °C, vil slam som bilane dreg med seg innover, falle av og tørke opp etter nokre få km. Dersom det ikkje blir sett inn effektive tiltak, kan det ventast store utfordringar med svevestøv i vinterhalvåret.



Figur 10: Sanddyner på sidearealet er eit vanleg syn i norske tunnelar om vinteren (Rv. 5 Fatlatunnelen)

### 3 Samandrag og konklusjon

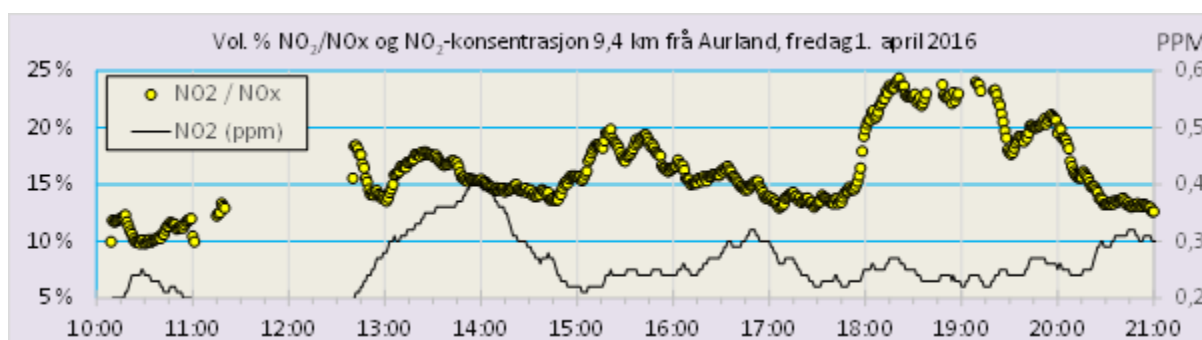
Dei siste 20 åra er det gjennomført fleire undersøkingar for å kartleggje omfanget av miljøgifter i vaskevatnet ved spyling av vegger og vegdekke i norske tunnelar. Tunnelstøvet er ei blanding av dekke- og dekkslitasje, bremsestøv og sotpartiklar frå trafikken. Bildekk og bremseklossar inneheld mange ulike stoff og fleire tungmetall som Zn, Cd, Ni, Cr og Cu. I 2011 vart det utført kjemiske analysar av sediment frå reinseanlegget Vassum som får tilført vaskevatn frå tre tunnelar (Nordby-, Vassum- og Smiehagentunnelen). Her vart det målt høge konsentrasjonar av kopar (Cu), sink (Zn), tinnorganiske stoff, PAH og oljekomponentar. Asfaltslitasje er hovudkjelde til olje og PAH i vaskevatn og slam. Analysar av slamprøver frå tunnelar i Region midt i 2014 og 2015 viser vesentleg mindre mengder av tungmetall.

Norske og svenske undersøkingar viser store variasjonar i dekkslitasje. Slitasjen varierer med piggdekkbruk, fartsnivå og tilslag i asfalten. Ved ringbaneforsøk i 2004-2005 vart det målt opp til sju gonger større dekkslitasje på den dårlegaste norske Ab11-resepten enn på den svenske ABS16 med porfyrtilslag frå Älvdalen. Grovt tilslag gjev størst slitasjemotstand.

I Region vest er det store variasjonar i støvnivået i gamle og nye tunnelar. Dette kan ha fleire årsaker som varierende trafikkmengder, ulike reinhaldsrutinar, varierende grad av vatn- og frostsikring og ulike utformingar av sidearealet. Sideareal og havarinisjer fungerer som sandlager mellom kvar gong tunnelen blir reingjort.

Vedlikehaldskontraktane for tunnelar med ÅDT mellom 300 og 8000, har krav om ei hovudreingjering kvart år ved avslutning av piggdekkssesongen. Ved ÅDT 4001 – 8000 blir det også utført ei mindre omfattande reingjering i september. Det er stilt ein del generelle funksjonskrav, men entreprenøren står relativt fritt til å velje utstyr og metode for arbeidet.

Hb. N500 har enkle modellar for utrekning av NO<sub>x</sub>-konsentrasjon og sotmengder fram til 2020. Emisjonsverdiene for NO<sub>x</sub> og sot byggjer m.a. på målingar i Lærdalstunnelen i 2007 og ei forsiktig framskriving av effekten av strengare utsleppskrav og ny motorteknologi. Nye målingar av NO<sub>2</sub> og NO i 2016 viser at NO<sub>x</sub>-utslepp frå biltrafikken har gått raskare nedover enn det som vart lagt til grunn i 2010, men NO<sub>2</sub>-andelen har gått opp frå 2007 til 2016.



Figur 50: Eksempel på auke i NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> om kvelden pga. redusert tungtrafikk (del av figur på side 53)

Det er toppane i personbiltrafikken som gjev det høgste forholdet mellom NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Nye bussar og lastebilar har effektiv NO<sub>2</sub>-reinsing samanlikna med eldre personbilar med dieselmotor. NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-forholdet går derfor opp i periodar med liten tungtrafikk. Målingane i Lærdalstunnelen i april og juli 2016, viste at den gjennomsnittlege konsentrasjonen av NO er redusert med ca. 50 % dei ti siste åra.

Tabell 18: Gjennomsnittlege emisjonsverdiar på flat veg for korte og lange køyretøy 29. mars - 8. april 2016

Gjennomsnittleg NO <sub>x</sub> -emisjon i april 2016 (l/km/bil)				Volum NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	Korreksjonsfaktorar for stigning <sup>3</sup>			
Køyretøylengde	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>		s = 2,3 %	s = -2,3 %	s = 0,7 %	s = -0,7 %
Inntil 5,6 m	0,047	0,11	0,16	30 %	1,575	0,425	1,175	0,825
Over 5,6 m	0,200	1,70	1,90	11 %	1,828	0,172	1,252	0,748

Tabell 18 viser emisjonsfaktorar for 2016 som er utrekna på grunnlag av vintermålingar i Lærdalstunnelen. For personbilar ligg den gjennomsnittlege emisjonsfaktoren for NO<sub>2</sub> ca. tre gonger over 2020-verdien i hb. N500. Emisjonsnivået gjekk ned i ferietrafikken i juli 2016. I Gudvangatunnelen vart det målt uvanleg høge emisjonsverdiar for NO<sub>2</sub> i påska 2016. Den store overgangen til dieseldrift etter 2005, har medført høge NO<sub>2</sub>-verdiar, men det kan ventast at nivået vil gå gradvis nedover i takt med utskifting av bilmodellane frå 2000 – 2010.

For store køyretøy har det vore ei langt meir positiv utvikling. Den gjennomsnittlege emisjonsfaktoren for NO<sub>2</sub> i 2016, er redusert til 40 % av 2020-verdien i hb. N500. Vedtekne utsleppskrav til tunge køyretøy får full effekt før Rogfast blir opna for trafikk, fordi byggetida for tunnelen blir omtrent like lang som levetida for nye lastebilar og bussar som blir produserte i dag. Ventilasjonsbehovet for NO<sub>2</sub> blir dermed mindre enn det som vart lagt til grunn for ventilasjonsrapporten i 2012 (Statens vegvesen, rapport nr. 138).

Siktmodellen i hb. N500 omfattar berre PM10 frå eksosutslepp. Ny motorteknologi og partikkelfilter på bilar med dieselmotor, har langt på veg eliminert utslepp av synlege sotpartiklar frå nye bilar. Når det blir produsert mindre sot, vil vegstøvet gradvis utgjere ein større del av den totale støvmengda i tunnelane.

I dag finst det ingen matematisk modell som kan brukast til å lage prognoser for vegstøv i tunnellufta. Mange har observert at dei fyrste bilane i ei ferjekolonne produserer mest støv. Ein personbil som kjem bak eit vogntog, har naturleg nok svært liten støvproduksjon fordi vogntoget har fjerna støvet frå vegbana. I ei lang bilkolonne vil dei siste bilane ta med seg meir støv ut av tunnelen enn dei produserer.

Vurderingane av vegstøv i Rogfast må baserast på erfaringsoverføring og støvmålingar i andre tunnelar. Måling av PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> våren 2016 viser store variasjonar i støvmengder. Sedimentert støv på vegbane og sideareal blir resirkulert i periodar utan nedbør. I tunnelar med liten trafikk, er den resirkulerte støvmengda 5 - 10 gonger større enn mengda av nyprodusert svevestøv frå dekk- og dekklesitasje.

I to tunnelar i Sogn vart det målt PM<sub>10</sub>-verdiar som låg 4 – 5 gonger over grenseverdien på 1500 µg/m<sup>3</sup>. I tørre periodar i februar vart det målt ei femdobling av PM<sub>2,5</sub> samanlikna med verdiar frå fuktige tunnelar. 80 % av dei høgste PM<sub>2,5</sub>-toppane kjem frå resirkulert vegstøv. Sot utgjer knapt 20 % av PM<sub>2,5</sub> når det er tørr vegbane i tunnelen.

Målingar frå Byhaugtunnelen i april – mai 2016 viste at sand og støv frå piggdekkseasonen blir resirkulert i fleire veker etter overgangen til sommardekk. Ved utgangen av tunnelen vart det målt PM<sub>10</sub>-nivå over grenseverdien fram til 10. mai 2016. I periodar med høgt PM<sub>10</sub>-nivå, vart det målt relativt låge verdiar av PM<sub>2,5</sub> samanlikna med nivået i Sogn.

<sup>3</sup> Stigningsfaktorar: Personbil:  $k = 25s + 1$  ved  $s > -3,5\%$ . Stor bil:  $k = 36s + 1$  ved  $s > -2,5\%$

I Karmøytunnelen vart det registrert låge verdiar av PM10 samanlikna med dei andre tunnelane. Støvmålingane som vart utført kort tid etter heilvask våren 2016, viser at heilvask gjev ei effektiv fjerning av resirkulerbart PM10-støv. PM2,5 utgjer derfor ein relativt større del av støvmengda enn i dei andre tunnelane. Det kan også tenkjast at ein del PM2,5 låg igjen etter vask og vart resirkulert når vaskevattet fordampa. Sjå rapport nr. 619 frå Statens vegvesen.

Data frå norske og svenske undersøkingar er brukt til utarbeiding av prognoser for støv- og slammengder i Rogfast. I rapport nr. 138 frå 2012, vart den årlege mengda av PM10 som blir ventilert ut gjennom portalar og ventilasjonstårn, vurdert til 5 – 8 tonn. I tillegg inneheld ventilasjonslufta ein god del fin sand, slik at det kan ventast eit samla partikkelutslepp frå Rogfast på 10 - 20 tonn/år dersom det ikkje blir sett i verk spesielle tiltak.

Ved hovudreingjing av Karmøytunnelen i april 2016, varierte vassmengda ved dei to pumpemagasina mellom 6 og 10 l/s. Ved bruk av tilsvarende vassmengder innafor kvar 1500 m-seksjon i Rogfast, kan fin sand (> 0,063 mm) bli botnfelt i ein kombinert olje- og slamavskiljar. Dei aller minste slampartiklane blir pumpa ut i lag med lekkasjevattet. Dersom vegdekket får ekstra høg slitestyrke, kan det ventast eit årleg partikkelutslepp i sjøen er ca. 1,6 tonn eller ca. 10 % av støv- og sandmengda som blir ventilert ut gjennom portalar og ventilasjonstårn.

Tabell 33: Prognose for dekklesitasje og slamproduksjon i Rogfast (sjå kap. 10.3 på side 114)

Dekke- og dekklesitasje ved ÅDT 10.000	% vekt	tonn/km/år	Sum tonn/år
20 % piggdekkandel:	100 %	6,0	160
Ventilasjon av PM10 og fin sand (< 0,25 mm)	10 %	0,60	16
Suge- og feiebil	75 %	4,50	120
Sedimentering i sandfang	8 %	0,48	12,8
Sedimentering i slam- og oljeavskiljar	4 %	0,24	6,4
Til slam- og luftebasseng	3 %	0,18	4,8
Sedimentering i slam- og luftebasseng	2 %	0,12	3,2
Partikkelutslepp via pumpemagasin	1 %	0,06	1,6

Analysar av støv og slam frå Karmøytunnelen viser jamne og relativt låge konsentrasjonar av tungmetall og PAH i tunnelstøvet uavhengig av høgde over vegbanen. Konsentrasjonen av bly, arsen, vanadium og jern er omtrent like stor i slam og svevestøv. I slammet er det derimot mindre PAH, nikkel, wolfram, kopar, sink, jern og svovel.

Slitasje av vegdekket i vinterhalvåret er den viktigaste kjelda til vegstøv i tunnelane. Kostnadene til ventilasjon og reinhald kan reduserast ved bruk av vegdekke med større slitasmotstand enn minimumskrava til vegdekke i hb. N200.

I det vidare arbeidet bør desse tre punkta prioriterast:

- Nye krav til steinkvalitet i vegdekke i lange tunnelar
- Tiltak som reduserer resirkulering av støv og sand frå sidearealet
- Utvikling av rutinar og utstyr for støvsuging og vask



## 4 Klassifisering av støv og slam (TA-2553/2009)

Statens forurensningstilsyn (SFT) har utarbeidd retningslinjer for vurdering av helserisiko i saker med ureina grunn. Innholdet av miljøgifter aukar frå klasse 1 og opp til klasse 5. Over klasse 5 kan jorda reknast som farleg avfall. Grenseverdien mellom klasse 1 og 2 blir rekna som normverdi. Det vil seie at areal med konsentrasjonar under normverdiane, ikkje utgjør nokon risiko for helse eller miljø. Den vidare klasseinndelinga byggjer på ei vurdering av helserisiko ved å opphalde seg på eigedomen og blir dermed eit krav om kva vi kan akseptere av miljøgifter i grunnen ved ulik bruk av areala. Det er sett spesielt strenge krav til jord som skal brukast til grønnsakdyrking. Som regel vil det berre være nødvendig å berekne risiko for spreiring av miljøgifter til dei nærliggjande resipientar når jorda er ureina i helsebasert tilstandsklasse 4 eller 5.

I denne rapporten blir dei helsebaserte tilstandsklassane brukte til ei enkel vurdering av tunnelstøv og slam frå tunnelvask. Støv og slam i tiltaksklasse 4 kan plasserast på industri- og vegareal dersom det kan dokumenterast at risikoen både for helse og spreiring er akseptabel. For støv og slam i klasse 5, er det i tillegg krav om tildekking med eit jordlag på minimum 1,0 m før eventuell gjenbruk kan aksepterast i sentrumsområde eller område for kontor, forretning, industri eller vegareal.

Tabell 1: Helsebaserte tilstandsklasser for ureina grunn. Konsentrasjon i mg/kg tørrstoff (Kopi av TA-2553, tabell 2)

Tilstandsklasse/ Stoff	1	2	3	4	5
	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Arsen	< 8	8-20	20-50	50-600	600-1000
Bly	< 60	60 -100	100-300	300-700	700-2500
Kadmium	<1,5	1,5-10	10-15	15-30	30-1000
Kvikksølv	<1	1-2	2-4	4-10	10-1000
Kobber	< 100	100-200	200-1000	1000-8500	8500-25000
Sink	<200	200-500	500-1000	1000-5000	5000-25000
Krom (III)	<50	50-200	200-500	500-2800	2800-25000
Krom (VI)	<2	2-5	5-20	20-80	80-1000
Nikkel	< 60	60- 135	135-200	200-1200	1200-2500
ΣPCB <sub>7</sub>	< 0,01	0,01-0,5	0,5-1	1-5	5-50
DDT	<0,04	0,04-4	4-12	12-30	30-50
ΣPAH <sub>16</sub>	<2	2-8	8-50	50-150	150-2500
Benzo(a)pyren	< 0,1	0,1-0,5	0,5- 5	5 -15	15-100
Alifater C8-C10 <sup>1)</sup>	< 10	≤10	10-40	40-50	50-20000
Alifater > C10- C12 <sup>1)</sup>	< 50	50- 60	60-130	130-300	300-20000
Alifater > C12- C35	< 100	100-300	300-600	600-2000	2000-20000
DEHP	<2,8	2,8-25	25-40	40-60	60-5000
Dioksiner/furaner	<0.00001	0,00001- 0,00002	0,00002- 0,0001	0,0001- 0,00036	0,00036-0,015
Fenol	<0,1	0,1-4	4-40	40-400	400-25000
Benzen <sup>1)</sup>	<0,01	0,01-0,015	0,015-0,04	0,04-0,05	0,05-1000
Trikloretan	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,6	0,6-0,8	0,8-1000

1) For flyktige stoffer vil gass som eksponeringsvei gi lave grenseverdier for human helse. Dersom gass i bygg ikkje er en relevant eksponeringsvei bør det utføres en stedspestifikk risikovurdering for å beregne stedspestifikke akseptikriterier.

## 5 Eldre rapportar om slam, støv, tunnelvask og NOx

### **1995: Jordforsk: Miljøkjemisk undersøkelse av tunnelvask. Rapport nr. 31/95**

Rapporten inneheld data om vaskevatn og partikkelfraksjon for 6 tunnelar og informasjon om analyseresultat frå fleire andre tunnelar. Det er påvist at størstedelen av miljøgiftene blir lagra i støvet i tunnelen. Mest mogleg av partikkelfraksjonen ( $>0,45 \mu\text{m}$ ) bør derfor samlast opp før vasking for å redusere konsentrasjonen av miljøgifter i vaskevatnet.

I tørt støv er det påvist bly, sink og tjærestoff (PAH). I vaskevatnet er det også påvist små mengder av mange andre tungmetall som m.a. Cd, Ni, Cr og Cu. Med unntak av Ringnes-tunnelen, der det vart målt sinkkonsentrasjon på maksimalt 17,7 mg/l, var det lite oppløyst ureiningsstoff i vatnet. Bruk av såpe medfører høge fosforverdiar og truleg større mengder PAH-komponentar i vaskevatnet enn såpefri vask.

### **2003: Universitetet i Stavanger: Rensing av tunnelvaskevann. Fullskala forsøk i Byfjordtunnelen**

Hausten 2003 gjennomførte Statens vegvesen forsøk med kjemisk felling for å reinse vaskevatnet i Byfjordtunnelen. Det vart tilsett prepolymerisert aluminiumoksid-silikat (Pax 18) for å auke partikkelstorleiken og oppnå raskare sedimentering.

Tilsetjing av 0,15 mg Pax 18 pr. liter vaskevatn, auka utfellinga av suspendert stoff frå 83 % til 95 % før vatnet kom fram til pumpene. Redusert partikkelmengde i vatnet gav store reduksjonar av PAH, olje (bitumen) og Cr fordi desse stoffa i stor grad er knytt til partiklar. Pax 18 må doserast nøyaktig for å unngå altfor låge pH-verdiar og større utskiljing av tungmetall frå slampartiklane.

Ved såpevask utan bruk av fellingskjemikalier, vart det målt slammengder opp til  $560 \text{ g/m}^3$  i vatnet ut frå bassenget, medan det vart målt verdiar opp til  $270 \text{ g/m}^3$  etter kjemisk felling. Forbruket av vaskevatn er oppgitt til  $1120 \text{ m}^3$  for den 5.875 m lange tunnelen eller ca. 191 l/m. Dersom vi reknar med 70 % avrenning, får slambassenget tilført ei slammengde på 300 - 500 kg frå kvar km tunnel når det ikkje blir brukt kjemisk felling. Utsleppet til sjøen på 30 - 50 kg/km, blir fordelt over fleire døgn på grunn av fordrøyings effekten i pumpemagasinet og innblanding av reint lekkasjevatn.

Rapporten konkluderer med at konsentrasjonane er så låge etter naturleg felling i slambasseng og pumpemagasin at det ikkje vil oppstå merkbare skadeverknader ved utsleppspunktet i Byfjorden.

### **2004: NGU: Vegstøv i Trondheim – En analyse av mineralinnholdet i svevestøvet**

I 2003 og 2004 vart det innsamla støv- og asfaltprøver frå fem ulike vegstrekningar i Trondheim. Rapporten gjev ei orientering om ulike analysemetodar som kan nyttast til å identifisere og karakterisere mineralinnhald i svevestøv slik at det kan samanliknast med tilslaget i asfalt. Alt tilslaget i asfalten kan sporast i svevestøvet.

Det vart ikkje påvist samanheng mellom vegsalting og dekkleslitasje ved denne undersøkinga.

Tabell 2: Samanlikning av kjemisk innhald i svevestøv med gjennomsnitt for overflatejord i Trondheim

**Tabell 23. Innholdet av arsen, kadmium, krom, kobber, kvikksølv, nikkel, bly, tinn og sink i støvprøver fra Elgeseter gate (filter PM<sub>10</sub>) og Omkjøringsveien (svevestøv).**

Grunnstoff	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	Zn
Lokalitet	mg/kg								
Elgeseter	8,7	0,16	56,7	117	0,12	34,3	33	11	124
Omkjøringsv.	6,4	0,62	43,1	152	0,04	31,8	32	3,5	299
Trondheim*	2,8	0,16	69,3	34,5	0,13	45,0	35,0	-	98

\* Gjennomsnitt for overflatejord i Trondheim, mg/kg – milligram per kilogram.

**Tabell 24. Innholdet av kalsium, jern, kalium, magnesium, natrium og fosfor i støvprøver fra Elgeseter gate (filter PM<sub>10</sub>) og Omkjøringsveien (svevestøv).**

Grunnstoff	Ca	Fe	K	Mg	Na	P
Lokalitet	mg/kg					
Elgeseter	8130	28600	1120	12100	544	592
Omkjøringsv.	14800	22900	1120	10200	808	447
Trondheim*	5400	31000	2300	12900	200	794

\* Gjennomsnitt for overflatejord i Trondheim, mg/kg – milligram per kilogram.

Dekkslitasje er den mest sannsynlege årsaka til at svevestøv langs vegnettet inneheld meir sink, arsen og kopar enn gjennomsnitt for overflatejord i Trondheim. Slitasjeprodukt frå bildekk og bremsebelegg er dei viktigaste kjeldene til auka PAH-nivå i svevestøvet i tillegg til eksosutslepp og vedfyring.

Analysar av innsamla vegstøv frå feiemaskiner gav vesentleg høgre verdiar av PAH enn nivået i utbora asfaltkjernar. Det vart målt låge verdiar av PAH og ubetydelege mengder PCB i det øvste laget av asfaltdekket. Salting er ei naturleg forklaring på større innhald av kalsium og natrium.

## 2006: Statens vegvesen: Forurensning fra sterkt trafikerte vegtunneler

Hausten 2004 og vinteren 2005 registrerte Bioforsk jord og miljø miljøgifter i tre tunnelar i Oslo-området i samarbeid med Vegdirektoratet. Dette gav grunnlag for grove berekningar av partiklar, olje, tungmetall og PAH i sommar- og vintersesong. Tabell 3 viser store variasjonar i oppsamla mengder med suge- og feiebil, sedimentering i sandfang og avrenning til slam-basseng.

Tabell 3: Utrekna årsproduksjon av partiklar (ekskl. den delen av svevestøvet som blir fjerna med ventilasjon)

	Måleeinng	Festningstunnelen	Granfosstunnelen	Nordbytunnelen
ÅDT	køretøy/døgn	80 000	29 000	25 000
Partiklar	tonn/km/år	56,5	16,9	14,7
	kg/km/døgn	155	46	40
	g/km/køretøy	1,9	1,6	1,6
Suge- og feiebil	tonn/km/år	23,2	12,2	9,0
Sandfang	tonn/km/år	23,7	2,9	2,5
Til basseng	tonn/km/år	9,0	2,0	3,2

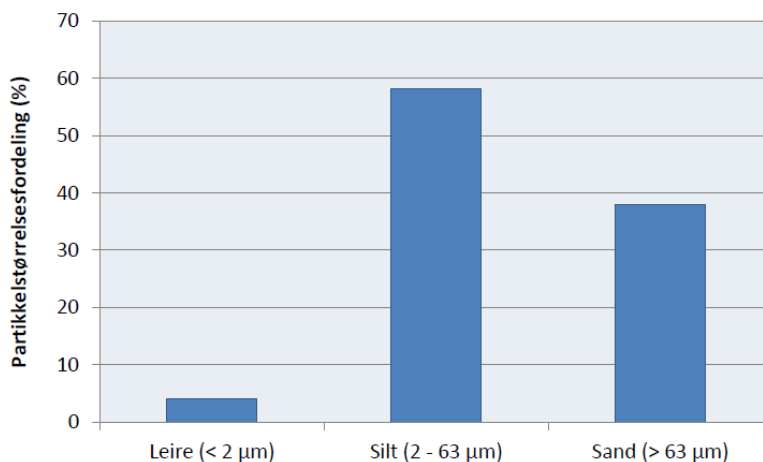
## 2012: Statens vegvesen: Kjemisk karakterisering av sediment fra Vassum sedimenteringsbasseng (rapport nr. 94)



Figur 11: Sedimenteringsbasseng ved Vassum (foto frå rapport nr. 295)

Sedimenteringsbassenget ved Vassum som vart bygd i år 2000, får tilført vaskevatt frå tre tunnelar (Nordby-, Vassum- og Smiehagen-tunnelen) og overflatevatt frå vegarealet mellom tunnelane.

I 2011 vart det fjerna 235 m<sup>3</sup> sediment frå bassenget. Det svarar til ein samla sedimentproduksjon på litt over 20 m<sup>3</sup>/år frå dei tre tunnelane eller eit gjennomsnitt på ca. 0,6 ml/km/bil. Sedimenta inneheldt 52 % tørrstoff.



Figur 12: Registrert partikkelfordeling i sedimentert slam ved Vassum.

Dei kjemiske analysane viste at sedimenta inneheldt både tungmetall og organiske miljøgifter. Det vart målt høge konsentrasjonar av kopar (Cu), sink (Zn), tinnorganiske stoff, PAH og oljekomponentar. Rapporten inneheld nøyaktige måleverdiar av dei mest aktuelle miljøgiftene i tunnel slam.

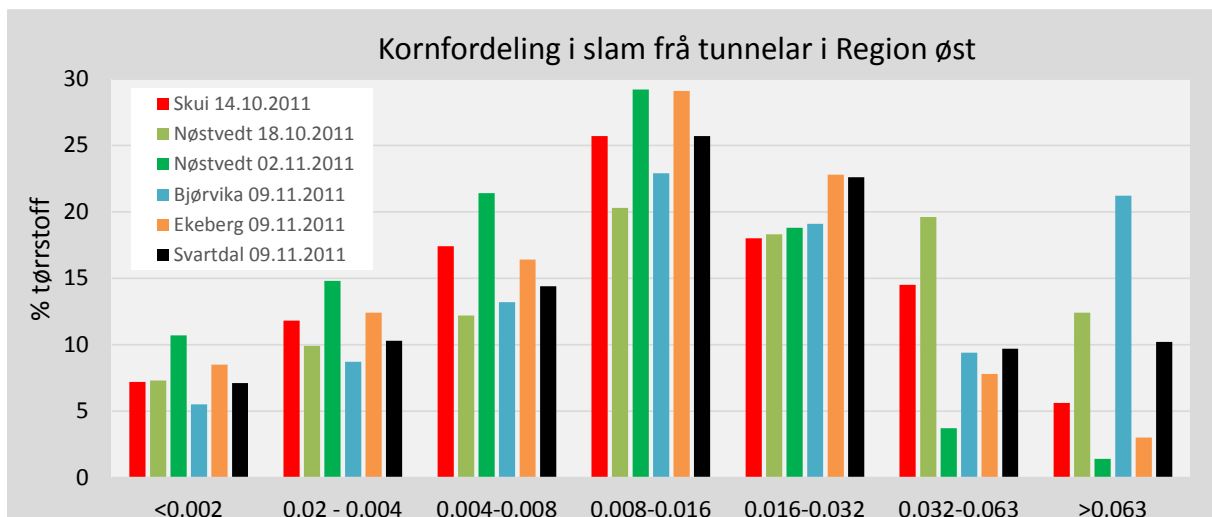
Figur 12 viser at det blir utfelt lite leirpartiklar ved naturleg sedimentering. Utan kjemisk felling, kan vi anta at det meste av leirpartiklane og ein del av siltfraksjonen følgjer vaskevatt ut frå bassenget. Dermed er det også sannsynleg at bruk av såpe medfører større avrenning av partiklar og miljøgifter til resipient enn ved tunnelvask utan såpe.

Miljøeffekten ved utslepp av vaskevatt frå Nordbytunnelen vart undersøkt før sedimenteringsbassenget vart etablert. Rapporten «Utslipp av vaskevann frå Nordbytunnelen til Årungenelva» som vart utarbeidd av Geofuturum i 1997, inneheld kjemiske analysar av vaskevatt og vurdering av miljøkonsekvensane for botndyr og fisk i elva nedanfor utsleppspunktet. Avrenning av vaskevatt varierte frå 0,5 l/s til 8 l/s med eit gjennomsnitt på 1,8 l/s. Utslepp av vaskevatt viste tydeleg, men ikkje dramatisk verknad på botnfaunaen i elva ved ei minstevassføring på ca. 40 l/s frå 24. til 26. april 1997.

### 2013: Bioforsk: Renseanlegg for vaskevann frå vegtunnelar

I 2010 - 2012 vart det gjennomført eit prosjekt for å dokumentere reinsegrad for vaskevatt og vurdere effekten av fellingskjemikaliar og reinsefilter. Rapporten inneheld kjemiske analysar av slam og vaskevatt frå tunnelar i Region øst og gjev konkrete råd om planlegging og bygging av reinseanlegg.

Figur 13 viser at siltfraksjonen utgjer 80 – 90 % av slammet i sedimenteringsbassenga i desse tunnelane. Ca. 60 % av slammet har partikkeldiameter under 0,016 mm. Det er store variasjonar i sandmengde som passerer sandfang og oljeavskiljarar. Dette kan ha fleire årsaker som variasjon i vaskemetode, vassmengder, feiutstyr, stigning eller ulik utforming og kapasitet i olje- og slamavskiljar. Ved tilsvarende slamanalyser i Brennetunnelen, utgjorde sandfraksjonen heile 60 % av slammet. Her er lite overflateareal på slambassenget den mest sannsynlege årsaka. Opphaldstida blir for kort til sedimentering av dei minste partiklane slik at ein større del av desse følgjer med vatnet ut av bassenget. Dette kan medføre ei gradvis tetting av dei naturlege lausmassane der vaskevattet blir infiltrert.



Figur 13: Partikkelfordeling i slamprøver frå sedimentasjonsbasseng i fem tunnelar med stor trafikk

I Nøstvedttunnelen vart det testa fire ulike filtertypar med varierende resultat. Det trengst ein kombinasjon av fleire ulike filter for å oppnå ein generell reinseffekt over 50 % for tungmetall og tunge oljeprodukt (bitumen). Testing av partikkelfilter viste at det er mogleg å fjerne 35 – 40 % av dei minste partiklane (fin silt og leire). Partikkelfilteret fjerna også 50 % av bly og kadmium og reduserte mengda av fleire andre tungmetall.

Samla konsentrasjon av PAH var låg i alle prøvene. Det var også låge konsentrasjonar av dei fokuserte PAH-stoffa benzo(a)pyren, naftalen, flouren, flouranten og pyren. Men slammet blir plassert i tilstandsklasse 5, svært dårleg, på grunn av tunge oljekomponentar. Det er rimeleg å anta at ein stor del av dette er bitumen på partiklar som passerer gjennom oljeavskiljaren. Det ser ut til at oljemengda i slammet aukar ved bruk av såpe.

Dei tunge oljeprodukta blir vurdert som relativt uproblematisk fordi det er hydrokarbonar med låg mobilitet. Men tilstandsklassen krev at det blir gjort ei nærare vurdering av utlekingspotensiale før slammet kan brukast til andre formål eller deponerast.

Laboratorietesting av fellingskjemikaliar gav god reinseffekt for metall som bly og krom som er festa til partiklar, men mindre effekt på løyste metall som sink, kopar og nikkel.

## 2013: Statens vegvesen: Estimering av forurensning i tunnel og tunnelvaskevann (rapport nr. 99)

Rapporten inneheld estimat for ureining i 74 tunnelar i Region øst. Dette er basert på målingar i Nordbytunnelen (ÅDT 25 000), Granfosstunnelen (ÅDT 29 000) og Festningstunnelen (ÅDT 80 000).

Tabell 4: Utdrag av tabell 2 og 3 i rapport nr. 99 viser lineær samanheng mellom ÅDT og produsert mengde stoff pr. km pr. år og kor stor del av forureininga som blir transportert ut av tunnelen med vaskevatnet.

Stoff		Måle- eining	Mengde/km/år Y = mengde X = ÅDT	Andel ut med vaskevatnet
Fosfor	P	kg	$y = 0,0005X$	32 %
Kopar	Cu	kg	$y = 0,0005X$	38 %
Sink	Zn	kg	$y = 0,0098X$	27 %
Bly	Pb	g	$y = 4 \times 10^{-5}X$	28 %
Kadmium	Cd	g	$y = 0,0006X$	51 %
Nikkel	Ni	g	$y = 0,0002X$	22 %
Krom	Cr	g	$y = 7 \times 10^{-5}X$	17 %
Totalt Nitrogen <sup>4</sup>	N	kg	$y = 0,0243X$	40 %
Totalt 16-PAH <sup>5</sup>		g	$y = 0,0031X$	43 %
Partiklar		tonn	$y = 0,0025X$	17 %

Tabell 5: Estimat over vassforbruk (tabell 4 i rapport nr. 99)

Antall tunnelløp	Antall kørefelt	Vassmengde heilvask (l/m)	Vassmengde halvvask <sup>6</sup> (l/m)
2	3	140	98
2	2	100	70
2	1	60	42
1	2	60	42
1	3	80	56

## 2013: Statens vegvesen: Rensing av vann fra veg og anlegg (rapport nr. 195)

Rapporten inneheld informasjon frå 10 land i Europa, pluss Canada og USA, om forvaltningspraksis og tekniske løysingar for avrenning og reinsing av vatn både i anleggsfase og driftsfase.

## 2014: Statens vegvesen: Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging

Rapporten er eit opptrykk av utkast til hb. 261 frå 2006 med oversikt over aktuelle metodar for reinsing av slamhaldig vatn frå vegareal og tunnelar. Det er registrert 85 % reinseeffekt for suspendert stoff, PAH og olje, men mindre effekt på fosfor, nitrogen og tungmetall fordi ein del av desse stoffa blir oppløyste i vatn eller knytt til små partiklar som går til overløp (fraksjon < 50 µm).

<sup>4</sup> Sum av nitrat (NO<sub>3</sub>), nitritt (NO<sub>2</sub>), organisk nitrogen og ammoniakk

<sup>5</sup> Sum av 16 PAH som er vurdert som mest skadelege av US EPA (Unites States Environmental Protection Agency)

<sup>6</sup> Halvvask omfattar vask av teknisk utstyr, vegger og køyrebane. Sjå nøyaktig definisjon på side 31

## 2014 – 2015: Analyse av slamprøver i Region Midt

Tabell 6 viser resultatet av slamanalysar frå sandfang og sedimenteringsbasseng i 13 tunnelar i Møre og Romsdal. Slammet er klassifisert som dårleg eller svært dårleg på grunn av lange alifat > C12 – C35 som stammar frå bitumenpartiklar i asfaltdekket. Det vart registrert låge verdiar av vassløyselege alifat som C10-C12. Det vart ikkje påvist lettare oljeprodukt eller PCB i sedimenta.

Innhaldet av tungmetall ligg under grenseverdiane for tiltaksklasse 1 og 2 med unntak av to prøver frå Freifjordtunnelen og Fannefjordtunnelen der sinkinnhaldet var dobbelt så høgt som i dei andre tunnelane. Maksimal stigning er 9 % i begge desse tunnelane. Bremsestøv frå store køyretøy på grunn av sterk stigning, er ei sannsynleg årsak til høgt sinknivå samanlikna med dei andre tunnelane.

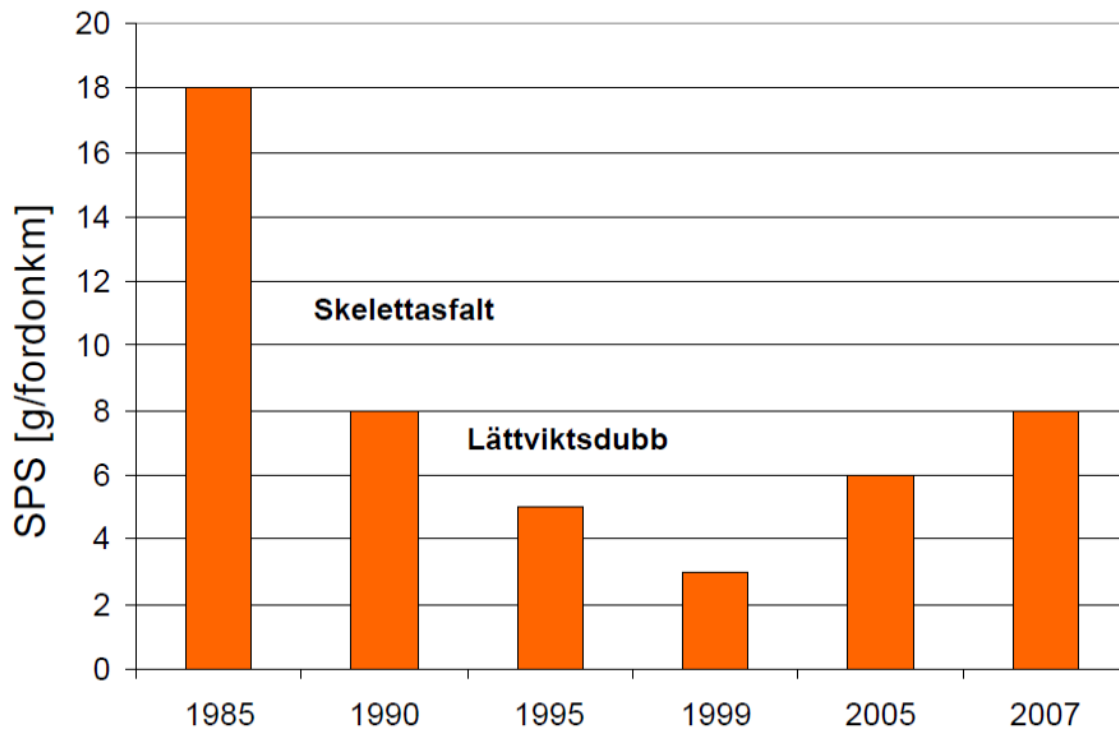
Tabell 6: Klassifisering av slamprøver etter TA2553/2009, tabell 2

Tunnel	Lengde	ÅDT	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Benzo(a)-pyren	Sum PAH16	Alifater >C12-C35	DEHP	Fenol	Dato
Blindheimstunnelen	841	20 270	2,56	<0,10	17,0	185,0	<0,20	17,0	17,9	151	0,06	0,642	2770			mai.14
Blindheimstunnelen	841	20 270	0,89	<0,10	25,3	94,3	1,1	19,5	10,2	323	0,106	1,7	3390	2,21	0,31	jun.15
Blindheimstunnelen	841	20 270	2,29	<0,10	28,0	131,0	<0,20	21,2	18,5	330	0,031	1,1	1250	<0,8	2,46	nov.15
Sørnestunnelen	236	20 100	0,67	<0,10	14,1	93,2	<0,2	12,6	23,4	108	0,044	0,511	1780			mai.14
Ellingsøytunnelen	4 609	9 760	<0,5	<0,10	15,8	95,2	<0,2	18,8	3,5	76,6	0,105	1,7	4590			mai.14
Ellingsøytunnelen	4 609	9 760	6,15	<0,10	23,9	13,6	<0,20	16,6	20,8	43,2	0,038	1,5				nov.14
Moatunnelen	560	9 610	0,78	<0,10	26,0	107,0	<0,20	21,1	10,1	324	0,091	1,7	3670	2,17	0,19	jun.15
Moatunnelen	560	9 610	1,27	<0,10	32,5	239,0	<0,20	25,0	17,2	434	0,034	0,86	1010	0,97	0,69	nov.15
Valderøytunnelen	4 225	7 930	<0,5	<0,10	13,1	97,0	<0,2	12,2	6,0	82,2	0,046	0,814	1330			mai.14
Tustentunnelen	2 876	4 750	<3	0,1	18,9	23,3	<1	12,5	7,7	178	0,034	1,32	3410			mar.14
Freifjordtunnelen	5 105	3 400	9,64	0,1	21,4	161,0	<0,2	15,2	42,0	368	0,044	1,05	1840			sep.14
Freifjordtunnelen	5 105	3 400	2,04	<0,10	37,4	112,0	<0,20	23,2	14,2	631	0,042	1,5	3500	24,7	35,3	nov.15
Fannefjordtunnelen	2 743	3 100	0,61	<0,10	24,5	124,0	<0,2	19,0	16,8	530	0,048	0,701	1460			jun.14
Innfjordtunnelen	6 601	2 410	1,02	<0,10	19,2	100,0	<0,20	15,0	5,3	148	0,015	0,33	941	1,56	<0,10	jun.15
Atlantehavstunnelen	5 788	2 250	<0,5	<0,1	18,4	51,3	<0,2	13,8	6,7	155	0,037	1,77	2790			sep.14
Høgsetunnelen	750	2 100	<3	<0,1	17,0	30,4	<1	18,9	2,2	49,6	0,013	0,291	2060			mar.14
Måndalstunnelen	2 083	1 900	0,92	<0,10	16,8	28,9	<0,20	12,3	2,3	208	<0,010	0,31	834	1,04	<0,10	jun.15
Måndalstunnelen	2 083	1 900	0,75	<0,10	27,7	94,5	<0,20	15,9	9,2	348	0,021	0,84	1420	2,39	0,1	nov.15
Vågstrandstunnelen	3 706	1 770	<0,50	<0,10	12,0	36,8	<0,20	10,2	3,5	62	0,019	0,26	1090	0,83	<0,10	jun.15
Vågstrandstunnelen	3 706	1 770	<0,50	<0,10	26,5	53,5	<0,20	16,3	7,8	186	0,013	0,24	1280	<0,80	1,03	nov.15
<b>TA2553, tabell 2:</b>																
Normverdiar (svært god)			< 8	< 1,5	< 50	< 100	< 1	< 60	< 60	< 200	< 0,1	< 2	< 100	< 2,8	< 0,1	
God						< 200	< 2			< 500	< 0,5		< 300	< 25	< 4	
Moderat													< 600		< 40	
Dårleg													< 2000			
Svært dårleg																

Tabell 7: Oversikt over feiemasser frå 6 tunnelar i Region midt i 2015 samanlikna med prognose frå rapport 99

Tunnel	Tunnel-lengde (km)	ÅDT	Leverte feiemasser 2015 (tonn)	Levert mengde g/bil/km	Vass-mengde (liter/m)	Formel i rapport 99 (tonn)	Rapport 99 g/bil/km
Blindheim	0,839	20 270	30,54	4,9	52	43	6,8
Ellingsøy	3,540	9 760	57,32	4,5	52	86	6,8
Innfjord	6,601	2 410	22,80	3,9	52	40	6,8
Moa	0,560	9 610	12,50	6,4	52	13	6,8
Valderøy	4,225	7 930	37,16	3,0	52	84	6,8
Vågstrand	3,705	1 770	16,50	6,9	51	16	6,8

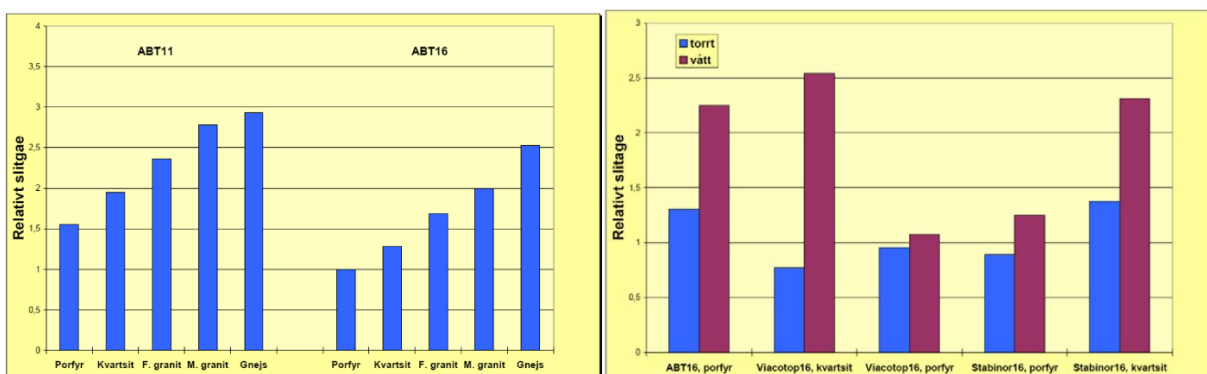
## 6 Slitasje av vegdekke, bildekk og bremsar



Figur 14: Endring av piggedekkslitasje på svenske vegar frå 1985 til 2007 (SPS = SPecifikt Slitage) Kjelde: [www.kth.se](http://www.kth.se)

Figur 14 viser at piggedekkslitasjen frå kvar bil vart sterkt redusert frå 1985 til 1999. Dette har samanheng med nye krav til piggedekk (lettare piggar, mindre overheng og maksimalkrav til statisk kraft) både for lette og tunge køyretøy. Nytt asfaltdekke med større slitestyrke kan også ha redusert slitasjen på ein del av teststrekningane. Auken etter 1999 kan ha fleire ulike årsaker som til dømes endring av vedlikehaldsprinsipp med større vekt på god friksjon med isfri veg om vinteren og større trafikkfart. Dette går ikkje fram av dokumentasjonen.

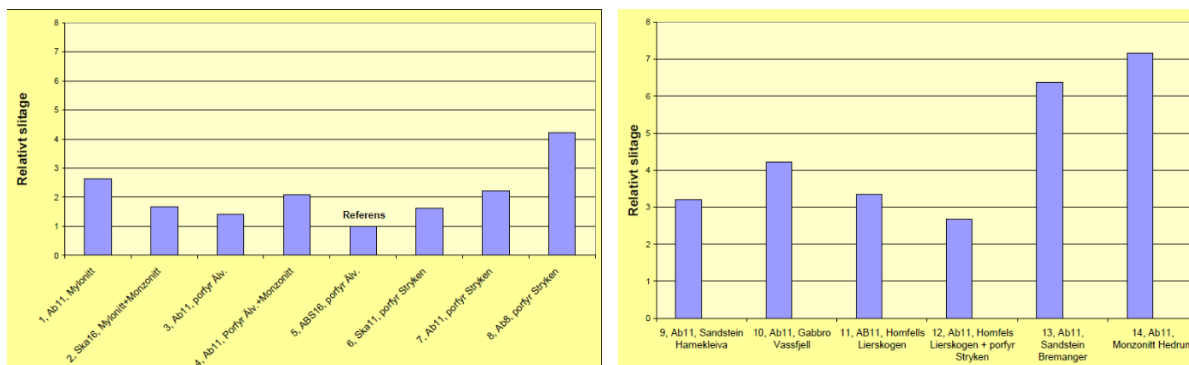
Slitasjevurderingane i rapport nr. 99 frå Statens vegvesen (2013), er basert på målingar i 2006. Formelen  $y = 0,0025 * \text{ÅDT}$  svarar til ein gjennomsnittleg slitasjefaktor på 7 g/km/køyretøy. Dette stemmer bra med svenske data for 100 % piggedekkkandel i 2007, men kan gje for høge verdiar i dag på grunn av redusert piggedekkbuk og kortare piggedekksesong enn for ti år sidan.



Figur 15: Relativ dekkslitasje ved alternative tilslag og ved tørt og vått vegdekke



Figur 15 er kopiert frå ITM-rapport 158 «Betydelse av dubbdäck för PM10 halterna längs vägerna» frå 2006, og viser at ulikt tilslag i asfalten er årsak til store variasjonar i slitestyrke. Piggdekkslitasjen er størst ved fuktig vegbane.



Figur 16: Relativ slitasje ved ringbaneforsøk (kopiert frå dekkeseinar april 2007, [www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no))

Figur 16 er henta frå forskningsprosjektet ”Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker”, SIV, som vart utført i samarbeid med Statens vegvesen, NTNU, NGU, PGL, NCC Roads AS, KOLO Veidekke AS, Feiring Bruk AS og Franzefoss Bruk AS. Prosjektet etablerte forsøksstrekningar i fire fylke hausten 2001 og vart avslutta i 2005.

Testing av 14 ulike asfaltprøver i ringbaneforsøk, gav til dels svært store skilnader i slitasjemotstand. Etter 300.000 runder, vart det målt sju gonger større slitasje på Ab11 med tilslag av Monzonitt frå Hedrum enn for den svenske asfaltresepten ABS16 med porfyrtilslag frå Älvdalen. Det var nær lineær samanheng mellom slitasjemotstand og mølleverdi<sup>7</sup> for tilslaget i asfalten (korrelasjonskoeffisient  $R^2=0.97$ ).

I VTI-notat 36-2005 er resultat frå feltmålingar samanlikning med slitasjeverdiar frå den svenske VTI-modellen. Feltnålingane vinteren 2004/2005 stemde godt med prognoser frå VTI-modellen. Tabell 8 viser sporslitasje og SPS-tal frå seks strekningar med fartsgrense 110 km/t og piggdekkandel på 57 %.

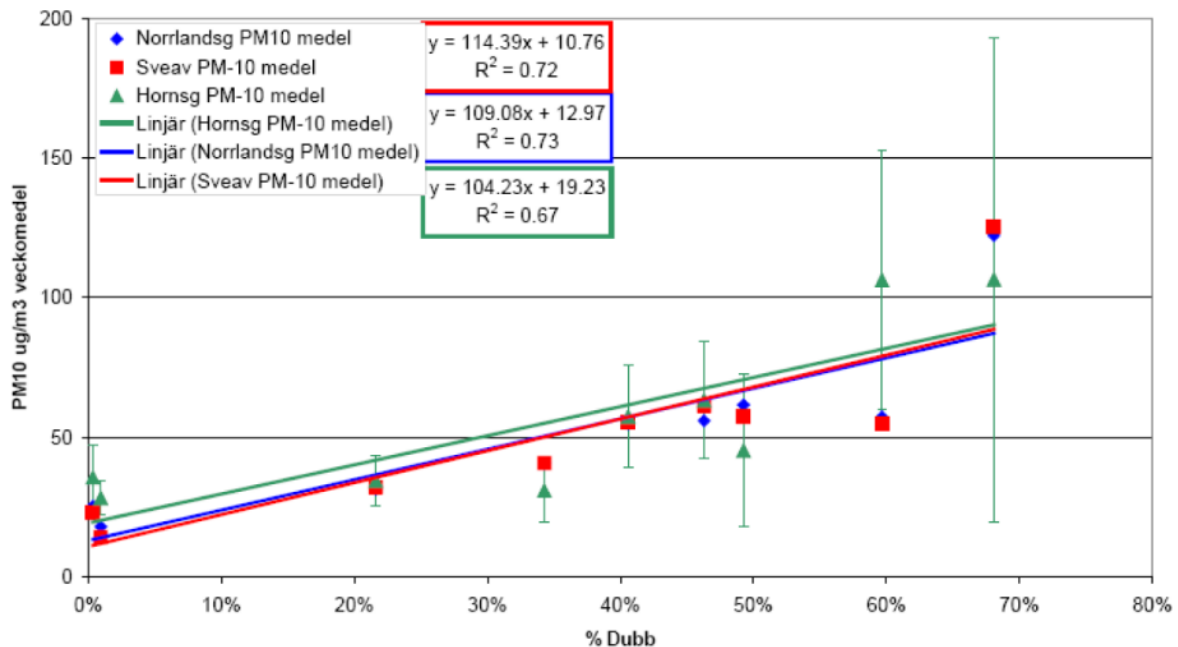
Tabell 8: Slitasjedata frå feltnålingar i Sverige i 2004/2005 (Kopi av figur 4 i VTI-notat 36-2005)

Objekt	Medel-avnötning mm	Standard avvikelse	Maximalt spårdjup mm	SPS-tal
1, E4	0,69	0,049	1,86	7,3
2, E4 <sup>1)</sup>	0,40	0,073	1,03	4,9
3, E4	0,70	0,029	1,51	7,8
4, E4	0,49	0,024	1,34	6,2
5, E18	0,60	0,050	1,68	5,7
6, E18	0,58	0,022	1,66	5,9

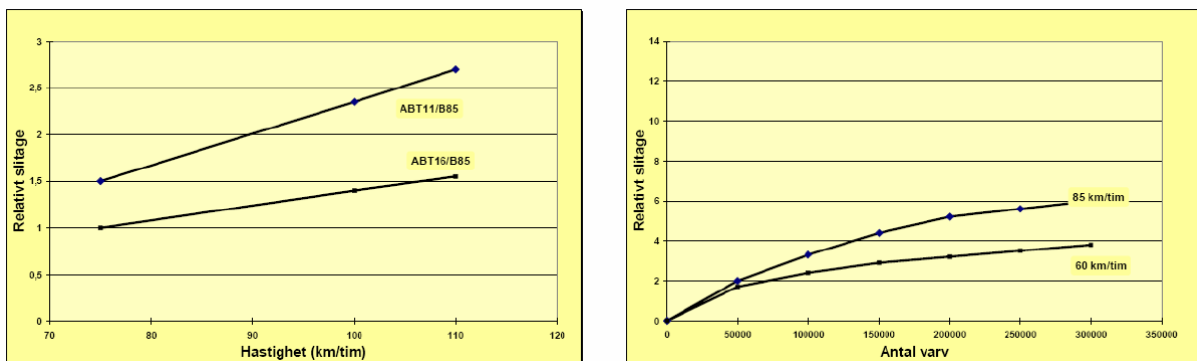
<sup>1)</sup> Den låga avnötningen beror delvis på att sträckan var avstängd en period under vintern för reparationer av broar (SPS-talet har korrigerats för detta).

<sup>7)</sup>Mål for motstandsevne mot piggdekk. Sjå krav til tilslag i asfalt i hb. N200 (kap. 6 og vedlegg 3)

I ITM-rapport 158 er det vist til ein svensk studie frå 2003 som viser ein klar samanheng mellom piggdekkandel og støvproduksjon i Stockholm. Dersom vi antar at dekklesitasjen varierer proporsjonalt med PM10-produksjonen, kan vi rekne med halv slitasje dersom piggdekkandelen går ned frå 70 % til ca. 25 %. Til samanlikning låg piggdekkandelen i Stavangerområdet rundt 20 % i 2015.



Figur 17: Gjennomsnittsverdiar av PM10 langs tre gater i Stockholm med ulik piggdekkandel hausten 2003

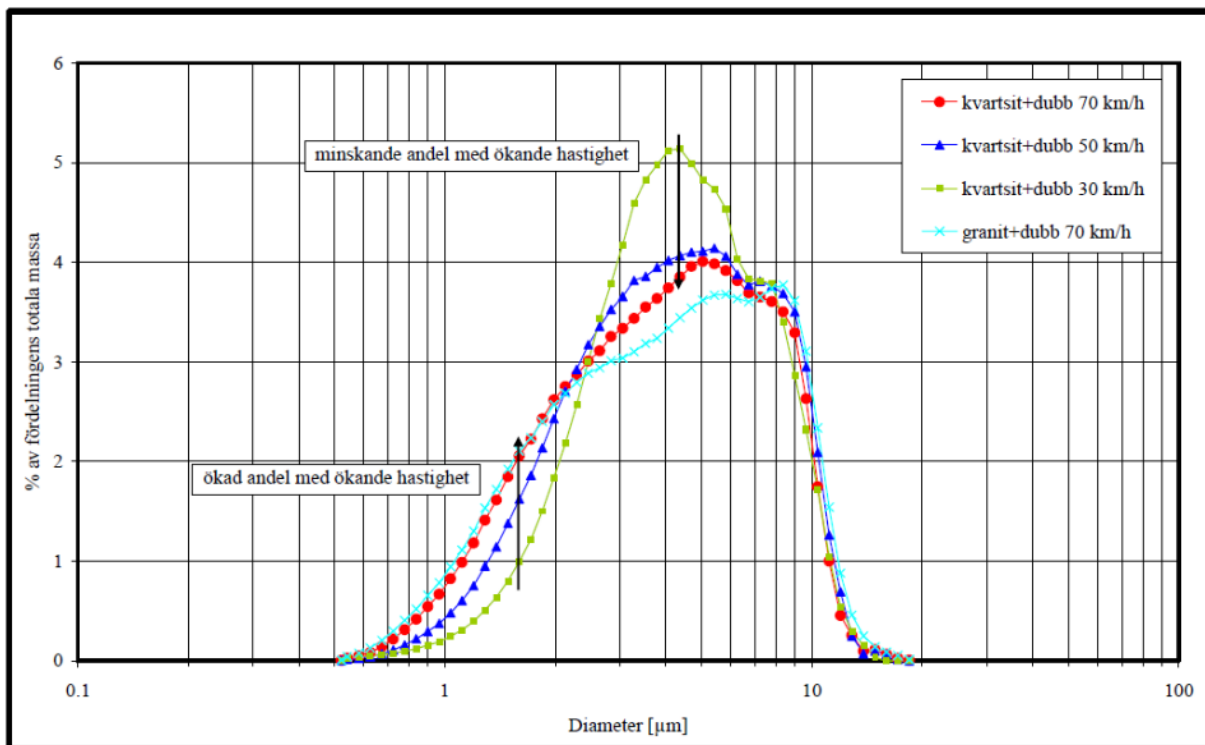


Figur 18: Samanheng mellom trafikkfart, asfalttype og motstand mot piggdekkslitasje (PVM i Laboratorium)

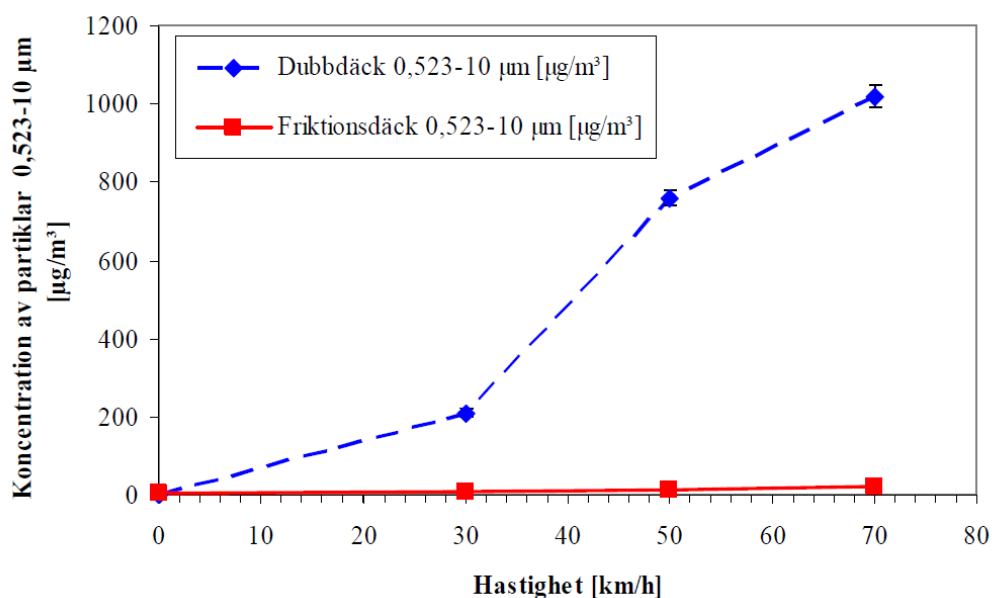
Figur 18 viser resultat frå feltmålingar til venstre og slitasjemålingar i laboratorium til høgre. Slitasjen på vegdekket aukar med større trafikkfart. Figuren viser også at asfalt med grovt tilslag har størst slitasjemotstand.

Eit asfaltdekke er ei blanding av knuste steinmaterialar, ca. 5 % bitumen og 4 – 8 % filler (steinstøv < 63 µm). Filler som blir blanda inn for å fylla opp holromma i asfalten, kan vere ei viktig kjelde til svevestøv i tunnelar, men dette er ikkje dokumentert med nøyaktige målingar. Graderingskurver for filler frå norske asfaltverk viser at ca. 50 % har partikkeldimensjon mindre enn 10 µm (PM10). Det er også grunn til å tru at støvproduksjonen varierer ein god del med asfaltresepten.

Vegstøv som blir produsert om vinteren, består av nesten 90 % mineralpartiklar, og ca. 50 % av partiklane er mindre enn 25  $\mu\text{m}$  (D50)<sup>8</sup>. Piggdekk produserer større mengder av dei minste partiklane enn piggfrie dekk. Figur 19 viser at større fart gjev meir nedknusing av materialane slik at det blir meir PM2,5 på vegar med høgt fartsnivå.

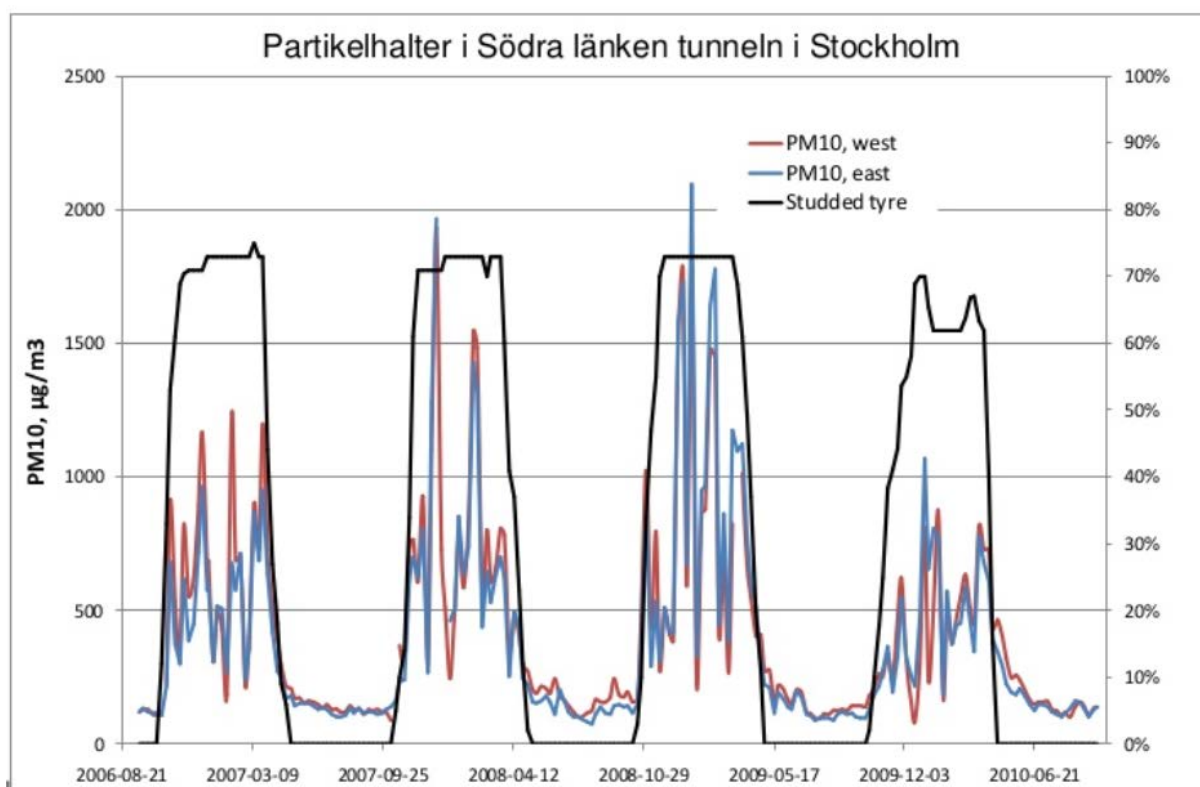


Figur 19: Prosentvis massefordeling av PM10-partiklar (Kjelde: VTI-rapport 521 frå 2005). [www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no).



Figur 20: Ved 70 km/t har piggdekk har 40 - 50 gonger større produksjon av PM10 enn friksjonsdekk

<sup>8</sup> Brynhild Snilsberg: Doctoral Theses at NTNU, 2008:133 «Pavement wear and airborne dust pollution in Norway»



Figur 21: Eksempel på piggdekkbruk og PM10-nivå i tunnelluft (Kjelde: SLB analys Miljöförvaltningen, Stockholm)

Figur 21 viser at støvnivået i Södra länken er 5 – 10 gonger større om vinteren enn om sommaren. Piggdekkslitasje og resirkulering av støv er rekna som hovudårsak.

Vekta av eit vanleg personbildekk er ca. 8 kg. Av dette utgjer den nyttbare delen av slitebanen ca. 2,0 kg. Dersom dekket rullar 40.000 km, blir den gjennomsnittlege slitasjen ca. 0,20 gram/km/bil. For store køyretøy kan det ventast minst fem gonger større dekkslitasje pga. fleire hjul og dekk med større kontaktflater mot vegbanen.

Tabell 9 - 11 er kopiert frå Intern rapport nr. 2357: «Gjenbruk av bildekk i vegbygging – Tekniske og miljøtekniske vurderinger» (Statens vegvesen 2004). Frå 1. januar 2010 har det vore forbod mot sal av bildekk med PAH<sup>9</sup>. Det var derfor venta at nye analysar av tunnelstøv ville gje nedgang i PAH-verdiane samanlikna med eldre prøveresultat sjølv om bindemiddelet i gammal asfalt også inneheld PAH.

Tabell 11 viser at bremsestøv inneheld små mengder av mange ulike tungmetall i tillegg til stålpartiklar frå bremsektivene<sup>10</sup>. Bremsesktivene på ein personbil har normalt mindre slitasje enn 1,0 mm pr. 100.000 km. I tunnelar med maksimal stigning på 5 %, blir bremsebrukt lite, og bremsebrukt blir vesentleg mindre enn gjennomsnitt. Dersom vi reknar med 10 % av normal bremsebrukt, får vi ein bremsestøvfaktor på ca. 1,0 mg/km/bil.

<sup>9</sup> <http://europolov.no/rechtsakt/begrensninger-pa-bruk-av-polysyklisk-aromatisk-hydrokarbon-i-mykningsoljer-og-dekk/id-631>

<sup>10</sup> Kjelde: <http://vergina.eng.auth.gr/mech0/lat/PM10/Brake%20wear-lining%20and%20particle%20composition.htm>

Bremsestøv utgjør ein ørliten del av den totale støvmengda i tunnelen, men dette støvet inneheld små mengder av over hundre ulike organiske stoff som kan medføre at tunnelstøv blir meir helsefarleg enn steinstøv frå vegdekket.

Bruk av reservedeler med asbest har vore forbode etter 1. august 2003. I dag er det så få bilar igjen som har asbest i bremsene at vi kan sjå bort frå helseisiko av asbeststøv i tunnellufta.

Tabell 9: Metallinnhald i eit utval av bildekk i Intern rapport nr. 2357 (2004)

Parameter [mg/kg]	Dekk uten wire [mg/kg] [53]	Dekk uten wire* [mg/kg] [46]	Beregnet miljørelatert akseptkriterium ** [mg/kg]
Al		280	-
As	< 9.95	4.1	2
Ca		1160	-
Cd	< 1.99	3.6	4
Cr	< 1.99	3.3	25
Co	< 1.99	107	-
Cu	32.1	30	18500
Hg		0.1	1
Fe	452	4480	-
Mg		< 500	-
Mn	3.51	28	-
Ni	< 1.99	3.3	52
Pb	< 9.95	52	60.6
Ti		48	-
Zn	174	15500	13700

\* Proven inneholdt rester av wire  
 \*\* I beregningen er det forutsatt at det ikke skal dyrkes grønnsaker i "jorden."

Tabell 10: Dei viktigaste materialane i bilgummi

Bestanddeler	Innhold (vekt %)
Polymer (natur- og syntetisk-gummi)	40 - 60%
Forsterkningsmiddel (carbon black, silika)	25 - 35%
Mykgjører (oljer, <0.1% PAH)	25 - 30%
Aktivator (f.eks. sinkoksid, amin)	2 - 5%
Antioksidant (f.eks. parafenyldiaminer, fenoler) og antiozonanter (f.eks. voks)	1 - 2%
Vulkaniseringsmiddel (svovel)	1 - 2%
Akselerator (f.eks. sinksalt av thiofosfat)	0,5 - 2%
Herder (f.eks. svovel og svoveldonorer)	0 - 3%
Fordrøyningsmiddel	< 1%
Annet	< 1%

Tabell 11: Kjemisk samansetning av slidedelen i bremseklossar- og bremseband

Metall	mg/kg	Metall	mg/kg	Metall	mg/kg	Metall	mg/kg
As	10	Cr	162-1200	Mn	3220	Se	20
Al	3770	Cu	15100-142000	Mo	10000	Sn	7000
Ba	2640	Fe	115000-399000	Na	15400	Sr	81,4-740
Ca	14300	K	857	Ni	210-850	Ti	3600
Cd	2,7-29,9	Mg	6140	Pb	1960-3900	V	660
Co	6,43	Li	55,6	Sb	10000	Zn	270-21800

## 7 Sideareal og lagringsplass for sand og støv

Det er store skilnader i sand- og støvmengder i tunnelane sør og nord for Boknafjorden. Ulike rutinar for drift og vedlikehald er nok ei viktig årsak, men der er også grunn til å sjå nærare på forma på siderareal og lagringsplass for sand- og støv.



I Byfjordtunnelen og Mastrafjordtunnelen er sidearealet utført med ei langsgående renne bak kantsteinen.

Rennande vatn fjernar dei finaste støvpartiklane og held lufta fuktig slik at det tek lang tid før støvet som er avsett på tunnelveggen, tørkar opp.

Breidda på det fuktige arealet varierer med lokale innlekkasjar i veggen.

*Figur 22: Byfjordtunnelen og Mastrafjordtunnelen har dreneringsrenne bak kantsteinen og lite støv langs kantlinja.*



*Figur 23: Åkrafjordtunnelen på E134 har kombinert dreneringsrenne og oppsamlingsareal mot veggen.*

I den 7,4 km lange Åkrafjordtunnelen som vart opna 15. juli 2000, er det lagt til rette for oppsamling av større mengder sand og støv bak eit glidestøypt sideareal. Breidda på det støypte arealet er ca. 0,5 m. Store køyretøy produserer turbulens og vind som løfter sand og støv over kantsteinen slik at det fell ned i den 50 mm djupe oppsamlingsrenna bak den glatte delen av sidearealet. Lokale vasslekkasjar og tilførsel av vassdamp frå grunnvatnet, held overflata fuktig slik at det blir lite resirkulering av støv når store bilar passerer og ved start av vifter.



I tunnelar med tørt og slett siderareal, blir det lagra lite sand og støv inn mot tunnelveggen. Når støvet tørkar opp, blir dei minste partiklane virvla opp som svevestøv i turbulensen frå store bilar. Sand og søppel blir sopt tilbake til vegbana. I havarinisjene er det ikkje uvanleg med eit 10 – 50 mm tjukt sandlag langs kantsteinen.

Delt sideareal med glatt overflate mot vegbana og ru overflate mot veggen, gjev betre vilkår for lagring av sand frå dekkleslitasje, men også her blir det lagra ein del fin sand på vegdekket mellom kantlina og kantsteinen.

*Figur 24: Bømlaffjordtunnelen som vart opna 28.12.2000, har sideareal av betong*



*Figur 25: Eksempel på lagerplass for fin sand mot kantstein og på den bakre delen av todelt sideareal (Rv. 5 Støylsnestunnelen)*

## 8 Rutinar for reinhald av tunnelar

I driftskontraktane til Statens vegvesen er det stilt generelle krav til reinhald av tunnelar. Den generelle teksten i prosess 38 *Tunnelutstyr, - renhold m.m.* er henta frå kap. 4.22 i hb. 111 *Standard for drift og vedlikehold av riksveger (2012)*:

Omfatter drift og vedlikehold av tunnelar, inkludert vegoverbygg og portaler m.m. Prosessen gjeldjer også tunnelutstyr som er direkte relatert til tunnelen, selv om det er plassert i dagen. For objekter i tunnel gjeldjer renholdskrav gitt på andre prosesser for det enkelte objekt i tillegg til kravene gitt for tunnelrenhold.

- c) Tunnelrenhold skal bidra til positiv opplevelse for trafikantene gjennom å sikre en estetisk tiltalende og sikker tunnel, godt arbeidsmiljø for de som utfører arbeidet i tunnelen samt minst mulig aggressivt miljø og best mulig funksjon for objekter installert i tunnel, blant annet
- Opprettholde god effekt av tunnellys
  - Opprettholde god sikt og visuell ledning for trafikantene
  - Bidra til lav støvkonentrasjon i tunnelluften
  - Bidra til forlenget levetid for installasjoner og lave driftskostnader ved å fjerne uønskede og fremmede gjenstander, materialer og belegg.

Tabell 12: I hb. R610 er reinhald av tunnelar oppdelt i tre grupper

Renhold: Hel	Renhold: Halv	Renhold: Teknisk
<ul style="list-style-type: none"><li>• Rengjøring av kjørebane og skulder med oppsamling av masser</li><li>• Rengjøring av tak og vegger</li><li>• Rengjøring av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefelt-signaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmatur/kabelbru, buffere, ventilatorer</li><li>• Tømming av sandfang (se også kap. 2.8 Avvannings- og dreneringssystem)</li><li>• Rengjøring av kjørebane og skulder</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rengjøring av kjørebane og skulder med oppsamling av masser</li><li>• Rengjøring av vegger</li><li>• Rengjøring av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefelt-signaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmatur/kabelbru, buffere</li><li>• Rengjøring av kjørebane og skulder</li><li>• Vegg regnes opp til høyde 3,5 meter der skillet mellom vegg og tak er uklart</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rengjøring av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefelt-signaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmatur/kabelbru, buffere</li><li>• Rengjøring av kjørebane og skulder</li></ul>

Vedlikeholdskontraktane liknar litt på totalentreprise for vegbygging der entreprenøren står relativt fritt til å velje korleis han vil utføre arbeidet. Men driftskontraktane stiller mindre krav til kvalitet og dokumentasjon enn totalentreprisane. I standardkontraktane for reinhald av tunnel er det ingen presise kvalitetskrav og toleransar. Det blir heller ikkje stilt spesielle miljøkrav. Det er i stor grad opp til entreprenøren å definere innhaldet i ordet «*rengjøring*» og vurdere kva som er «*lav støvkonentrasjon*».

I hb. R610 er det eit generelt krav om oppsamling av masser frå køyrebane og skulder for å hindre at laust materiale blir spylt ned i avlaupsnett. Dette kravet er ikkje teke inn i standardteksten i prosess 38. Dermed kan entreprenøren velje kor stor del av massane som skal feiest opp tørt og kva som skal spylast ut gjennom sandfang og rør til slam- og olje-avskiljar og eventuelle slambasseng utanfor tunnelen.



Hb. R610 har krav om tømning av kummar og sandfang i samband med heilvask. Dette er ikkje eit generelt krav i alle driftskontraktane fordi tømmeffrekvensen varierer med arbeidsmetodar og utstyr som blir brukt ved feiing og vask. Dersom det meste av massane blir feia opp tørt, blir det utfelt så små mengder i kummar og sandfang at det kan gå fleire år mellom kvar tømning.

Tabell 13 viser eksempel på kalenderstyrt reinhald av tunnelar i Region vest. Frekvensen for heil- og halvvaske varierer med ÅDT. Lange tunnelar og tunnelar med spesielt stor tungtrafikk, blir løfta opp i ei høgre ÅDT-gruppe. Reinhald av Lærdalstunnelen blir derfor utført etter ÅDT-gruppe 8001 – 12000. Dei tre store bergromma får to ekstra heilvask kvart år. Karmøytunnelen er plassert i ÅDT-gruppe 4001 – 8000.

Tabell 13: ÅDT-grenser og datostyrt reinhaldsrutine frå Region vest

	0-300	301-4000	4001-8000	8001-12000	12001-15000	15001-
september			R-Halv	RT	RT	RT
oktober					R-Hel	R-Hel
november		RT		R-Halv	RT	RT
desember			RT		R-Halv	R-Halv
januar				R-Halv	RT	RT
februar					RT	R-Halv
mars		R-Hel	R-Hel	RT		RT
april					R-Hel	R-Hel
mai				R-Hel	RT	RT
juni	RT				R-Halv	R-Halv
juli			RT			RT
august				RT	R-Halv	R-Halv

RT = Renhold teknisk
R-Halv = Renhold Halv
R-Hel = Renhold Hel

### Eksempel på krav til feie-/spylebil med bredslug (Prosess 38.1 c)

Feie-/spylebil skal være utstyrt med vanlig feieutstyr med midtkost, frontkost som gir mulighet for feiing utenfor bilens bredde, spylebom i front og spylebom på siden, sidesug på begge sider og bakmontert bredslug. Den skal og vere utstyrt med spyleslange, montert på trommel.

Bilens vanntank bør være 3000 l og lastetanken på 8-12 m<sup>3</sup>.

Bredslug skal kunne ta opp fine partikler/finstøv/svevestøv fra vegbanen og ha spesifikasjoner som beskrevet nedenfor eller tilsvarende:

- Breddelik bilens bredde og plassering på kjøretøy som tillater sug inn mot kantstein/føringskant.
- Gummilepper rundt hele bredsuget som kan tette mot vegdekker med inntil 30 mm spordybde.
- Roterende dyser fordelt på flere rotorar, overlapp mellom dysenes virkeområde. Dysene skal dekke hele bredsugets bredde. Strålevinkel mot vegbanen omlag 15°. Trykk 100- 300 bar, fortrinnsvis justerbart. Vannmengde omlag 100 l/min.
- Spaltesug i hele bredsugets bredde montert bak de roterende dysene. Luftmengde 400-500 m<sup>3</sup>/min.
- Brukshastighet opp til 8 km/t.

I dette eksemplet er det ikkje stilt spesielle krav til utstyr som skal brukast på sidearealet. Ved testing av spyle- og feieutstyr frå tre driftsentrepreneurar våren 2015, vart det påvist store variasjonar i oppsamla mengde finstoff. Rapport nr. 619: «Renholdsforsøk i tunnel og gate i Trondheim våren 2015» inneheld oversikt over oppsamla mengder og kjemiske analyser av slam og vaskevatt. Rapporten viser at det er behov for meir detaljerte prosedyrar, krav til utstyr og utvikling av nye metodar for å dokumentere kvaliteten av tunnelvask.

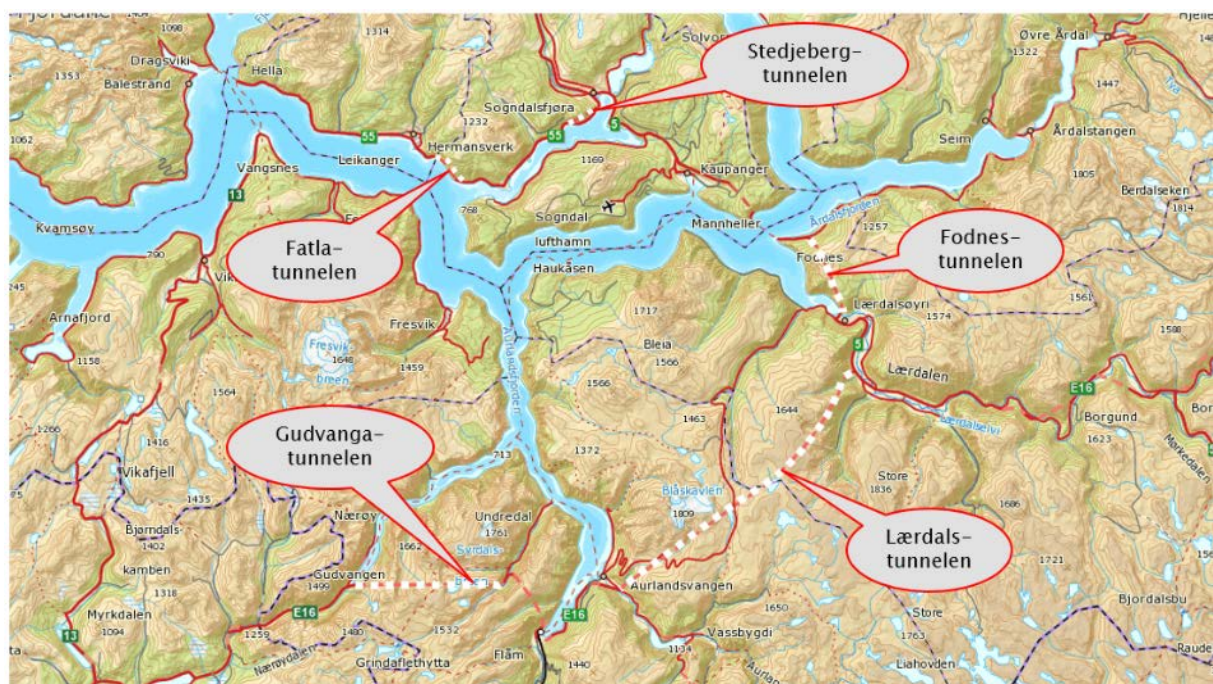
## 9 Måling og analyse av gass, støv og slam i Region vest i 2016

Frå februar til juli 2016 vart det utført målingar av NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> i fleire ulike tunnelar i Region vest for å få betre oversikt over samanhengen mellom NO<sub>x</sub>-nivå, støvproduksjon, tunnelutforming og trafikk. Trafikkfeltjening og måling av gassnivå vart utført med utstyr som er fast installert i tunnelane. Støvmåling vart utført med mobilt utstyr av type *TEOM Series 1400a Ambient Particulate Monitor* med filter for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. Minste måleperiode er 15 minutt for mobilt utstyr og 60 sekund for dei faste målestasjonane.

Formålet var å finne eit sikrere grunnlag for å vurdere effektive tiltak mot svevestøv i Rogfast og andre lange tunnelar. Støv- og slamprøver frå Karmøy-tunnelen vart analyserte for å få meir kunnskap om dei ulike fraksjonane og lokalisere kjeldene.



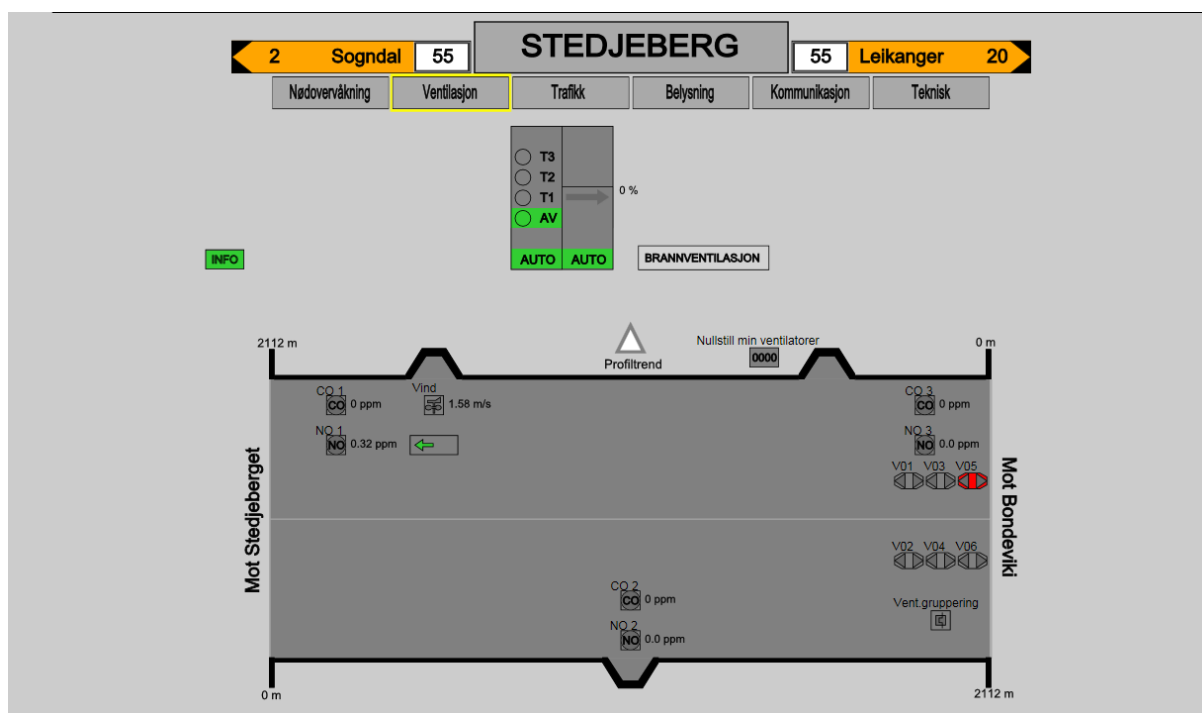
Figur 26: Måleutstyr for støv er plassert på sidearealet i ei havarinisje



Figur 27: Oversikt over målepunkt: Rv. 55 Sogndal - Hermansverk, Rv. 5 Fodnes - Lærdal og E16 Gudvangatunnelen

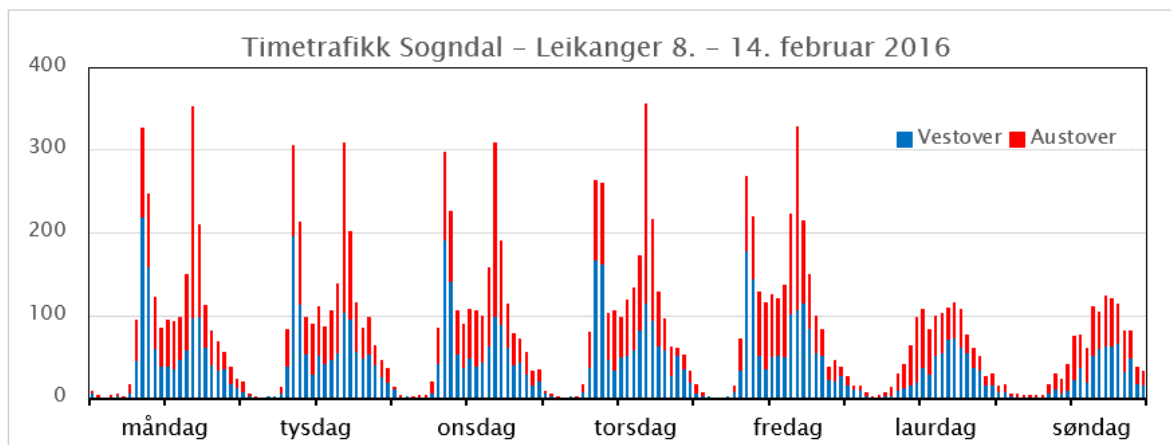
## 9.1 Rv. 55 Stedjeberg tunnelen

Tunnellengde: 2.109 m  
 Tverrsnitt: Ca. 50 m<sup>2</sup>  
 Stigning: 1,0 % inn mot midten frå begge sider



Figur 28: Plassering av måleutstyr og impulsventilatorar i Stedjeberg tunnelen

### 9.1.1 Trafikk, ventilasjon og luftkvalitet



Figur 29: Trafikkvariasjon frå måndag til søndag (Dagpendling måndag – fredag 07 -09 og 15-16)

ÅDT 2015

Gjennomsnittleg trafikk i veke 7/2016:

Trafikk av køyretøy med lengde over 5,6 m:

Største timetrafikk:

Retningsfordeling ved maks. timetrafikk:

2150 køyretøy/døgn

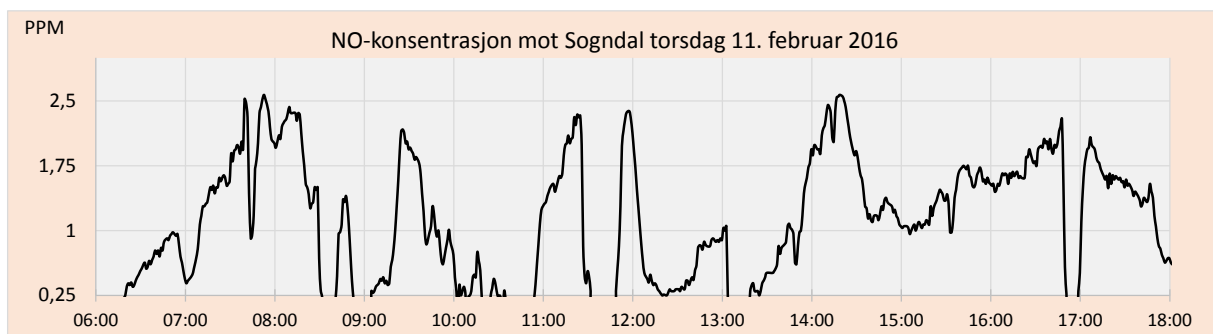
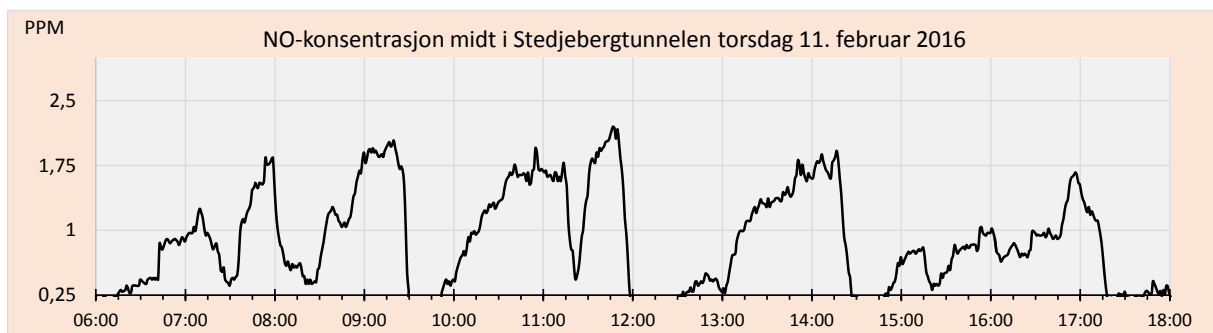
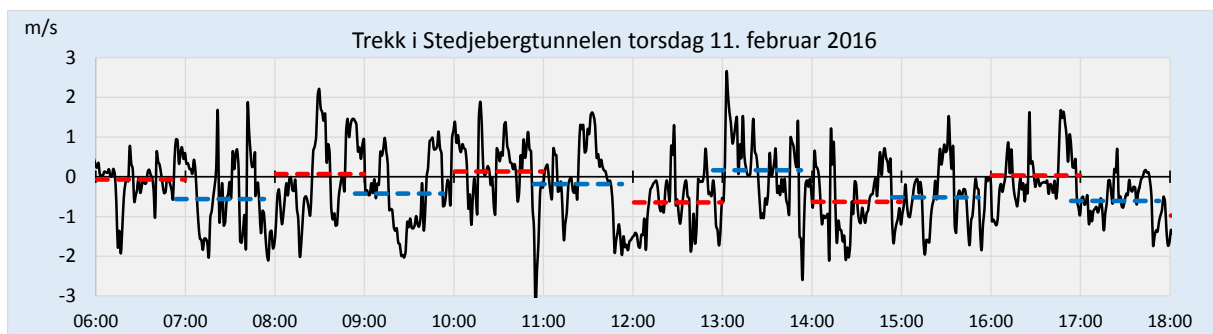
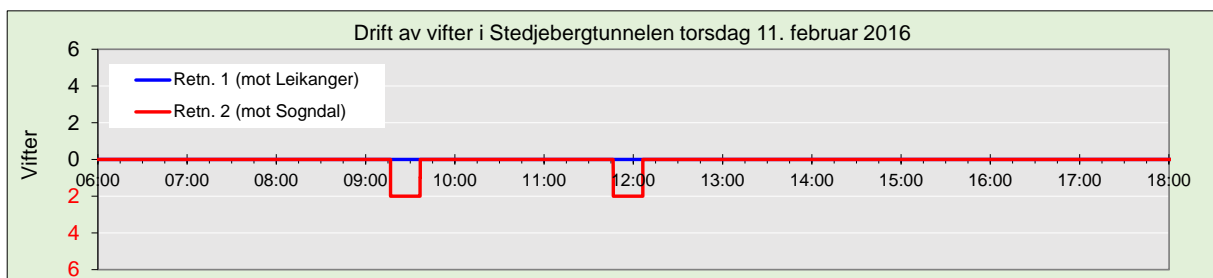
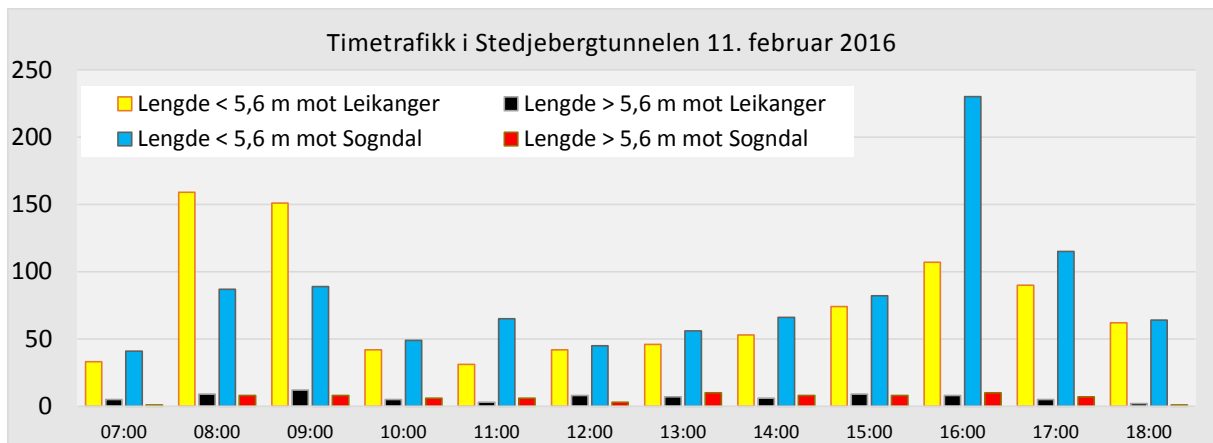
1999 køyretøy/døgn (måndag – søndag)

2122 køyretøy/døgn (måndag – fredag)

7,3 % (8,0 % måndag- fredag)

355 køyretøy/time (torsdag 15:00 – 16:00)

68 % mot Sogndal (11.02.2016)



Figur 30: Eksempel på trafikk, trekk og NO-konsentrasjon i Stedjeberg tunnelen (1,0 ppm = 1/1000.000)

Gang- og sykkelvegen som går på utsida av tunnelen, er stengd om vinteren. Derfor er det sett ei øvre grense på 2,0 ppm NO midt i tunnelen. For å innfri dette kravet, trengst det ein gjennomsnittleg trekk på ca. 0,2 m/s som gjev gjennomlufting kvar tredje time. To vifter startar ved 2,0 ppm NO midt i tunnelen eller ved 3,0 ppm nær ein av endane.

Den naturlege trekken varierer +/- 2 m/s med dominerande trafikkretning og vind. Figur 30 viser at den naturlege trekken gjekk mot Sogndal den 11. februar, men stempeleffekten frå trafikken snudde trekken fleire gonger i timen. I periodar på 10 – 15 minutt var trekken vestover kraftig nok til å blåse frisk luft inn til NO-sensoren som ligg ved havarinisja ca. 500 m frå austenden av tunnelen. Men den gjennomsnittlege trekken var liten på grunn av ustabil vindretning. Dette er ein typisk situasjon i tunnelar med tovegstrafikk.

### 9.1.2 Temperatur, nedbør og støv nivå (PM 2,5 og PM10)

Lågt ventilasjonsnivå og skiftande retning betyr at ein svært liten del av vegstøvet blir transportert ut av tunnelen med ventilasjonslufta. Dette medfører store støvplager i Stedjeberg-tunnelen i tørt og kaldt ver.

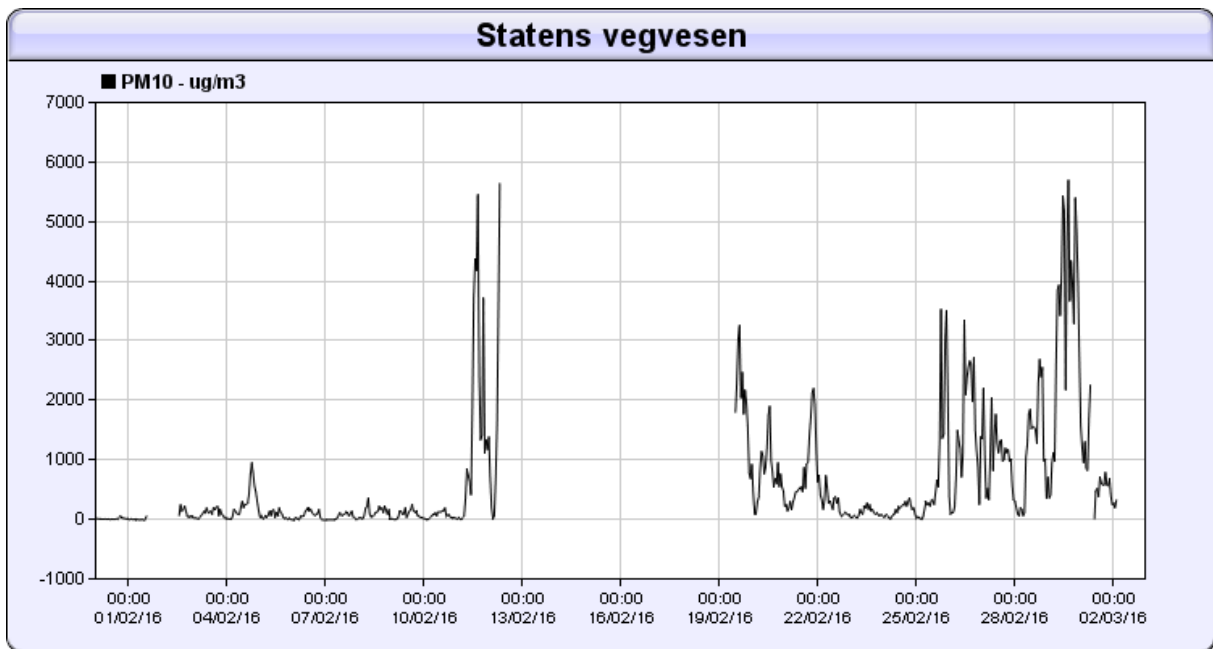
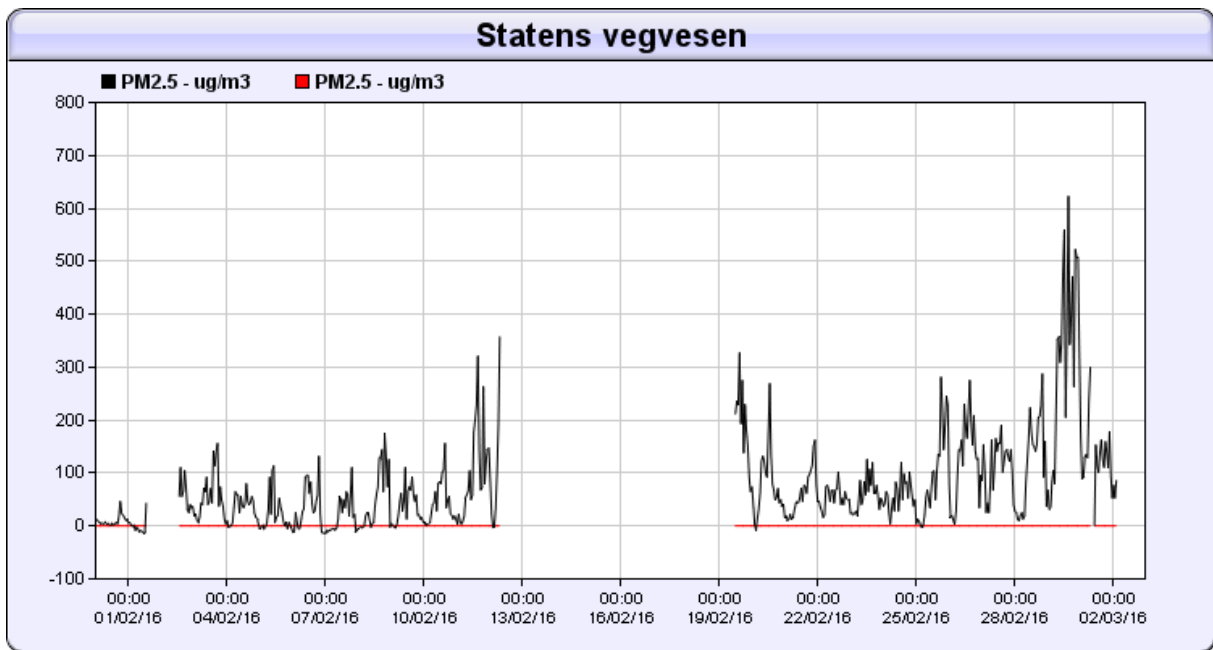
Målingane i februar 2016 viste lågt støv nivå så lenge vegbana var fuktig. Frå 2. til 11. februar låg dei høgste PM2,5-toppene litt over 100 µg/m<sup>3</sup>. Ein del av dette er røyk og sot frå biltrafikken, men fordelinga mellom eksos og vegstøv er ein ukjend faktor.

Den 11. februar var vegbana fuktig klokka 07:00, men tørka opp nokre timar seinare. Dette gav ei dobling av PM2,5-nivået og meir enn tidobling av PM10-nivået ut på ettermiddagen. Stabilt tørt ver gav høgt støv nivå den fyrste veka etter at måleutstyret vart flytta til Fodnes-tunnelen.

Tabell 4 og 5 viser ein klar samanheng mellom nedbør og støv nivå i Stedjeberg-tunnelen. Ved lufttemperatur under 0 °C utanfor tunnelen, stig temperaturen på veg gjennom tunnelen. Dette betyr redusert Rh-verdi, og vegbana tørkar raskare inne i tunnelen enn på utsida. Bilane tek med seg ein del slam frå den våte vegbana inn mot tunnelen. Ved opptørking gjev dette ekstra støvproduksjon i tillegg til slitasjeprodukta frå vegbane og bildekk inne i tunnelen.

Tabell 14: Temperatur og nedbør ved Lærdalsøyri målestasjon frå 1. til 12. februar 2016 ([www.yr.no](http://www.yr.no))

Dato	Temperatur °C				Akkumulert nedbør
	Maks	Min	Middel	Normal	
01.feb.16	3,9°	-2,4°	---	-3,4°	0,6 mm
02.feb.16	0,9°	-2,4°	0,0°	-3,4°	5,5 mm
03.feb.16	4,0°	-0,5°	0,8°	-3,3°	4,2 mm
04.feb.16	3,5°	-0,4°	2,3°	-3,3°	0,1 mm
05.feb.16	2,7°	-0,4°	0,2°	-3,3°	0,0 mm
06.feb.16	3,8°	-0,9°	1,5°	-3,3°	0,9 mm
07.feb.16	10,3°	0,6°	4,0°	-3,3°	1,1 mm
08.feb.16	9,1°	3,2°	6,3°	-3,2°	1,5 mm
09.feb.16	6,8°	0,6°	1,6°	-3,2°	0,3 mm
10.feb.16	3,4°	-0,6°	0,7°	-3,1°	0,5 mm
11.feb.16	0,0°	-3,0°	-2,3°	-3,1°	0,0 mm
12.feb.16	-2,4°	-6,8°	-6,0°	-3,0°	0,0 mm



Figur 31: PM2,5 og PM10 i Stedjeberg tunnelen 2. - 12. februar 2016 (Fodnestunnelen i høyre del av diagrammet)

Tabell 15: Høgste daglege verdiar av PM2,5 og PM10 frå 2. til 12. februar 2016

Vekedag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag
Dato	02.feb	03.feb	04.feb	05.feb	06.feb	07.feb	08.feb	09.feb	10.feb	11.feb	12.feb
PM2,5	110	160	80	115	130	110	180	110	160	330	360
PM10	250	250	950	200	200	200	350	200	200	5500	5600
% PM2,5	44 %	64 %	8 %	58 %	65 %	55 %	51 %	55 %	80 %	6 %	6 %

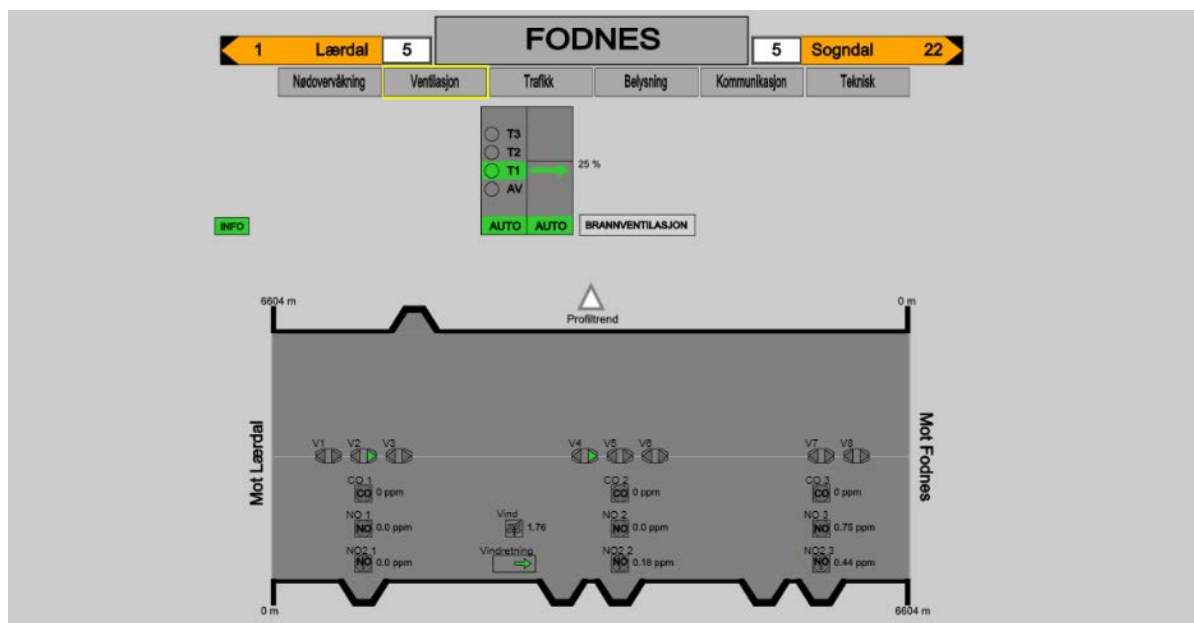
## 9.2 Rv. 5 Fodnestunnelen

Tunnellengde: 6 604 m

Tverrsnitt: Ca. 50 m<sup>2</sup>

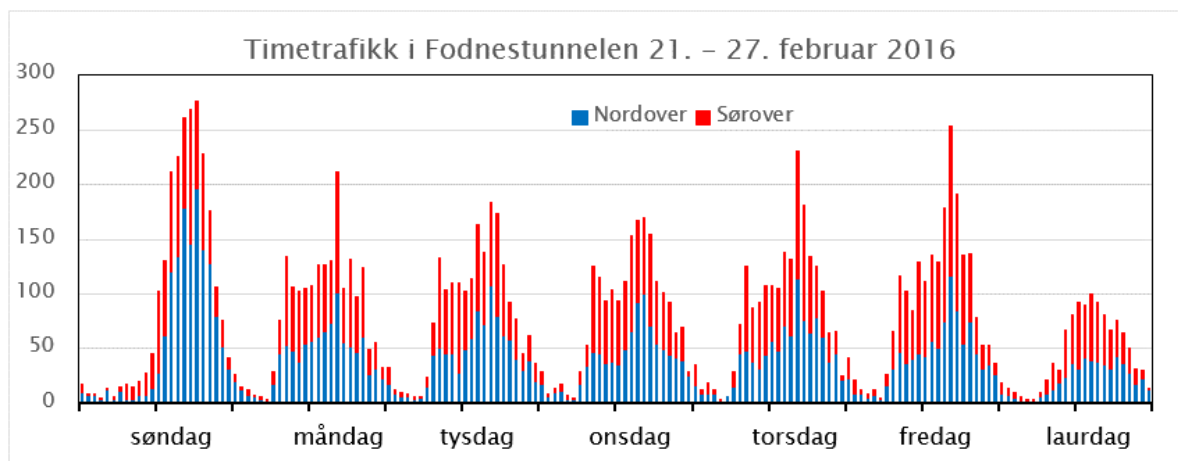
Stigning: Ca. 1,0 % mot Fodnes

Ventilasjon: 8 impulsventilatorar med samla effekt ca. 650 kW



Figur 32: Rv. 5 Fodnestunnelen 1. mars 2016, klokka 07:35

### 9.2.1 Trafikk, ventilasjon og luftkvalitet



Figur 33: Trafikkvariasjonar frå søndag til laurdag

ÅDT 2015

Gjennomsnittleg trafikk i veke 9/2016:

Trafikk av køyretøy med lengde over 5,6 m:

Største timetrafikk:

Retningsfordeling ved maks timetrafikk:

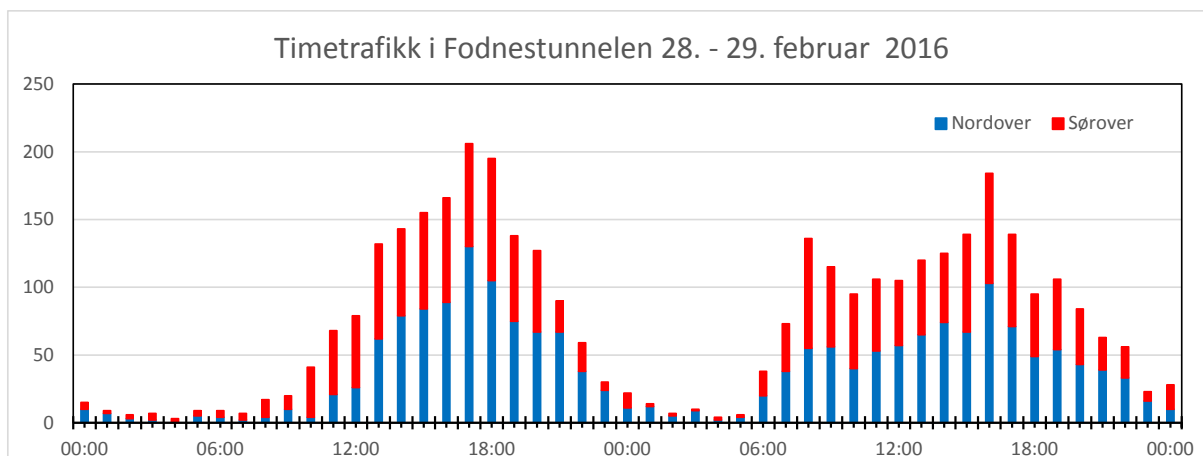
2000 køyretøy/døgn

1820 køyretøy/døgn.

16 % (8 % søndag, 18 % måndag)

271 køyretøy/time (søndag 21. februar)

71 % nordover (avslutning vinterferie)



Figur 34: Trafikkvariasjon søndag – måndag

I figur 35 og 36 er det vist gjennomsnittleg trekk for 20 minutt intervall. Trekken varierer +/- 2 m/s når det ikkje er vifter i drift. Retninga skifter i takt med ferjefrekvensen Mannheller – Fodnes. Stempeeffekten frå bilkolonna som kjem frå ferja, er kraftig nok til å stoppe trekken sjølv om 50 % av viftene er i drift.

Figur 37 og 38 viser eksempel på raske endringar i konsentrasjonen av NO og NO<sub>2</sub> når trekken snur. Ujamn retningsfordeling på trafikken bles av og til frisk luft over 1,0 innover mot ventilasjonsretninga.

Skiftande trekkretning gjev låg gjennomsnittleg trekk og lang gjennomluftingstid. Den 24. februar var den gjennomsnittlege trekken mot Lærdal ca. 0,8 m/s frå klokka 09 – 17. Det gjev ei gjennomluftingstid på to og ein halv time. Dagen etter var den gjennomsnittlege trekken mot Lærdal knapt 0,5 m/s som gjev ei gjennomluftingstid på fire timar.

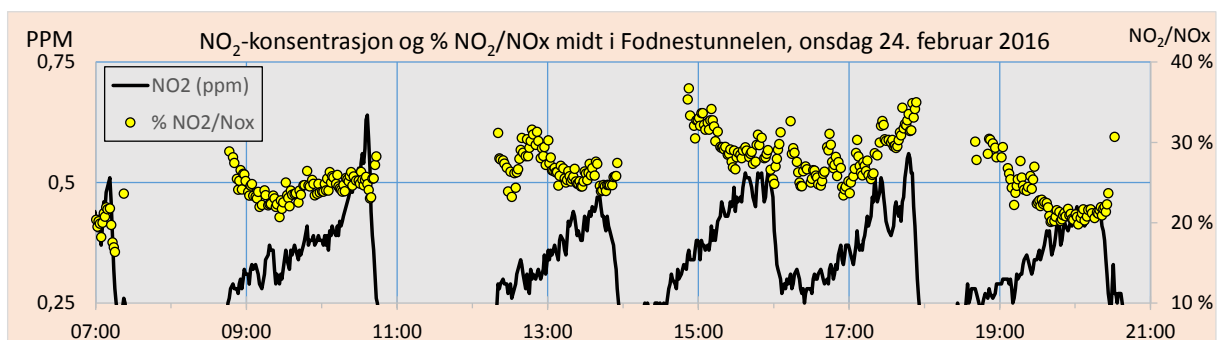
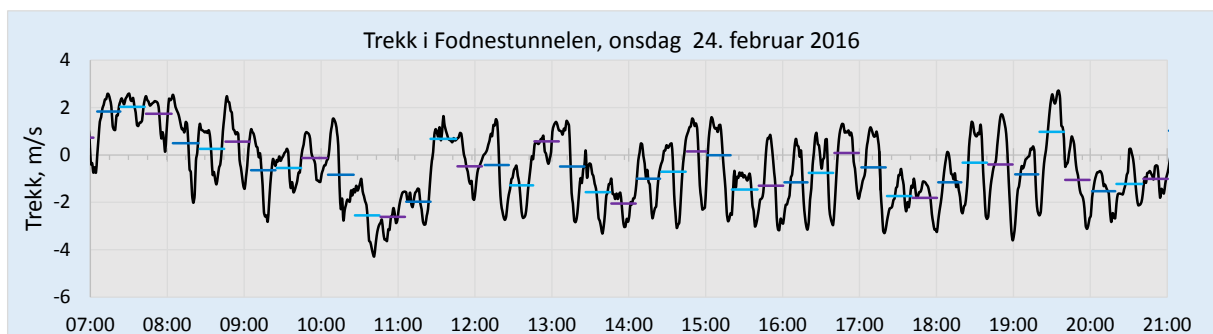
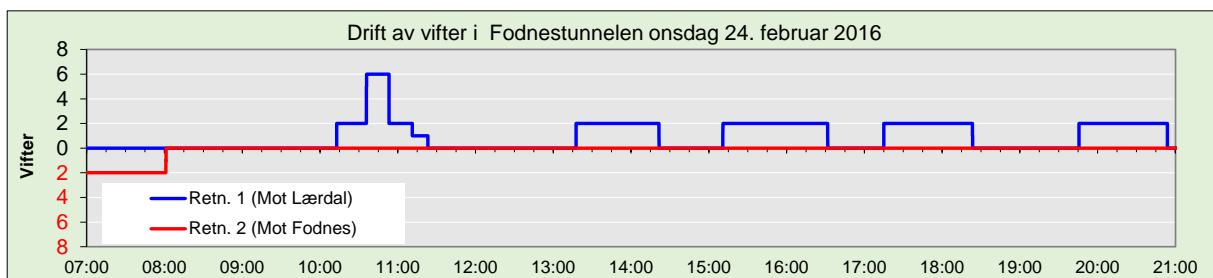
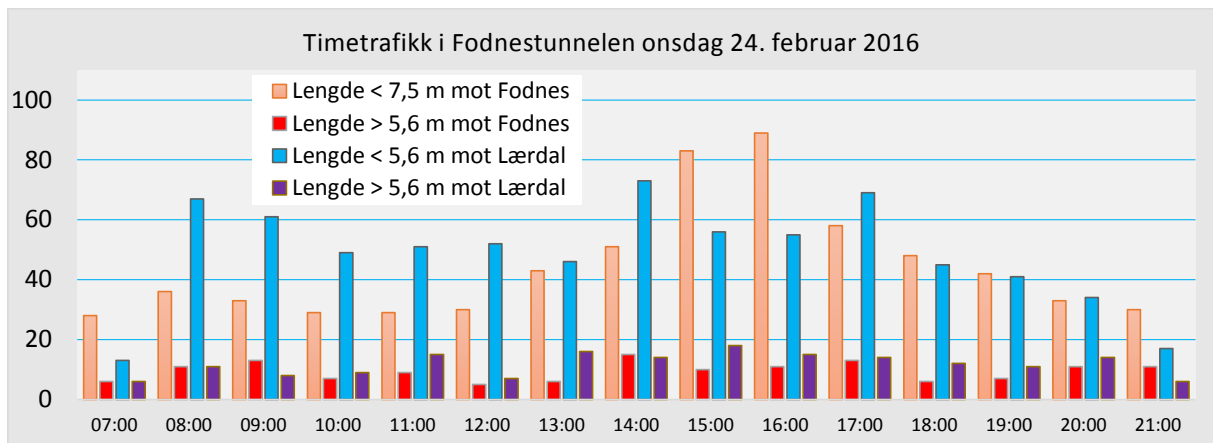
Kontrollmåling av NO<sub>2</sub> og NO fleire gonger i februar og mars 2016, viste relativt låge verdiar. NO<sub>2</sub>-nivået kom sjeldan opp mot grenseverdiane som er sett til 0,75 ppm midt i tunnelen og 1,5 ppm i begge endane.

Ved revisjon av hb. 021 (N500) i 2010 vart basisverdiane for NO<sub>x</sub>-emisjon redusert frå 0,39 til 0,15 l/km for personbilar og justert opp frå 3,25 til 5,0 l/km for køyretøy med lengde over 7,5 m. Desse endringane vart gjort på grunnlag av målingar i Lærdalstunnelen i 2007 og ei forsiktig tilpassing til utsleppskrava for nye bilar fram mot 2020.

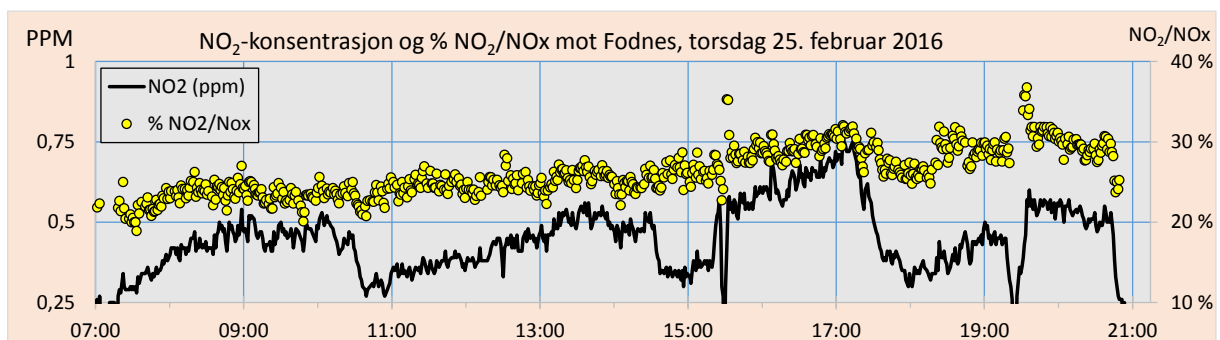
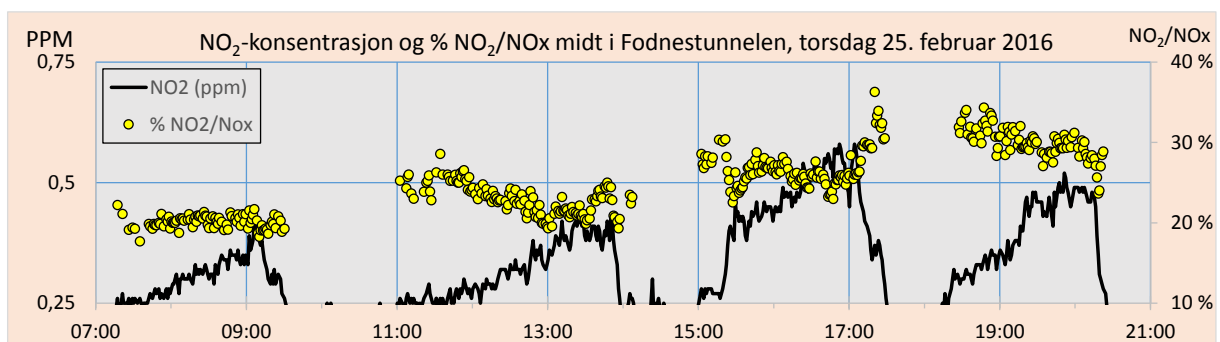
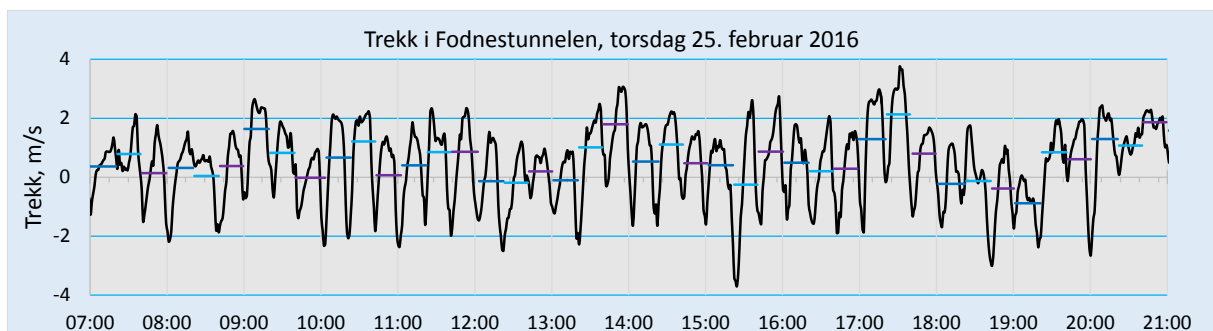
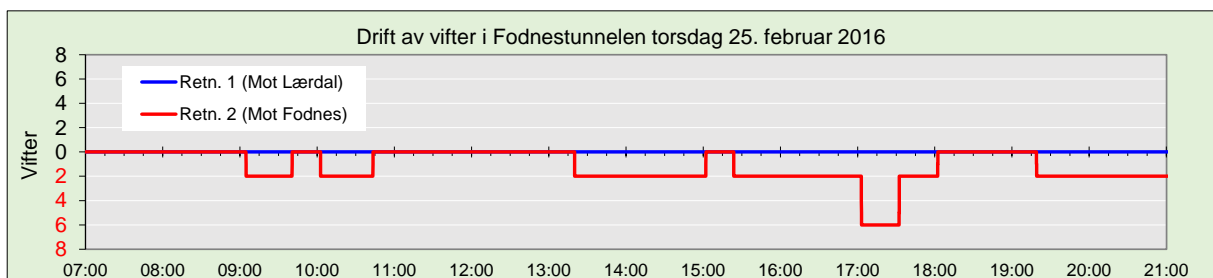
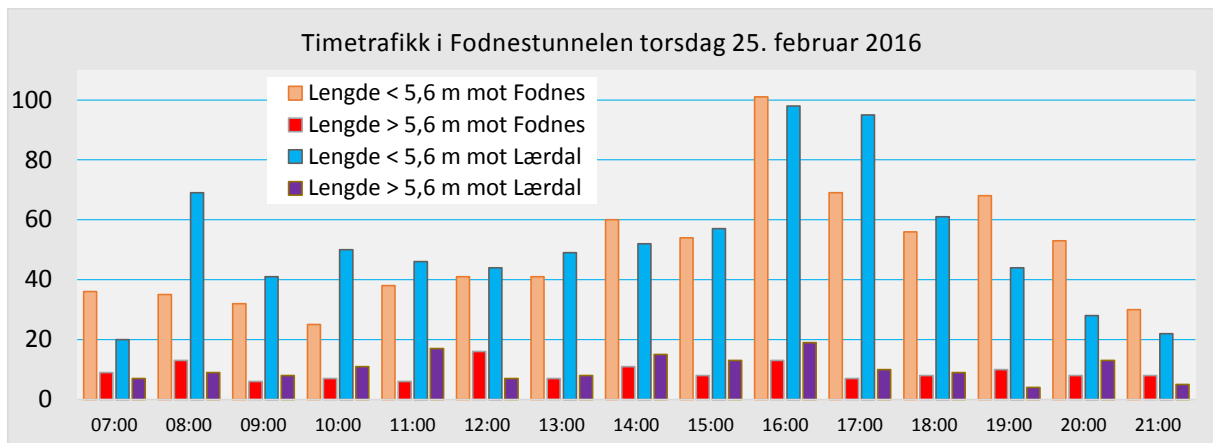
Utrekning av NO<sub>x</sub>-nivået med N500-modellen og registrete data for trafikk og trekk i Fodnestunnelen i tidsrommet 06:00 – 18:00, gjev eit teoretisk gjennomsnittsnivå midt i tunnelen på 0,25 ppm NO<sub>2</sub> den 24. februar og 0,4 ppm NO<sub>2</sub> den 25. februar.

Utrekningane i Fodnestunnelen er usikre på grunn av den ustabile trekken. I kap. 9.3.2, 9.3.3 og 9.4.2 er det utrekna nye emisjonsverdiar for NO<sub>2</sub> med data frå Lærdalstunnelen og Gudvangatunnelen.





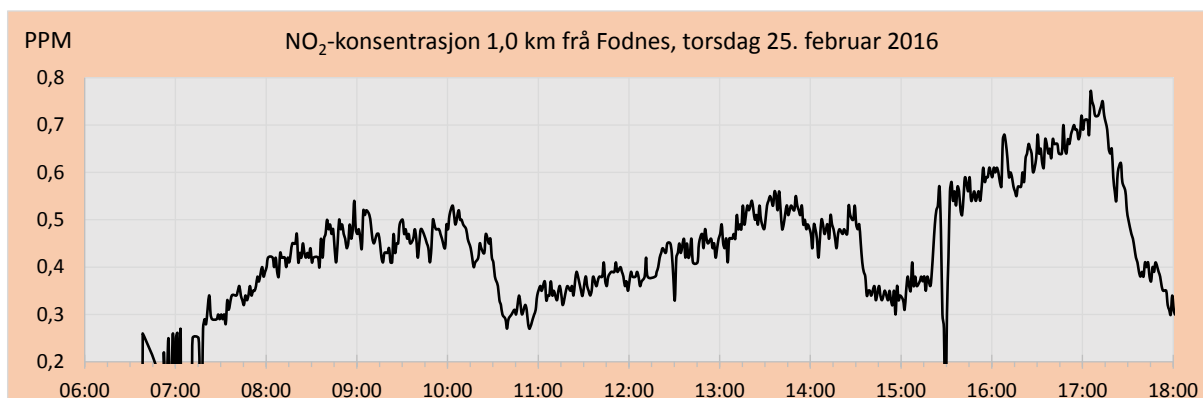
Figur 35: Trafikk, ventilasjon, trekk og volumforhold NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ved ventilasjon mot Lærdal etter klokka 09:00



Figur 36: Trafikk, ventilasjon, trekk og volumforhold NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ved ventilasjon mot Fodnes



Figur 37: Eksempel på frisk luft over 1,0 km inn frå Lærdal (mot ventilasjonsretninga)



Figur 38: Eksempel på frisk luft over 1,0 km inn frå Fodnes (mot ventilasjonsretninga) klokka 15:30

Midt i tunnelen varierte volumforholdet  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  mellom 20 % og 35 % frå måndag til torsdag med eit gjennomsnitt på 25 % onsdag og torsdag<sup>11</sup>. Ved målepunktet 2,0 km nærare Fodnes, vart det registrert gjennomsnittsverdi på 26 %  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  dei same to dagane. Fallande  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -forhold frå Fodnes mot Lærdal er registrert fleire gonger tidlegare og har vore forklart som kaldstarteffekt frå ferjetrafikken<sup>12</sup>. Men differansen er så liten at det trengst nye målingar etter at alle gass-sensorane er kalibrerte på nytt for å kontrollere om differanse kan skuldast sensorfeil eller systematiske målefeil.

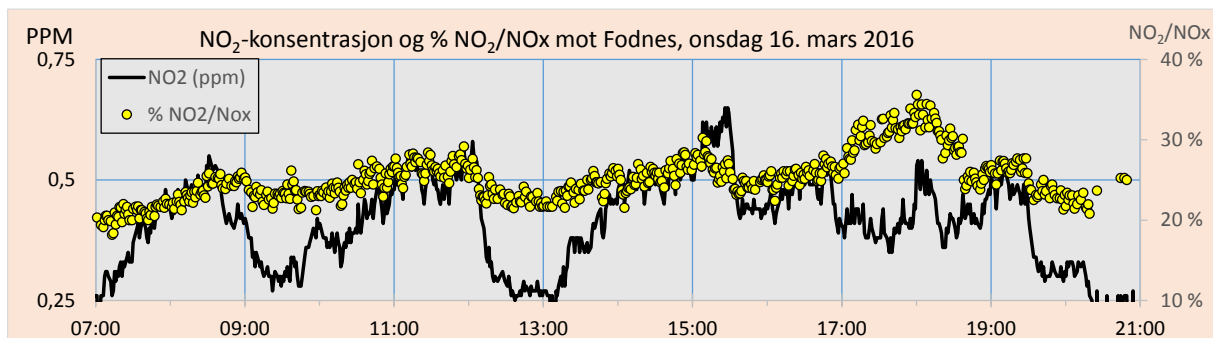
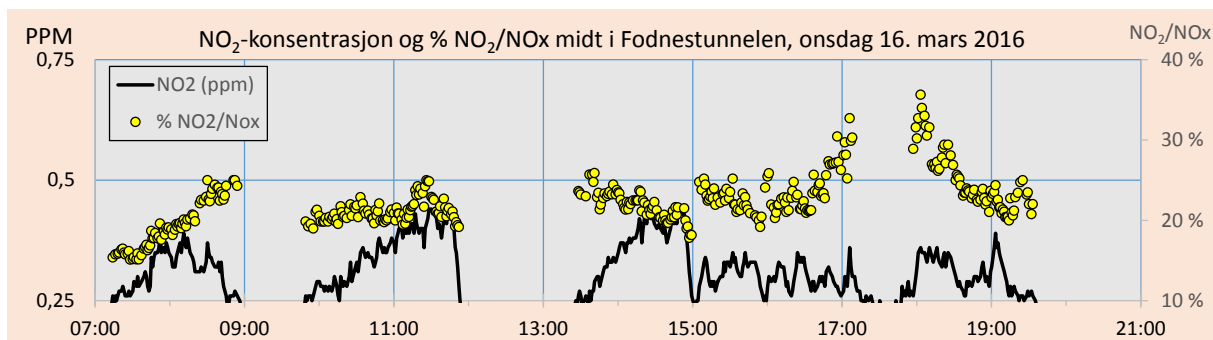
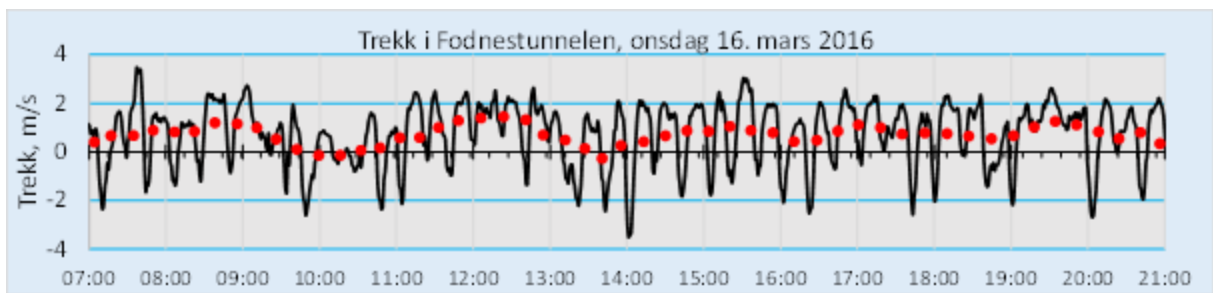
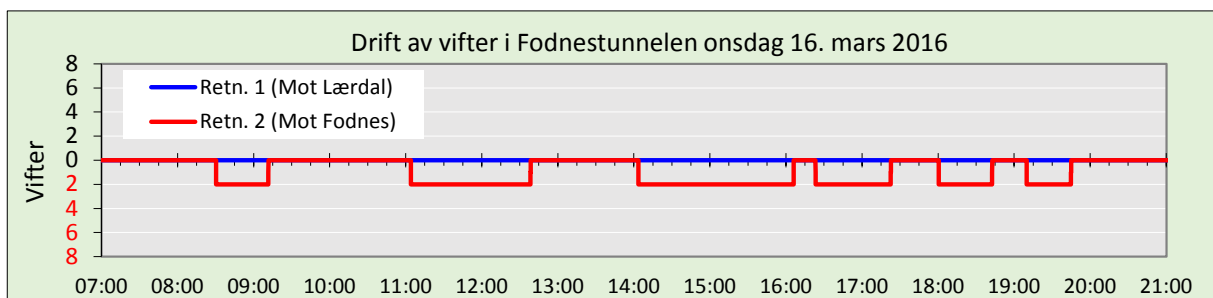
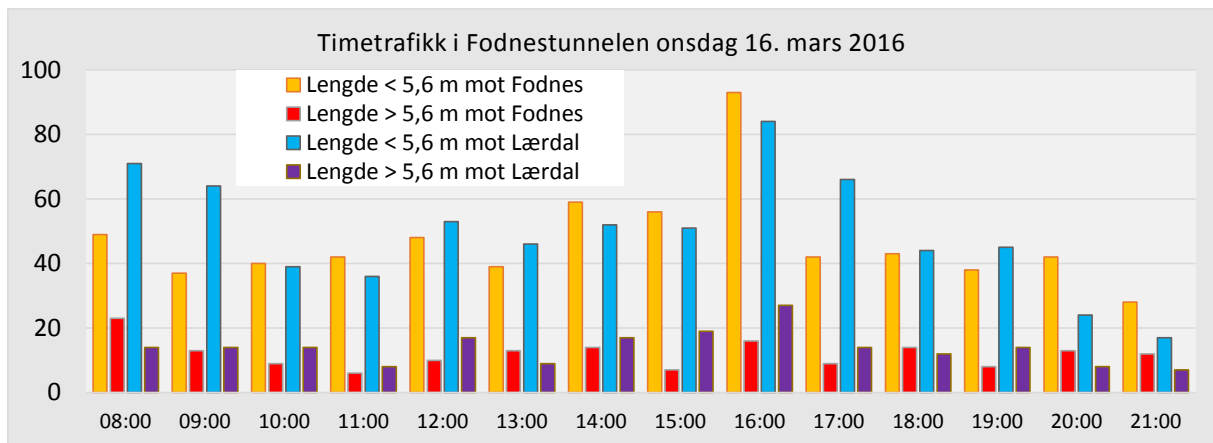
Figur 39 - 42 viser  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -forholdet både midt i tunnelen og ved målepunktet som ligg 2,0 km nærare Fodnes i mars 2016. Ved begge punkta steig  $\text{NO}_2$ -andelen utover dagen ved aukande personbiltrafikk og jamn tungtrafikk.

Registreringane av  $\text{NO}_2$  og  $\text{NO}$  i Fodnestunnelen viser at  $\text{NO}_x$ -utslepp frå biltrafikken har gått raskare nedover enn det som vart lagt til grunn i 2010, men  $\text{NO}_2$ -andelen er langt større enn ved målingane i Lærdalstunnelen i 2007. I gjennomsnitt kan vi rekne med at  $\text{NO}_x$  som er ei blanding av  $\text{NO}$  og  $\text{NO}_2$ , er to til tre gonger giftigare i dag enn for 15 år sidan.

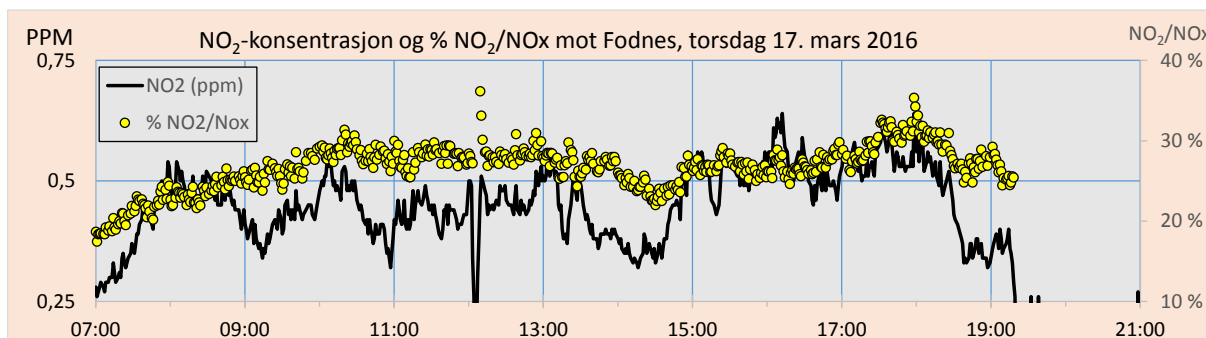
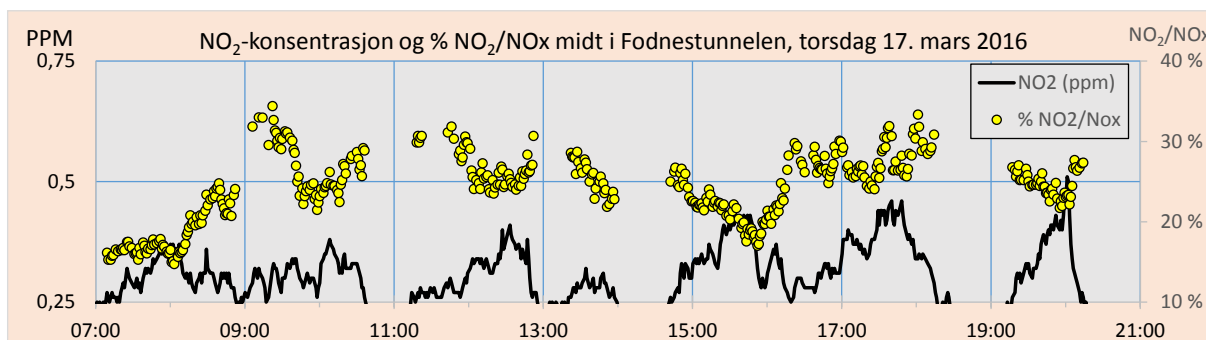
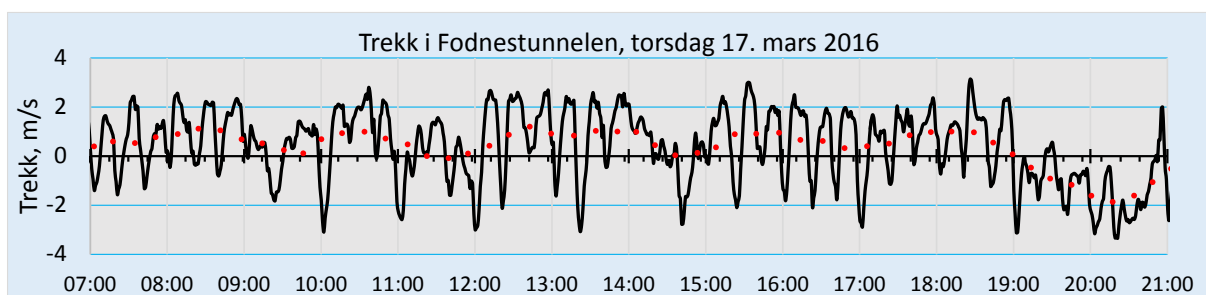
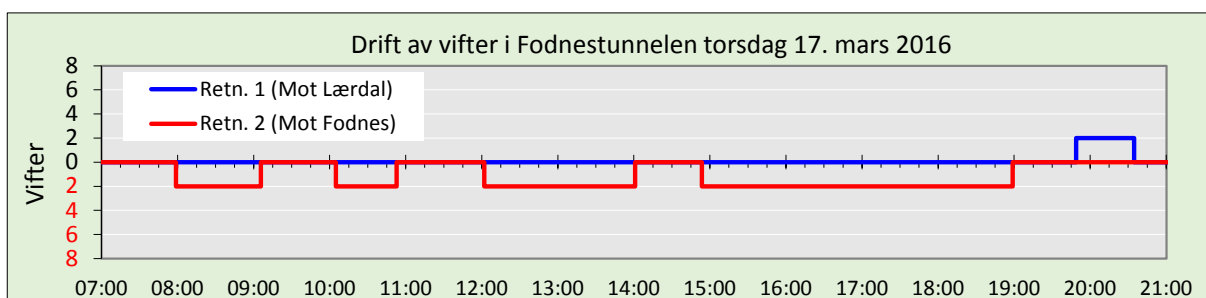
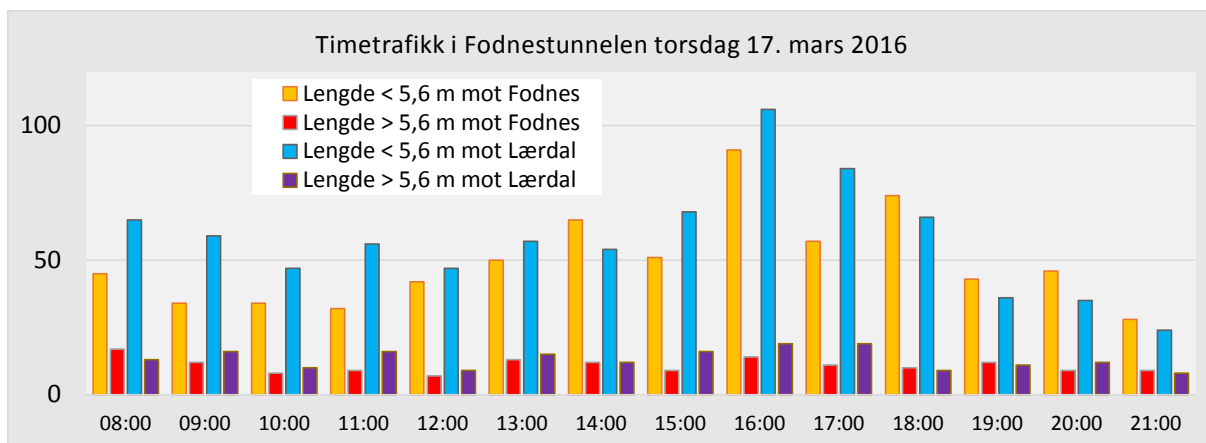
Det er toppane i personbiltrafikken som gjev det høgste  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -forholdet. Nye bussar og lastebilar har effektiv  $\text{NO}_2$ -reinsing samanlikna med eldre personbilar med dieselmotor.  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -forholdet går derfor opp i periodar med liten tungtrafikk.

<sup>11</sup> Gjennomsnittsverdien er utrekna berre ved  $\text{NO}$ -nivå over 0,60 ppm midt i tunnelen og over 0,75 ppm nær Fodnes for å redusere effekten av kalibreringsfeil og målefeil ved lågt  $\text{NO}$ -nivå

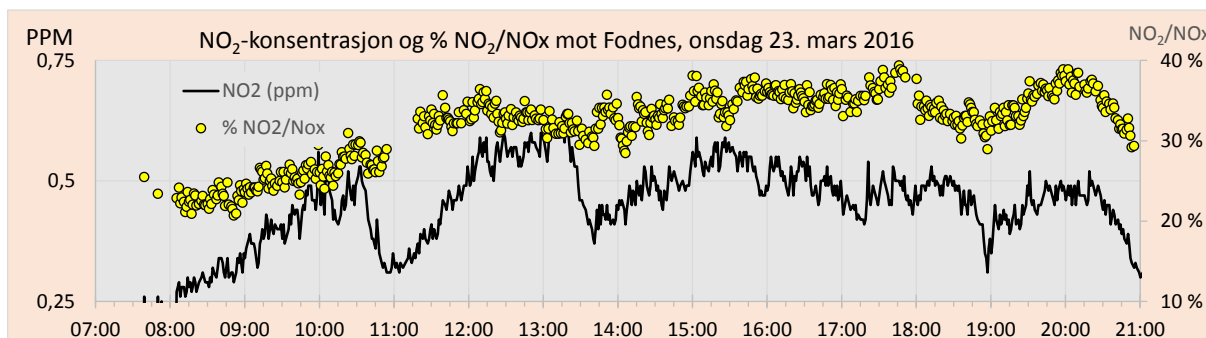
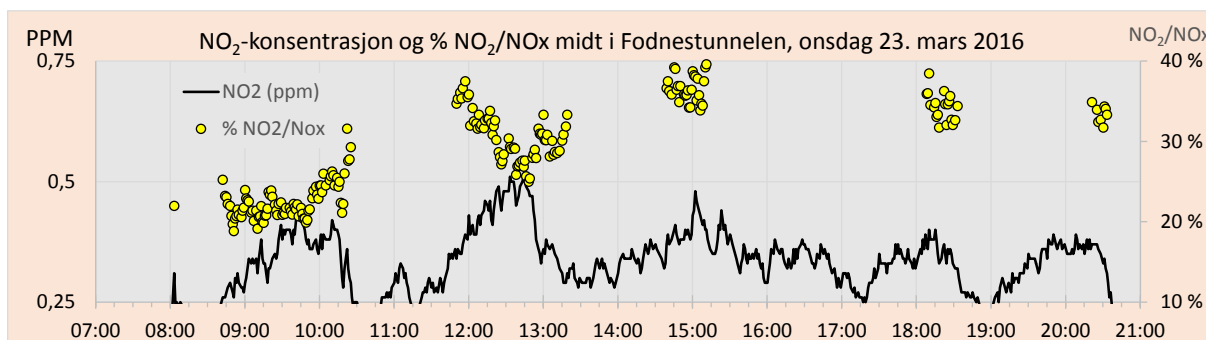
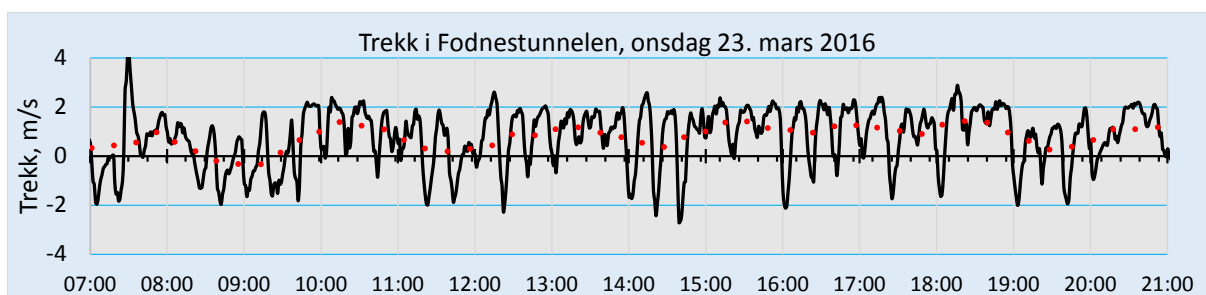
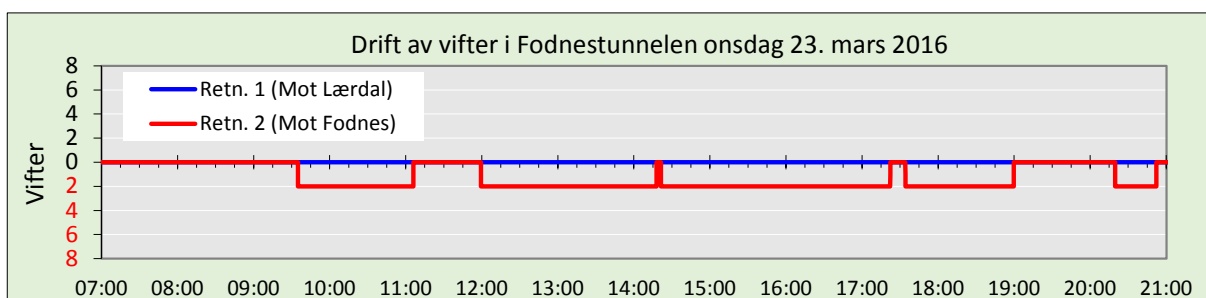
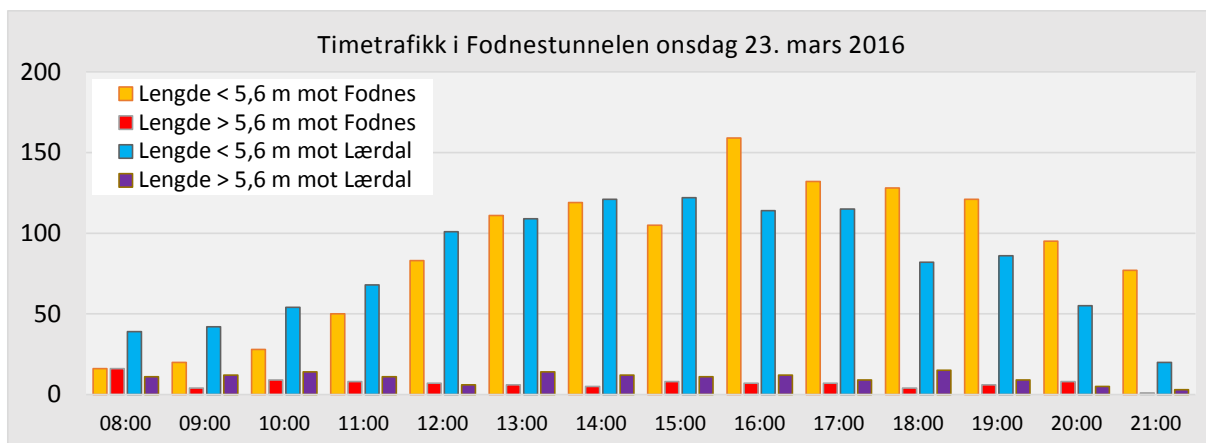
<sup>12</sup> Statens vegvesen: Rapport nr. 173 frå 2013



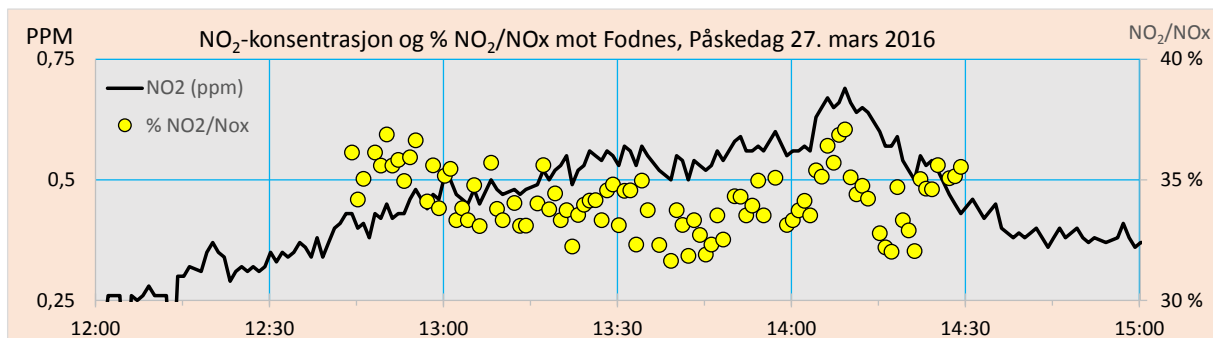
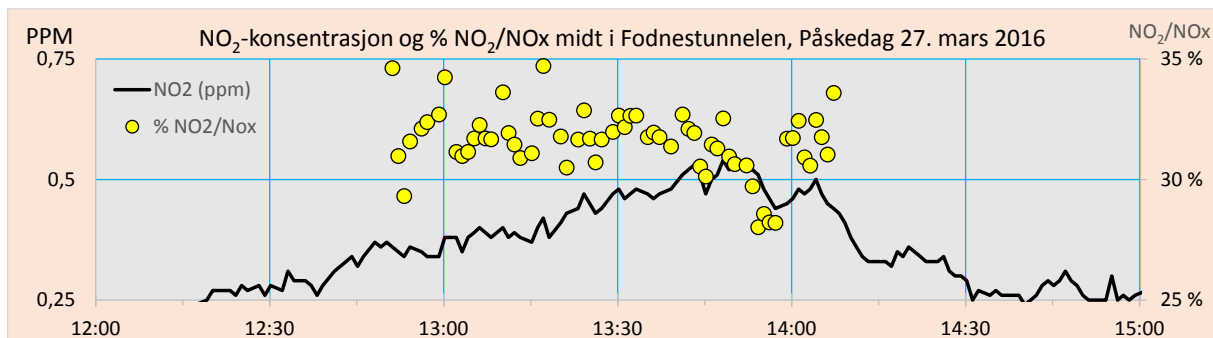
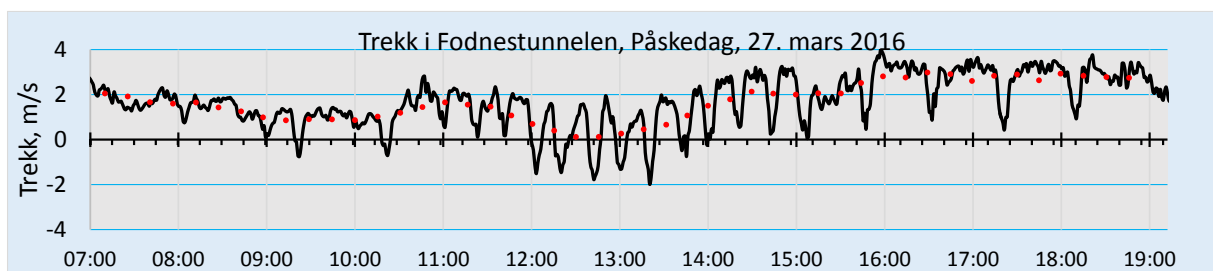
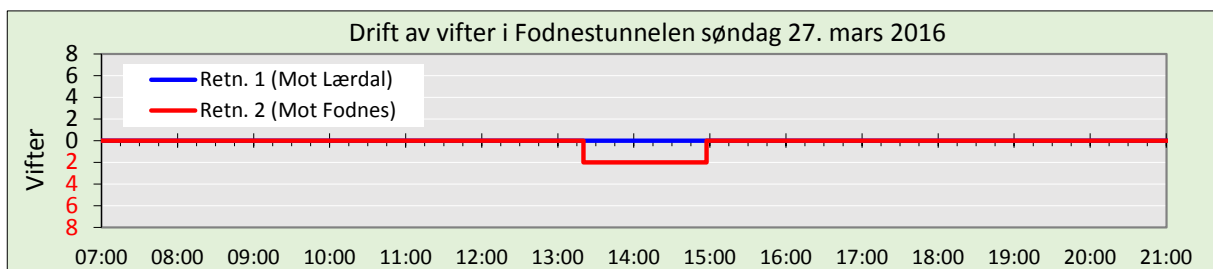
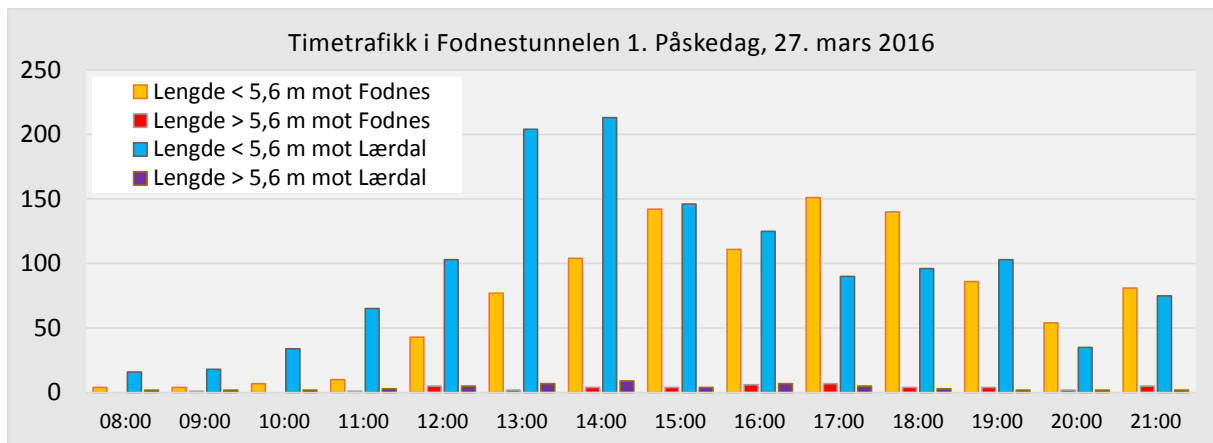
Figur 39: Trafikk, ventilasjon, trekk og volumforhold av NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i Fodnestunnelen den 16. mars 2016



Figur 40: Trafikk, ventilasjon, trekk og volumforhold av NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i Fodnestunnelen den 17. mars 2016



Figur 41: Trafikk, ventilasjon, trekk og volumforhold av NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i Fodnestunnelen i påska 2016



Figur 42: Trafikk, ventilasjon, trekk og volumforhold av NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i Fodnestunnelen Påskedag i 2016

I påska 2016 var det ein markert auke i NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-forholdet etter onsdag klokka 11:00 på grunn av stor personbiltrafikk og redusert tungtrafikk. Frå klokka 16:00 til 18:00 låg gjennomsnittsverdien ved Fodnes nær 36 %. Midt i tunnelen var NO-nivået for lågt i dette tidsrommet til at det går an å rekne ut nøyaktig NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-forhold.

Figur 42 viser registreringar frå Påskedag 2016. Gjennomsnittleg NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-forhold frå klokka 13:00 til 14:00 var ca. 32 % midt i tunnelen og 34 % ved Fodnes.

### 9.2.2 Temperatur, nedbør og støv nivå (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>)

Ved samanlikning av nedbørsobservasjonar i Lærdal og støvverdiar i Fodnestunnelen, finn vi ein klar samanheng. På dagar med nedbør og fuktig vegbane, ligg støvnivået midt i tunnelen langt under 1500 µg/m<sup>3</sup> som er øvre grense for PM<sub>10</sub> i hb. N500.

Onsdag 24. februar gjekk trekken frå Fodnes mot Lærdal. Opne platekvelv og vasslekkasjar nær Fodnes gjev fuktig luft i tunnelen slik at det tek lang tid før vegbana tørkar opp. Dagen etterpå gjekk trekken frå Lærdal mot Fodnes, og PM<sub>10</sub>-nivået steig frå 600 til over 4000 µg/m<sup>3</sup> om ettermiddagen torsdag 25. februar.

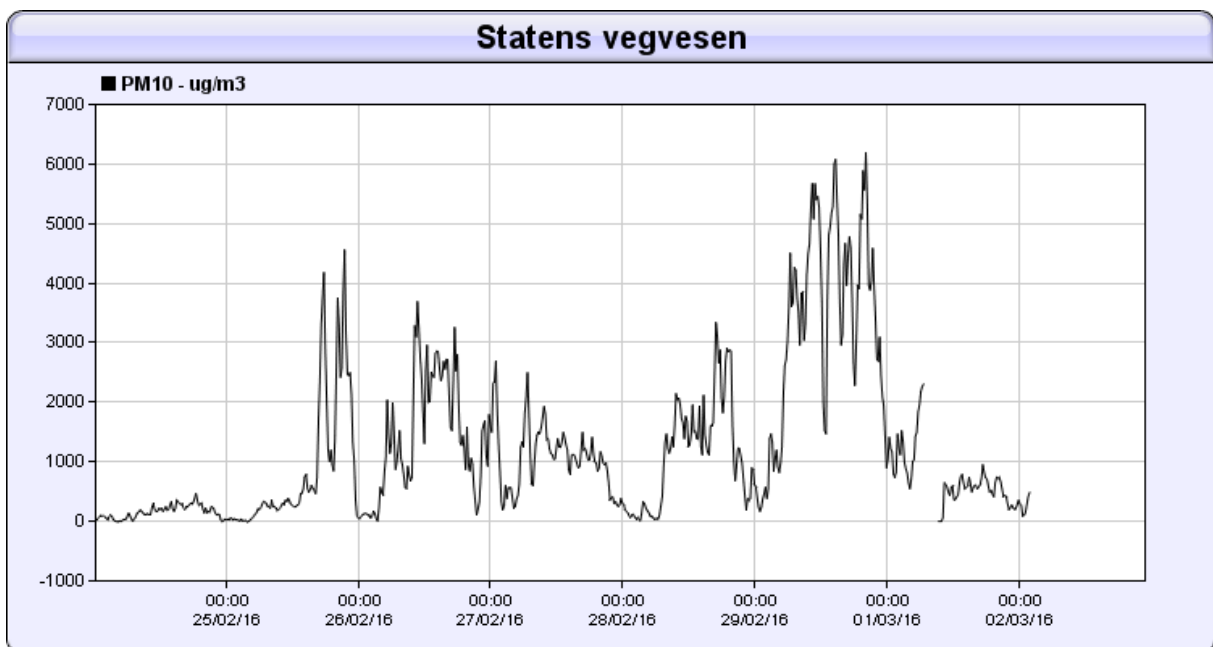
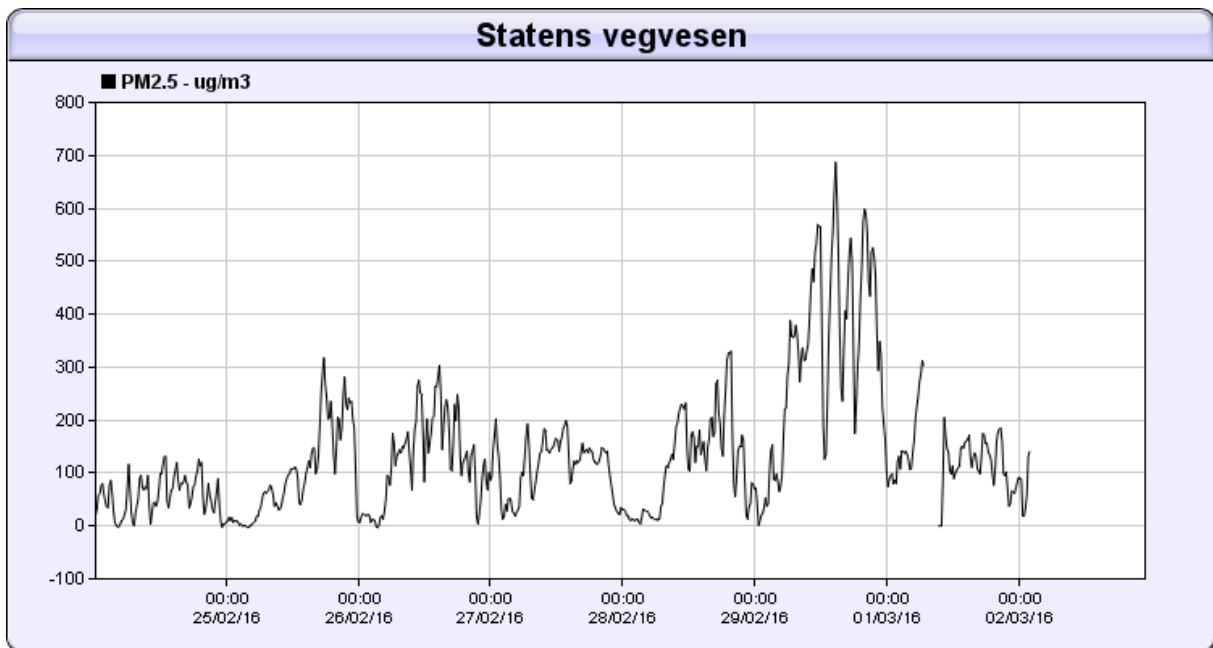
Fredag 26. februar og søndag 28. februar vart tunnelen ventilert mot Lærdal. Måndag 29. februar starta viftene i retning mot Fodnes og gav rask tørking av vegbana og ny auke av PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>.

Modellen som blir brukt til utrekning av PM<sub>10</sub> i N500, vart kalibrert mot støvmålingar i Lærdalstunnelen i 2007. Det vart lagt inn ein forsiktig effekt av nye utsleppskrav fram mot 2020. Modellen tek ikkje omsyn til resirkulert svevestøv frå vegdekke og sideareal i tunnelen. Bruk av N500-modellen og utrekning med registrete data for trafikk og trekk i Fodnestunnelen i tidsrommet 06:00 – 18:00, gjev eit teoretisk gjennomsnittsnivå midt i tunnelen på 225 µg/m<sup>3</sup> den 24. februar og 360 µg/m<sup>3</sup> den 25. februar. Dette stemmer bra med registreringane i figur 43 fram til vegbana tørka opp og gav resirkulering av gammalt støv den 25. februar.

Tabell 16: Registreringar ved verstasjonen på Lærdalsøyri ([www.Yr.no](http://www.Yr.no))

Dato	Temperatur °C				Akkumulert nedbør
	Maks	Min	Middel	Normal	
19.feb.16	5,5°	-4,0°	0,2°	-2,3°	0,0 mm
20.feb.16	7,5°	0,7°	4,2°	-2,2°	0,0 mm
21.feb.16	3,7°	-0,5°	1,1°	-2,0°	0,1 mm
22.feb.16	2,5°	-2,1°	0,5°	-1,9°	1,5 mm
23.feb.16	3,8°	0,1°	1,7°	-1,7°	3,5 mm
24.feb.16	4,2°	0,1°	1,6°	-1,6°	0,0 mm
25.feb.16	4,9°	-2,0°	1,3°	-1,4°	0,0 mm
26.feb.16	5,0°	1,6°	3,3°	-1,3°	0,0 mm
27.feb.16	4,7°	-0,5°	1,7°	-1,1°	0,0 mm
28.feb.16	4,0°	-1,4°	1,0°	-0,9°	0,0 mm
29.feb.16	2,1°	-2,0°	0,0°	-0,8°	0,0 mm
01.mar.16	4,6°	-1,3°	2,8°	-0,6°	0,0 mm
02.mar.16	4,4°	2,6°	3,5°	-0,4°	0,0 mm





Figur 43: PM2,5 og PM10 i Fodnestunnelen, 24.2 - 1.3 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

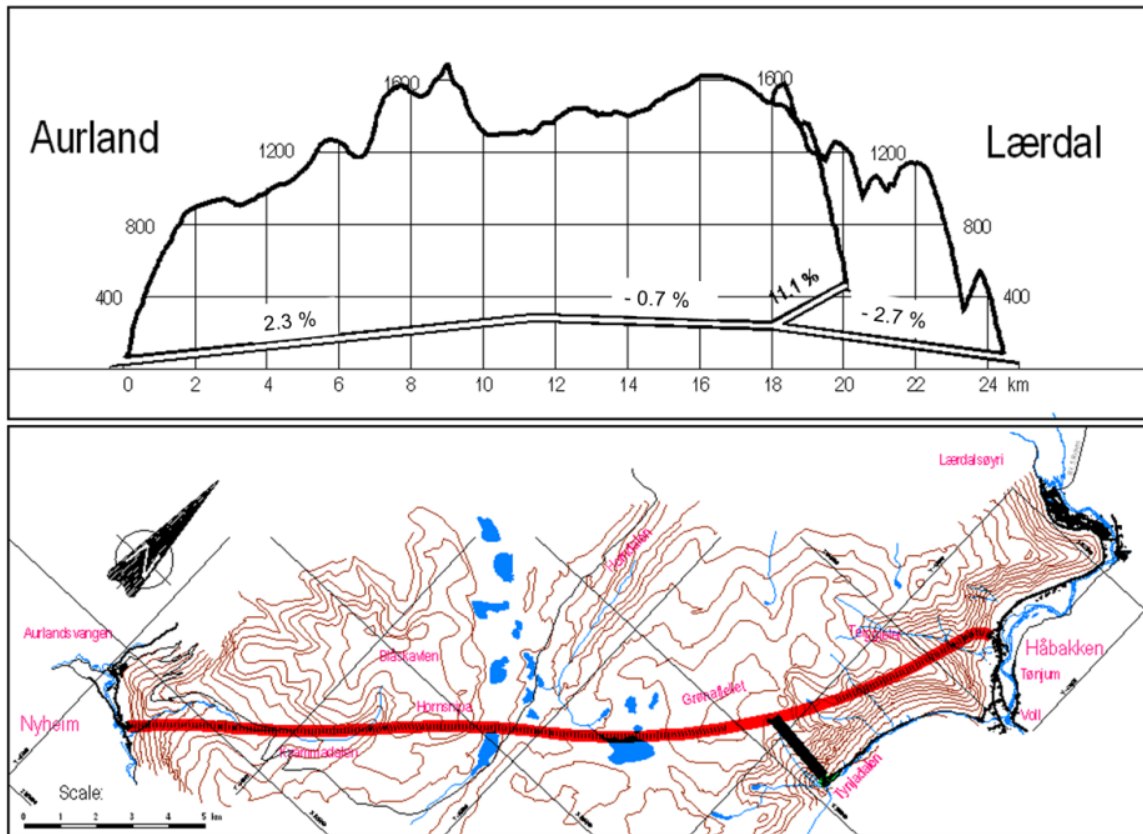
Tabell 17: Eksempell på PM2,5/PM10 midt i Fodnestunnelen

Vekedag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag
Dato	19.feb	20.feb	21.feb	22.feb	23.feb	24.feb	25.feb	26.feb	27.feb	28.feb	29.feb	01.mar
PM2,5	325	270	160	100	120	120	320	300	200	325	690	310
PM10	3300	2000	2100	700	250	400	4500	3700	2600	3300	6100	2200
% PM2,5	10 %	14 %	8 %	14 %	48 %	30 %	7 %	8 %	8 %	10 %	11 %	14 %

Tabell 17 viser at resirkulert vegstøv er hovudkjelda til PM10 i Fodnestunnelen. Dei låge PM10-verdiene 23. og 24. februar skuldast fuktig vegbane på grunn av nedbør den 23. februar. Røyk og sot-utslepp frå trafikken utgjer ein liten del av den samla støvproduksjonen i tørre periodar.

### 9.3 E16 Lærdalstunnelen

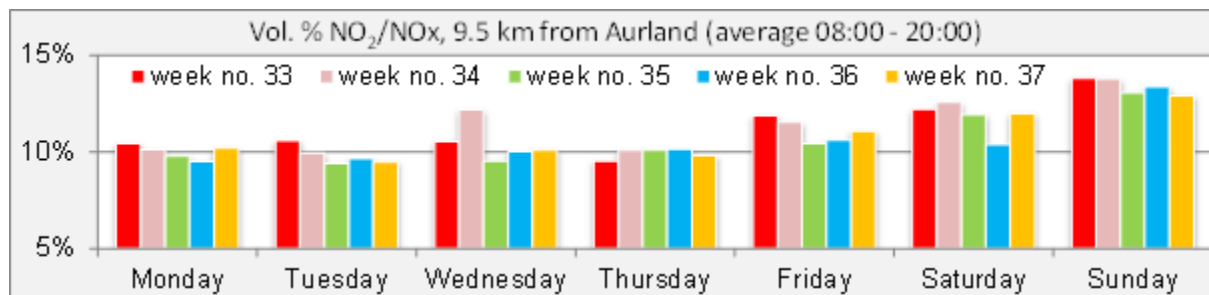
Tunnellengde: 24 510 m  
Tverrsnitt: Ca. 50 m<sup>2</sup>  
Ventilasjon: 32 impulsventilatorar og 2 sjaktventilatorar, effekt ca. 2,3 MW  
ÅDT 2015: 1900 køyretøy/døgn, 26 % med lengde over 5,6 m



Figur 44: Plan og profil av Lærdalstunnelen

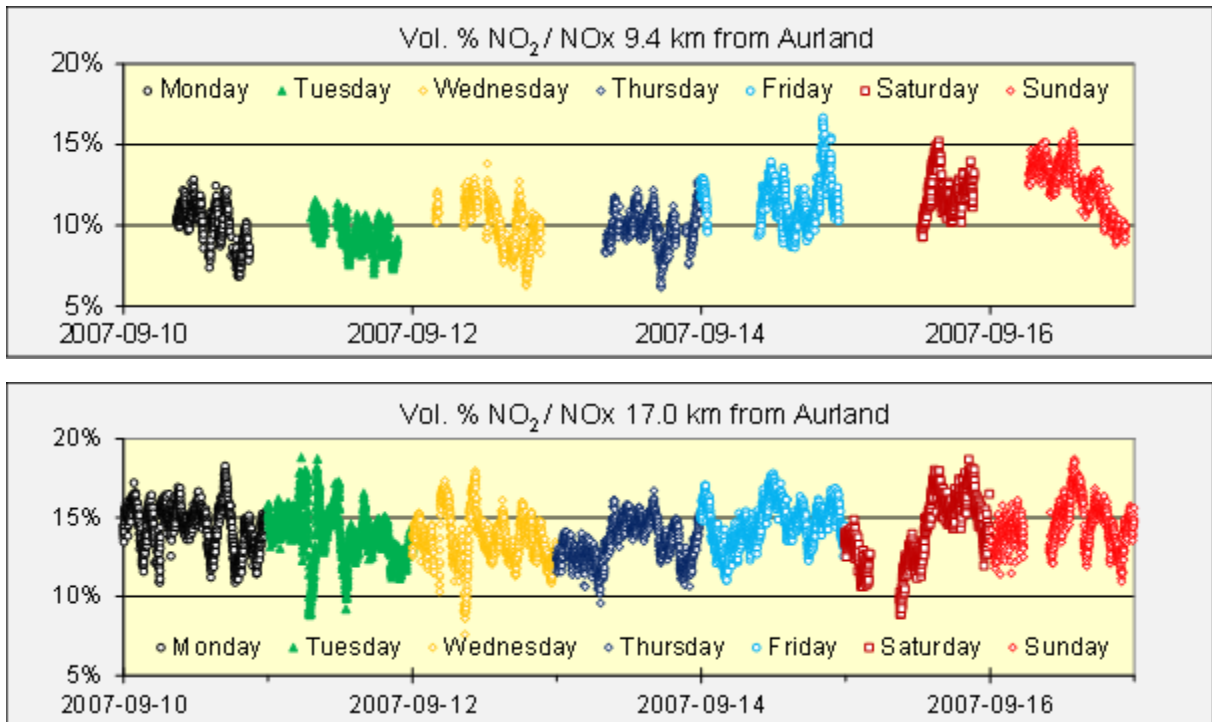
#### 9.3.1 Endring av volumforhold NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> frå 2007 til 2016

I 2007 vart det utført gassmålingar i Lærdalstunnelen som viste ei markert auke av forholdet mellom NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fredag ettermiddag. Dette kjem av større personbiltrafikk og redusert tungtrafikk i helga<sup>13</sup>.



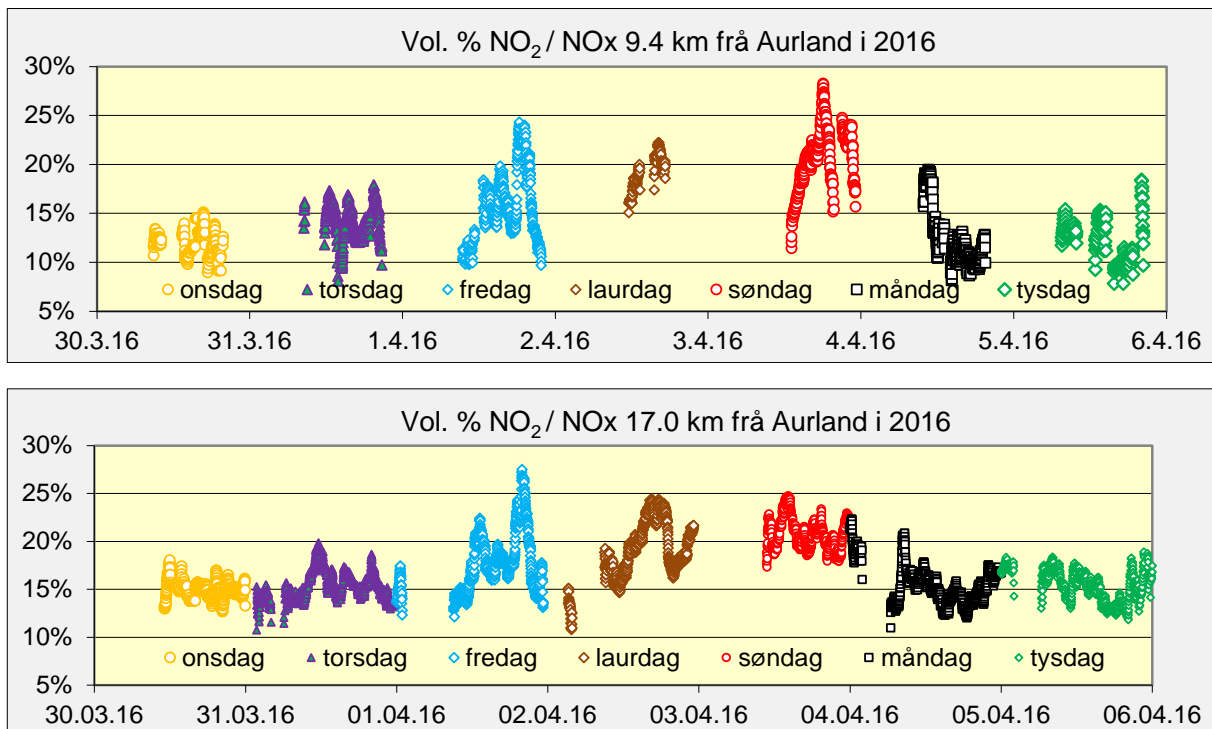
Figur 45: Gjennomsnittsmålingar av volumforhold NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i 2007

<sup>13</sup> Sjå rapport nr. 173 frå Statens vegvesen

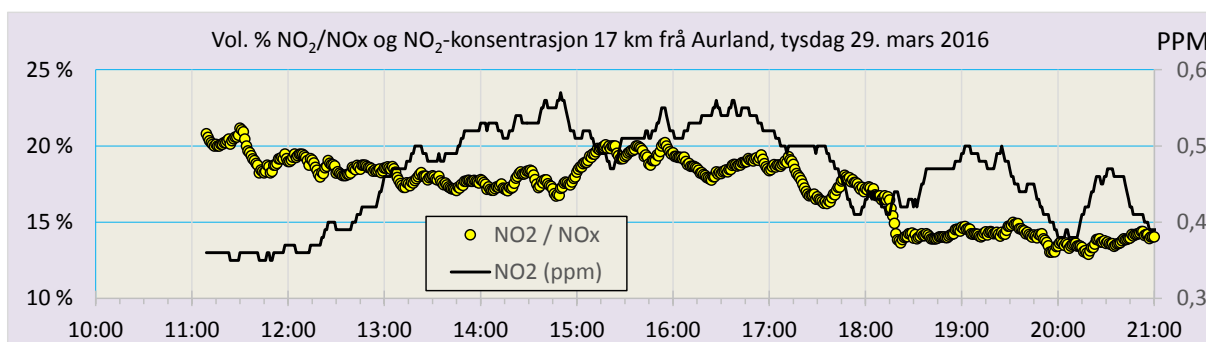
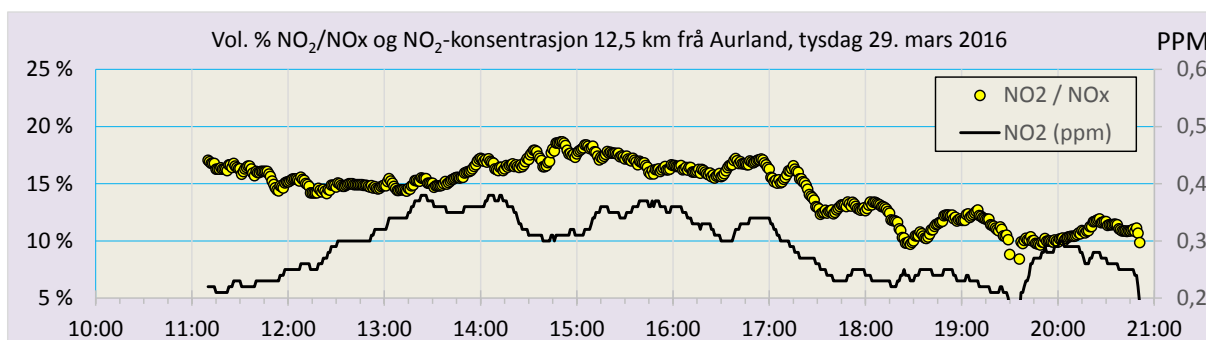
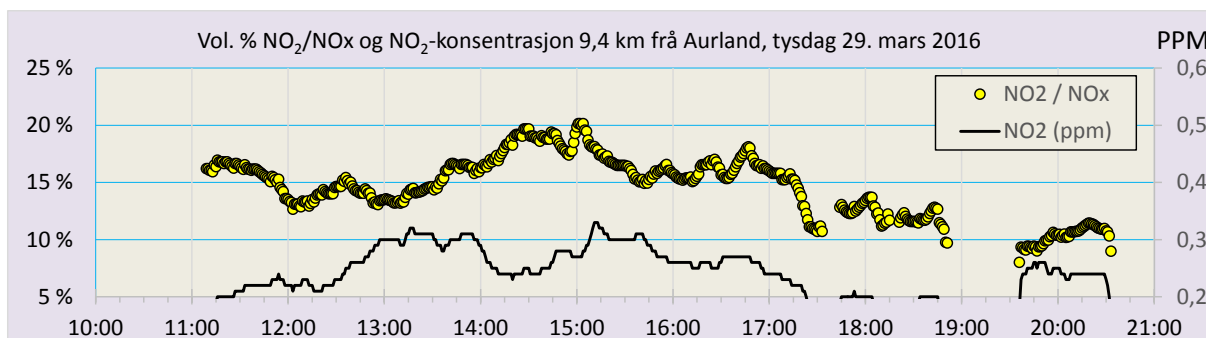


Figur 46: Daglege variasjonar i volumforhold  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  i to målepunkt i Lærdalstunnelen i 2007

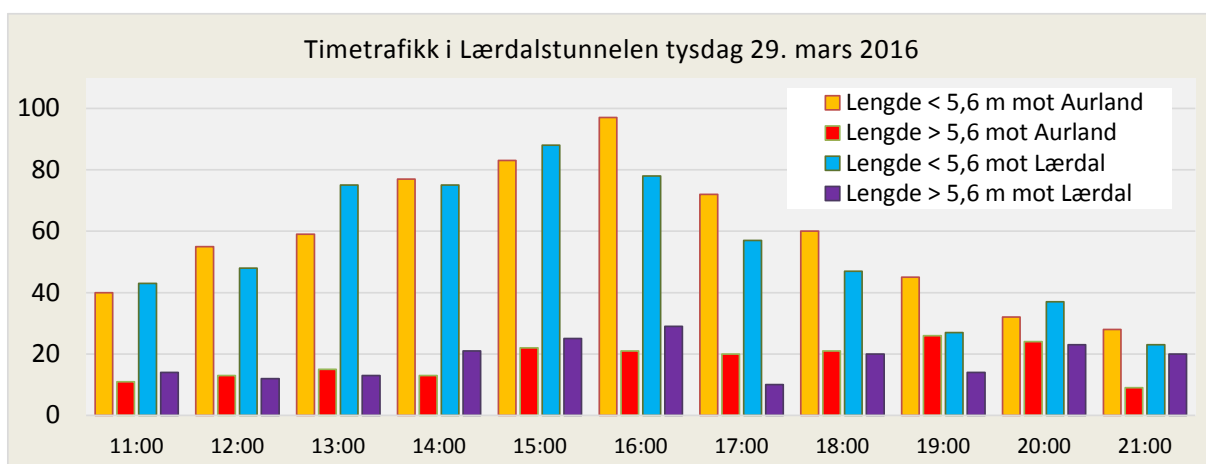
Nye målingar i mars 2016 viser ein markert nedgang i  $\text{NO}$ -nivået og ein generell auke i forholdet mellom  $\text{NO}_2$  og  $\text{NO}_x$ . Auken i  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -forholdet i eksosen frå personbilar, viser spesielt godt fredag og søndag ettermiddag når det er lite tungtrafikk i tunnelen.



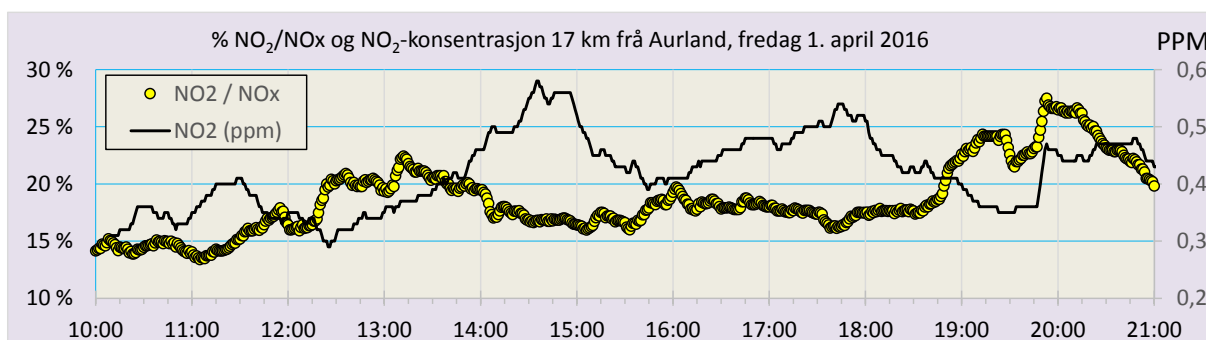
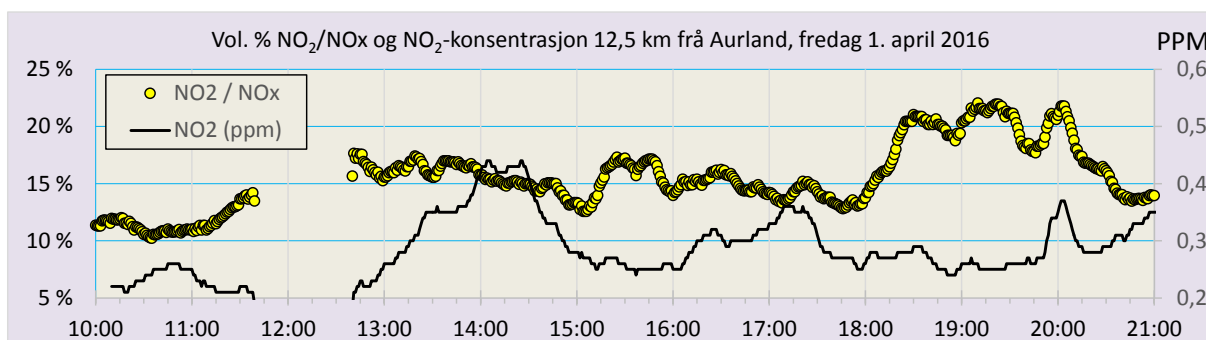
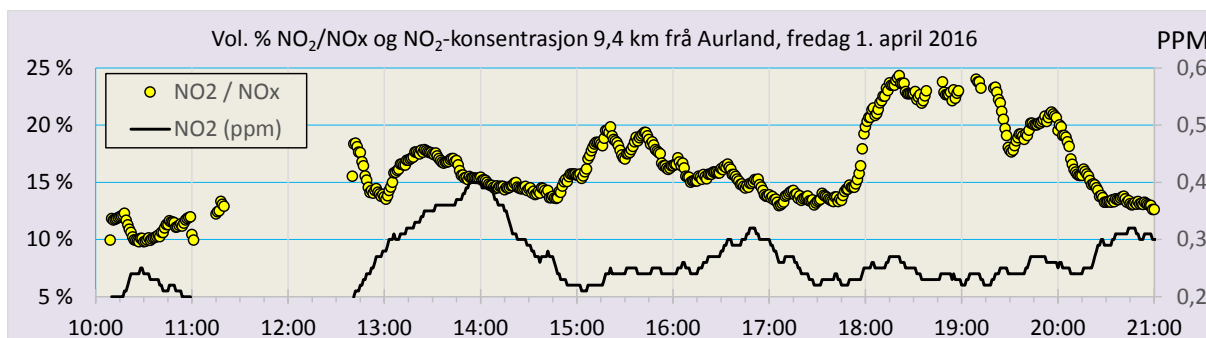
Figur 47: Daglege variasjonar i volumforhold  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  i to målepunkt i Lærdalstunnelen i 2016



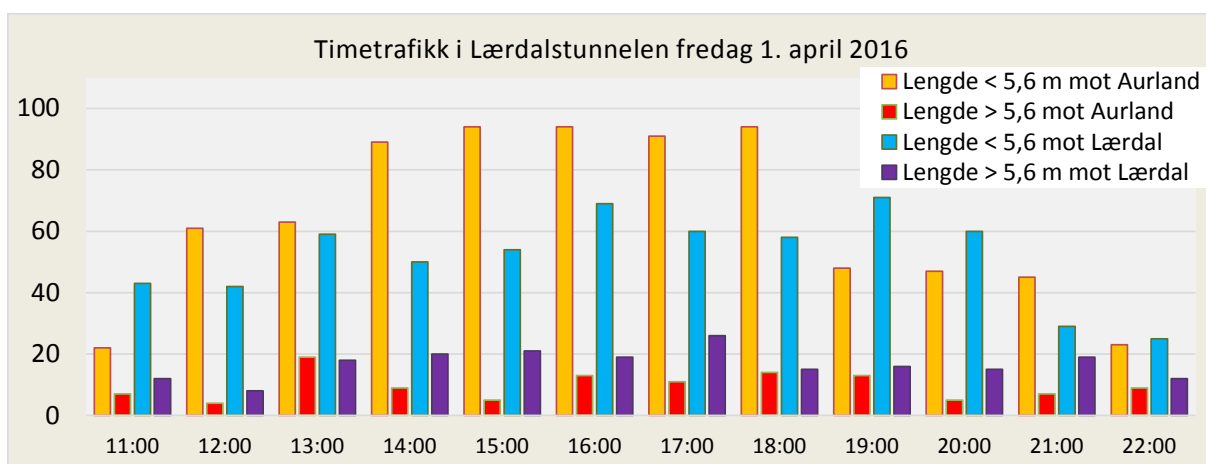
Figur 48: Eksempel på fallande NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-forhold etter klokka 15:00



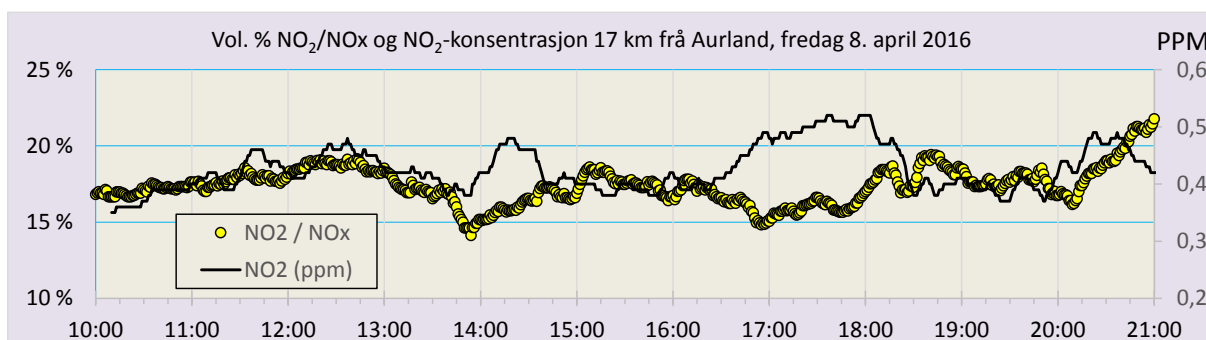
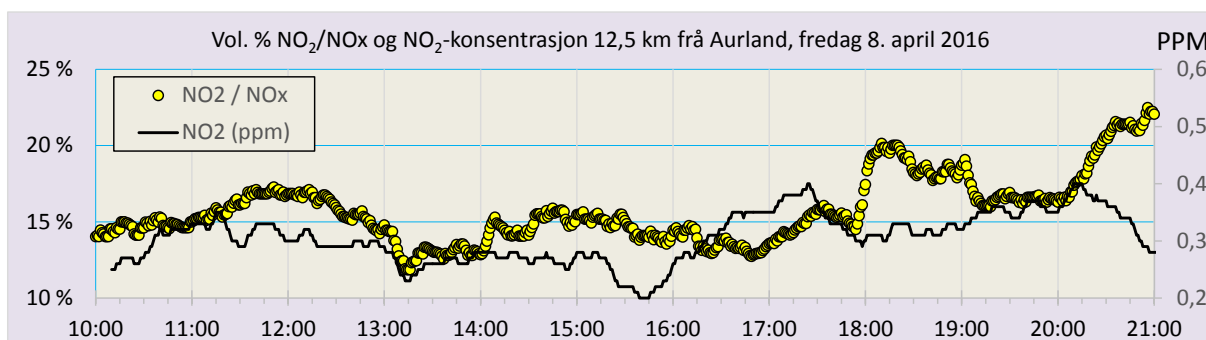
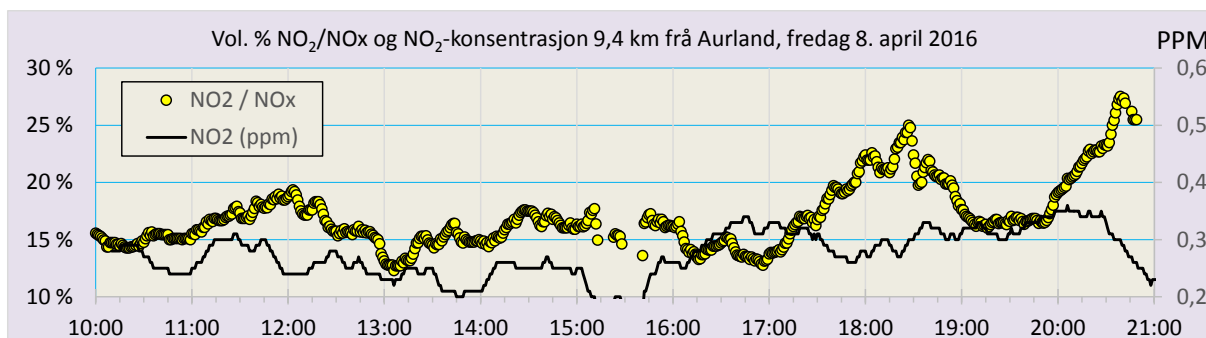
Figur 49: Timetraffikk gjennom Lærdalstunnelen 29. mars 2016



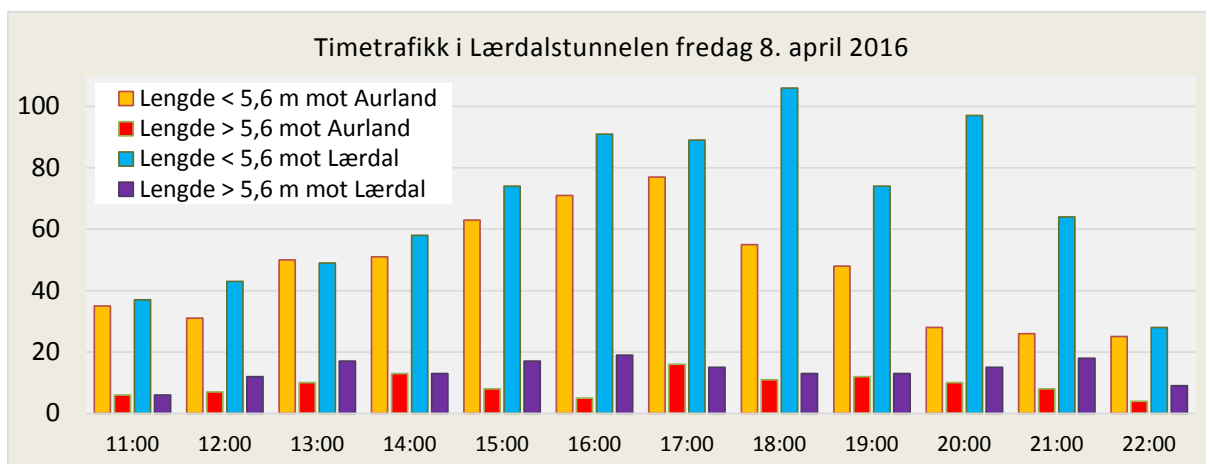
Figur 50: Eksempel på auke i NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> om kvelden pga. redusert tungtrafikk



Figur 51: Timetraffikk gjennom Lærdalstunnelen 1. april 2016



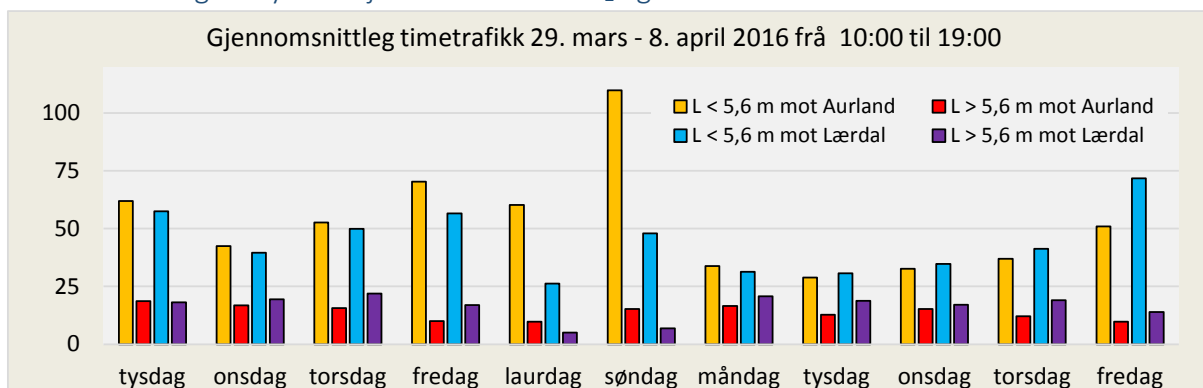
Figur 52: Variasjon i NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> og NO<sub>2</sub>-nivå i Lærdalstunnelen fredag 8.04.2016



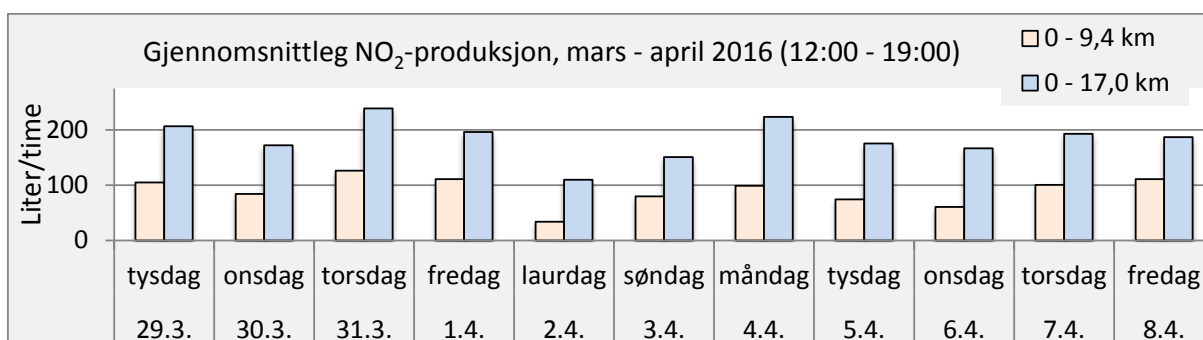
Figur 53: Timetraffikk gjennom Lærdalstunnelen 8. april 2016

Grenseverdien 0,75 ppm NO<sub>2</sub> midt i tunnelen er ikkje endra etter 2007. Derfor er det ingen store endringar av gjennomsnittleg NO<sub>2</sub>-nivå i Lærdalstunnelen frå 2007 til 2016. NO-nivået er derimot redusert med over 50 %. Auken i vol.% NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i periodar med liten tungraffikk, er ein god del større i 2016 enn i 2007.

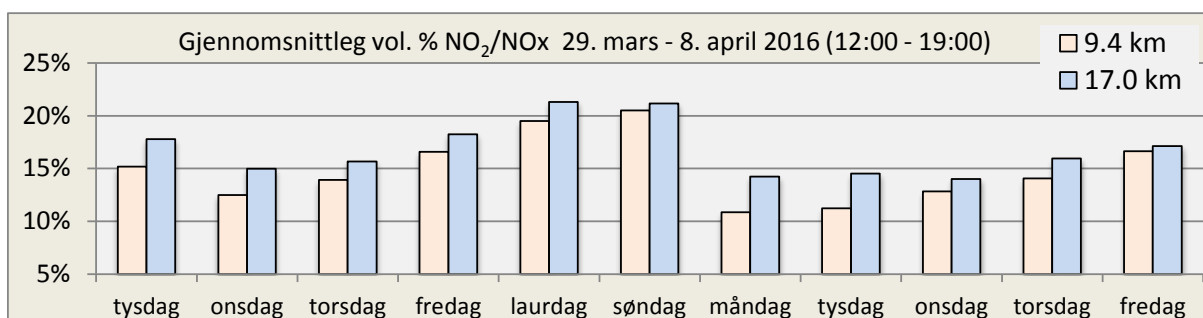
### 9.3.2 Utrekning av nye emisjonsverdiar for NO<sub>2</sub> og NO



Figur 54: Trafikkgrunnlag for utrekning av emisjonsverdiar (Ca. to timar utluftingstid inn til siste målepunkt ved 17 km)



Figur 55: Gjennomsnittleg NO<sub>2</sub>-nivå multiplisert med tilført luftmengde



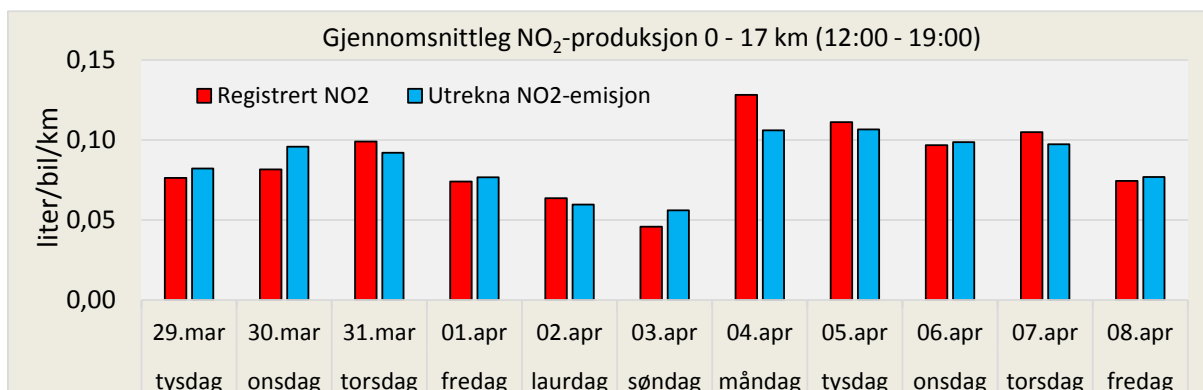
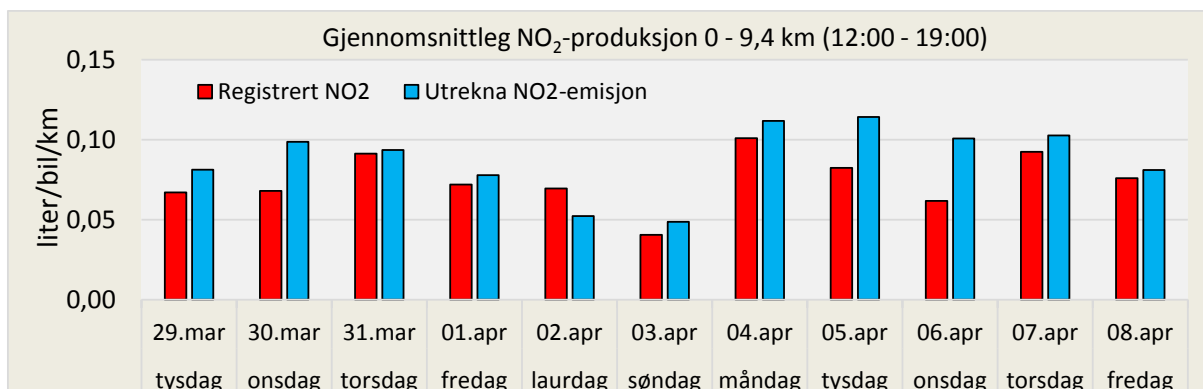
Figur 56: Variasjon i gjennomsnittsverdiar av NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i Lærdalstunnelen i veka etter påske 2016

I tidsrommet 10:00 – 19:00 søndag 3.april køyrde 1662 bilar gjennom Lærdalstunnelen. 70 % av trafikken gjekk mot Aurland. Ca. 5 % av bilane var lengre enn 12,4 m. Dette gav ein gjennomsnittleg NO<sub>2</sub>-produksjon på 0,046 liter/bil/km mellom Aurland og målepunktet ved 17 km. Tabell 18 viser nye emisjonsverdiar og korreksjonsfaktorar for stigning som er nytta i diagramma på neste side.

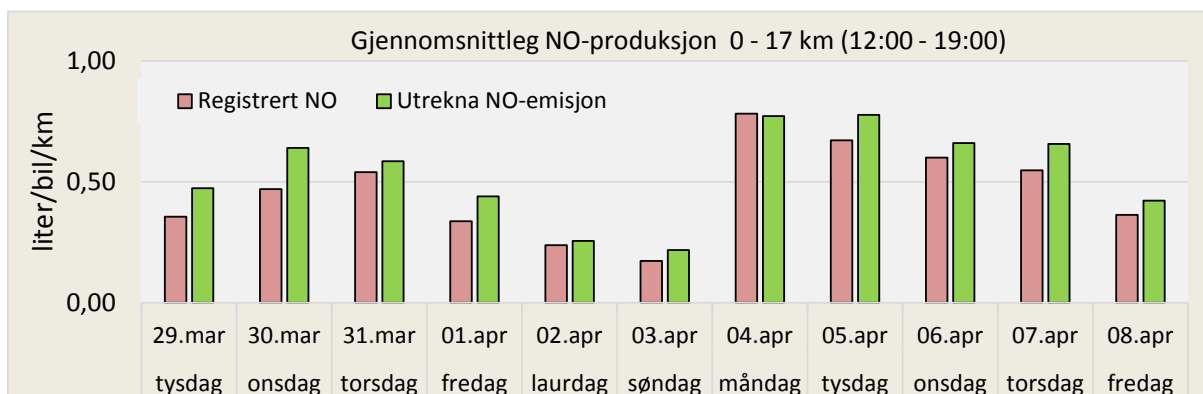
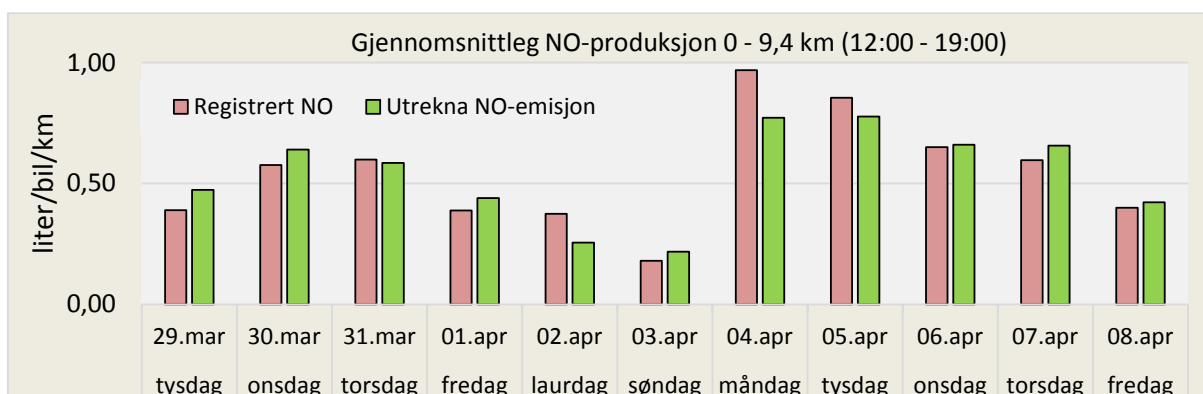
Tabell 18: Gjennomsnittlege emisjonsverdiar på flat veg for korte og lange køyretøy 29. mars - 8. april 2016

Gjennomsnittleg NO <sub>x</sub> -emisjon i april 2016 (l/km/bil)				Volum NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	Korreksjonsfaktorar for stigning <sup>14</sup>			
Køyretøylengde	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>		s = 2,3 %	s = -2,3 %	s = 0,7 %	s = -0,7 %
Inntil 5,6 m	0,047	0,11	0,16	30 %	1,575	0,425	1,175	0,825
Over 5,6 m	0,200	1,70	1,90	11 %	1,828	0,172	1,252	0,748

<sup>14</sup> Stigningsfaktorar: Personbil: k = 25s + 1 ved s > -3,5 %. Stor bil: k = 36s + 1 ved s > -2,5 %



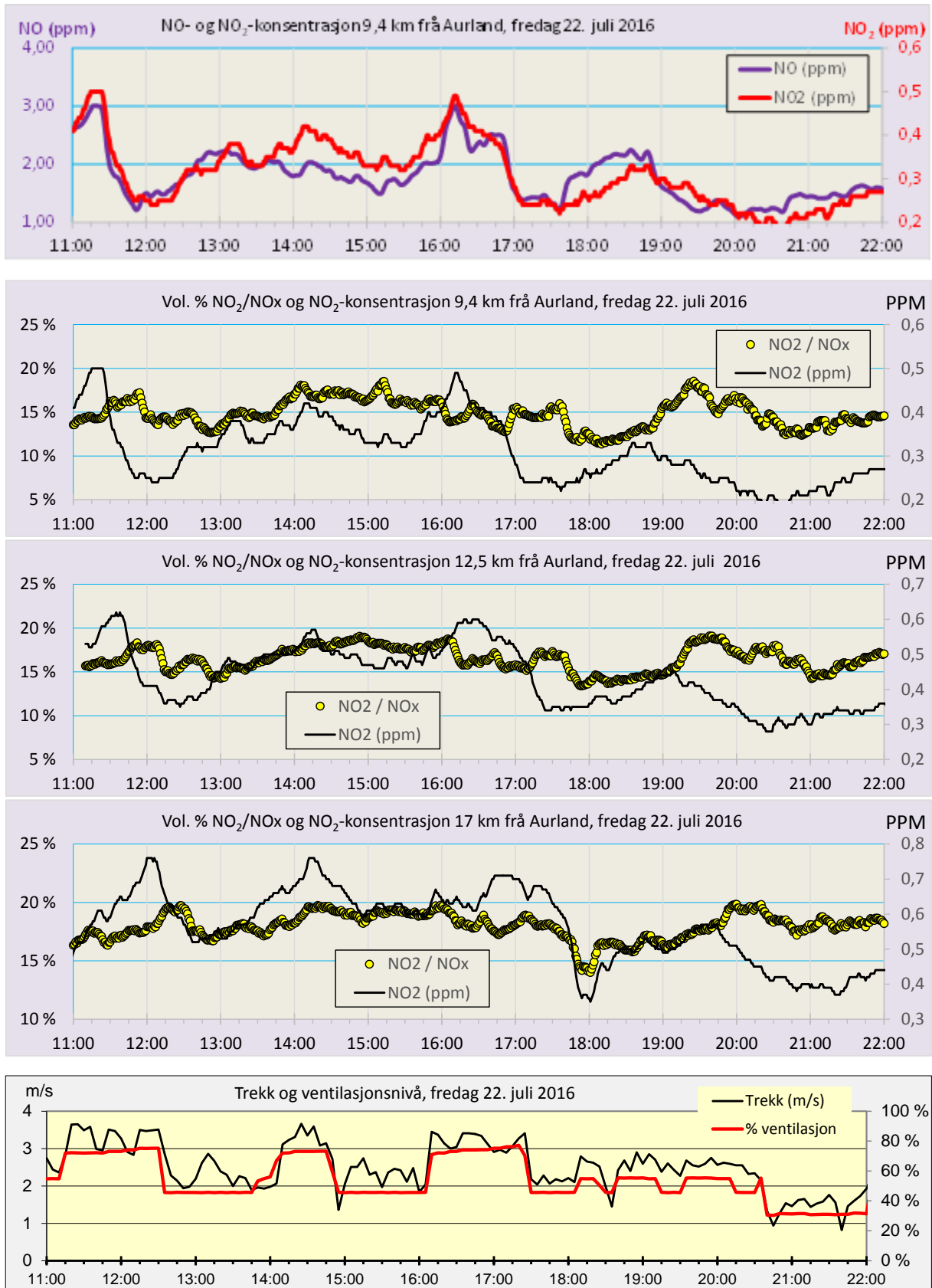
Figur 57: Samanlikning av teoretisk NO<sub>2</sub>-produksjon med målt NO<sub>2</sub>-volum i to kontrollpunkt i mars - april 2016



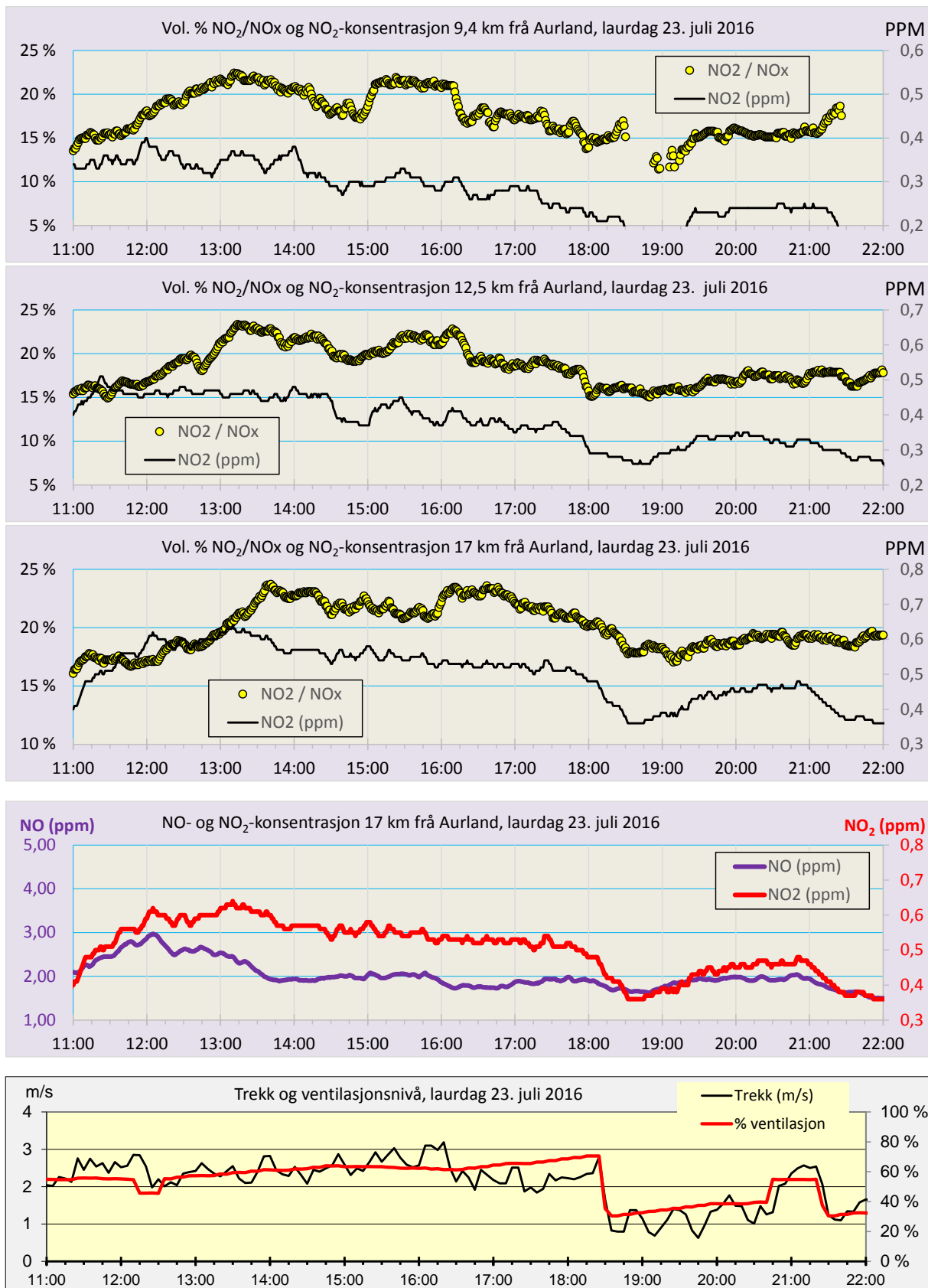
Figur 58: Samanlikning av teoretisk NO-produksjon med målt NO-volum i to kontrollpunkt i mars - april 2016



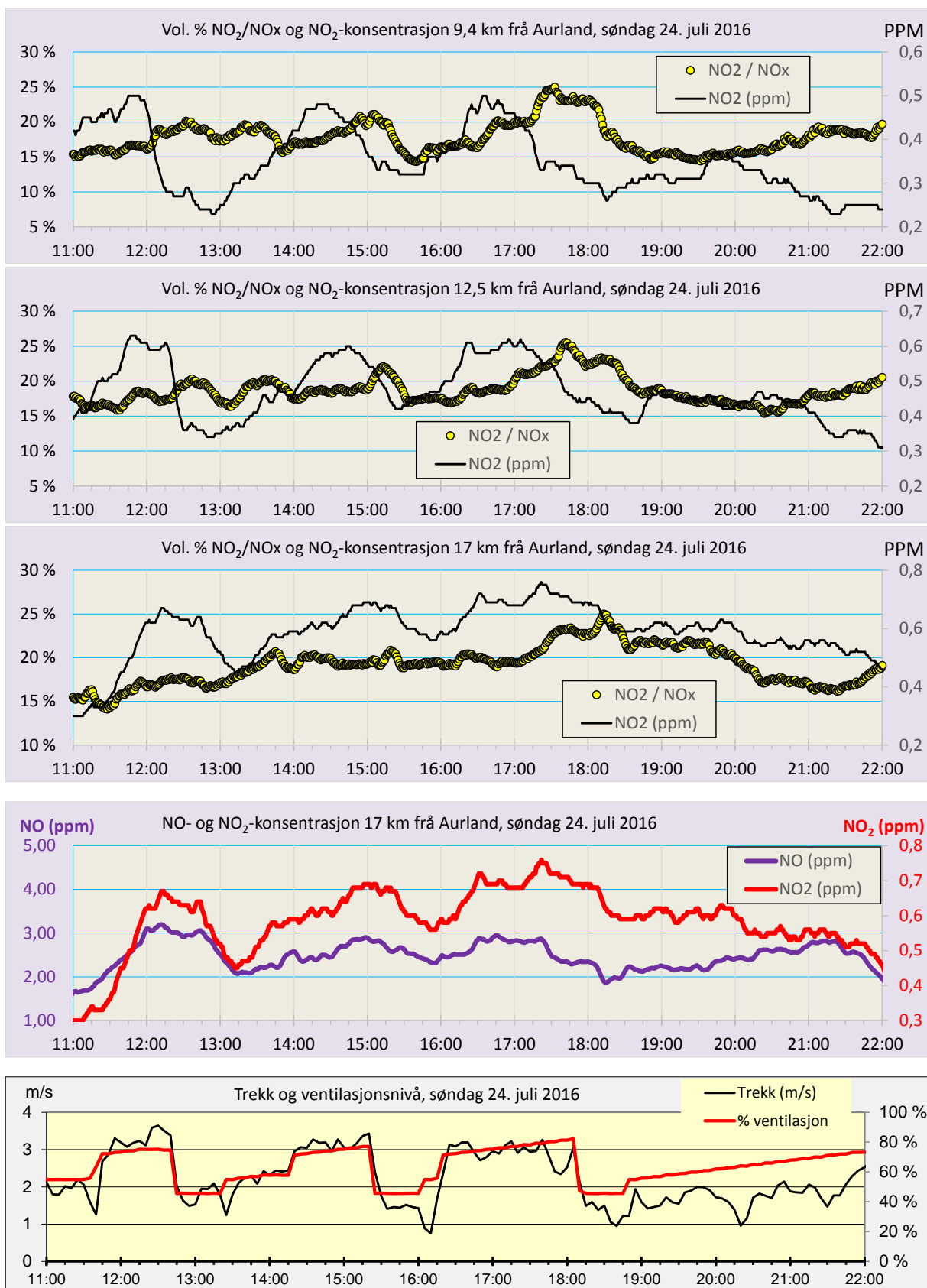
### 9.3.3 Volumandel NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> i juli 2016 (ferietrafikk)



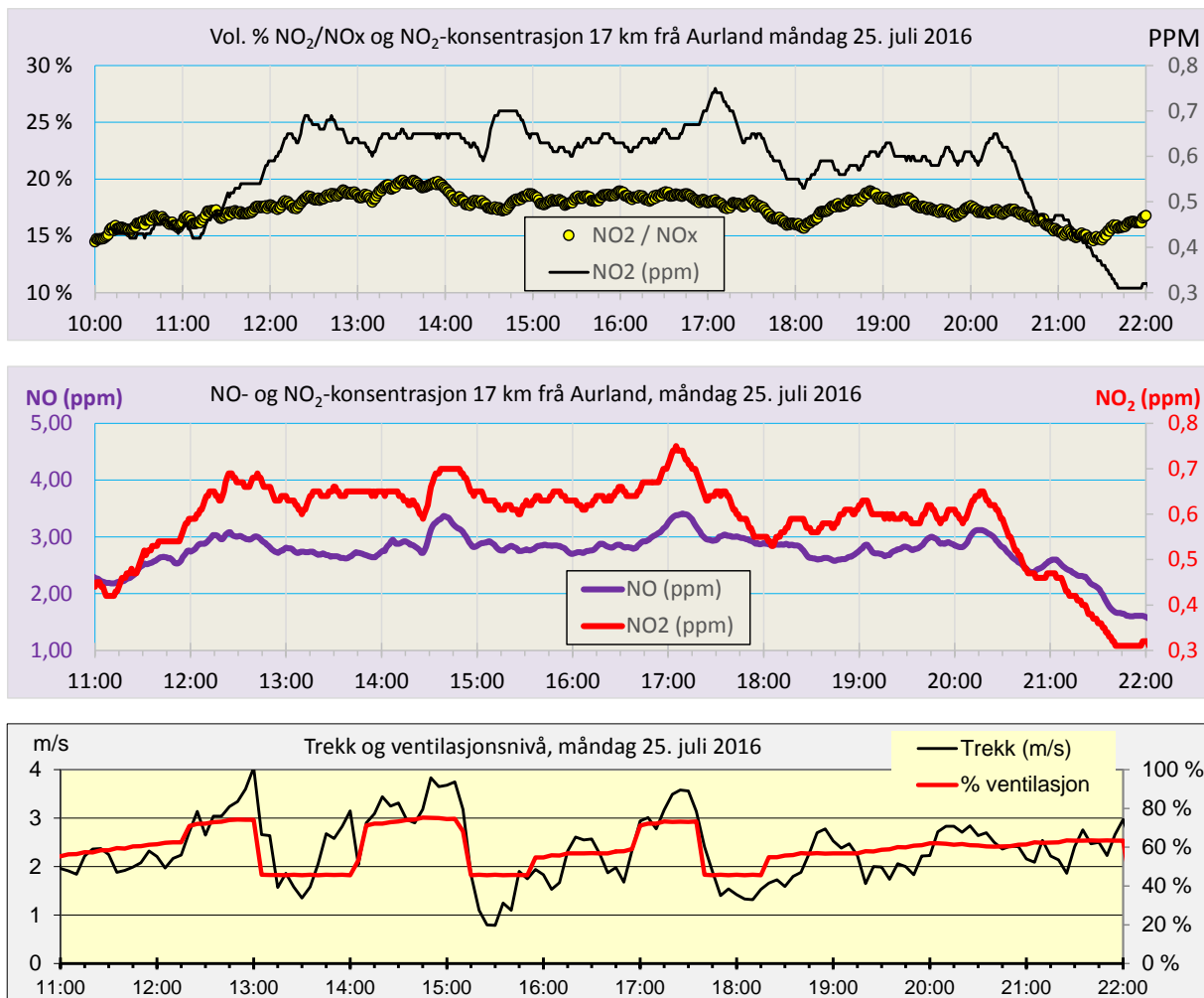
Figur 59: Variasjon i NO, NO<sub>2</sub> og ventilasjonsnivå fredag 22.7.2016



Figur 60: Variasjon i NO, NO<sub>2</sub> og ventilasjonsnivå laurdag 23.7.2016



Figur 61: Variasjon i NO, NO<sub>2</sub> og ventilasjonsnivå søndag 24.7.2016

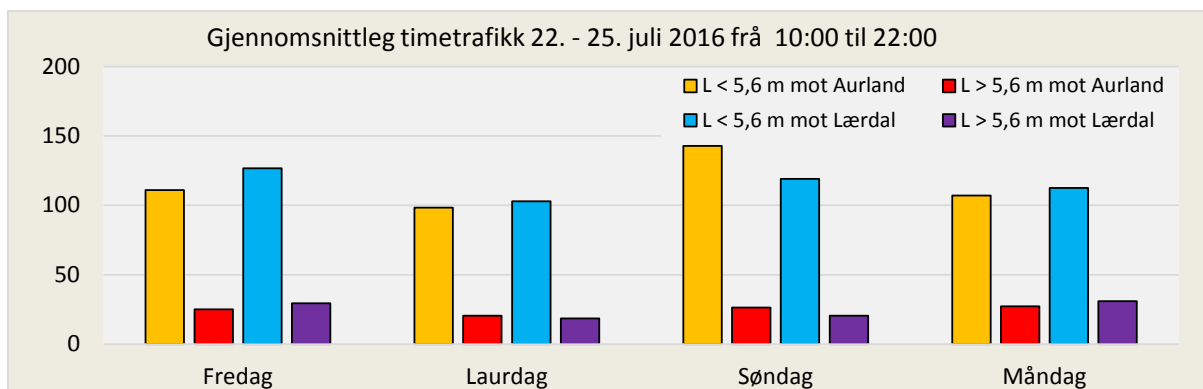


Figur 62: Variasjon i NO, NO<sub>2</sub> og ventilasjonsnivå måndag 25.7.2016

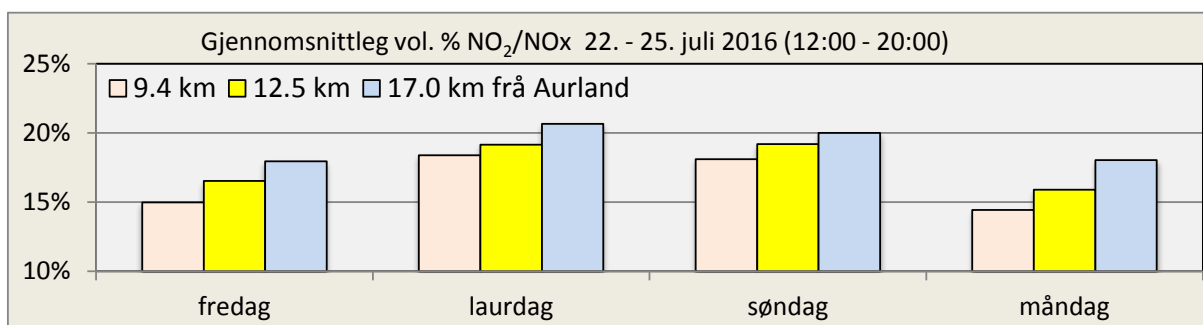
NO<sub>2</sub>- og NO-nivået i sommartrafikken varierer etter liknande mønster som om vinteren. Frå måndag til fredag ligg den gjennomsnittlege NO<sub>2</sub>-andelen rundt 18 % med toppnivå på 20 %. Laurdag og søndag stig gjennomsnittsverdien med 2 – 3 %, og med enkelte toppar opp mot 25 %. Større trafikk og ein stor del utanlandske personbilar med låg gjennomsnittsalder, gjev jamne trendkurver samanlikna med registreringane i april 2016.

NO-nivået ligg rundt 3,0 ppm frå måndag til fredag og varierer mellom 2,0 og 3,0 ppm frå fredag ettermiddag til søndag. Det er NO<sub>2</sub>-nivået som regulerer ventilasjonsnivået i tunnelen. Større tungtrafikk måndag 25. juli gav lite endring av det gjennomsnittlege ventilasjonsnivået samanlikna med søndag 24. juli.

Ved 75 % ventilasjonsnivå går sjaktventilatorane med 75 % av full kapasitet, men det er berre 50 % av impulsventilatorane som blir starta. Ved jamn trafikk i begge retningar, gjev dette ein trekk på ca. 3,5 m/s frå Aurland. Trekken kan aukast til ca. 4,5 m/s ved start av alle impulsventilatorane og maksimalt avtrekk gjennom tverrslaget. Redusert NO<sub>2</sub> utslepp frå tunge køyretøy har medført at reservekapasiteten er like stor i dag som då tunnelen vart opna sjølv om trafikken er nesten dobbelt så stor i dag.



Figur 63: Jamn trafikk i begge retningar med ca. 20 % lange køyretøy



Figur 64: Jamn auke i NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> frå 9,4 km til 17 km (Liten trafikk av store godsbilar laurdag og søndag)

Sommartrafikken i Lærdalstunnelen er omtrent dobbelt så stor som årsgjennomsnittet. Fredag og søndag ligg trafikken rundt 400 køyretøy/time. Ved størst trafikk har ca. 20 % av bilane lengde over 5,6 m. Trafikken av store godsbilar er relativt jamn heile året, men turistbussar, bubilar og bilar med campingvogn, medfører at det blir fleire lange køyretøy om sommaren.

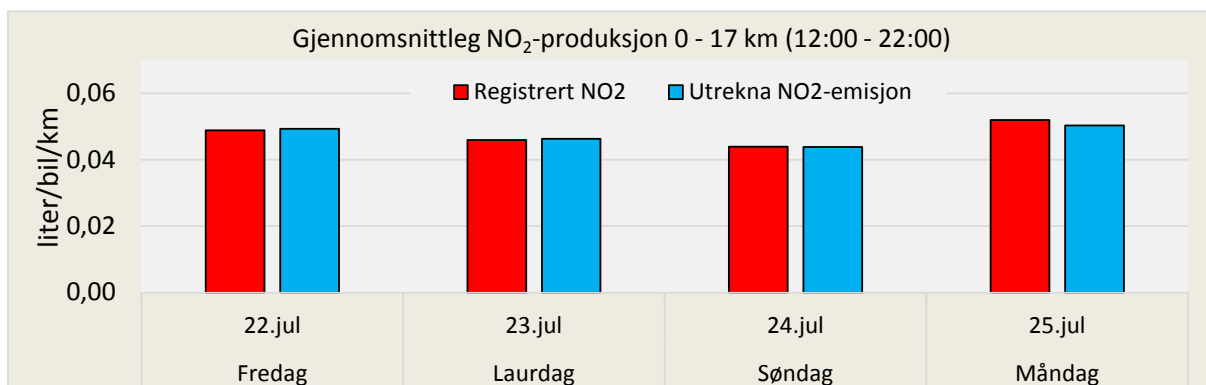
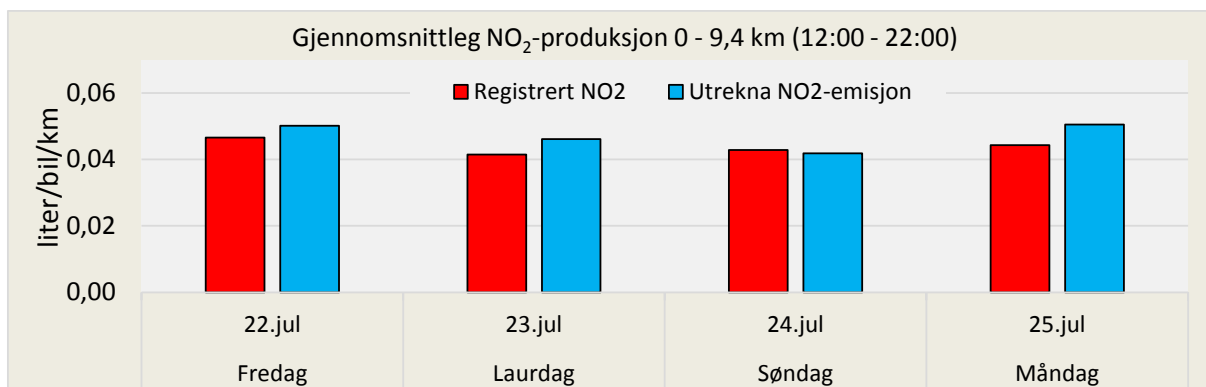
Frå fredag til måndag vart det målt ein gjennomsnittleg NO<sub>2</sub>-produksjon på 0,044 liter/bil/km mellom Aurland og målepunktet ved 9,4 km og 0,048 l/bil/km frå 0 – 17 km. Oksidasjon av NO gjev auke av NO<sub>2</sub>-nivået frå 9,4 km til 17 km sjølv om det ikkje er trafikk i tunnelen. NO-konsentrasjon på 2,0 ppm blir endra til 1,93 ppm NO + 0,07 ppm NO<sub>2</sub> etter 60 minutt<sup>15</sup>. I diagramma på neste side er det ikkje teke omsyn til oksidasjon av NO.

I juli var forholdet mellom NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> ein god del mindre enn ved målingane i mars –april på side 56. Redusert NO<sub>2</sub>-emisjon frå personbilar kan ha samanheng med eit stort innslag av utanlandske bilar, lågare dieselandel og redusert gjennomsnittsalder. Litt av nedgangen i emisjonsfaktorane for lange køyretøy i ferietrafikken, kjem av at bilar med campingvogn blir rekna som lange køyretøy. Men det er også sannsynleg at moderne turistbussar har relativt lågt NO<sub>2</sub>-utslepp samanlikna med lastebilar og vogntog.

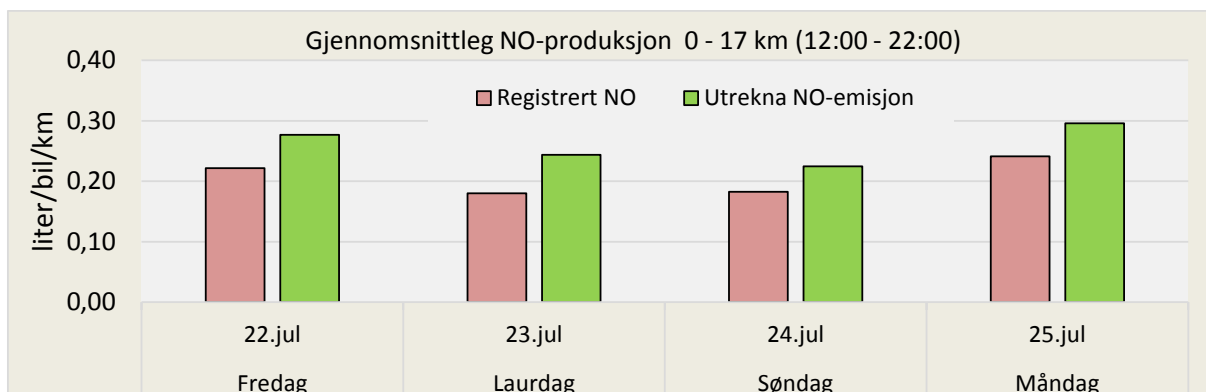
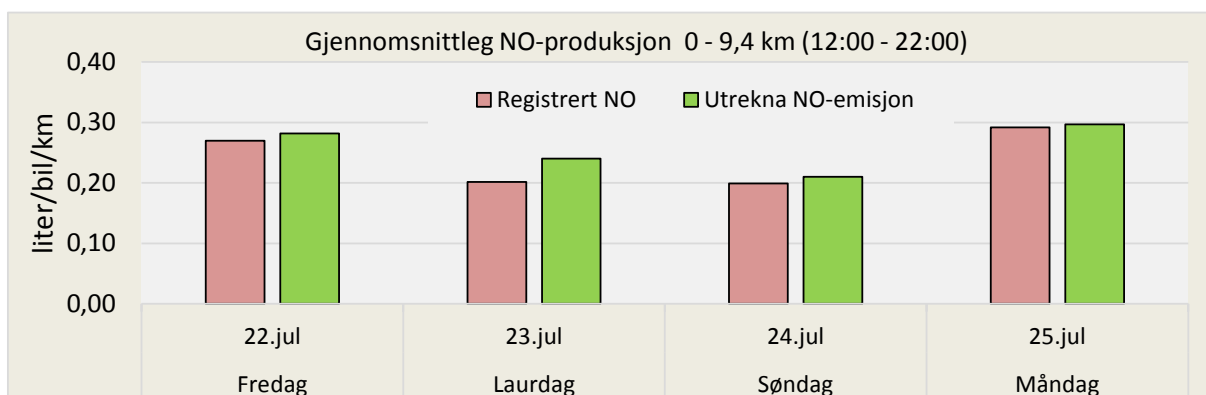
Tabell 19: Gjennomsnittlege emisjonsverdiar på flat veg for korte og lange køyretøy 22. – 25. juli 2016

Gjennomsnittleg NO <sub>x</sub> -emisjon i juli 2016 (l/km/bil)				Volum NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	Korreksjonsfaktorar for stigning (= Tabell 18)			
Køyretøylengde	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>		s = 2,3 %	s = -2,3 %	s = 0,7 %	s = -0,7 %
Inntil 5,6 m	0,036	0,10	0,14	26 %	1,575	0,425	1,175	0,825
Over 5,6 m	0,10	1,00	1,10	9 %	1,828	0,172	1,252	0,748

<sup>15</sup> Sjå figur 10 i rapport nr. 173 frå Statens vegvesen.



Figur 65: Samanlikning av teoretisk NO<sub>2</sub>-produksjon med målt NO<sub>2</sub>-volum i to kontrollpunkt i juli 2016



Figur 66: Samanlikning av teoretisk NO-produksjon med målt NO-volum i to kontrollpunkt i juli 2016

### 9.3.4 Støv- og slamproduksjon i Lærdalstunnelen



Figur 67: Eksempel på sand- og grov silt som vart fjerna tørt frå Lærdalstunnelen i mai 2016



*Figur 68: Støvsamling på flater som vender oppover i utvida tunnelverrsnitt (pga. redusert trekk)*



*Figur 69: Redusert støvutfelling i trompetforma overgang frå bergrom til tunnel pga. større fart på tunnellufta*





Figur 70: Lysarmatur som vender oppover bør kanskje ha anlegg for automatisk spyling med trykkluft?

Ved feiing av halve tunnelen i mai 2016, vart det køyrt ut ca. 35 m<sup>3</sup> fin sand og silt. Årsproduksjonen er ikkje nøyaktig oppmålt, men ligg truleg rundt 100 m<sup>3</sup> eller ca. 200 tonn når vi tek med avrenning av vaskevatt og botnfelling i sandfang og kummar. Dersom vi reknar med at store køyretøy gjev fem gonger større slitasje enn personbilar, får vi ein gjennomsnittleg slitasjefaktor på 4 - 6 g/km for person- og varebilar og 20 - 30 g/km for bilar med lengde over 5,8 m. Gjennomsnittleg slitasjefaktor i Lærdalstunnelen blir ca. 10 g/km/bil.

I Aurland renn vaskevattnet frå halve tunnelen inn på det kommunale kloakknett. I Lærdal blir vatnet infiltrert i grunnvatnet frå eit lokalt basseng nær tunnelportalen. Lærdalstunnelen blir ventilert mot eit 2,0 km langt tverrslag. Dermed blir det nær null støvutslepp gjennom portalane. Støvmengda som passerer gjennom sjaktventilatorane er grovt vurdert til 10 tonn/år. Dei minste og lettaste partiklane blir fordelte utover eit stort skogs- og beiteområde som ligg over 5 km frå næraste busetnad, medan dei tyngste sandpartiklane blir liggjande igjen i tverrslaget. Feiing og støvsuging blir utført med 10 – 15 års intervall. I 2015 vart det køyrt ut ca. 50 m<sup>3</sup> utfelt støv og sand frå vegbana i tverrslaget.

I tverrslaget er gjennomsnittsfarten på lufta omtrent dobbelt så stor som i tunnelen, men der er ingen turbulens frå trafikk som hindrar naturleg sedimentering av dei tyngste sandpartiklane. I tunnelen ligg det derimot ofte ei sandhaldig sky i høgde med bilhjala. Denne skya er spesielt godt synleg i lyset frå møtande bilar i perioden fram mot tunnelvask.

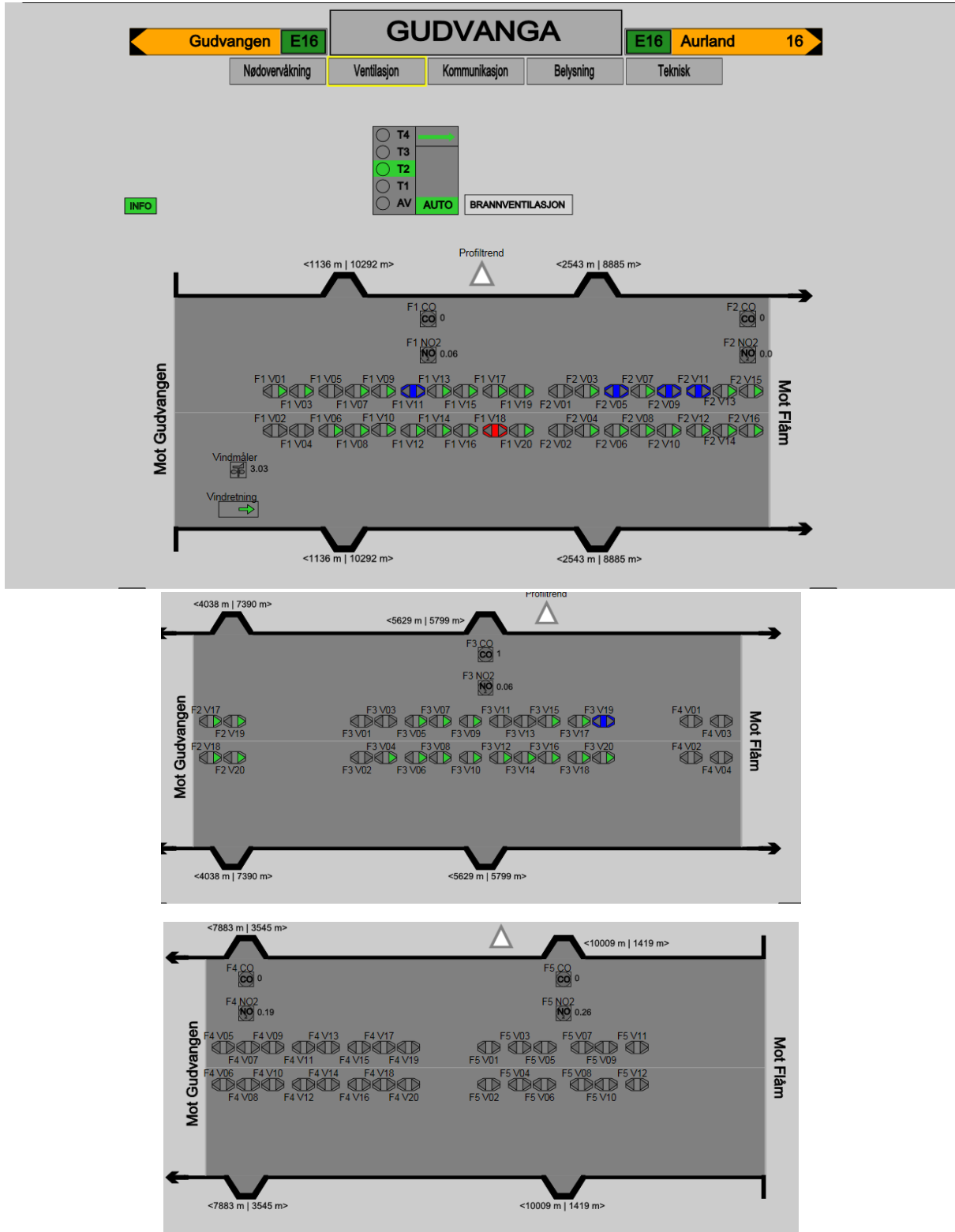
## 9.4 E16 Gudvangatunnelen

Tunnellengde: 11 428 m

Tverrsnitt: Ca. 50 m<sup>2</sup>

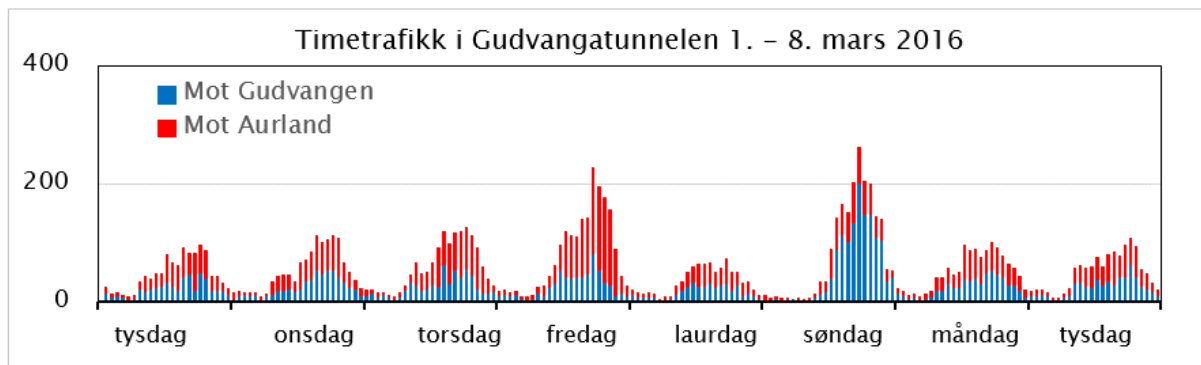
Stigning: 3,5 % mot Aurland

Ventilasjon: 92 impulsventilatorar med samla effekt ca. 1500 kW



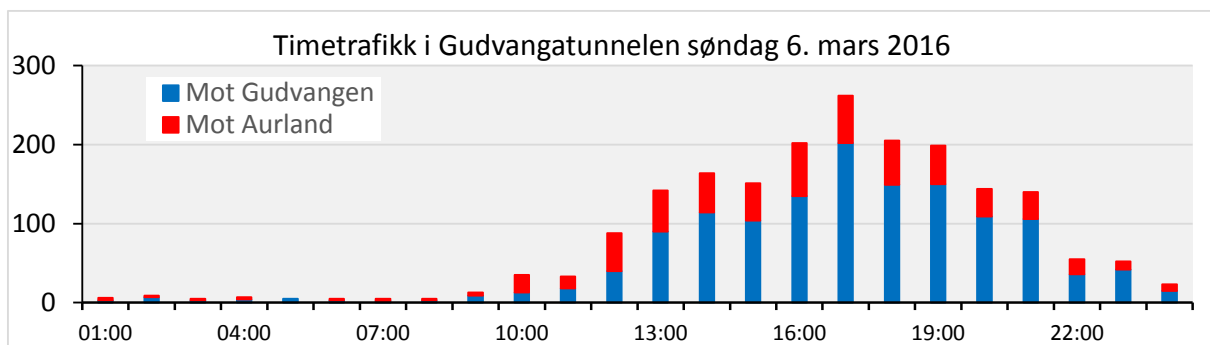
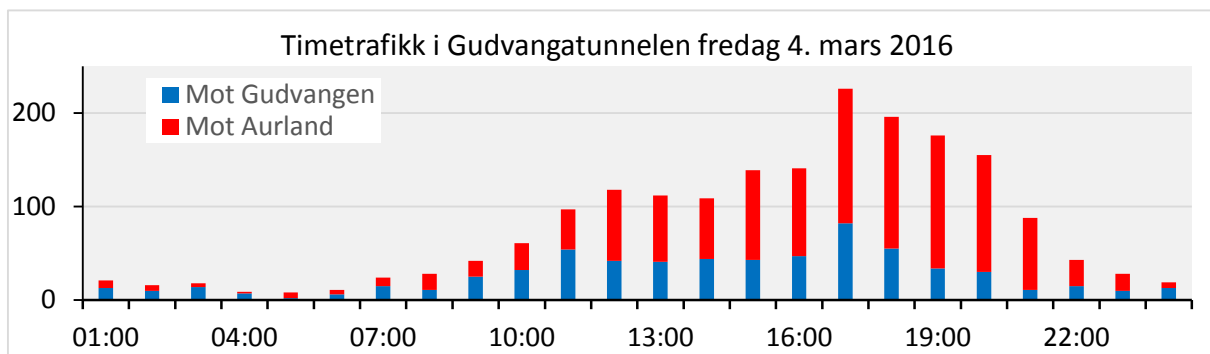
Figur 71: Drift av vifter i Gudvangatunnelen 3. mars 2016. Støvmåling ved F5

### 9.4.1 Trafikk, ventilasjon og luftkvalitet



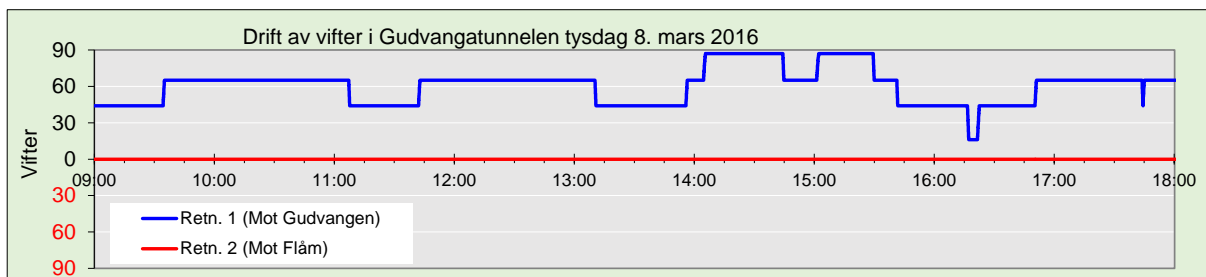
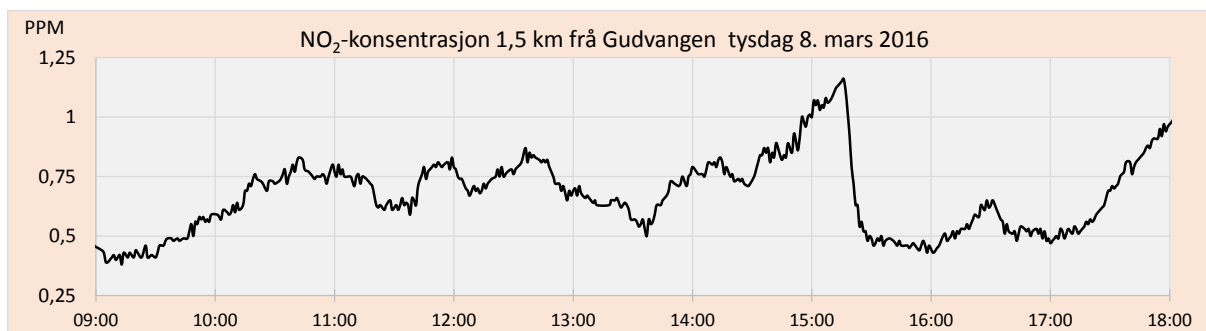
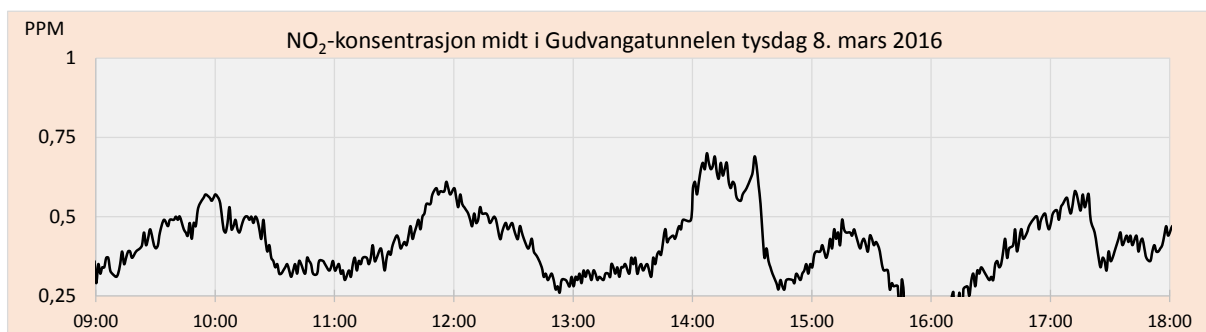
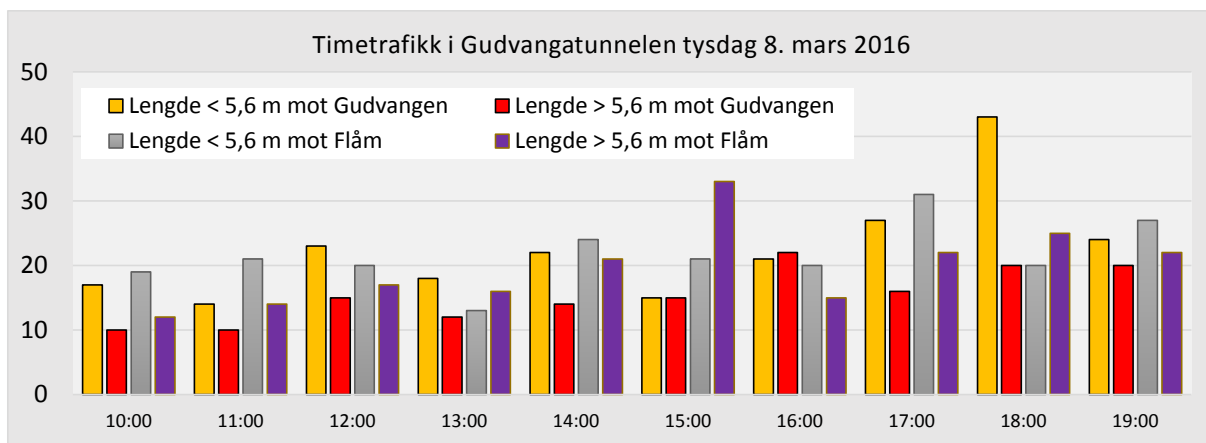
Figur 72: Trafikkvariasjon i veke nr. 9/2016

ÅDT 2015	1950 køyretøy/døgn. 27 % med lengde > 5,6 m
Gjennomsnittleg trafikk i veke 9/2016:	1069 køyretøy/døgn (mandag – søndag)
Trafikk av køyretøy med lengde over 5,6 m:	32 % (45 % onsdag 2. mars 2016)
Største timetrafikk:	262 køyretøy/time (søndag 16:00 – 17:00)
Retningsfordeling ved maks. timetrafikk:	77 % mot Bergen (6.3.2016)

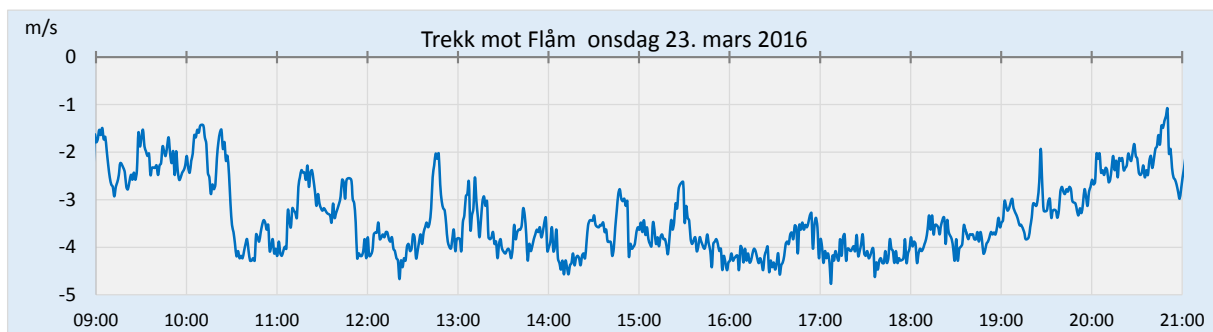
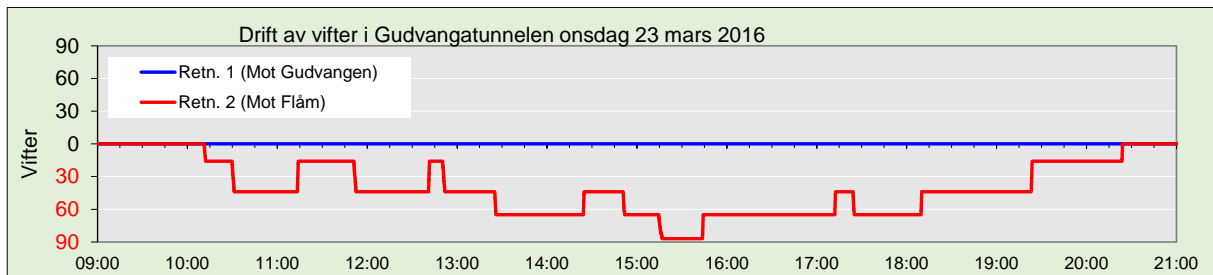
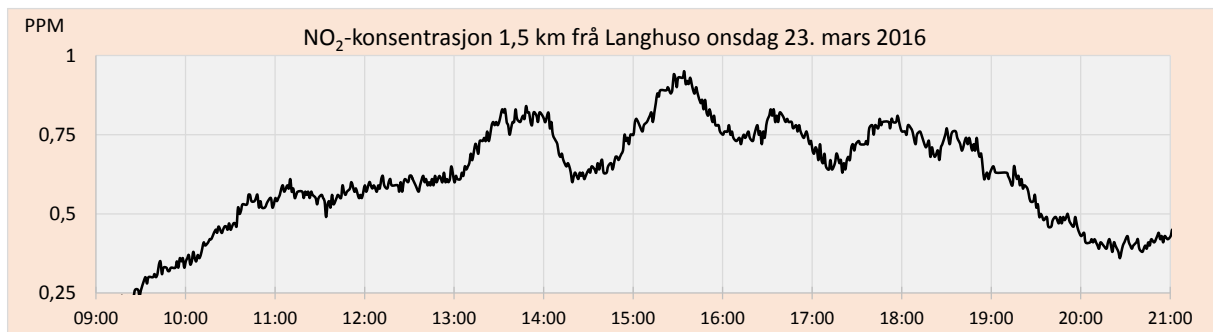
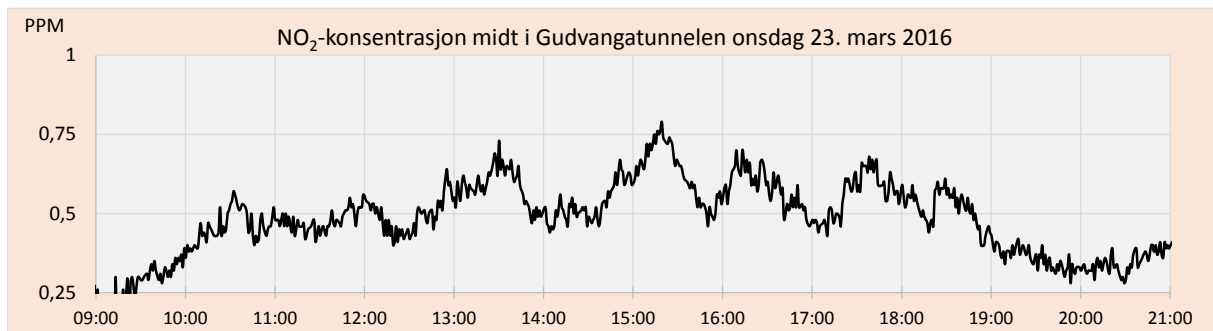
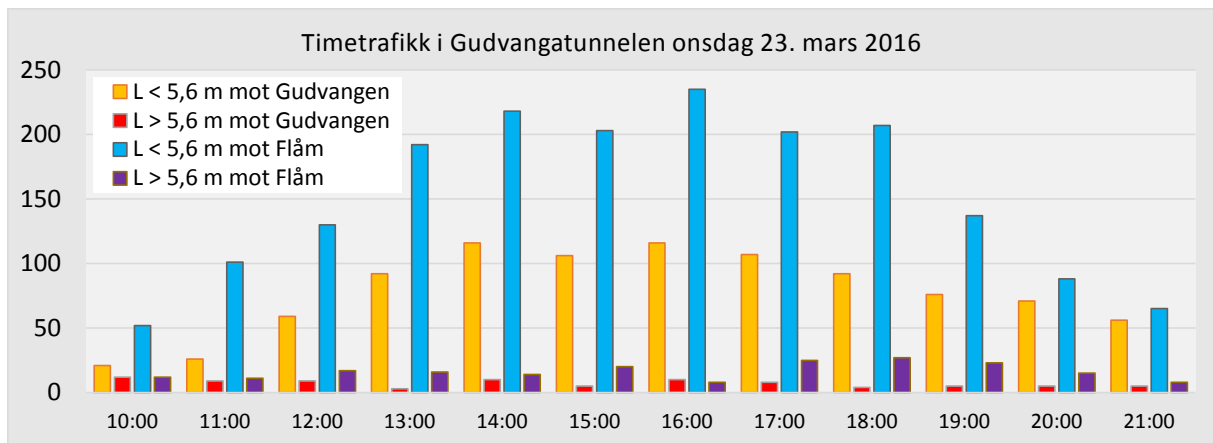


Figur 73: Størst trafikk i retning mot Aurland fredag ettermiddag og tilbake mot Bergen søndag

Sterk stigning mot Aurland gjev kraftig naturleg trekk i tunnelen når det er stor differanse mellom lufttemperaturen i tunnelen og ute i dagen. Skiftande naturleg trekk og periodevis skeiv retningsfordeling av trafikken, gjev spesielle utfordringar med styring av ventilasjonsanlegget. Fredag ettermiddag kan ventilasjon mot Aurland fungere godt, men søndag ettermiddag er ventilasjon vestover som regel den beste løysinga. Retninga bør veljast før klokka 11:00. Endring seinare på dagen kan medføre stenging på grunn av lang utluftingstid og høgt NO<sub>2</sub>-nivå midt i tunnelen.



Figur 74: Trafikk, NO<sub>2</sub>-konsentrasjon, ventilasjonsnivå og trekk, tysdag 8. mars 2016 kl. 09:00 – 18:00.

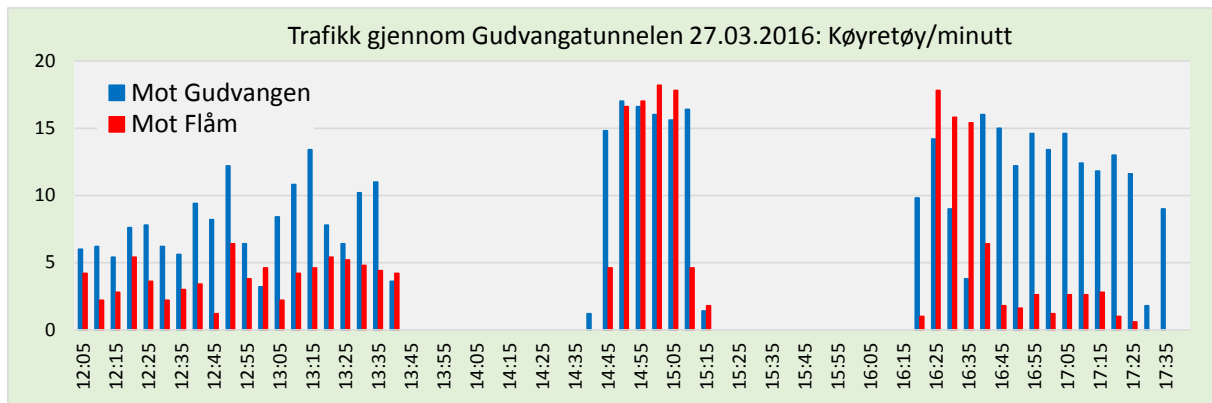


Figur 75: Trafikk, NO<sub>2</sub>-konsentrasjon, ventilasjonsnivå og trekk, onsdag 23. mars 2016 kl. 09:00 – 21:00

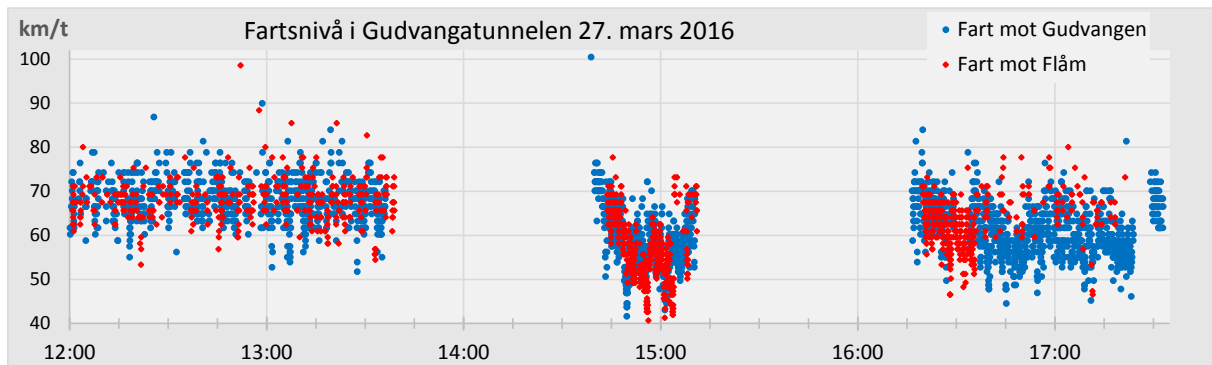
#### 9.4.2 Utrekning av emisjonsverdi for NO<sub>2</sub> frå personbilar

Påskedag 2016 vart vegen over Hardangervidda stengd for personbilar. Dette gav ekstra stor personbiltrafikk på E16, og Gudvangatunnelen vart stengd to gonger fordi NO<sub>2</sub>-nivået midt i tunnelen kom over grenseverdien på 0,75 ppm i meir enn 15 minutt. 5831 bilar køyrde gjennom tunnelen frå klokka 10:00 til 22:00. 72 % av trafikken gjekk vestover.

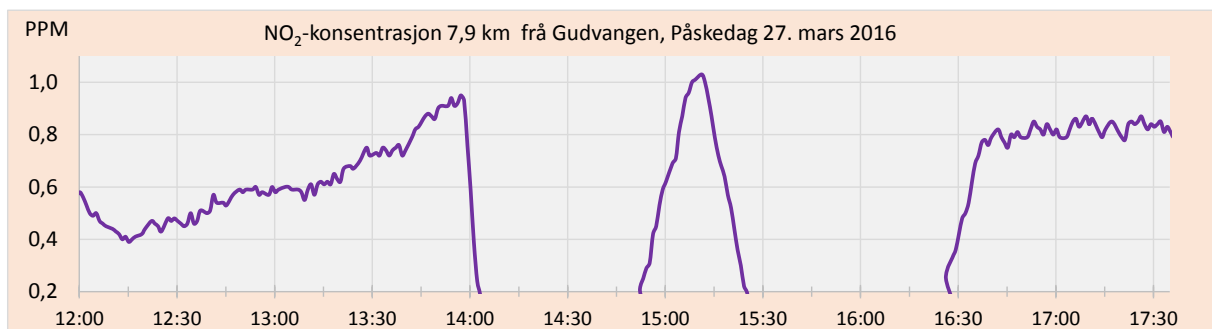
Liten tungtrafikk og stor personbiltrafikk etter kvar stenging, gjev eit godt grunnlag for utrekning av nye emisjonsverdiar for NO<sub>2</sub> frå personbiltrafikken. Trafikkavvikling etter kvar stenging gav også nyttig informasjon om maksimal kapasitet og fartsnivå ved køkøyring. Når trafikken kjem over ca. 15 bilar pr. minutt i ei retning, får ein del trafikantar problem med å halde jamn avstand. Det medfører store variasjonar i fartsnivået og korte periodar med nesten stillestående kø i tunnelen.



Figur 76: Kapasitetsmåling i Gudvangatunnelen Påskedag 2016



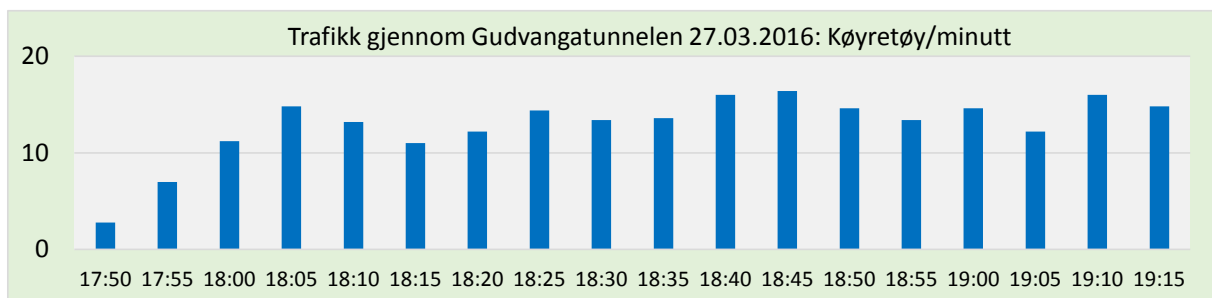
Figur 77: Variasjonar i fartsnivå 8,5 km frå Gudvangen. Fartsgrensa er 70 km/t



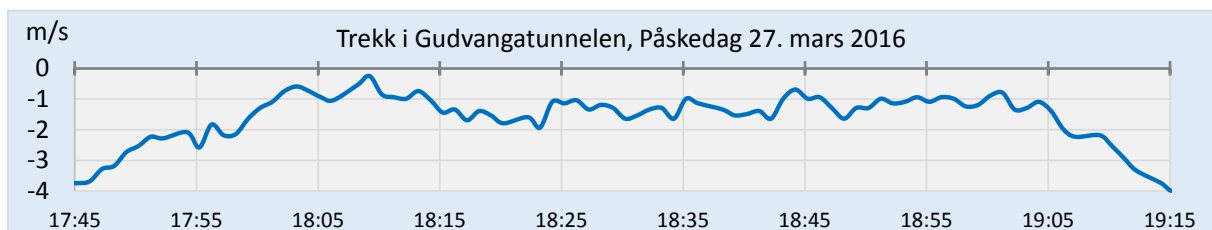
Figur 78: Registret NO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved trafikktelepunktet i Gudvangatunnelen (3,5 km frå austre portal)

Stenging av tunnelen i begge retningar i to periodar, gav fleire datasett for utrekningar av emisjonsverdi for NO<sub>2</sub>. Den fyrste stenginga klokka 13:33 varte i over ein time, slik at tunnelen vart 100 % gjennomlufta før bommane vart opna igjen. Frå klokka 14:38 til 15:08 passerte 459 bilar teljepunktet vestover og 377 bilar austover. Etter ein halv time steig NO<sub>2</sub>-nivået til 1,0 ppm ved fire av målepunkta før tunnelen vart stengd på nytt. Dette svarar til eit samla NO<sub>2</sub>-utslepp på ca. 50 liter pr. km som gjev eit gjennomsnitt på 0,060 liter/km/bil. Ved bruk av stigningsfaktorane i hb. N500<sup>16</sup> og emisjonsdata for lange køyretøy frå Lærdalstunnelen, blir emisjonsfaktoren for NO<sub>2</sub> frå bilar med lengde inntil 5,6 m, ca. 0,008 mot Gudvangen og 0,116 mot Flåm med ein gjennomsnittsverdi på 0,062 liter/km/bil på flat veg.

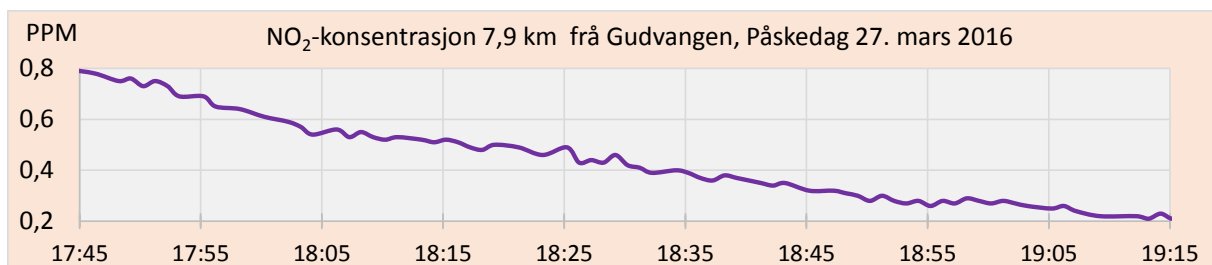
Frå klokka 16:12 til 16:39 steig NO<sub>2</sub>-nivået ved teljepunktet frå null til 0,76 ppm etter at 243 bilar hadde passert vestover og 275 bilar austover. Dette svarar til eit NO<sub>2</sub>-utslepp på 38 liter/km og ein gjennomsnittleg emisjonsfaktor for NO<sub>2</sub> på 0,073 liter/km frå kvar bil. Emisjonsverdien for bilar med lengde inntil 5,6 m, blir 0,009 mot Gudvangen og 0,118 mot Flåm med eit gjennomsnitt på 0,063 liter/km/bil på flat veg.



Figur 79: Trafikk vestover gjennom Gudvangatunnelen (E16 stengd austover)



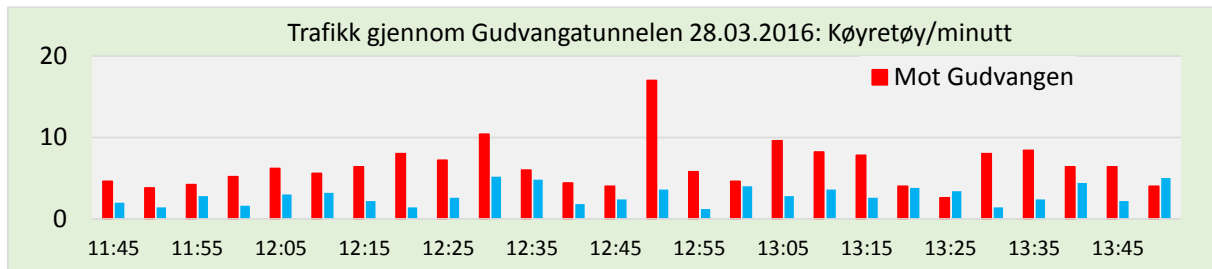
Figur 80: Gjennomsnittleg trekk mot køyreretninga: Ca. 1,3 m/s frå 18:05 til 19:05



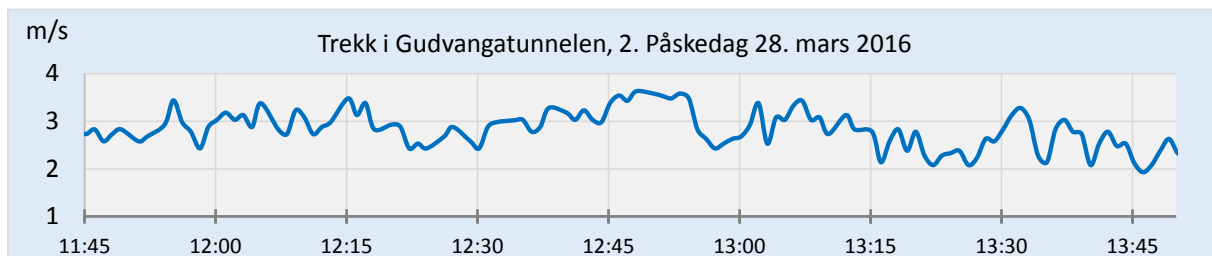
Figur 81: Registrert nedgang i NO<sub>2</sub>-konsentrasjon ved einvegstrafikk vestover

<sup>16</sup> I hb. N500 blir stigningsfaktoren for lette bilar utrekna etter formelen  $k = 25s+1$  ved stigning  $> -3,5\%$

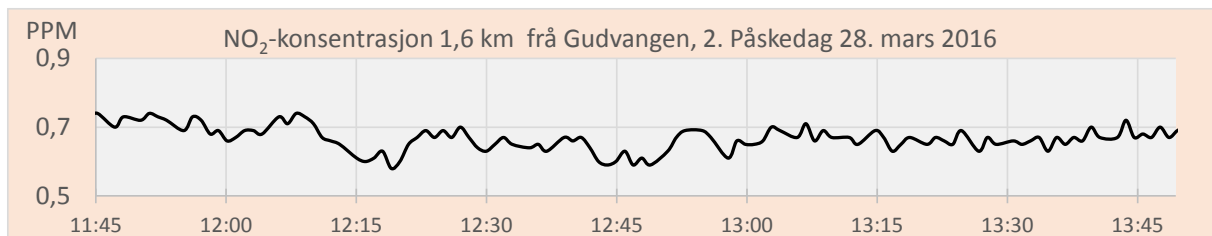
Frå klokka 17:15 til 19:00 var tunnelen stengd for trafikk mot Flåm. Dette gjer det mogleg å rekne ut nøyaktige emisjonsverdiar for personbiltrafikk ved køyring nedover ved fall på 3,5 %. Frå klokka 17:45 til 19:15 passerte 1159 bilar teljepunktet vestover. Fartsnivået varierte mellom 35 og 75 km/t. Figur 81 viser jamn nedgang i NO<sub>2</sub>-konsentrasjonen frå klokka 18:05 til 19:15 på grunn av låg NO<sub>2</sub>-produksjon i unnabakke. Gjennomsnittleg NO<sub>2</sub>-emisjon er utrekna til 0,008 liter/km/bil. Dette gjev godt samsvar med stigningsfaktor 0,125 ved bruk av formelen i hb. N500 og emisjonsverdi på 0,06 l/km/bil på flat veg.



Figur 82: Jamn trafikk 2. Påskedag



Figur 83: Ventilasjon mot Gudvangen. Gjennomsnittleg trekk ca. 2,8 m/s



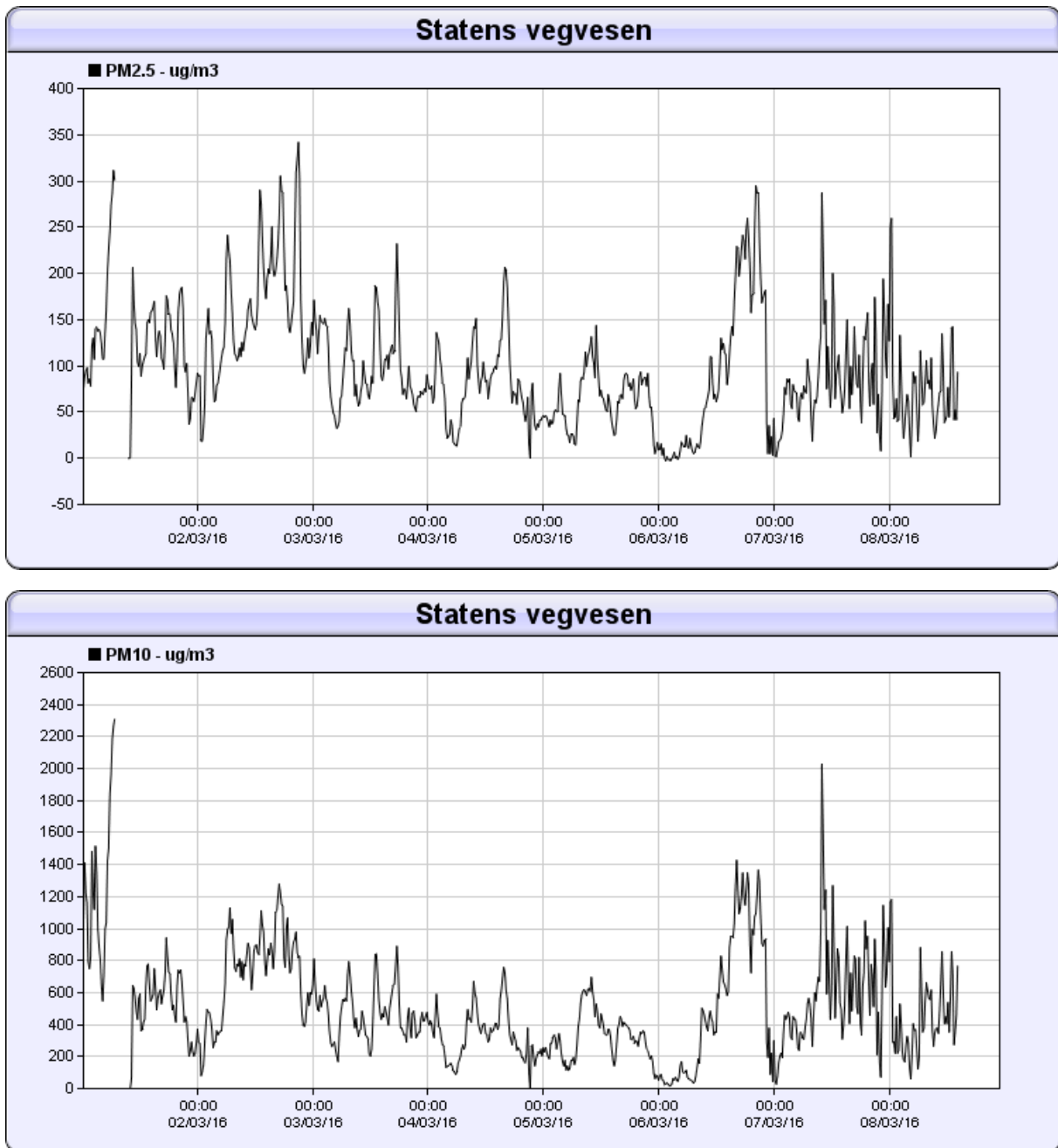
Figur 84: NO<sub>2</sub>-konsentrasjon etter 9,8 km. Gjennomsnitt ca. 0,67 ppm

Trafikken 2. Påskedag var jamnare fordelt utover dagen. 4170 bilar køyrde gjennom tunnelen frå klokka 10:00 til 22:00. 67 % av trafikken gjekk vestover. Gjennomsnittsverdiene for trafikk, trekk og NO<sub>2</sub>-konsentrasjon frå klokka 11:45 til 13:45 gjev ein NO<sub>2</sub>-produksjon på 63 liter/km og gjennomsnittleg emisjonsfaktor på 0,46 liter/km/bil. Ved korreksjon for stigning etter hb. N500 og fråtrekk for tungtrafikk, blir emisjonsverdien 0,008 mot Gudvangen og 0,118 mot Flåm med eit gjennomsnitt på 0,063 liter/km på flat veg for bilar med lengde inntil 5,6 m.

Emisjonsverdiene i påska 2016 ligg ca. fire gonger over emisjonsverdien for 2020 i hb. N500 (10 % av 0,15 l/km). Ujamm fart, lågt fartsnivå og fleire store personbilar med dieselmotor i påsketraffikken, er dei viktigaste årsakene til at det vart målt over 30 % større NO<sub>2</sub>-emisjon i Gudvangatunnelen i påska enn i Lærdalstunnelen i veka etter påske.



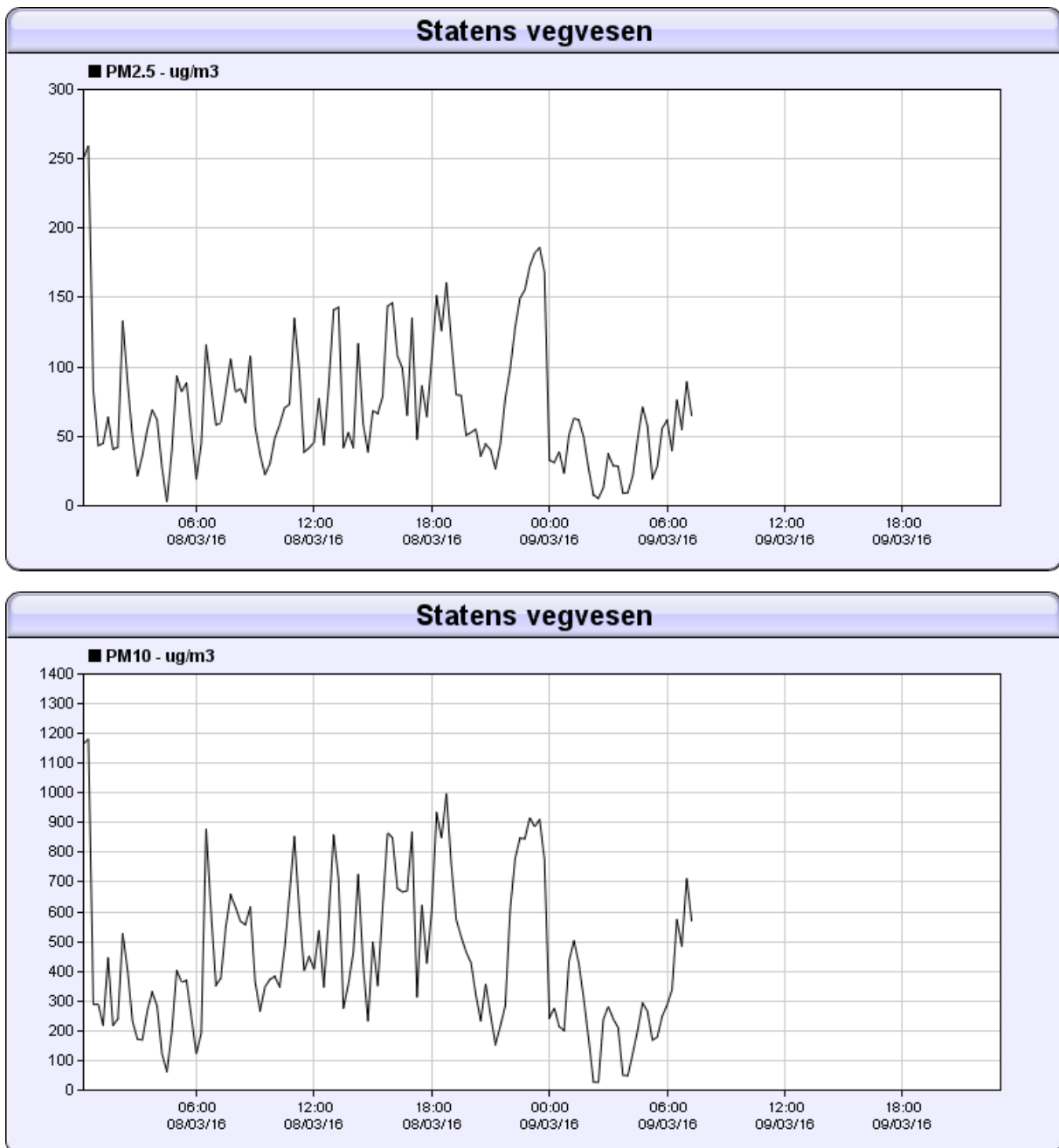
### 9.4.3 Støvnivå (PM2,5 og PM10) ca. 10 km frå Gudvangen



Figur 85: PM2,5 og PM10 i Gudvangatunnelen 2. – 8. mars 2016. (Gjennomsnitt over 15 minutt). Ventilasjon mot Flåm 1. – 6. mars. Ventilasjon mot Gudvangen 7. – 8. mars.

Tabell 20: Eksempell på PM2,5/PM10 ca. 10 km frå Gudvangen frå 1. til 8. mars:

Vekedag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag
Dato	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3
PM2,5	200	340	230	210	150	300	290	260
PM10	620	1000	900	800	700	1400	2000	1200
% PM2,5	32 %	34 %	26 %	26 %	21 %	21 %	15 %	22 %

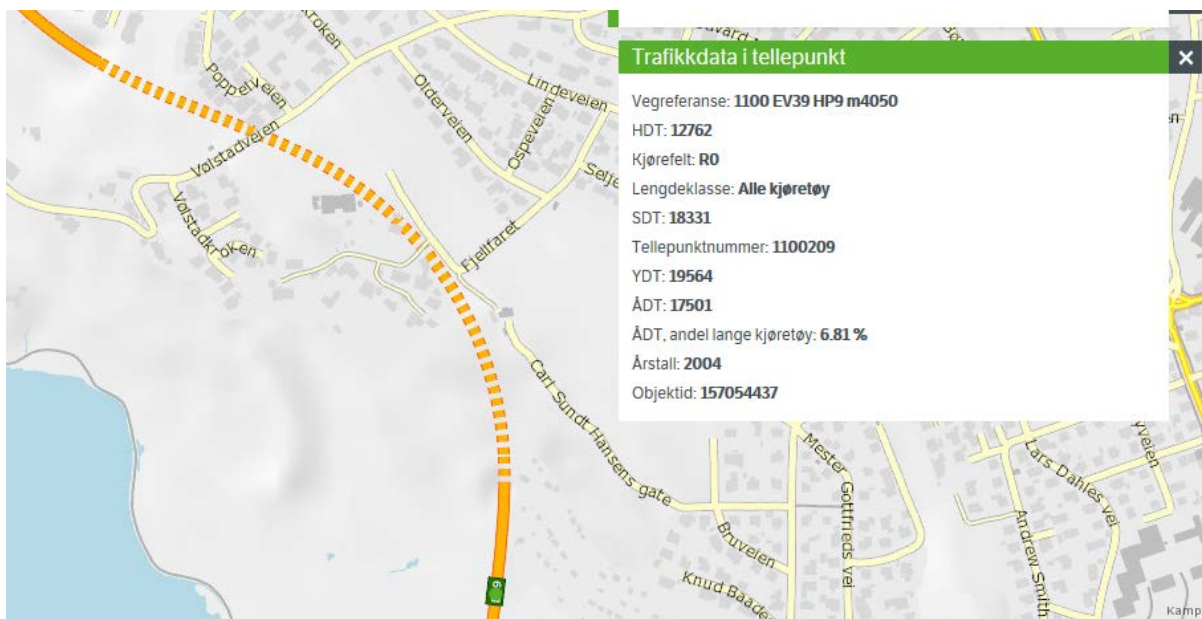
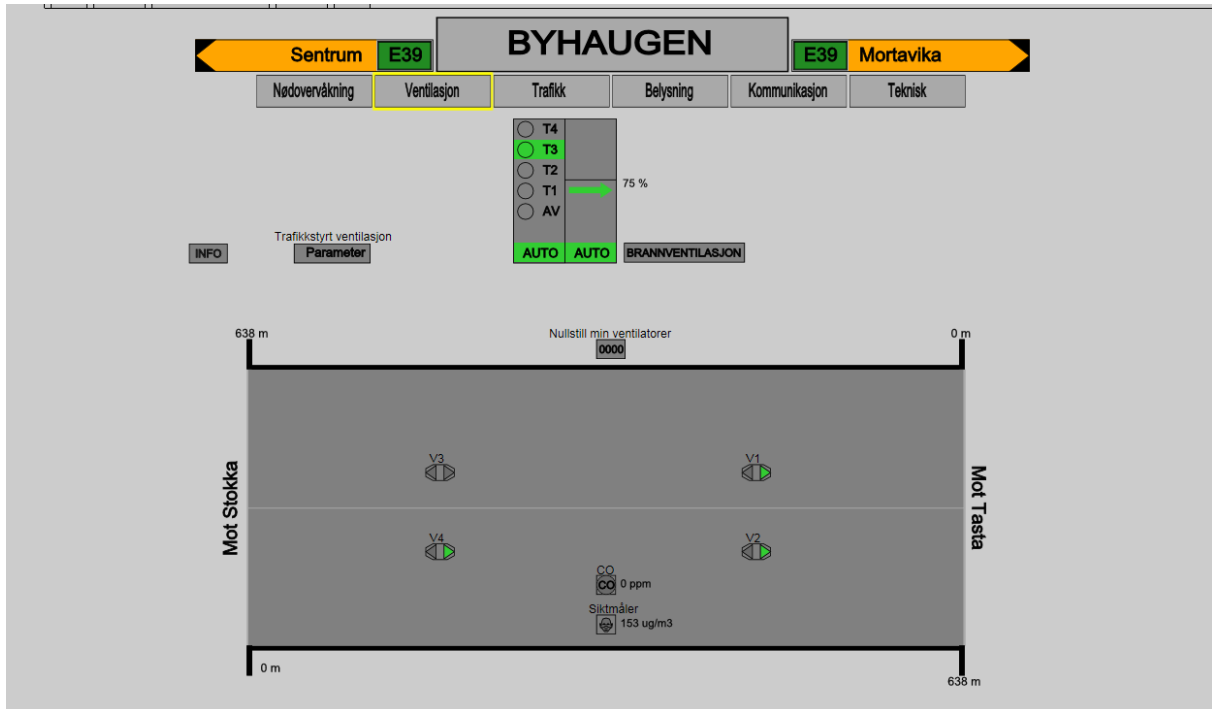


Figur 86: PM2,5 og PM10 i Gudvangatunnelen (1,5 km frå øvre portal) 8. - 9. mars 2016 (15 minutt middelvei)

Ventilasjon frå Gudvangen mot Flåm gav lågt PM10-nivå etter 10 km med berre nokre få 15-minuttsperiodar over 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Forholdet mellom PM2,5 og PM10 er langt større enn i Stedjebergatunnelen og Fodnestunnelen. Hovudårsaka er truleg den store tungtrafikken på E16 (45 % lange køyretoy onsdag 2. mars). Støvnivået gjekk litt ned ved redusert tungtrafikk frå torsdag til laurdag. Høgt støvnivå søndag 6. mars kom av stor personbiltrafikk mot ventilasjonsretninga pga. vinterferieavslutning (sjå oversikt over timetraffic på side 67).

Ventilasjonsretning mot Gudvangen gav uventa høgt støvnivå etter 1,4 km den 7. og 8. mars utan at det var spesielt stor trafikk. Deponert støv i tunnelen er truleg den viktigaste årsaka til relativt høge støvkonsentrasjonar frå 7. – 9. mars.

## 9.5 E39 Byhaugtunnelen i Stavanger



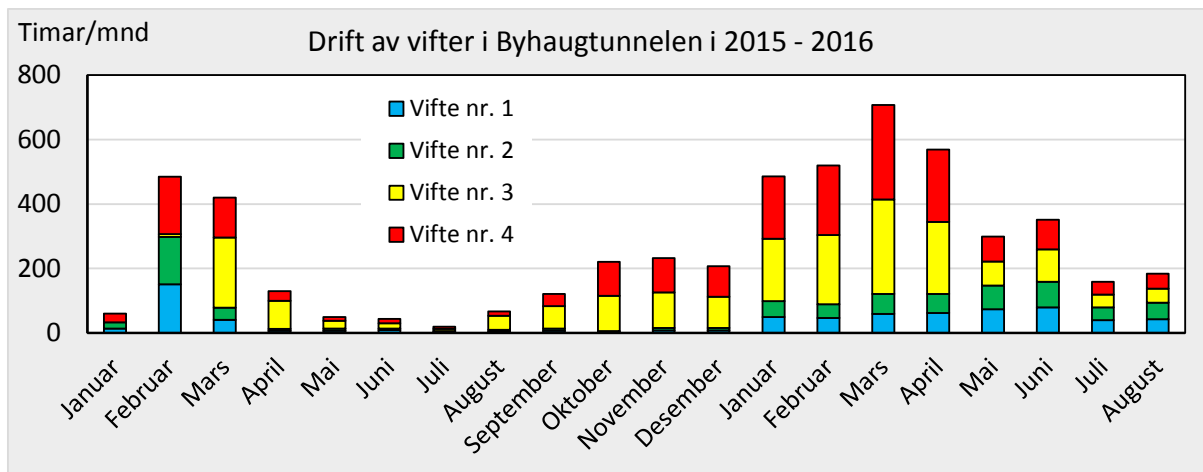
Figur 87: E39 Byhaugtunnelen, lengde: 638 m. ÅDT 2015: 23.900, 8 % lange kjøretøy (NVDB)

### 9.5.1 Styring og drift av ventilasjonsanlegget i Byhaugtunnelen

Viftestyringa er oppdelt i fire trinn etter CO-konsentrasjon og sikt i tunnelen. Det er låge startverdier i Byhaugtunnelen samanlikna med andre tunnelar i Region vest.

Tabell 21: Parameter for styring av ventilasjonsanlegget i Byhaugtunnelen (4 vifter a 18,5 kW)

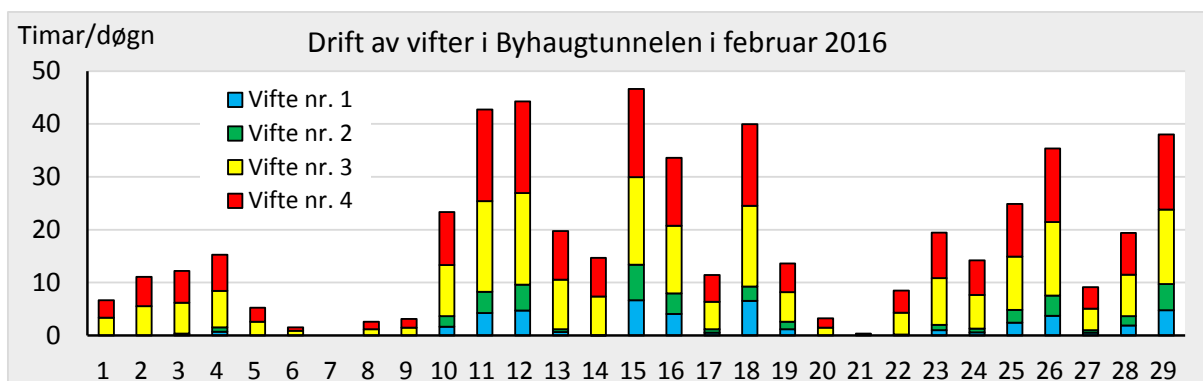
	Trinn 1	Trinn 2	Trinn 3	Trinn 4	Alarm	Midlingstid
CO (ppm)	5	10	15	20	50	60 sekund
Sikt ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )?	40	70	100	300	500	60 sekund



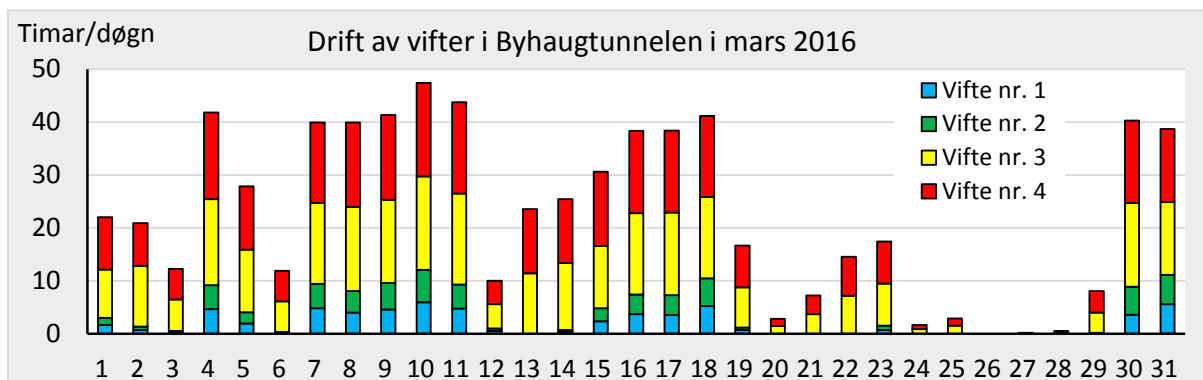
Figur 88: Frå 1.1.2015 til 1.9.2016 er det registrert 5.358 driftstimar og gjennomsnittleg driftstid på 21 minutt

Figur 88 viser ein klar samanheng mellom drift av vifter og piggdekkelsesong. Om sommaren er det god sikt i tunnelen, men viftene startar av og til på grunn av dei låge startverdiane for sikt og CO. Om vinteren er det store daglege variasjonar i driftstid på grunn av nedbør og snøsmelting som gjev fuktig vegbane gjennom heile tunnelen. Daglege nedbør på 13 - 19 mm frå 6.- 9. februar (www.yr.no, Våland), gav lågt støv nivå og lite ventilasjonsbehov i tunnelen.

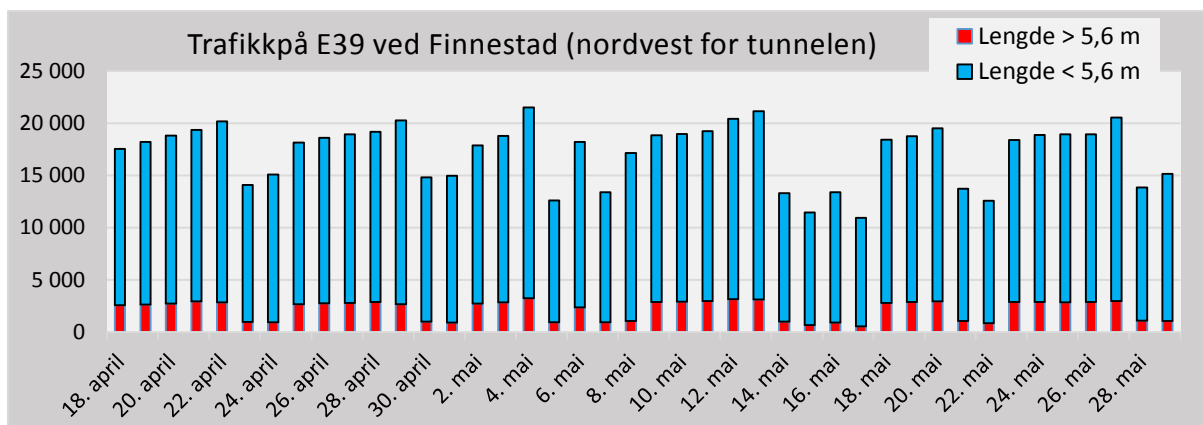
Viftene går som regel ca. 10 minutt etter kvar start, men av og til går dei kontinuerleg i mange timar på grunn av siktverdiane i tunnelen. Den 15. februar vart det registrert driftsperiodar på 5 – 9 timar. Den 10. mars var det kontinuerleg drift i over 11 timar.



Figur 89: I februar 2016 gjekk viftene 520 timar med ei gjennomsnittleg driftstid på 20 minutt



Figur 90: I mars 2016 gjekk viftene 707 timar med ei gjennomsnittleg driftstid på 27 minutt

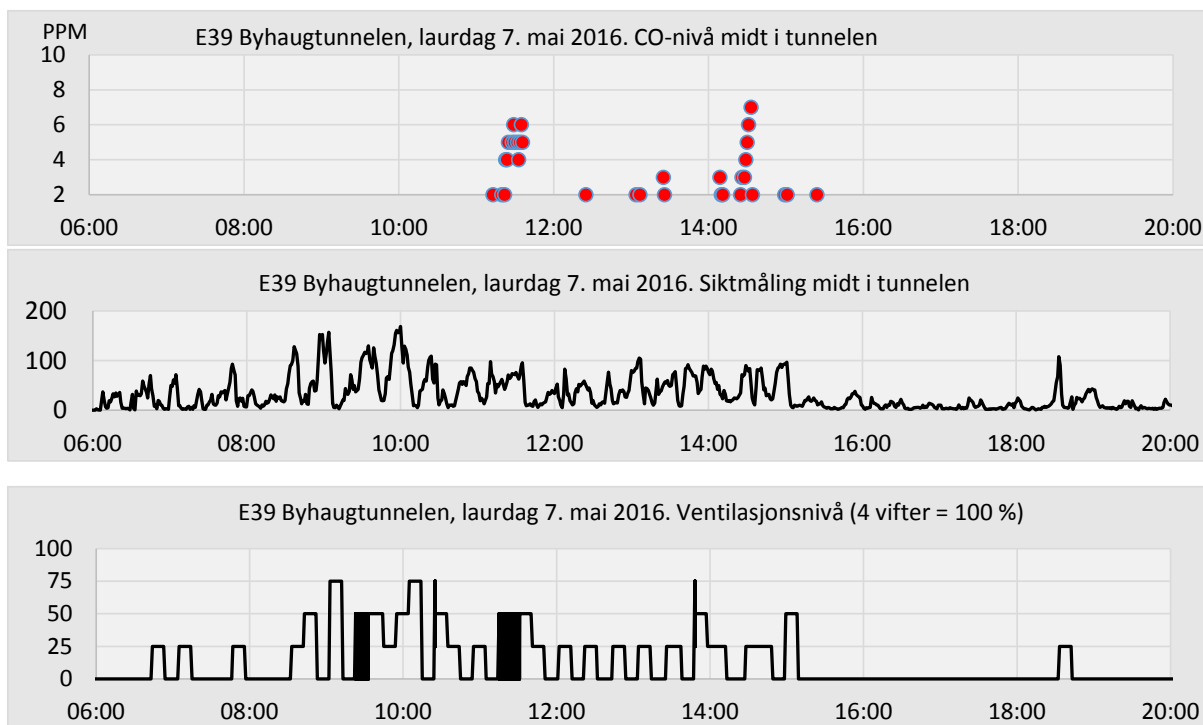


Figur 91: Trafikk på E39 ca. 1,0 km nord for Byhaugtunnelen

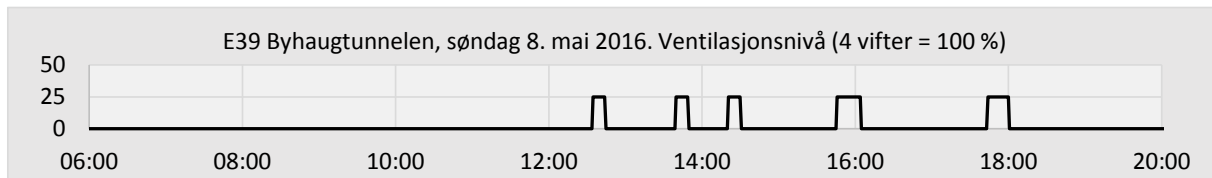
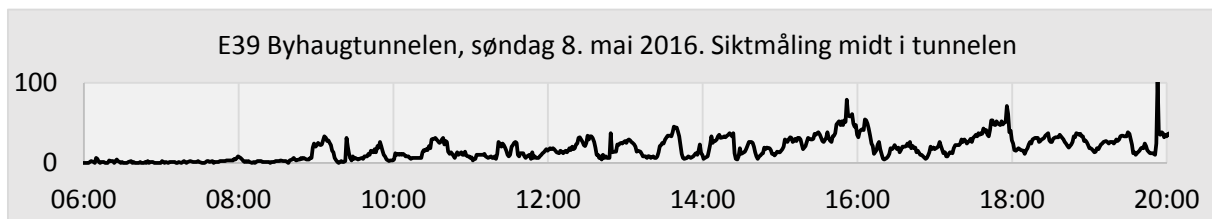
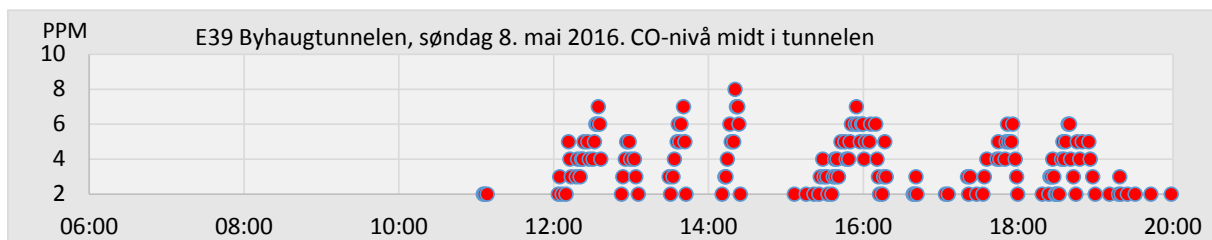
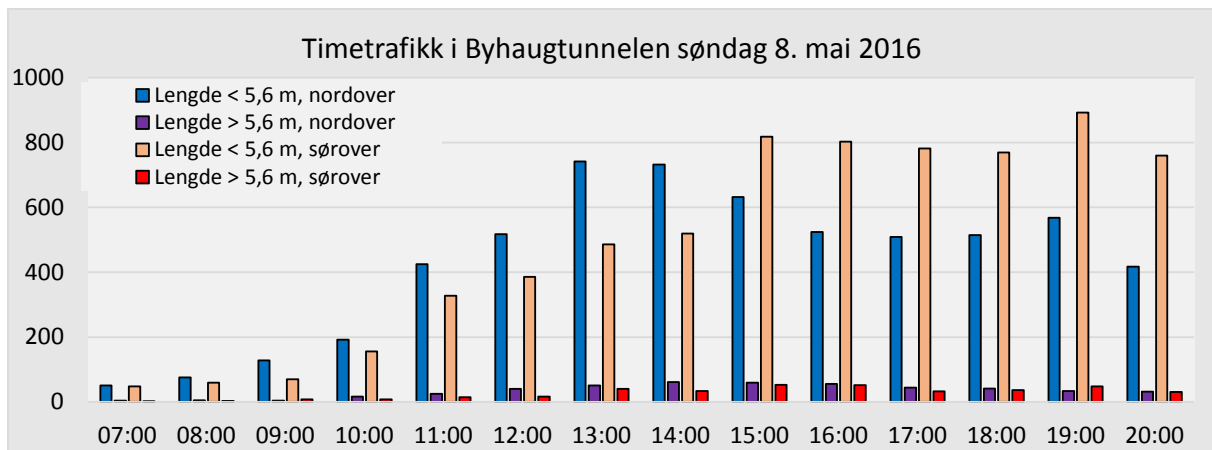
Figur 91 viser jamn trafikk frå måndag til fredag med 14 – 15 % lange køyretøy. Laurdag og søndag er trafikken mindre, og berre 6 – 7 % av bilane har lengde over 5,6 m. Trafikken i Byhaugtunnelen er ca. 20 % større enn ved Finnestad på grunn av lokaltrafikk til og frå Tasta (Kjelde: NVDB 2015).

### 9.5.2 CO-konsentrasjon, siktmåling og ventilasjon

Frå måndag til fredag blir ventilasjonsanlegget styrt av siktmålar (støvnivå) midt i tunnelen. Kort midlingstid og låg startverdi for trinn 1, medfører at det startar ei vifte ca. 6000 gonger i året. Når viftene blir starta mot naturleg trekk eller mot dominerande trafikkdiring, er det usikkert om 1 - 2 vifter gjev målbar endring av luftkvaliteten i tunnelen.



Figur 92: Eksempel på ventilasjon som er styrt av siktnivå ved liten trafikk og lågt CO-nivå

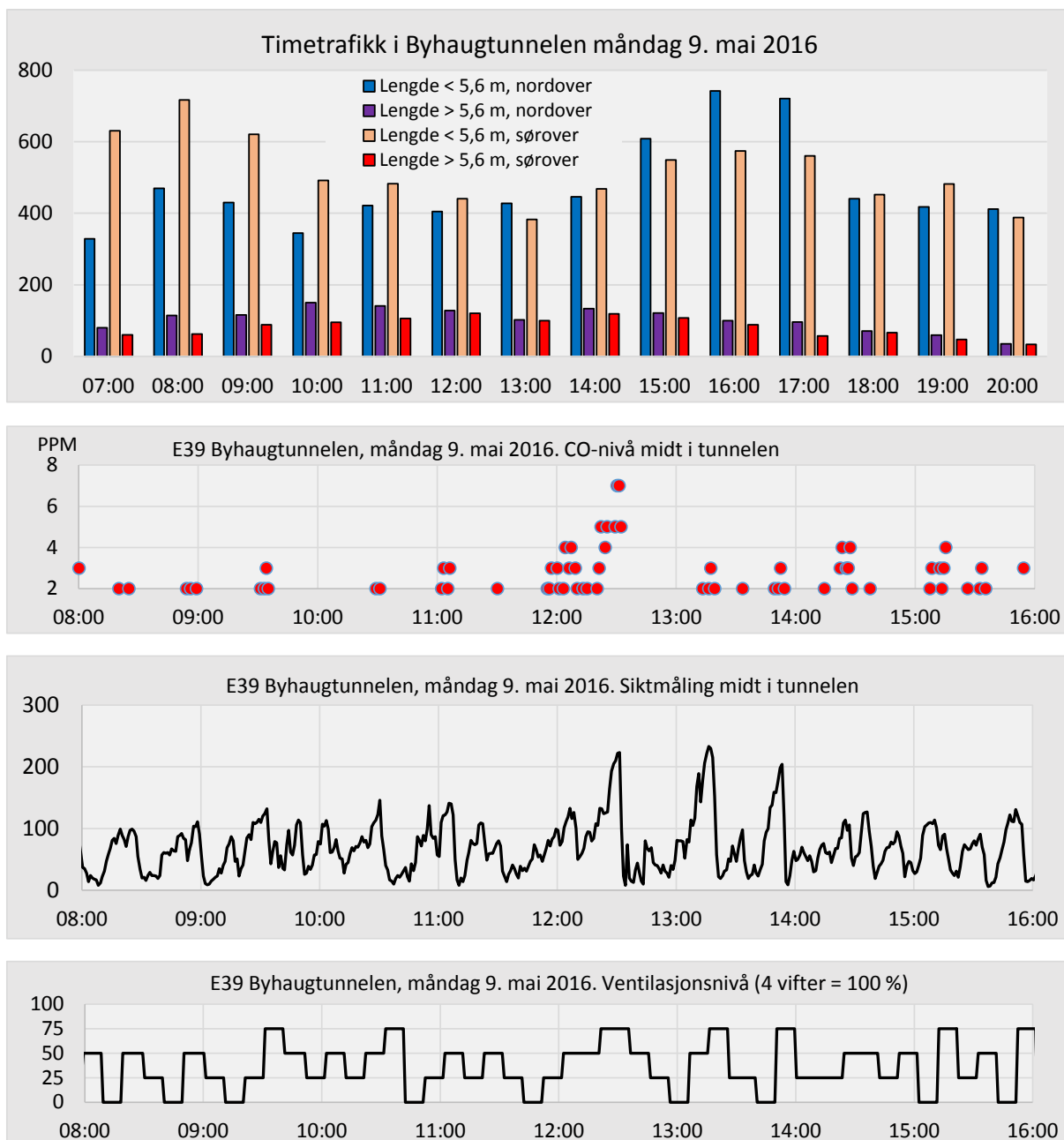


Figur 93: Variasjon i CO-, sikt- og ventilasjonsnivå søndag 8.5.2016 (Ventilasjon mot Tasta/Mortavika)

Søndag 8. mai var det størst trafikk sørover. Stempeeffekten gav naturleg trekk og god luftkvalitet i tunnelen i lange periodar. Ei vifte starta av og til mot den naturlege trekkretninga når CO-nivået kom over 5 ppm. Drift av ei vifte i 10 – 15 minutt gav ingen målbar endring av luftkvaliteten i tunnelen. Figur 102 på 87 viser at nivået av PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> var lågt heile dagen ved den nordlege portalen. Det var ikkje nedbør på Våland målestasjon denne dagen.

Siktmålaren i Byhaugtunnelen er av type VisGuard In-situ frå SIGRIST<sup>17</sup>. Denne målaren har ikkje filter som gjer det mogleg å skilje mellom store og små partiklar.

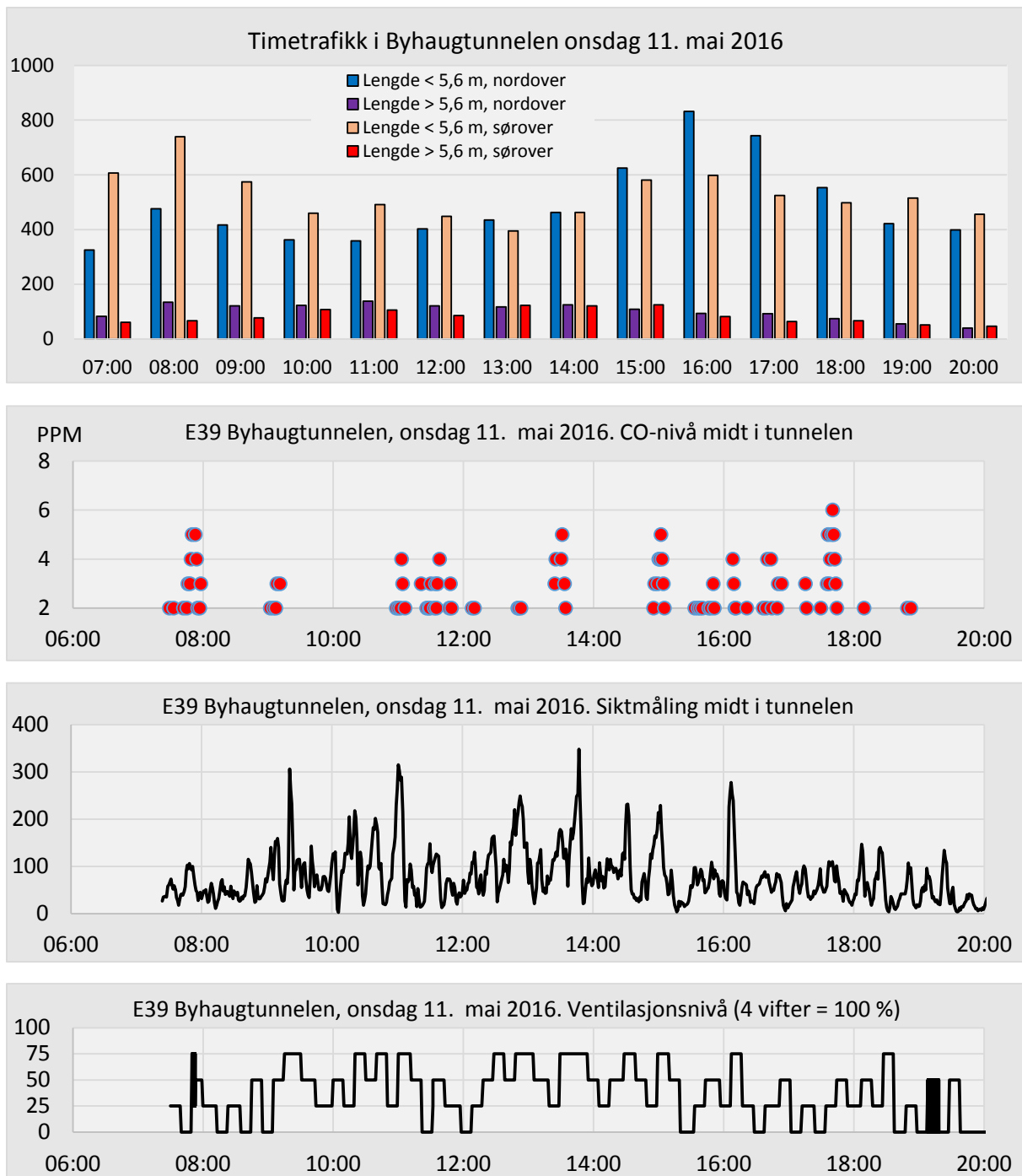
<sup>17</sup> Måleprinsipp «Scattered light». Tap av sikt blir uttrykt som Ekstinksjon/m ( $m^{-1}$ ). I siktdiagramma på VTS er ekstinksjonsverdien multiplisert med 10.000.000/75 slik at skalaen liknar på måleskalaen for støv ( $\mu g/m^3$ ). I 2012 sette PIARC øvre grense for ekstinksjonskoeffisienten K til 0,012  $m^{-1}$ . Det svarar til ein verdi på 1600 i siktdiagramma for Byhaugtunnelen.



Figur 94: Variasjon i CO-, sikt- og ventilasjonsnivå 9.5.2016 (Ventilasjon mot Tasta/Mortavika)

Figur 94 viser fleire eksempel på at det har vore trekk i motsett retning når viftene har starta. Ved drift av 1 – 2 vifter går det ofte over ti minutt før det kjem frisk luft inn til midten av tunnelen, dvs. gjennomsnittleg trekk på under 0,5 m/s. Etter ca. 10 minutt drift på tre vifter, er det som regel frisk luft frå portalen i sør og inn til målepunktet i midten av tunnelen.

Ved gjennomsnittleg trekk på 1,0 m/s, vil det ta litt over ti minutt å skifte ut lufta i heile tunnelen. Dersom sikt- eller støvmåling skal brukast til styring av vifter, bør det vurderast å utsetje start av vifter ved å auke midlingstida på målingane frå 60 sekund til minst tre minutt. For å unngå auke av støv nivået ved drift av 1 – 2 vifter mot naturleg trekk, bør det vurderast å endre startgrensene til minimum 250 for trinn 1, 2 og 3. Det vil truleg gje full gjennomlufting på under ti minutt når dei tre viftene startar. Den samla driftstid for viftene vil gå ned utan at det går ut over luftkvaliteten i tunnelen.

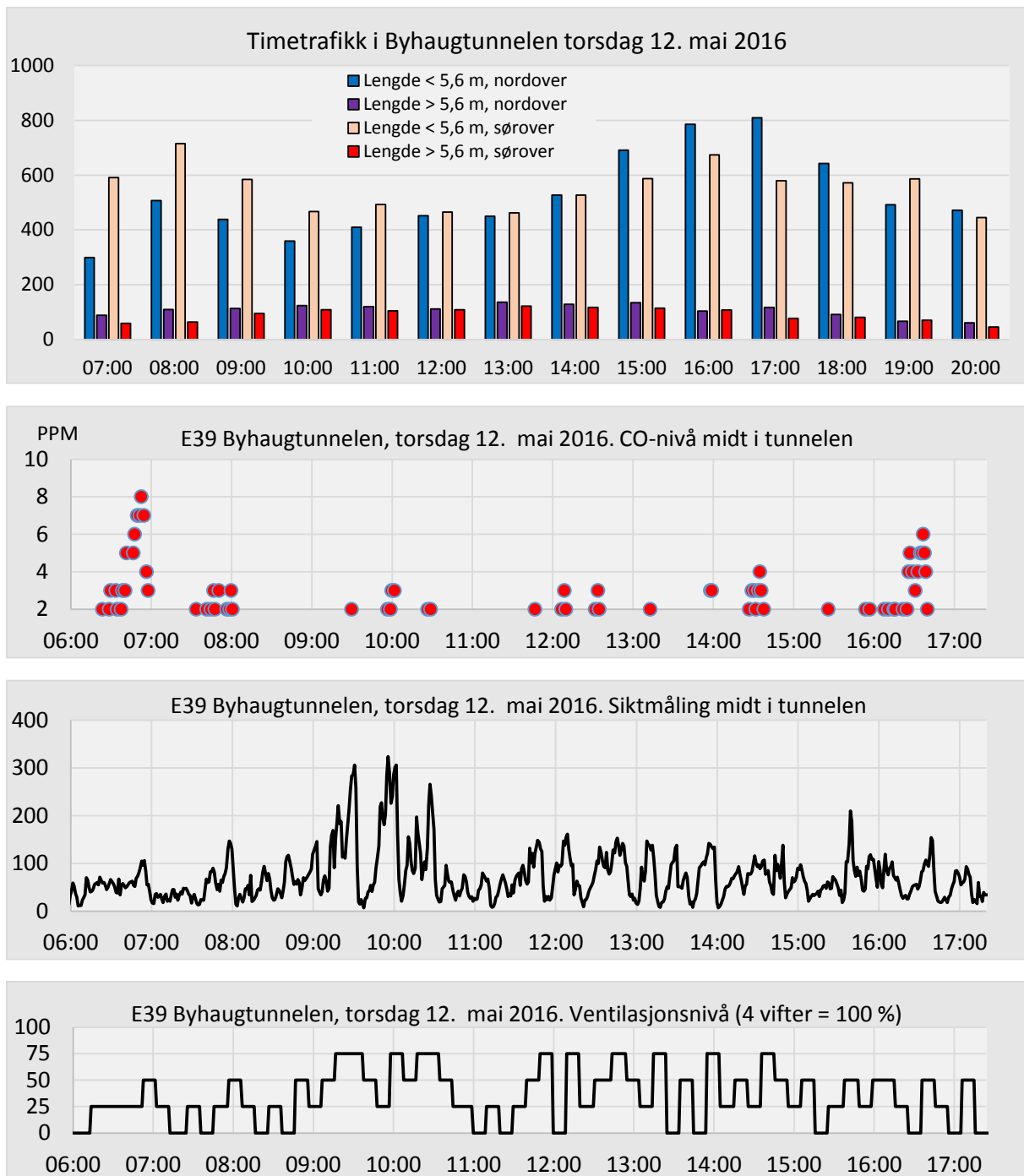


Figur 95: Variasjon i CO-, sikt- og ventilasjonsnivå 11.5.2016 (Ventilasjon mot Tasta/Mortavika)

Figur 95 viser ingen klar sammenheng mellom trafikk, CO-nivå og sikt. Dei høgste toppane i siktdiagrammet ligg i periodar utan spesielt høg timetraffic. Desse toppane oppstår truleg fordi trekken stoppar opp eller snur på grunn av stempeleffekt frå store køyretøy. Når trekken snur, oppstår det også ei kortvarig auke av CO-nivået midt i tunnelen.

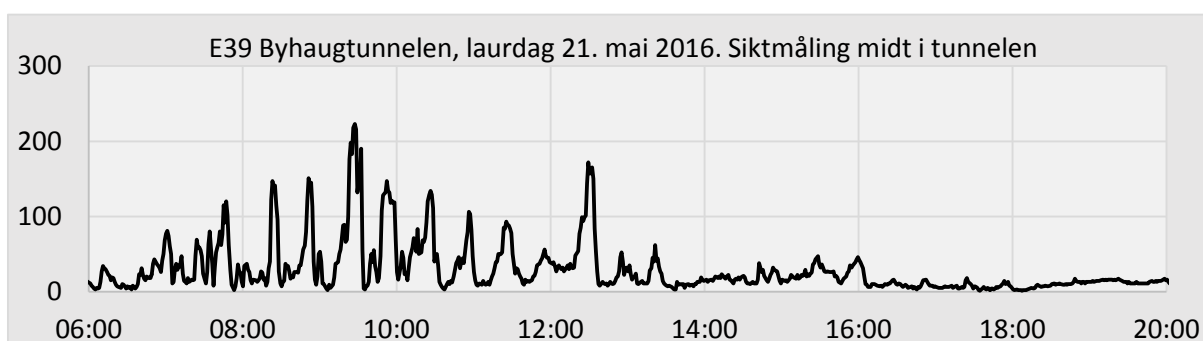
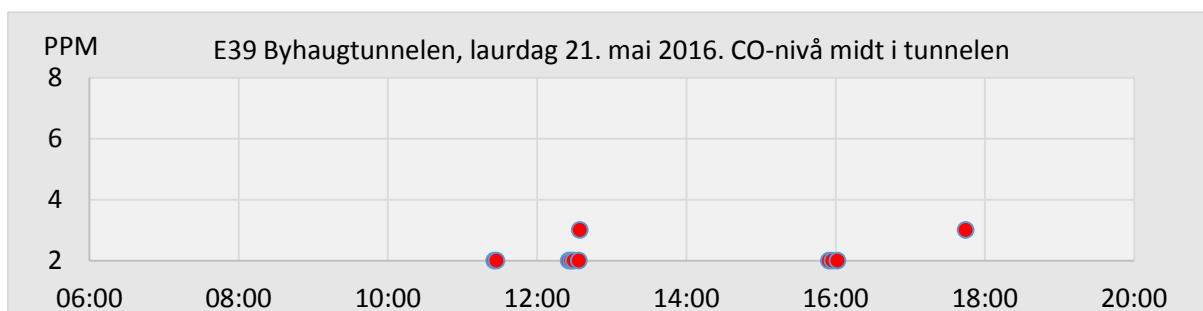
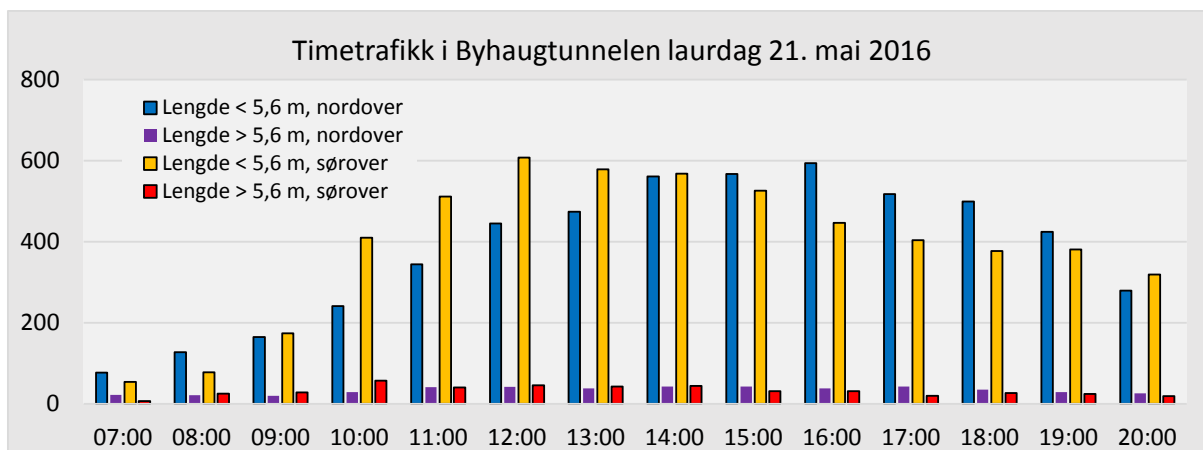
Det er sannsynleg at trekken varierer i takt med frekvensen på ferjesambandet Arsvågen – Mortavika. Figur 102 på side 87 viser at det var høgst nivå av PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> ved den nordlege portalen ca. klokka 09:00 den 11. mai. Større trafikk frå klokka 15:00 – 17:00 gav ikkje like høgt støvnivå som morgontrafikken. Dei fleste dagane i måleperioden viser diagramma frå støvmålaren ved portalen fallande nivå etter klokka 12:00.





Figur 96: Variasjon i CO-, sikt- og ventilasjonsnivå 12 mai, 2016 (Ventilasjon mot Tasta/Mortavika)

Figur 96 viser eksempel på redusert sikt mellom klokka 09:00 og 11:00 ved relativt liten trafikk og lågt CO-nivå. Resirkulering av gammalt støv er den mest sannsynlige årsaka. Figur 102 på side 87, viser at støvnivået har falle mot null fleire gonger fordi trekken i tunnelen har snudd mot den faste driftsretninga for viftene. Frå klokka 06:00 til 08:00 var det størst trafikk sørover. CO-målingane viser at trekken stoppa opp etter at den fyrste vifta starta, og CO-nivået gjekk ned etter ti minutt med to vifter i drift.



Figur 97: Variasjon i CO-, sikt- og ventilasjonsnivå 21. mai. 2016 (Ventilasjon mot Tasta/Mortavika)<sup>18</sup>

Figur 97 viser eksempel på redusert sikt fram til 09:30 ved relativt liten trafikk. Oppvirvling av støv som har tørka opp i løpet av natta, er ei sannsynleg forklaring. Sikten blir betre ved større trafikk utover dagen fordi bilane tek med seg meir støv ut av tunnelen enn dei produserer. Det er ingen samanheng mellom ventilasjonsnivå og sikt midt i tunnelen.

Våt vegbane gav låge verdiar etter klokka 13:00. Figur 98 på side 84 viser oversikt over nedbør ved Våland målestasjon i heile måleperioden.

<sup>18</sup> Start av vifter stemmer ikkje med parametranne på side 70.

### 9.5.3 Måling av gjennomsnittleg trekk med heliumballongar

I vårsemesteret 2016 leverte to studentar ved Universitetet i Stavanger ei bacheloroppgåve med tittelen «*Optimalisering av ventilasjonsstyring i Byhaugtunnelen*». Studentane brukte små heliumballongar til å måle gjennomsnittleg trekk i 270 – 390 m lengde. I korte tunnelar gjev impulsviftene store variasjonar i trekken. Ved bruk av ballongar som blir fordelte jamt over heile tunnelverrsnittet, kan målefeilen bli mindre enn ved tradisjonell vindmåling i mange punkt.

I studentrapporten er det eit foto som viser seks ballongar i nivå 0,5 – 1,5 over vegbanen. Dette kan ha medført litt for låge gjennomsnittsverdiar fordi trekken i den øvre delen av tunnelrommet kan vere større enn like over vegbanen. Med fire vifter i drift utan bilar i tunnelen, vart den gjennomsnittlege trekken målt til 3,0 m/s. Dette gjev ei verkningsgrad for viftene på ca. 50 – 60 %. Dette er uvanleg lågt for impulsvifter.

Når det ikkje er bilar i tunnelen, viser vindmålingane at all lufta i tunnelen kan skiftast ut på 3 – 4 minutt ved bruk av alle viftene. Registreringane på side 79 - 82 viser mange eksempel på at det tek kort tid å blåse frisk luft inn til siktmålaren som står i midten av tunnelen, men utluftingstida går naturleg nok opp når det er stor trafikk mot ventilasjonsretninga.

### 9.5.4 Støvnivå (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) utanfor nordre tunnelportal (Tasta)

I desember 2015 vart det registrert lite svevestøv og god sikt i tunnelen. Dette har samband med mildver og nedbør. Tørrt og kaldt ver i januar gav ein kraftig auke i støvnivået. Den høgste siktverdien på 700, vart målt fredag 8. januar. Denne dagen vart det registrert middeltemperatur på -2,1 °C ved Våland målestasjon som ligg ca. 2,5 km frå tunnelen.

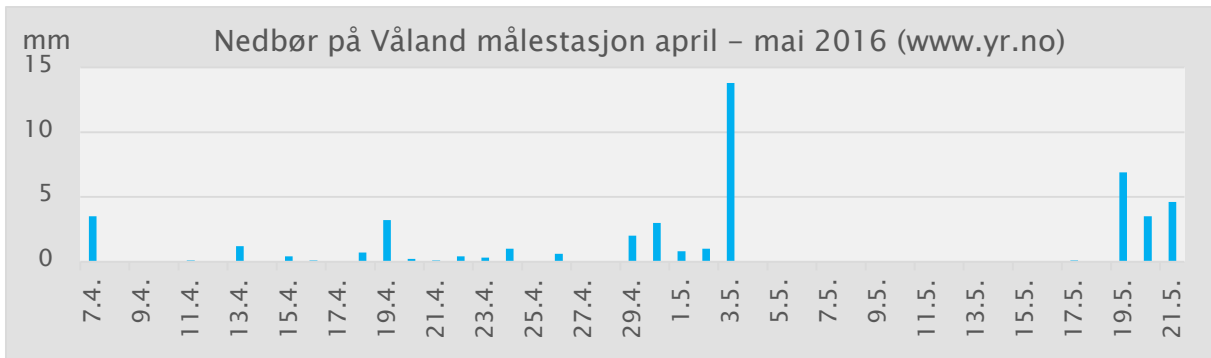
Våren 2016 vart det utført målingar av svevestøv i samarbeid mellom Statens vegvesen og Universitetet i Stavanger. Mobilt utstyr av type *TEOM Series 1400a Ambient Particulate Monitor* med filter for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> vart plassert på utsida av rekkverket ved den nordlege portalen.

Figur 99 – 99 viser støvnivå og nedbør i april – mai 2016. Forholdet mellom PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> ligg nær 10 %, dvs. omtrent på same nivå som i Stedjeberg tunnelen og Fodnestunnelen. Ved små nedbørmengder på 1 - 2 mm/døgn, er det ingen markert reduksjon av støvnivået ved tunnelportalen. Diagramma viser gjennomsnittsverdiar over 60 eller 15 minutt. Dei støvfri periodane når viftene stoppar og når trekken snur, trekkjer ned gjennomsnittet.

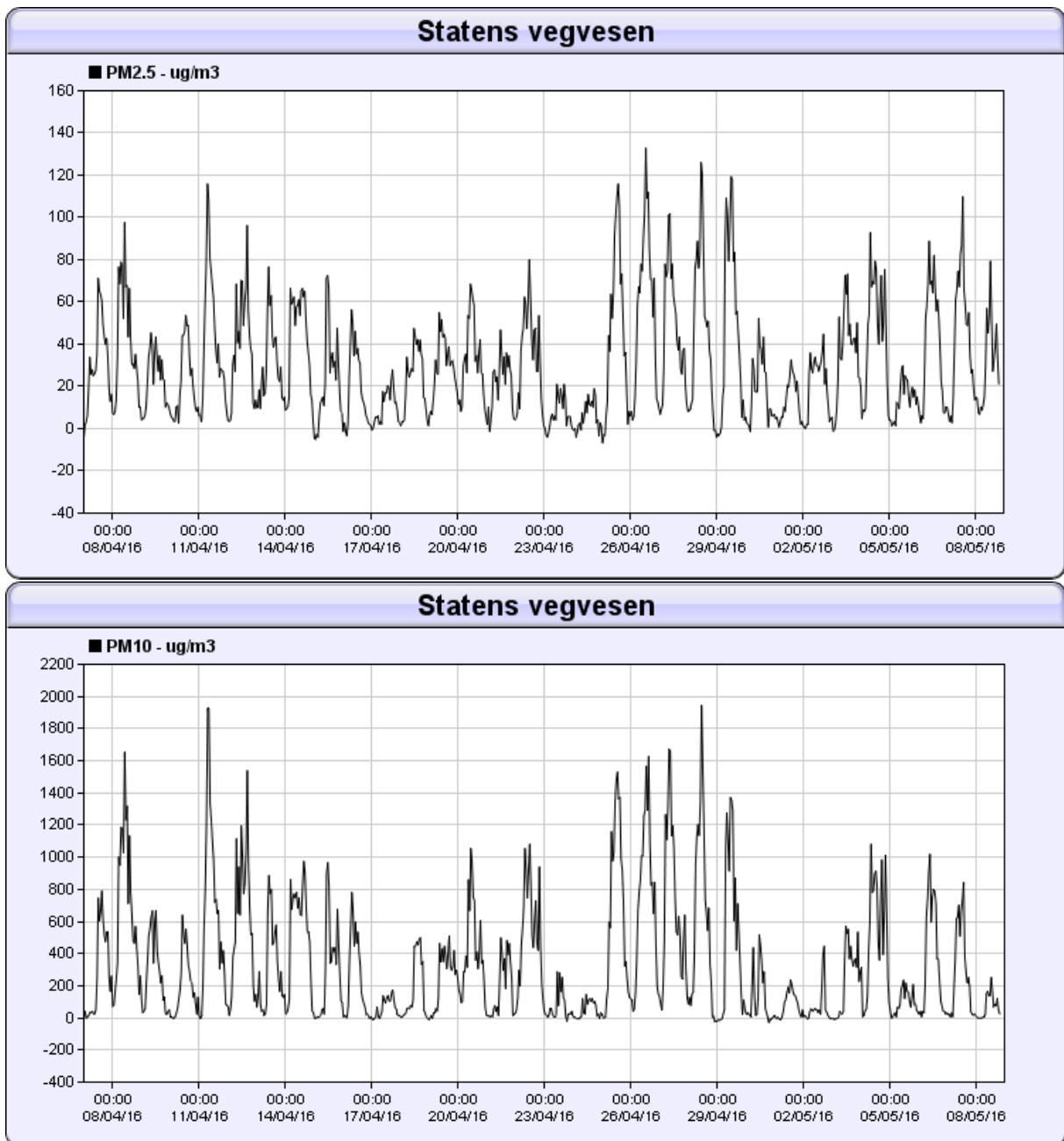
Skalaen på støvdiagramma viser vekt av oppsamla støv ( $\mu\text{g}$ ) dividert på målt luftmengde i  $\text{m}^3$ . Ved samanlikning med siktverdiane midt i tunnelen, må det takast omsyn til ulik midlingstid. Siktverdiane er basert på lysmåling i 60 sekund og får dermed raskare endringar og større toppar enn gjennomsnittsverdiane frå støvmålaren.

Siktverdiane varierer med nivået av PM<sub>2,5</sub> og blir mindre påverka av PM<sub>10</sub>, fordi dei minste støvpartiklane gjev størst utslag når lys-spreiing blir brukt som måleprinsipp (forholdet mellom overflate og vekt av ei kule blir dobla ved halvering av diameteren).

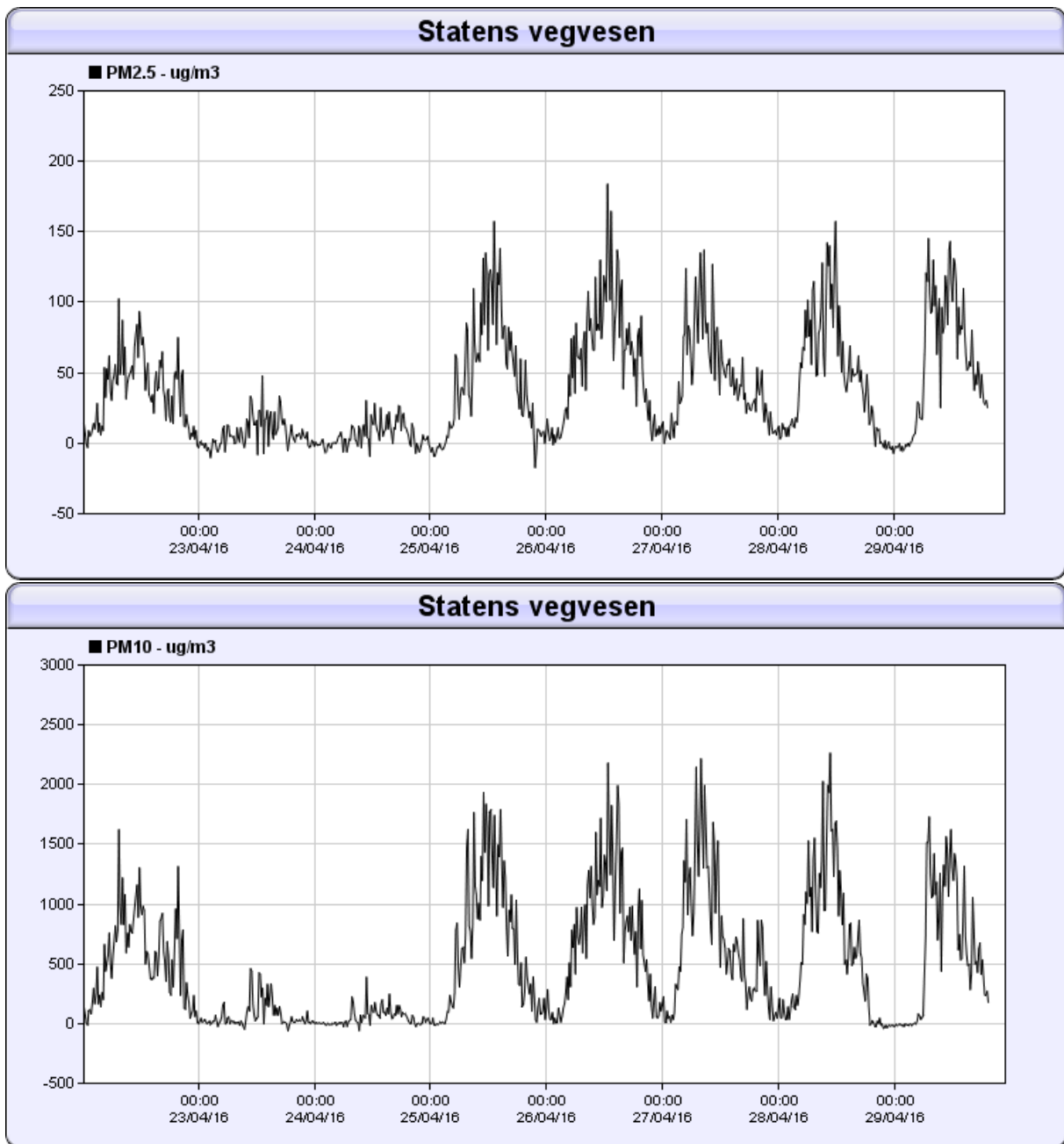
Vedlikehaldsrutinane i Region vest tilseier halvvask i februar og heilvask i april (Tabell 13 med ÅDT >15001). Dermed er det sannsynleg at støvnivået i Byhaugtunnelen var ein god del høgare i kalde og tørre periodar frå januar til mars enn ved målingane i april - mai.



Figur 98: Registrert nedbør på Våland i måleperioden



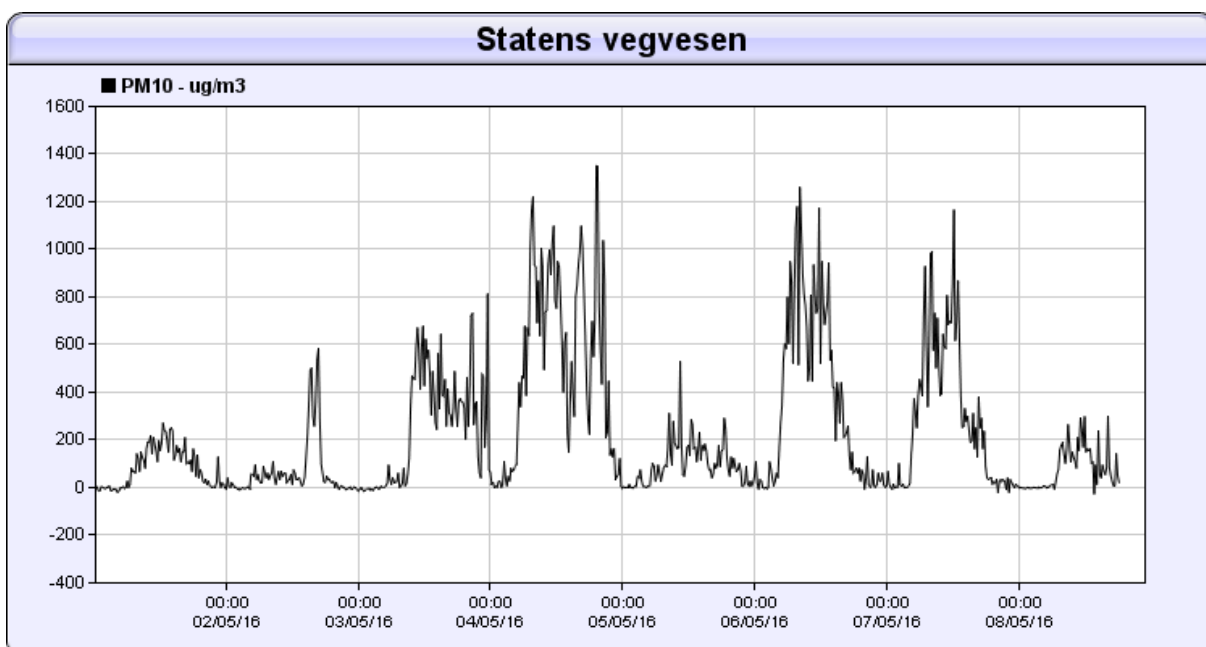
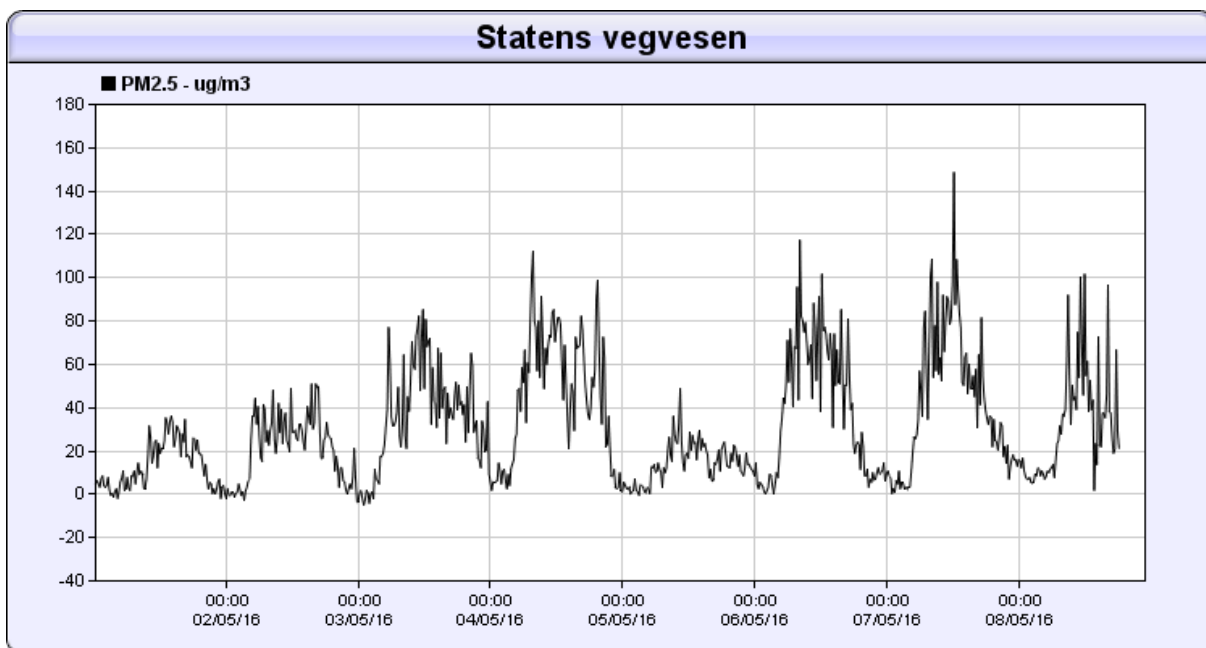
Figur 99: PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> i Byhaugtunnelen 7. april – 8. mai 2016 (Timemiddelverdier)



Figur 100: PM2,5 og PM10 i Byhaugtunnelen 22. - 29. april 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 22: Høgste daglege verdier av PM2,5 og PM10 i Byhaugtunnelen frå 22. – 29. april 2016

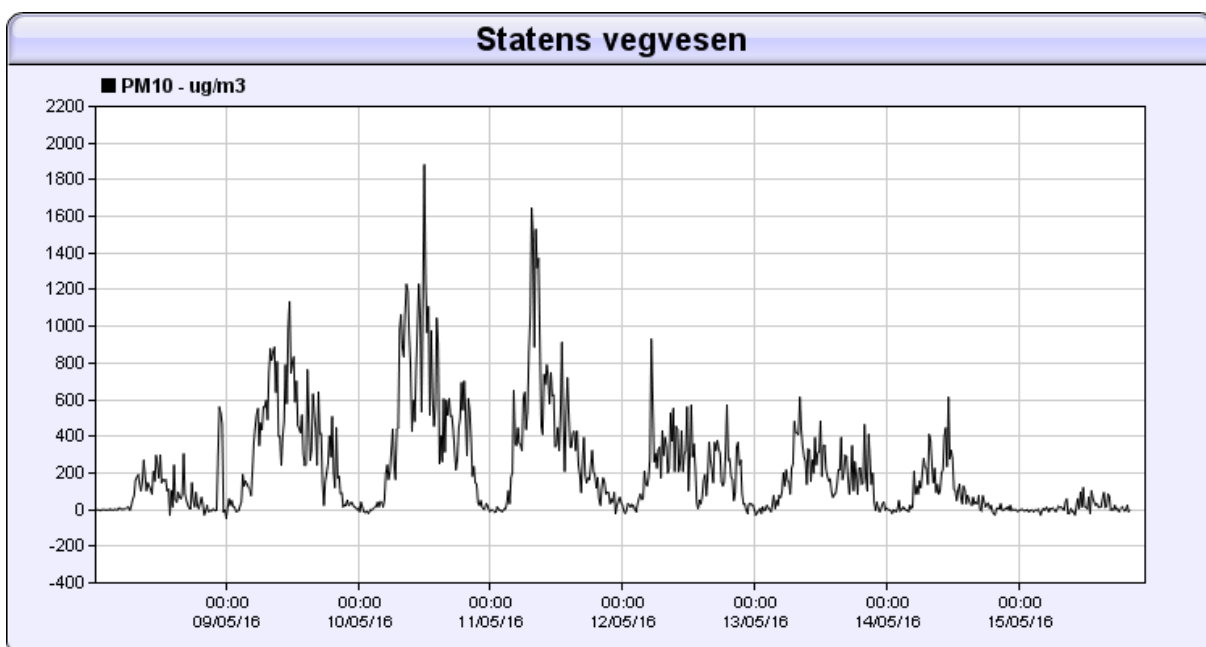
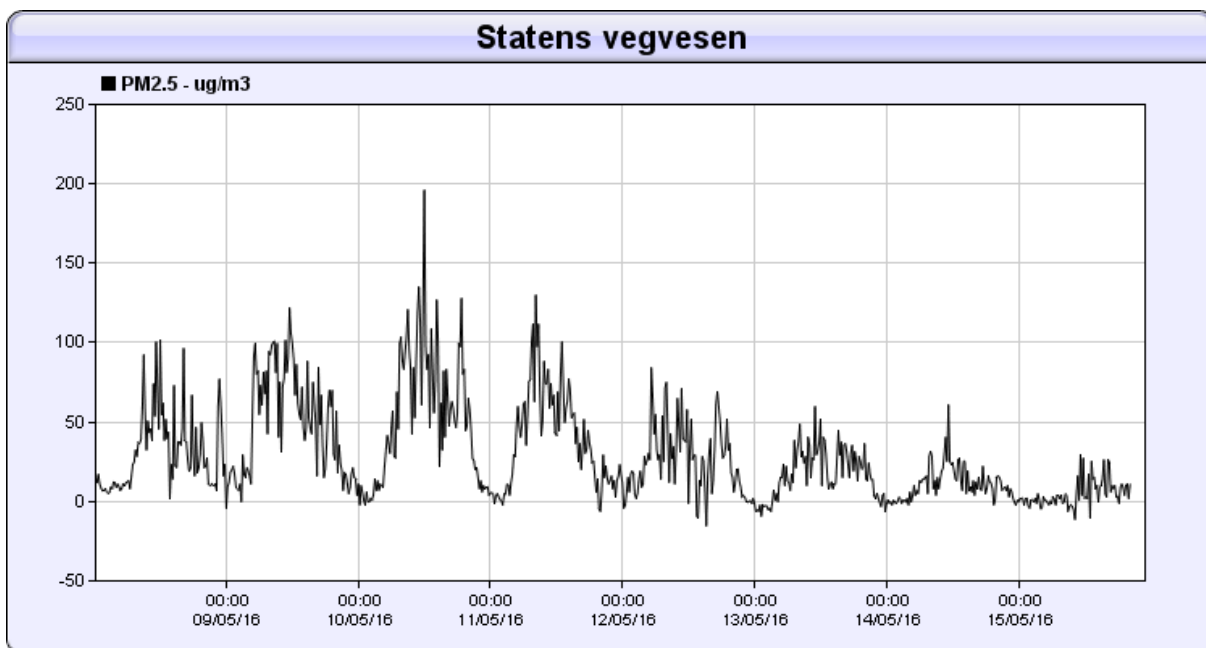
Vekedag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag
Dato	22.apr	23.apr	24.apr	25.apr	26.apr	27.apr	28.apr	29.apr
PM 2,5	102	50	25	155	180	130	155	145
PM 10	1600	450	350	1950	2150	2150	2250	1700
PM2,5/PM10	6 %	11 %	7 %	8 %	8 %	6 %	7 %	9 %



Figur 101: PM2,5 og 10 i Byhaugtunnelen 1. - 8. mai 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 23: Høgste daglege verdiar av PM2,5 og PM10 i Byhaugtunnelen frå 1. – 8. mai 2016

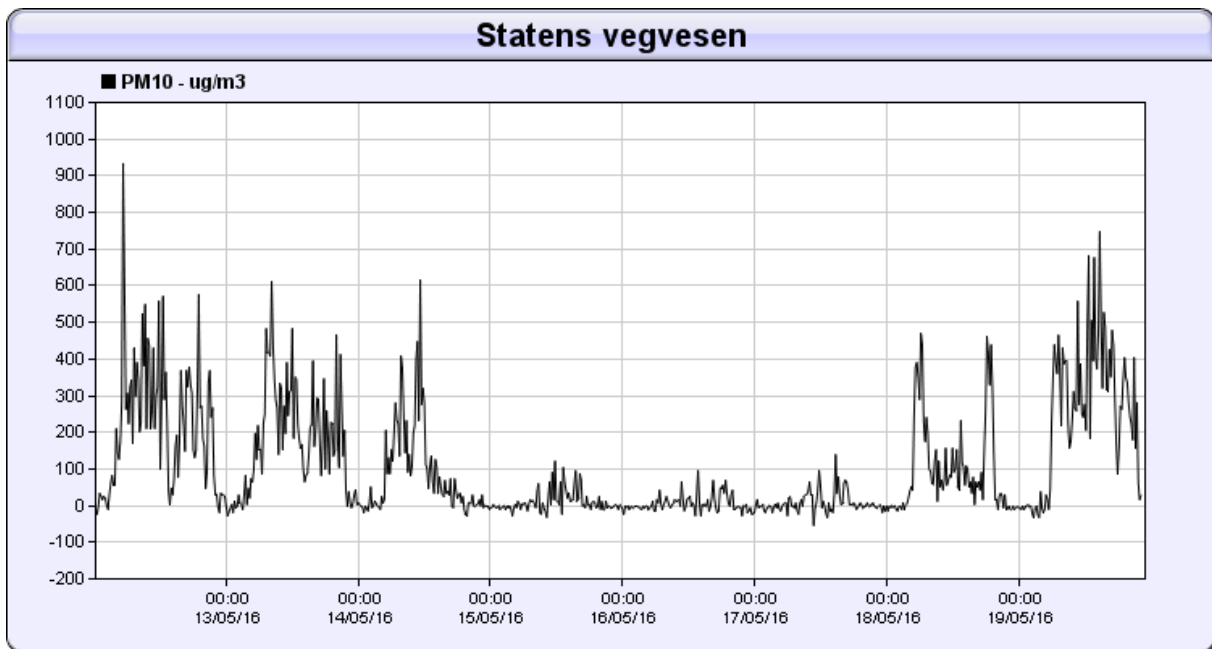
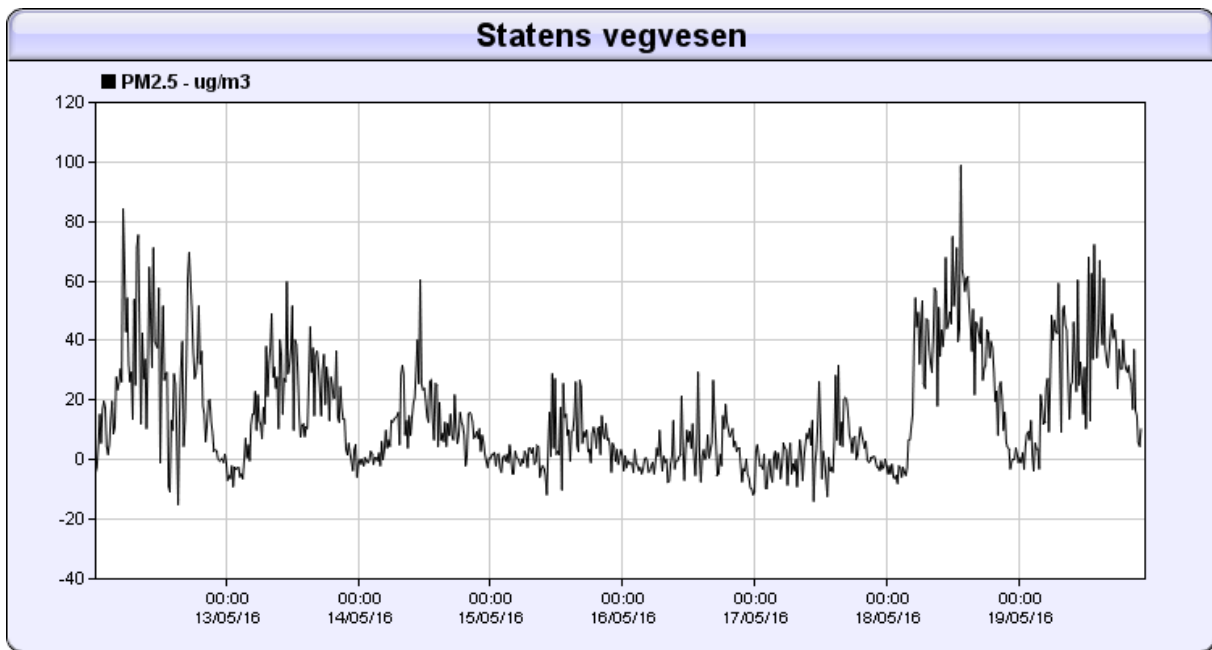
Vekedag	søndag	måndag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag
Dato	01.mai	02.mai	03.mai	04.mai	05.mai	06.mai	07.mai	08.mai
PM 2,5	36	52	84	112	48	118	148	102
PM 10	250	580	800	1350	520	1250	1150	280
PM2,5/PM10	14 %	9 %	11 %	8 %	9 %	9 %	13 %	36 %



Figur 102: PM2,5 og 10 i Byhaugtunnelen 8. - 15. mai 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 24: Høgste daglege verdiar av PM2,5 og PM10 i Byhaugtunnelen frå 8. – 15. mai 2016

Vekedag	søndag	måndag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag
Dato	08.mai	09.mai	10.mai	11.mai	12.mai	13.mai	14.mai	15.mai
PM 2,5	102	125	195	130	85	60	62	35
PM 10	280	1125	1900	1650	950	620	620	120
PM2,5/PM10	36 %	11 %	10 %	8 %	9 %	10 %	10 %	29 %



Figur 103: PM2,5 og 10 i Byhaugtunnelen 12. – 19. mai 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 25: Høgste daglege verdiar av PM2,5 og PM10 i Byhaugtunnelen frå 12. – 19. mai 2016

Vekedag	torsdag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag	onsdag	torsdag
Dato	12.mai	13.mai	14.mai	15.mai	16.mai	17.mai	18.mai	19.mai
PM 2,5	85	60	62	35	30	32	100	72
PM 10	950	620	620	120	100	140	480	750
PM2,5/PM10	9 %	10 %	10 %	29 %	30 %	23 %	21 %	10 %



## 9.6 Rv. 47 Karmøy tunnelen

Tunnelen har tre køyrefelt og maksimalt 7 % stigning. Armen mot Håvik har det djupaste punktet 138 meter under havet. Lågbrekket under Førdesfjorden ligg 136 m u. h. Rundkøyninga under Fosen ligg ca. 60 m u. h.

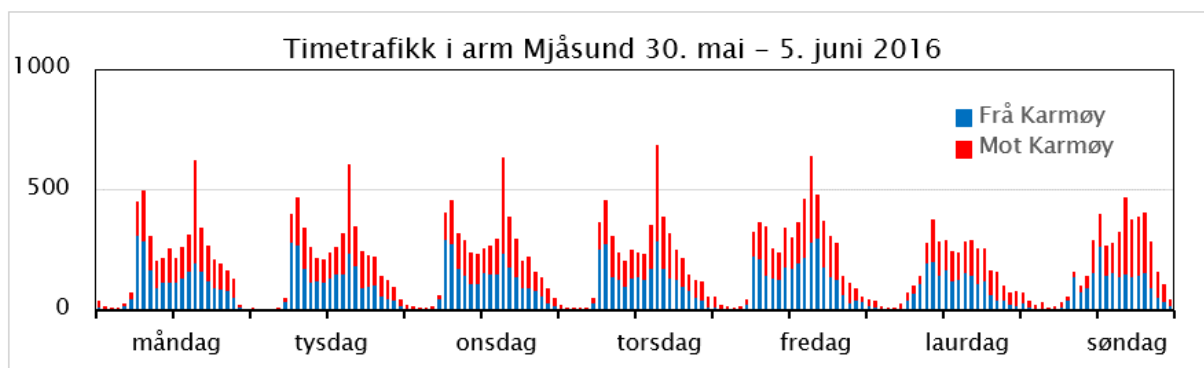
	Lengder:
Arm mot Håvik (under Karmsundet)	3 957 m
Arm mot E39 (under Førdesfjorden)	3 785 m
Arm mot Hellevik (mot Haugesund)	1 200 m



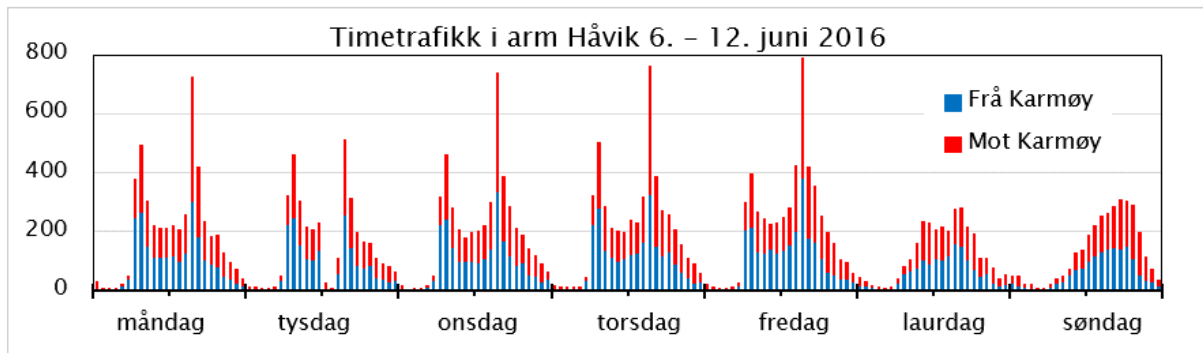
### 9.6.1 Trafikktal mai – juni 2016

Tabell 26: Trafikk i Karmøy tunnelen frå 30. mai til 19. juni 2016

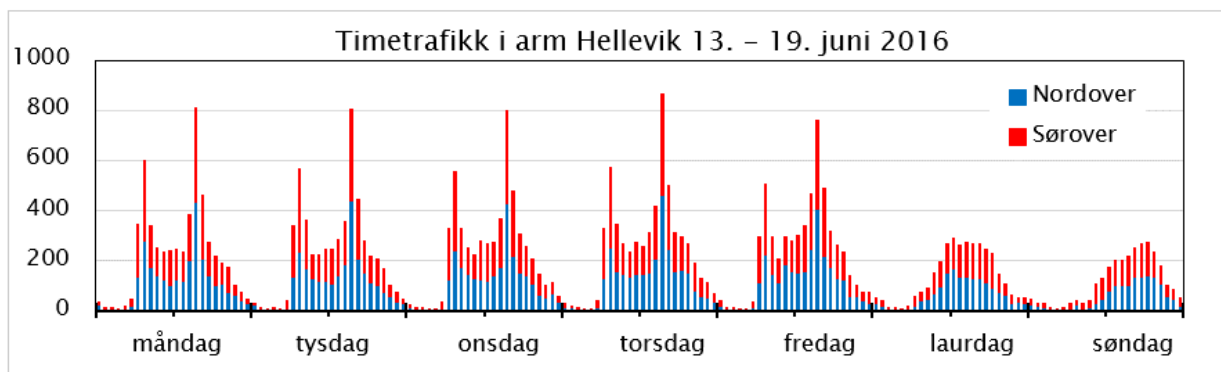
Tunnelarm	Køyretøy/døgn	% med lengde > 5,6 m	Størst timetrafikk 15:00 – 16:00		
			Køyretøy/time	% av volum	% Lengde > 5,6 m
Håvik (vest)	4 303	12,6 %	797	18 %	8,7 %
Mjåsund (E39)	4 704	14,4 %	744	16 %	12,6 %
Hellevik (nord)	4 707	9,1 %	881	18 %	6,0 %



Figur 104: Trafikk aust for rundkøyninga. Gjennomsnitt måndag – fredag (30.4 – 3.5): 5.060 køyretøy/døgn



Figur 105: Trafikk vest for rundkøyringa. Gjennomsnitt måndag – fredag (6. – 10. juni): 4.612 køyretøy/døgn

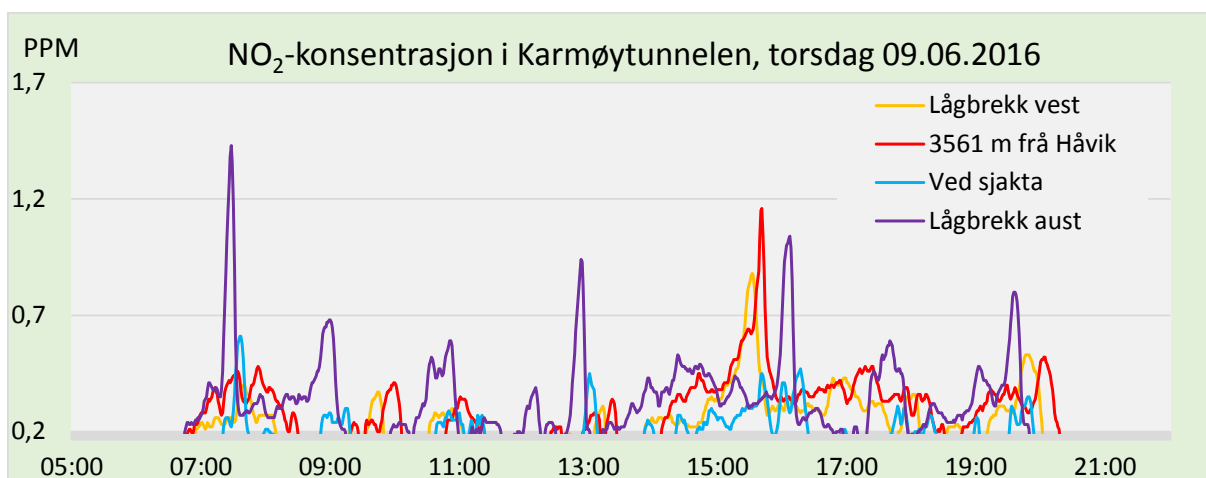
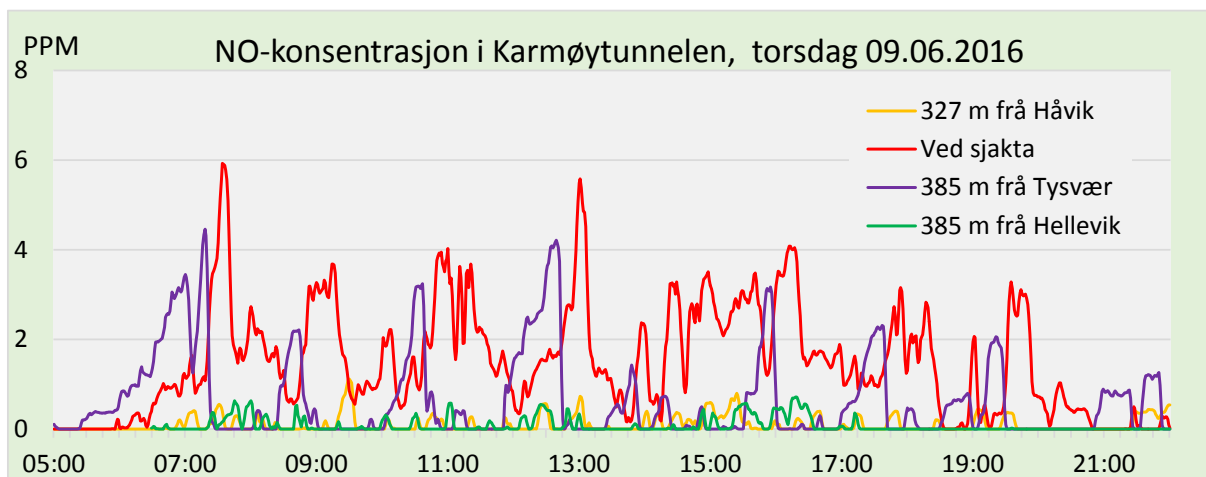
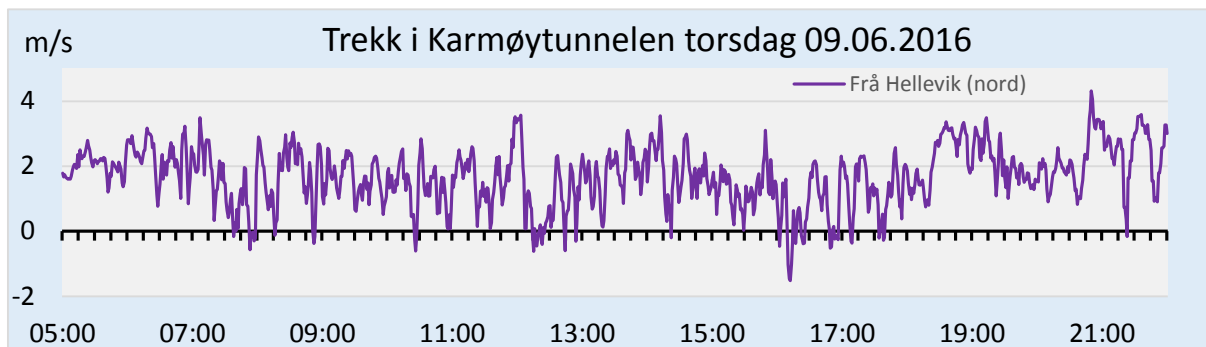
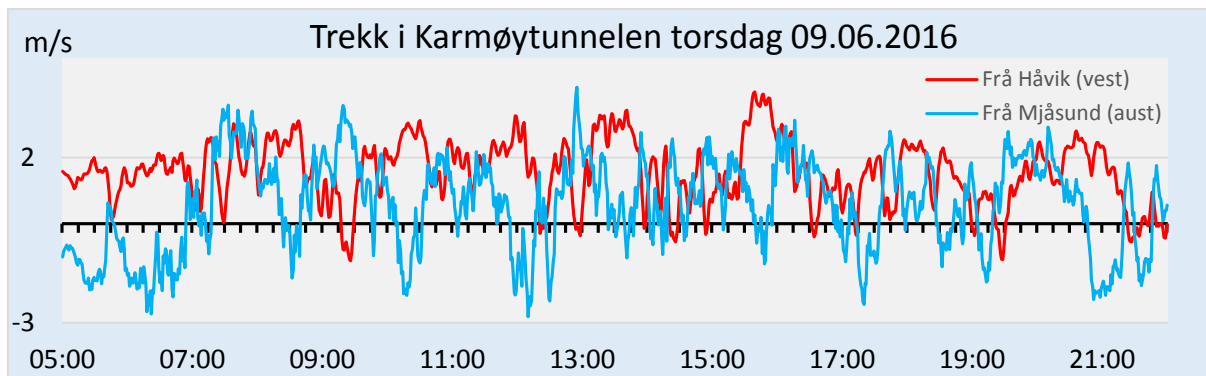


Figur 106: Trafikk nord for rundkøyringa. Gjennomsnitt måndag – fredag (13. – 17. juni) : 5.494 køyretøy/døgn

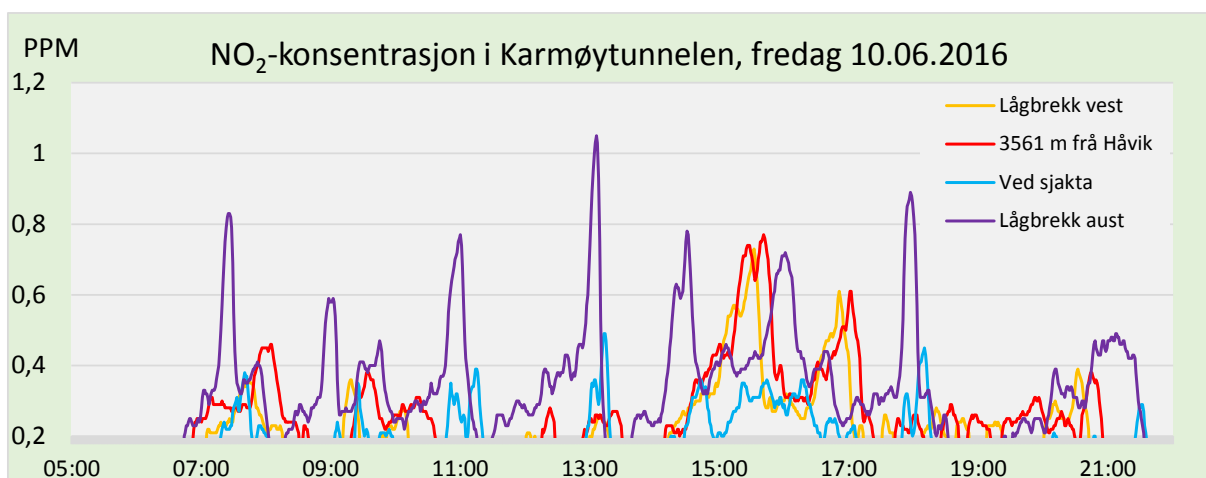
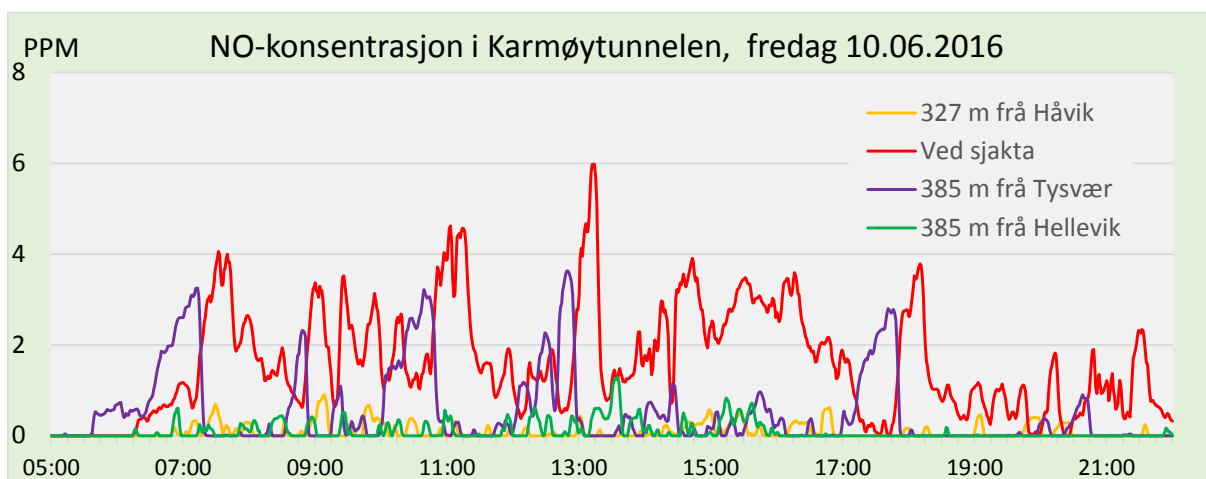
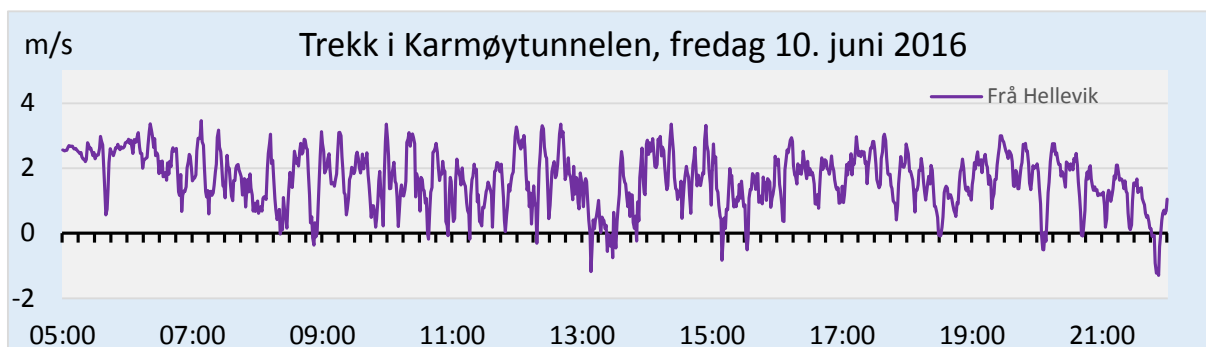
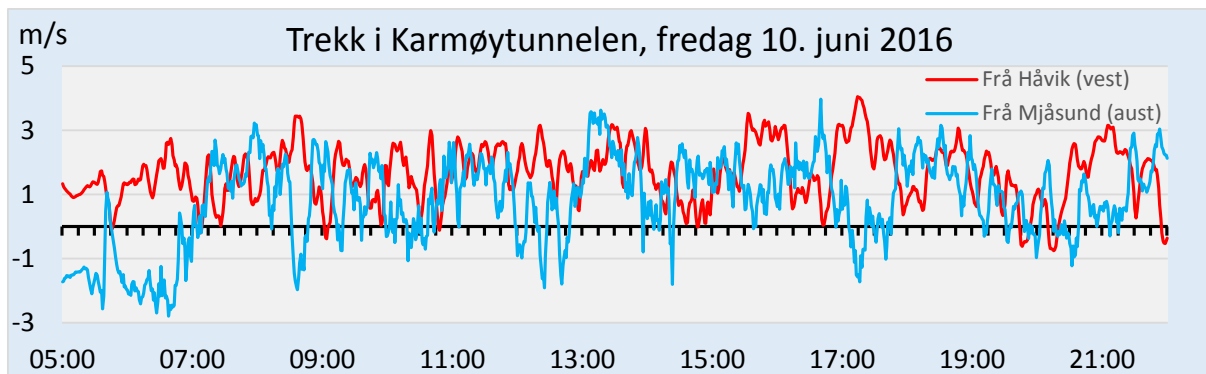
### 9.6.2 Ventilasjon og NO<sub>x</sub>-konsentrasjon

Karmøytunnelen blir ventilert mot ei avtrekkssjakt ved rundkøyringa. Det blir trekt inn frisk luft gjennom alle tre tunnelportalane. Trekken frå aust og vest blir regulert med impulsventilatorar for å halde nivået av NO og NO<sub>2</sub> under grenseverdiane. Sjaktventilatorane regulerer automatisk slik at det normalt skal vere positiv trekk inn frå Hellevik. Ujammn retningsfordeling av trafikken i samband med arbeidsstart og slutt av dagskifta på Kårstø og Karmøy, gjev store variasjonar i ventilasjonsnivået i alle tunnelarmane.

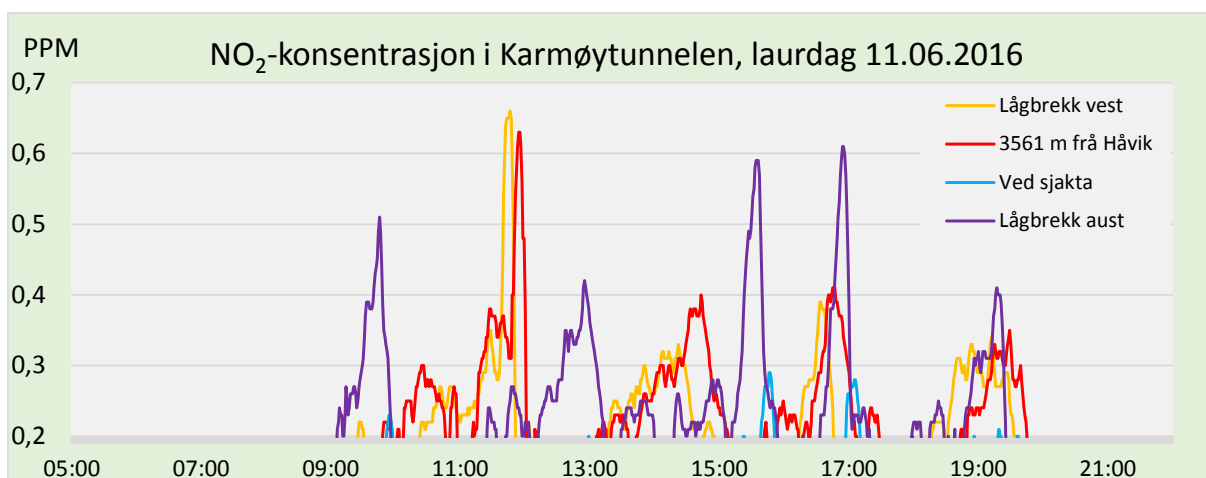
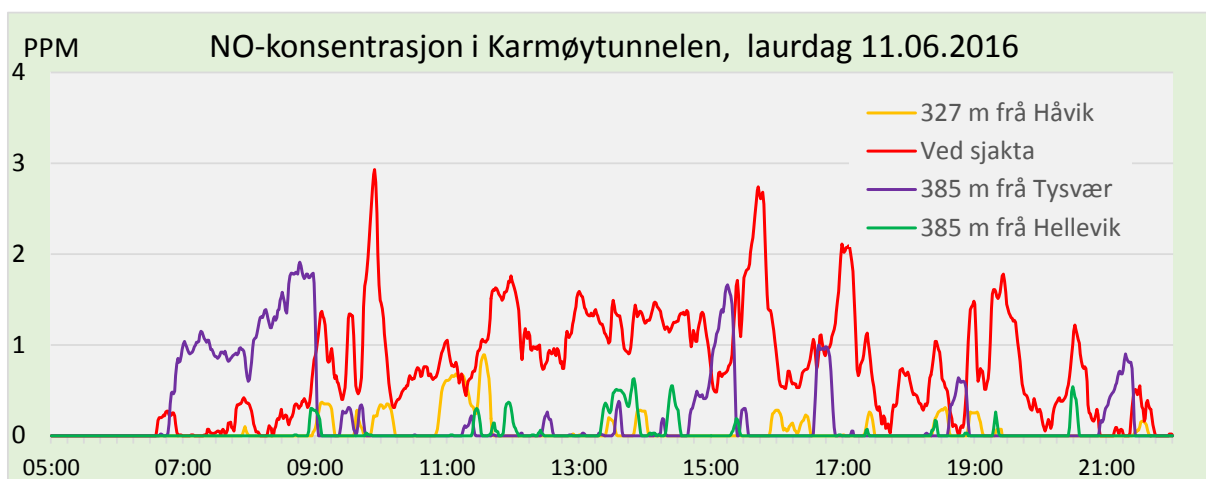
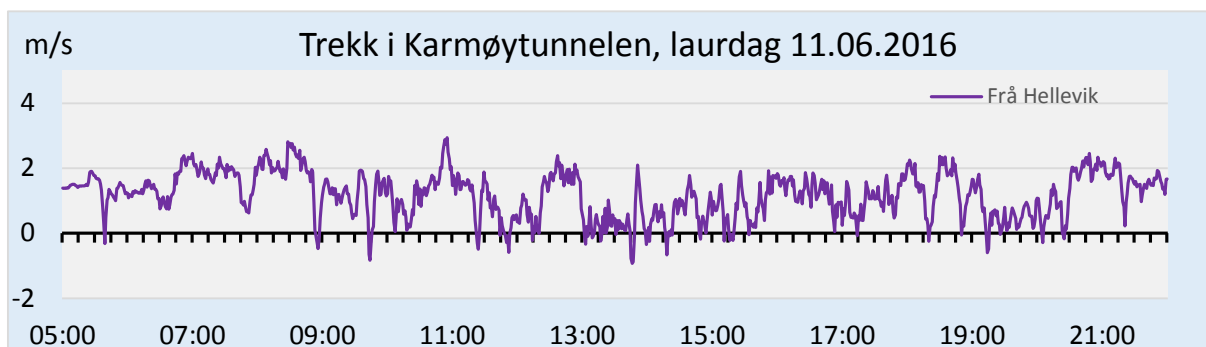
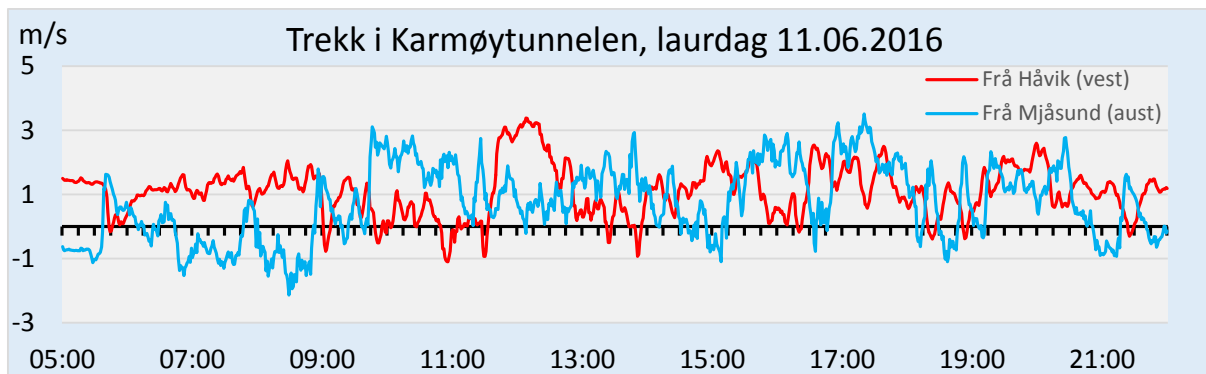
Figur 107 viser fleire markerte NO<sub>2</sub>-toppar, men ingen verdiar over grensa på 1,5 ppm. Det er også store variasjonar i NO-nivået, men relativt låge verdiar. Den 9. juni gjekk trekken mot ventilasjonsretninga i armen mot Mjåsund fram til impulsventilatorane starta klokka 06:48. Dei markerte toppane i NO- og NO<sub>2</sub>-nivået utover dagen, skuldast trekk mot den normale ventilasjonsretninga på grunn av stempeeffekt frå trafikken. Figur 108 viser liknande variasjonar fredag 10. juni. Registreringane laurdag 11. juni viser eit vesentleg lågare nivå av NO og NO<sub>2</sub> i helga.



Figur 107: Typiske variasjonar i trekk og konsentrasjon av NO og NO<sub>2</sub> torsdag



Figur 108: Typiske variasjonar i trekk og konsentrasjon av NO og NO<sub>2</sub> fredag



Figur 109: Typiske variasjonar i trekk og konsentrasjon av NO og NO<sub>2</sub> laurdag

### 9.6.3 Støvnivå (PM2,5 og PM10)

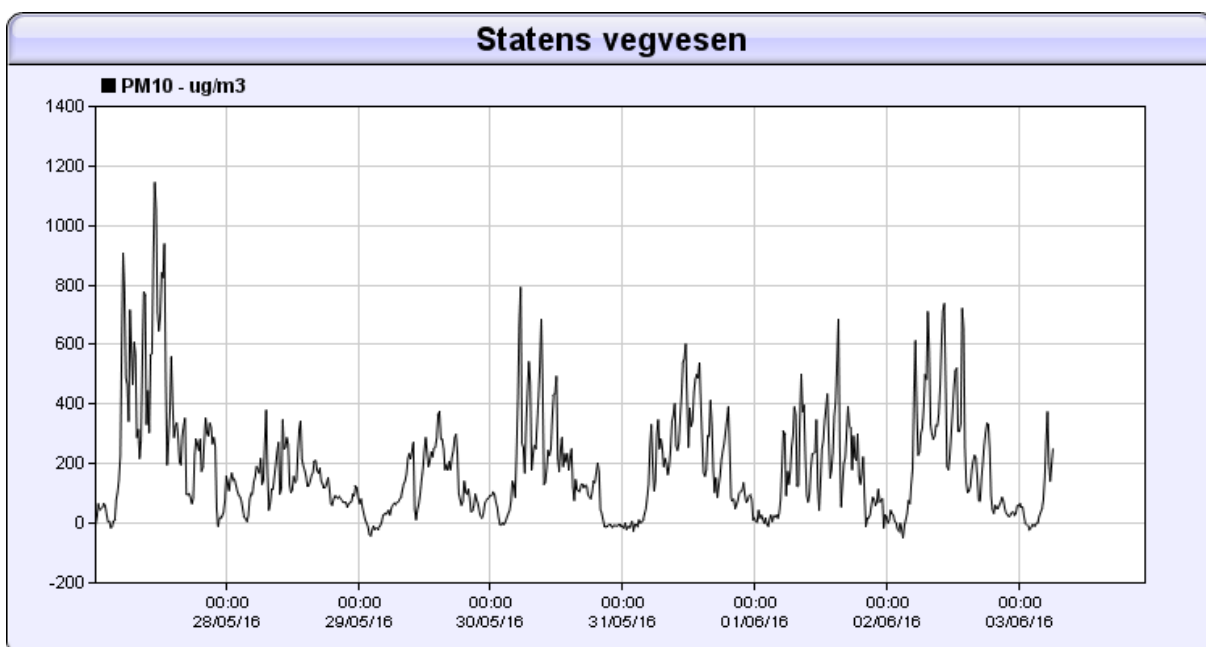
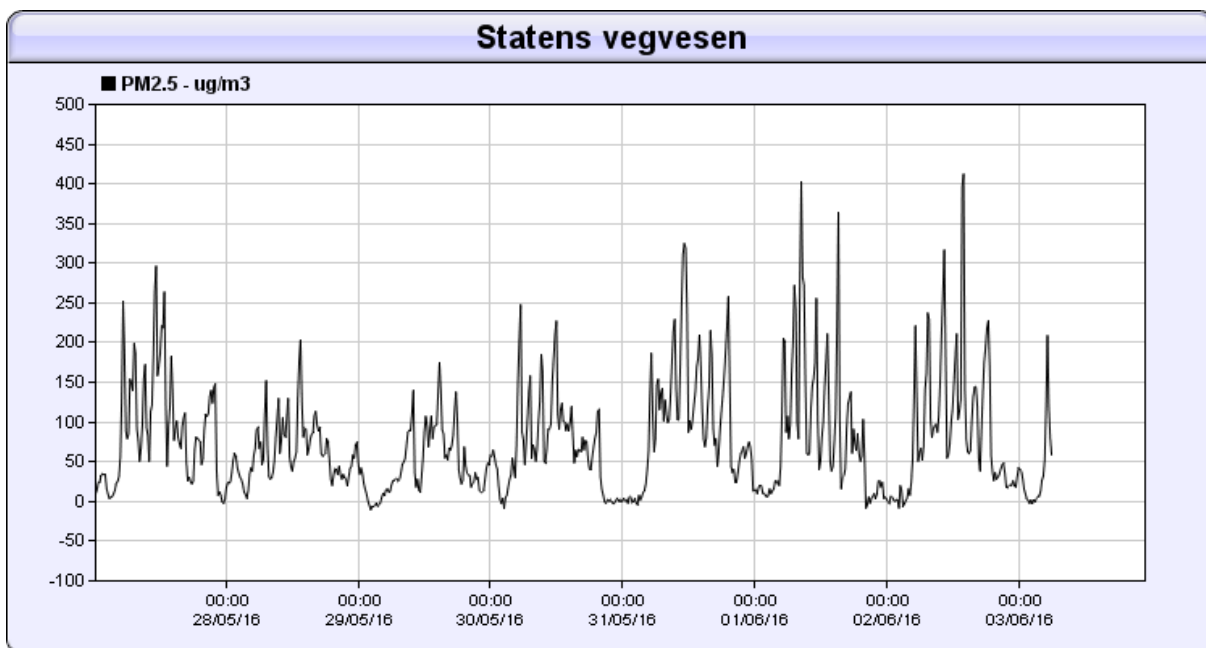
Det vart observert store støvmengder i tunnelen i tida fram mot heilvask i april 2016. Måling av PM2,5 og PM10 vart utført i dei to djupaste punkta og ved avtrekkskanalen mot ventilasjonssjakta som ligg like aust for rundkøyninga. Målingane vart utført etter piggdekkseasonen og kort tid etter vask av tunnelen. Dette gav svært låge støvverdiar samanlikna med vintermålingane i Sogn sjølv om trafikken i Karmøytunnelen er omtrent dobbelt så stor som i Stedjeberg tunnelen og Fodnestunnelen. Dei låge støvverdiane i Karmøytunnelen viser at heilvask gjev ei effektiv fjerning av resirkulerbart PM10-støv. PM2,5 utgjer ein relativt større andel av støvet enn i dei andre tunnelane. Ein del av dette kan skuldast resirkulering av partiklar etter at vaskevattnet har fordampa. Men det er også sannsynleg at lufta i Karmøytunnelen får tilført relativt større mengder av sotpartiklar (PM2,5) frå tungtrafikken på grunn av sterk stigning.

Gjennomsnittsnivået av PM2,5 i Karmøytunnelen frå måndag til fredag, ligg mellom 100 og 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  med ein fallande tendens mot slutten av måleperioden. Dette ligg over nivået utanfor Byhaugtunnelen, men langt under vinternivået i Stedjeberg tunnelen og Fodnestunnelen der det vart målt over 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2,5 etter at vegbana tørka opp. Konsentrasjonen av NOx ligg omtrent på same nivå i alle tunnelane. På tørre dagar om vinteren ser det dermed ut til at ca. 2/3 av PM2,5 kjem frå resirkulert asfaltstøv frå sideareal og vegdekke.

Mai-nivået av PM10 i Karmøytunnelen ligg mellom 200 og 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  som er knapt 10 % av toppnivået på tørre vinterdagar i Stedjeberg tunnelen og Fodnestunnelen. Ulik kvalitet på vegdekket kan vere ei medverkande årsak til den store differansen, men det er sannsynleg at minst 80 % av PM10-nivået om vinteren skuldast resirkulert støv frå dekklesitasje i tunnelane.



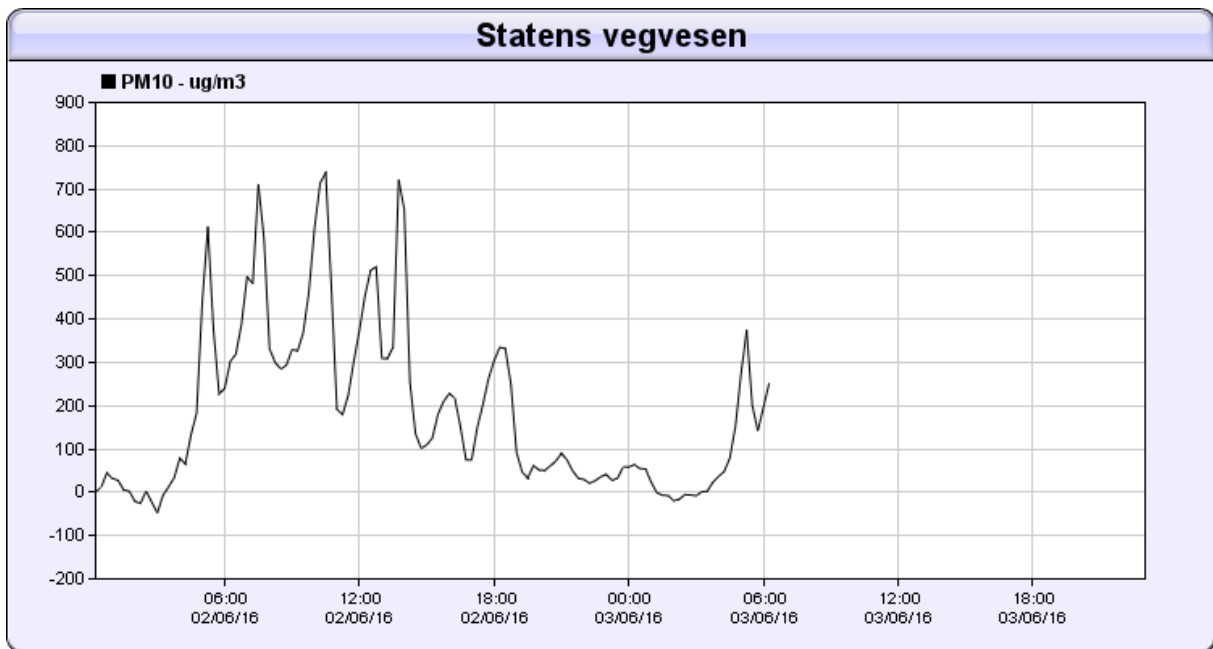
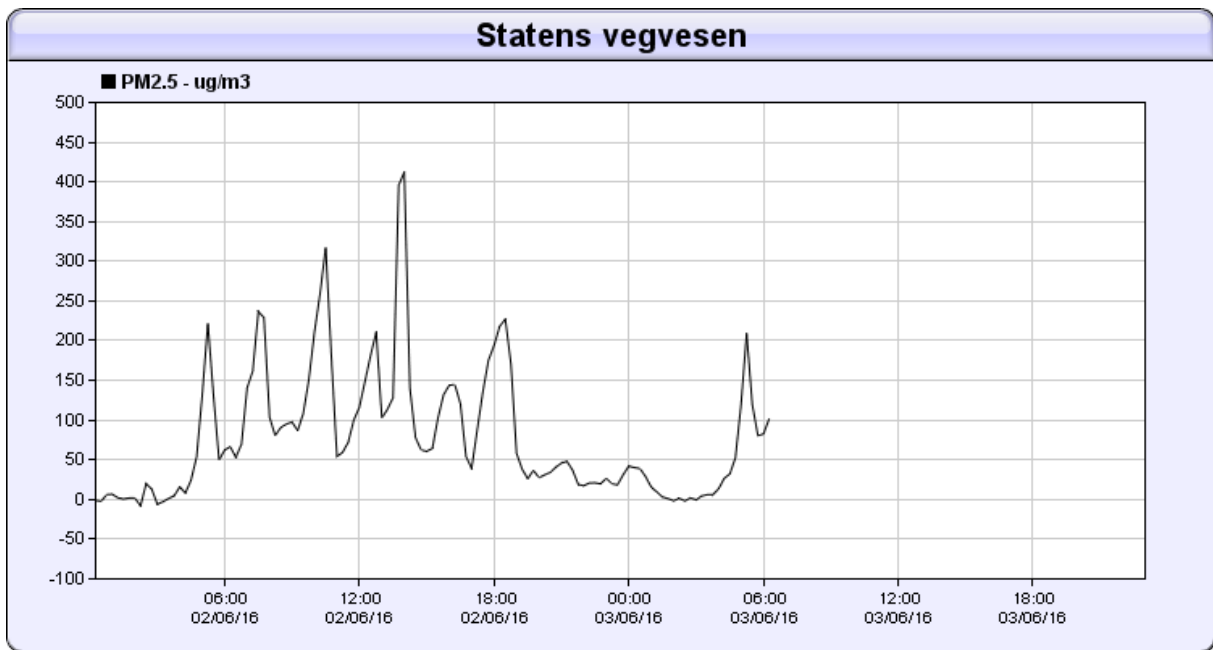
Figur 110: Måleutstyr for PM2,5 og PM10 ved avtrekksjakta i Karmøytunnelen



Figur 111: PM2,5 og 10 ved austre lågbrekk i Karmøy tunnelen 27. mai - 3. juni 2016 (gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 27: Høgste daglege verdiar av PM2,5 og PM10 i austre lågbrekk i Karmøy tunnelen frå 27..5 – 3.6 2016

Vekedag	tysdag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag
Dato	27.mai	28.mai	29.mai	30.mai	31.mai	01.jun	02.jun	03.jun
PM 2,5	300	210	175	250	325	410	415	210
PM 10	1050	390	390	800	600	700	750	380
PM2,5/PM10	29 %	54 %	45 %	31 %	54 %	59 %	55 %	55 %

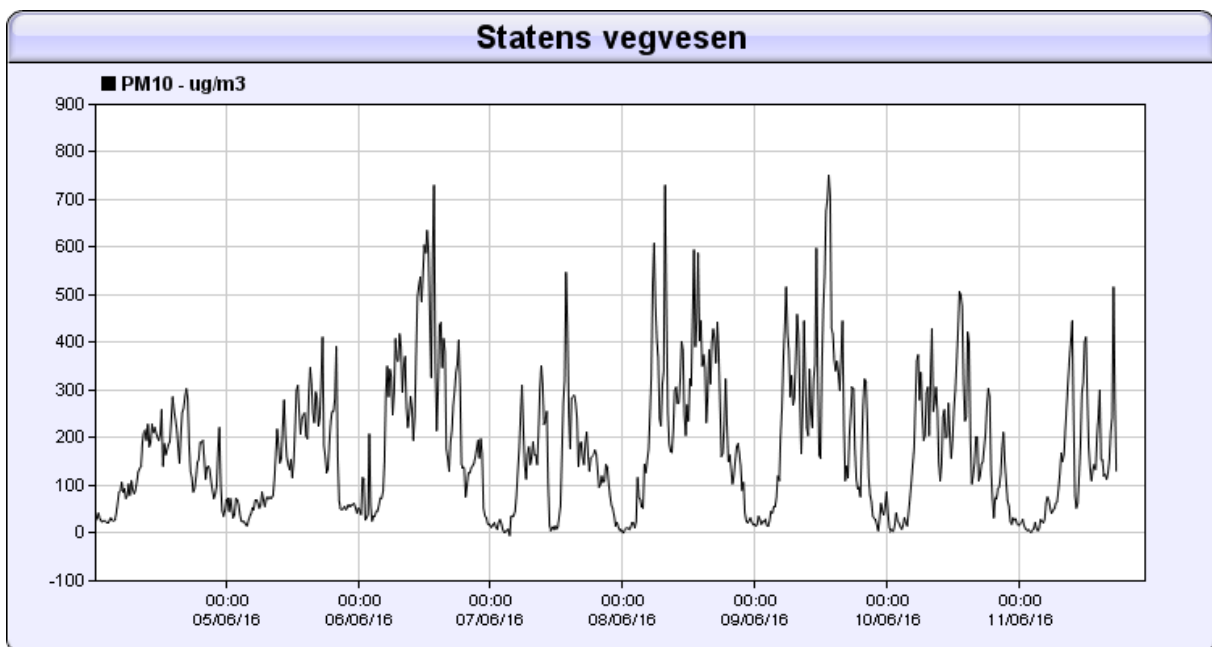
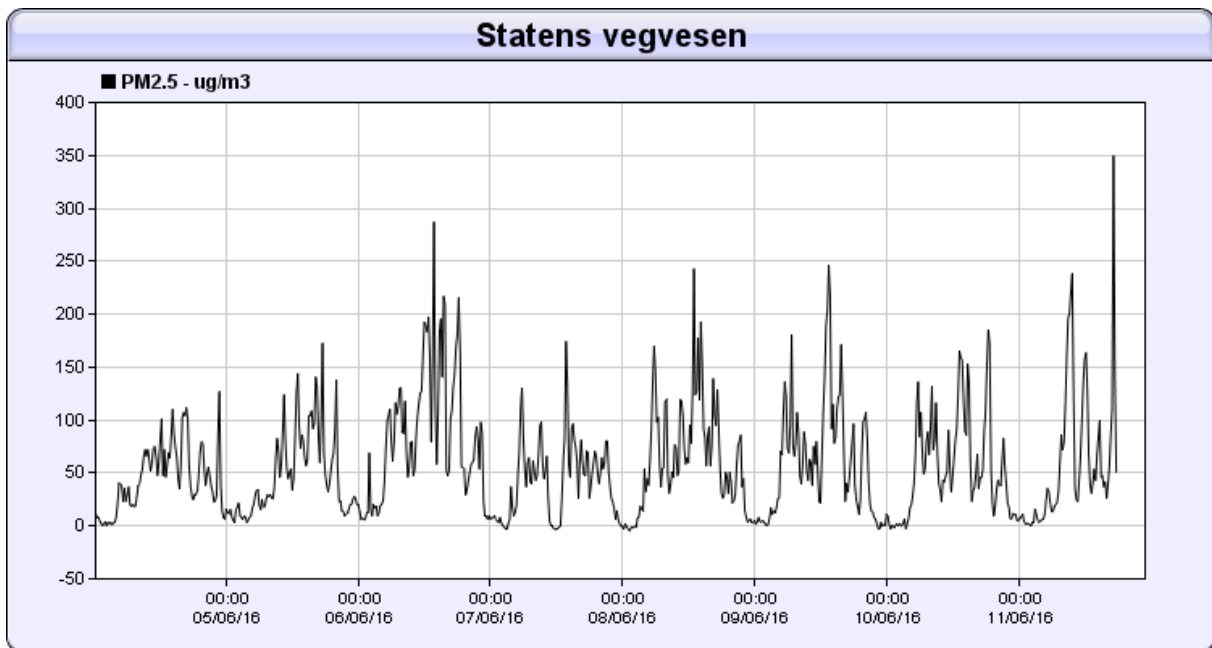


Figur 112: PM2,5 og 10 ved sjakta i austre lågbrekk i Karmøy tunnelen 2. – 3. juni 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 28: Gjennomsnittsverdiar av PM2,5 og PM10 i austre lågbrekk i Karmøy tunnelen frå 2. – 3. juni 2016

2. – 3. juni	05	08	10	13	14	16	18	05
PM 2,5	220	245	320	210	410	150	225	205
PM 10	610	710	730	515	720	225	330	380
PM2,5/PM10	36 %	35 %	44 %	41 %	57 %	67 %	68 %	54 %

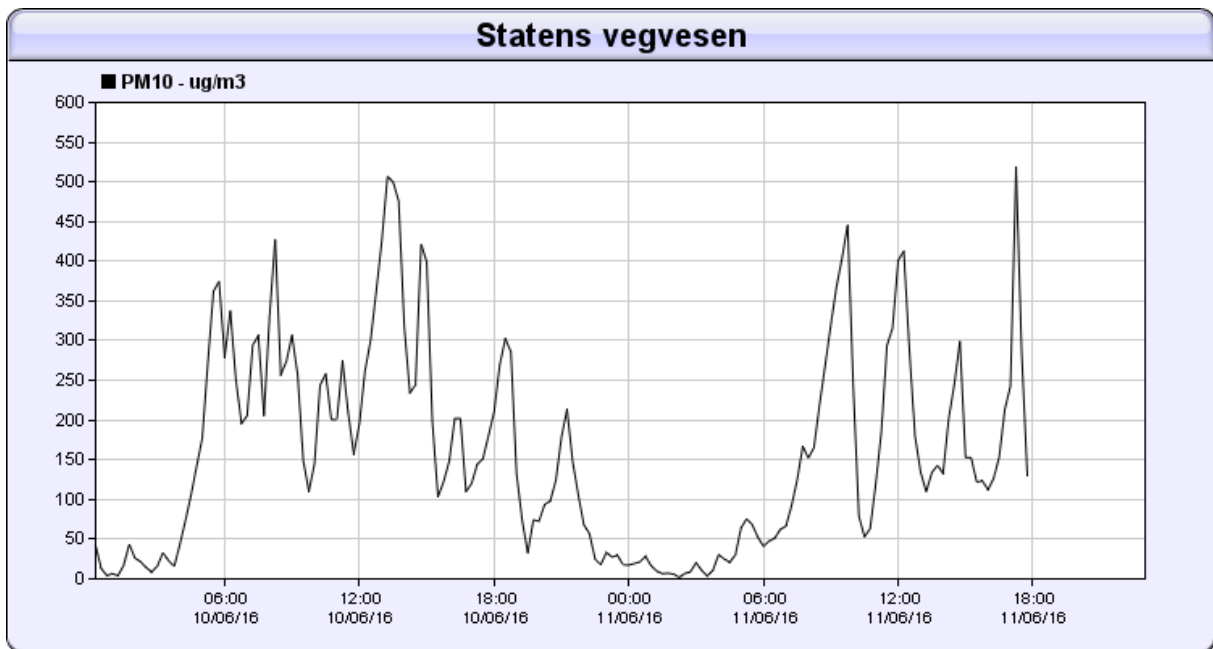
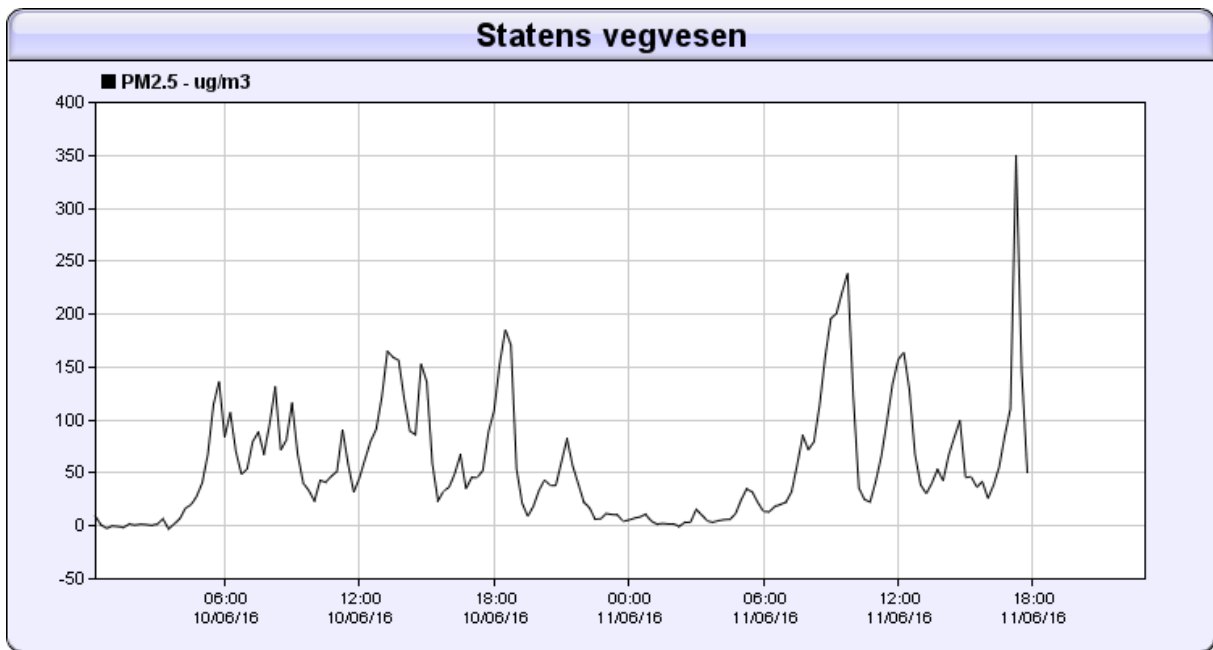




Figur 113: PM2,5 og 10 ved vestre lågbrekk i Karmøytunnelen 4. – 11. juni 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 29: Høgste daglege verdiar av PM2,5 og PM10 i vestre lågbrekk i Karmøytunnelen 4. – 11. juni 2016

Vekedag	onsdag	torsdag	fredag	laurdag	søndag	måndag	tysdag	onsdag
Dato	04.jun	05.jun	06.jun	07.jun	08.jun	09.jun	10.jun	11.jun
PM 2,5	130	175	290	175	170	245	180	350
PM 10	300	410	725	550	600	750	510	515
PM2,5/PM10	43 %	43 %	40 %	32 %	28 %	33 %	35 %	68 %



Figur 114: PM2,5 og 10 ved vestre lågbrekk i Karmøy tunnelen 10. og 11. juni 2016 (Gjennomsnitt over 15 minutt)

Tabell 30: Gjennomsnittsverdiar av PM2,5 og PM10 i vestre lågbrekk i Karmøy tunnelen 10. – 11. juni 2016

10. – 11. juni	05:30	08	13	14	18:30	21	18	10	12	15	17:30
PM 2,5	140	135	170	155	180	80	180	240	160	100	350
PM 10	375	425	510	415	300	220	300	450	410	300	520
PM2,5/PM10	37 %	32 %	33 %	37 %	60 %	36 %	60 %	53 %	39 %	33 %	67 %



Figur 115: Kunstbelysning som vender oppover er spesielt utsett for nedstøving



Figur 116: Det vart teke støvprøver i nivå frå 0,5 – 4,5 m i lydfellene mellom tunnelen og avtrekkssjakta



*Figur 117: Ventilasjonsanlegget transporterer store mengder fin sand, papir og plast langs bakken*



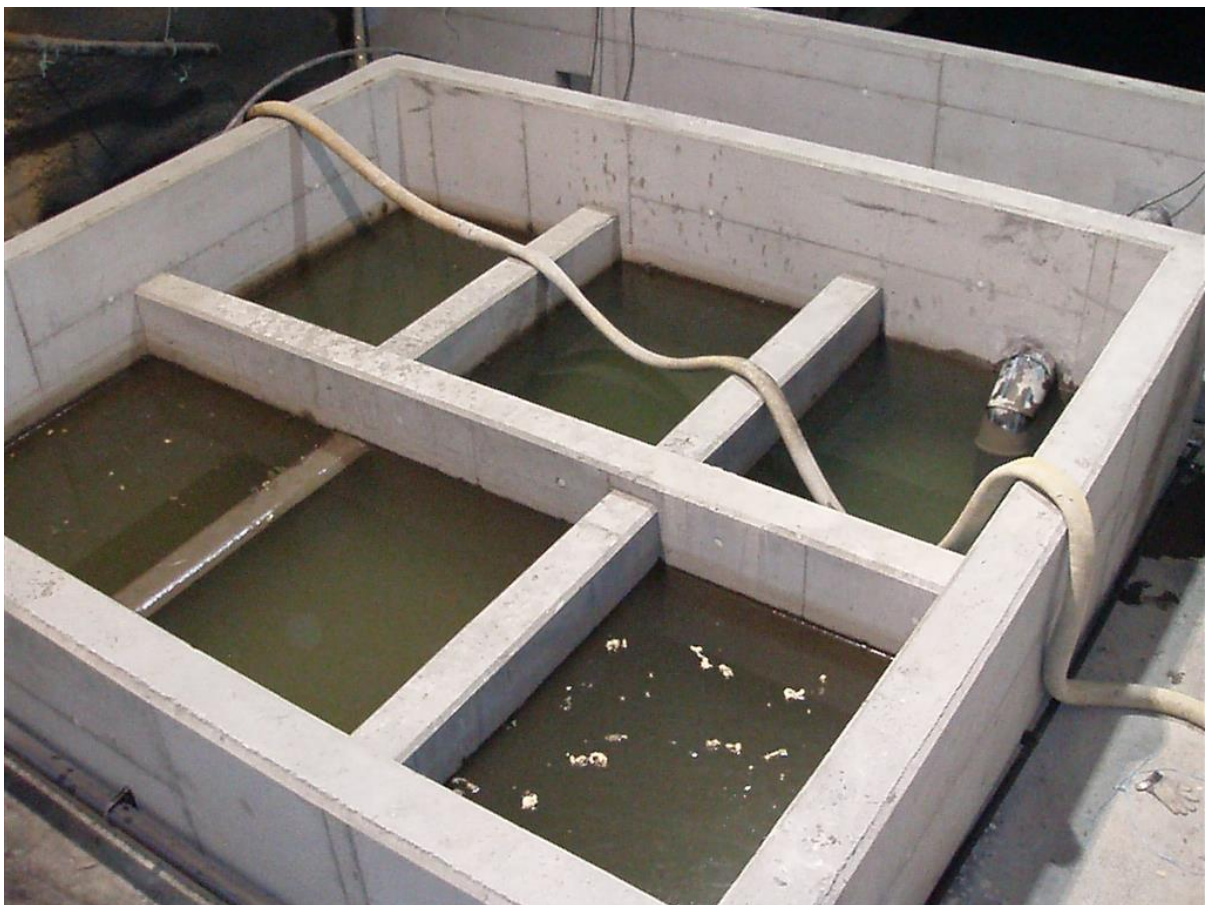
*Figur 118: Middels til grov sand blir liggjande på fuktig grunn og i lokale bakevjer*

#### 9.6.4 Botnsediment i slam- og oljekummar

Karmøy-tunnelen som vart opna for trafikk den 5.9.2013, har ei samla lengde på 8,9 km fordelt på tre armar. Tunnelen skal ha vask av teknisk utstyr i desember og juli i tillegg til halvvaske i september og heilvask i april. Sjå kap. 8 *Rutinar for reinhald av tunnelar*.

Vaskevannet renn gjennom ein kombinert slam- og oljeavskiljar og ut i inntaksbassenget for pumpene i dei to djupaste punkta. Slam- og oljeavskiljarane har seks jamstore kammer med overflateareal på 2,9 m<sup>2</sup>. Alle kummane vart tømde våren 2016 for å få nøyaktig registrering av utfelt slamvolum ved heilvask av tunnelen. Før tømning vart det teke prøver av botnslammet i alle kummane og frå toppen av veggen mellom kum 2 og 3 for å finne ut om mengda av tungmetall og PAH varierer mellom kummane. Prøvene inneheld ei blanding av slam frå to års drift og kan også ha restar av oljesøl frå siste del av byggjeperioden. Vedlegg 1 inneheld informasjon om prøvetaking og registreringar av pH og salt.

Seks veker etter avslutta vask våren 2016, var det 80 – 100 mm botnsediment i kum 1 og 2. Det låg ein del fin sand på toppen av deleveggen mellom kum 2 og 3, men i kum 3 var det berre 25 mm fin sand i den vestre tunnelarmen (mot Karmøy) og mindre enn 10 mm i armen mot aust (Mjåsund). I kum 4 – 6 var slamlaget mindre enn 10 mm. Dette viser at kummane truleg kan byggjast med færre kammer utan at pumpemagasinet får tilført vesentleg meir slam. Det ser også ut til at 3 - 4 kammer gjev god nok barriere mot tungflytande søppel. Det vart ikkje observert flytande partiklar som var store nok til å skade pumpene i kum 3 – 6. Det vart heller ikkje observert oljefilm i kummar eller inntaksbasseng etter heilvask våren 2016.



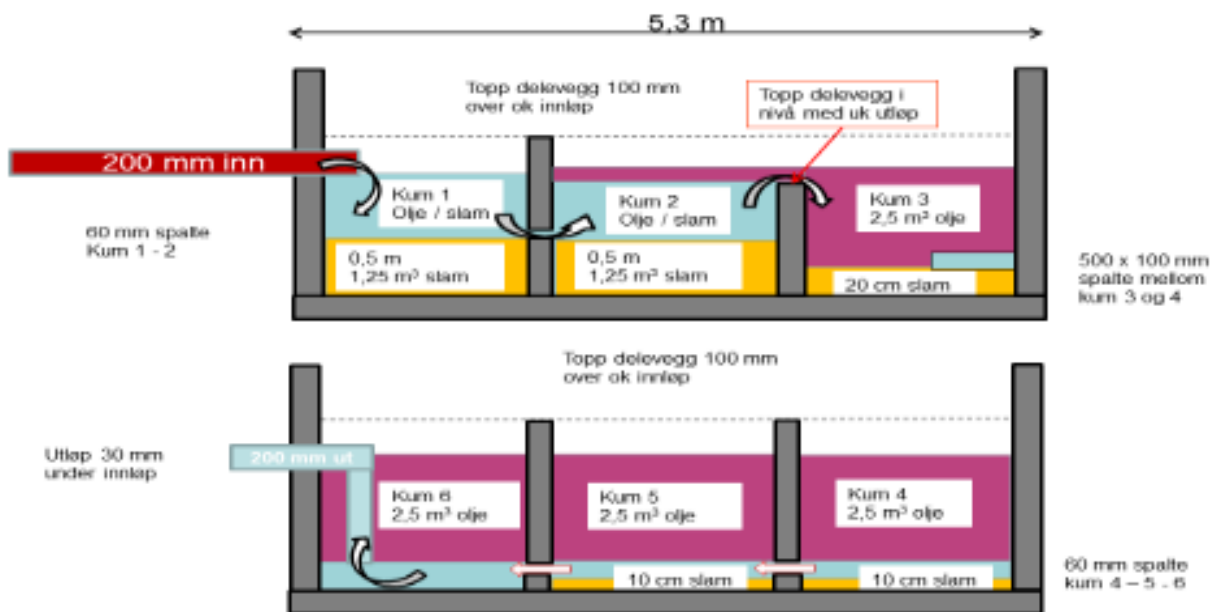
Figur 119: Kombinert slam- og oljeavskiljar i Karmøy-tunnelen. Lette plastprodukt flyt opp i kum nr. 1 (nærast) - 3



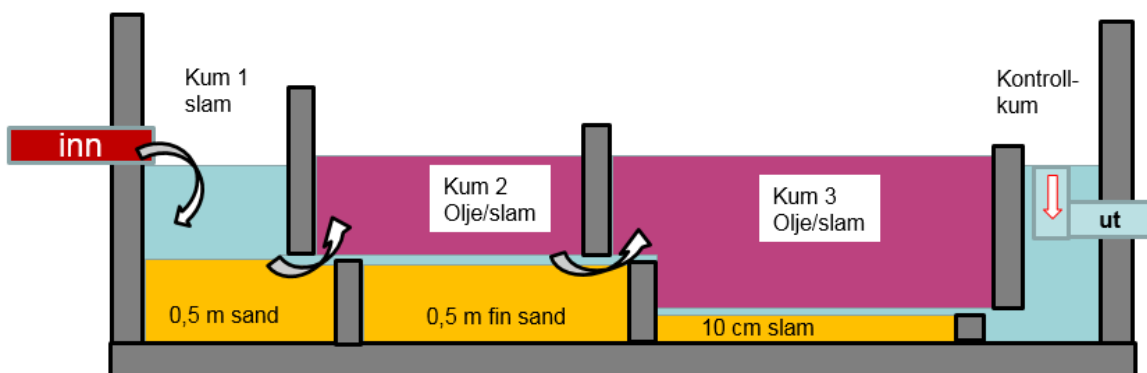
Sedimentering av slam i dei horisontale spaltane i vegg, var truleg årsak til at det oppstod overløp frå kum 1 til 2 etter to års drift. Utformainga bør endrast for å unngå tømning av slamkummane kvart år.

Figur 122 viser eit alternativ med vertikale spaltar og litt større volum for sand og slam.

Figur 120: Den smale horisontale spalta mellom kummane gjev så liten turbulens at det blir liggjande igjen sand



Figur 121: Lengdesnitt som viser maksimal kapasitet på ca. 4 m³ slam og 10 m³ olje

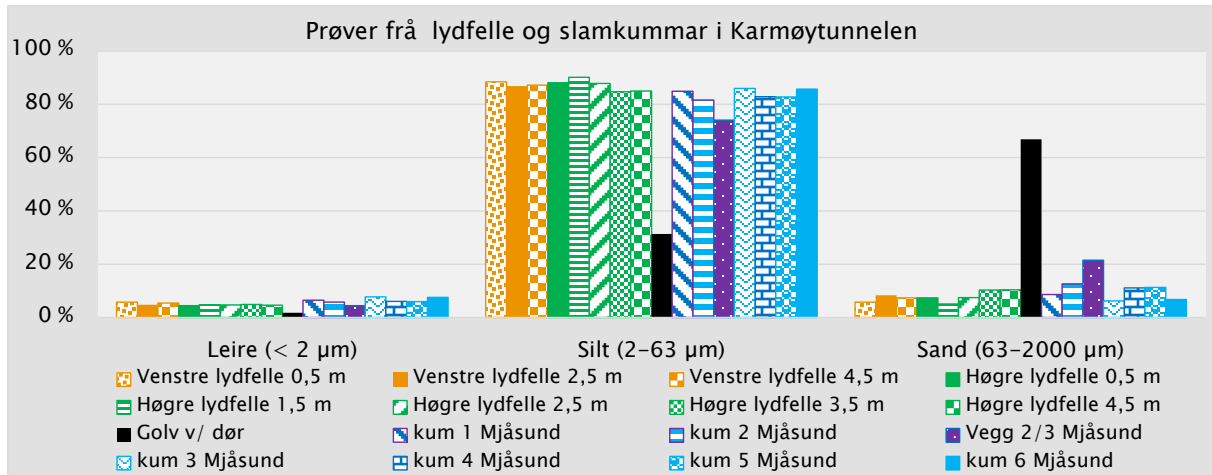


Figur 122: Alternativ utforming av slamkum med fire kammer

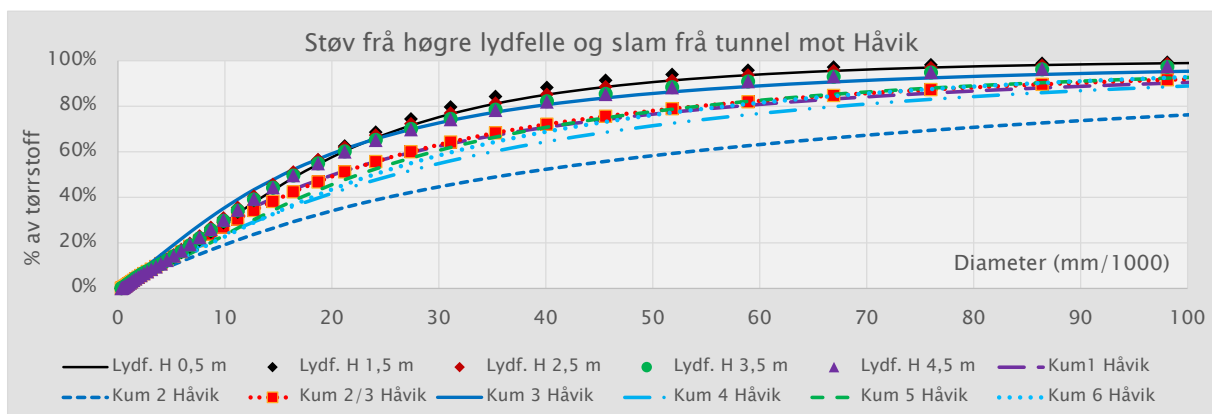
Steinstøvet medfører at bitumenpartiklane blir tyngre enn vatn. Derfor kan ikkje bitumen fjernast med koalescensfilter som blir brukt til å samle små oljedråpar i spylevatnet frå bilverkstader og liknande. Men oljeavskiljaren har likevel ein viktig funksjon ved å samle opp flytande plast og papir slik at dette ikkje gjer skade på pumpene. Ved trafikkuhell og utslepp av væsker som er lettare enn vatn, trengst det eit stort oljevolum. Det bør gjennomførast fleire testar med alternativ plassering av delevegger og opningar mellom kummane.

### 9.6.5 Analyser av støv og slam frå januar/februar 2016

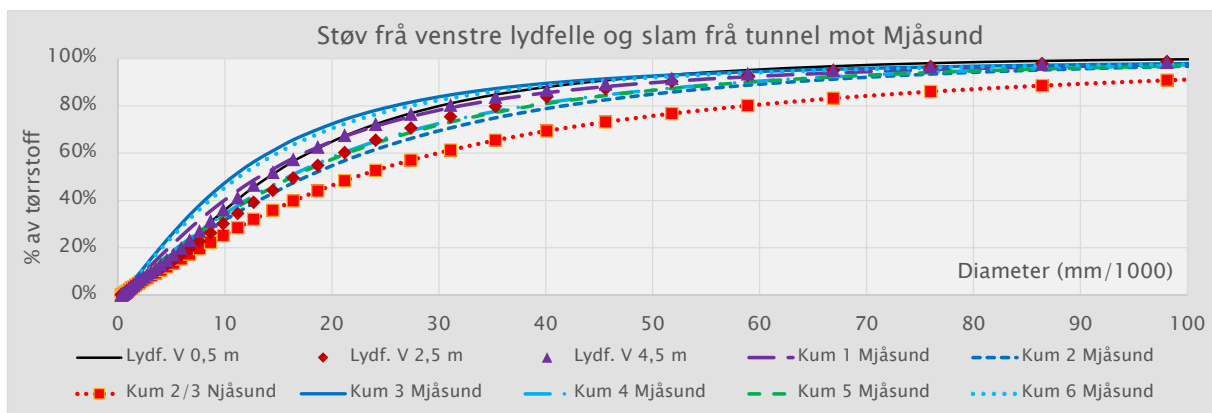
Vedlegg 2 - 4 inneheld informasjon om analysemetodar og detaljerte resultat. Sandfraksjonen i lydfellene varierer frå 5 % i støvprøve 1,5 m over golvet til 10 % i nivå 3,5 – 4,5 m. Dette kan vere tilfeldige variasjonar mellom prøvene. I støvlaget på golvet er det naturleg nok sandfraksjonen som dominerer. 20 % sandfraksjon i støvprøva frå det tekniske rommet, viser at det er lekkasje gjennom den «lufttette» veggen mot tunnelen.



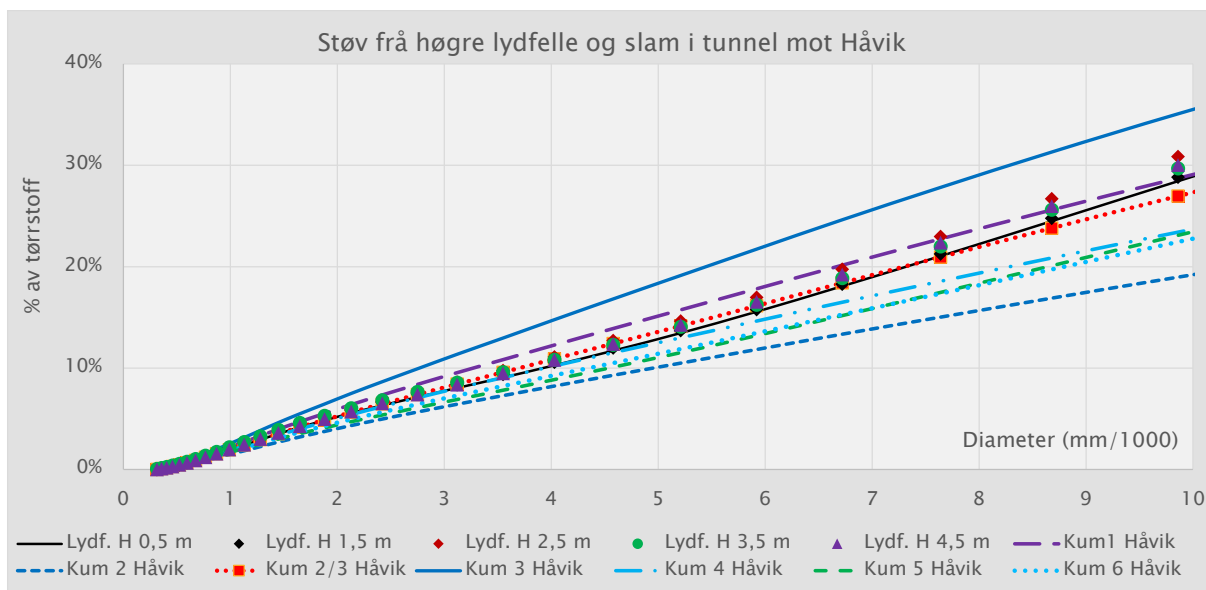
Figur 123: Partikkelfraksjonar (% TS) i støv og botnfelt slam (analysert med med laser utan bruk av sikteduk)



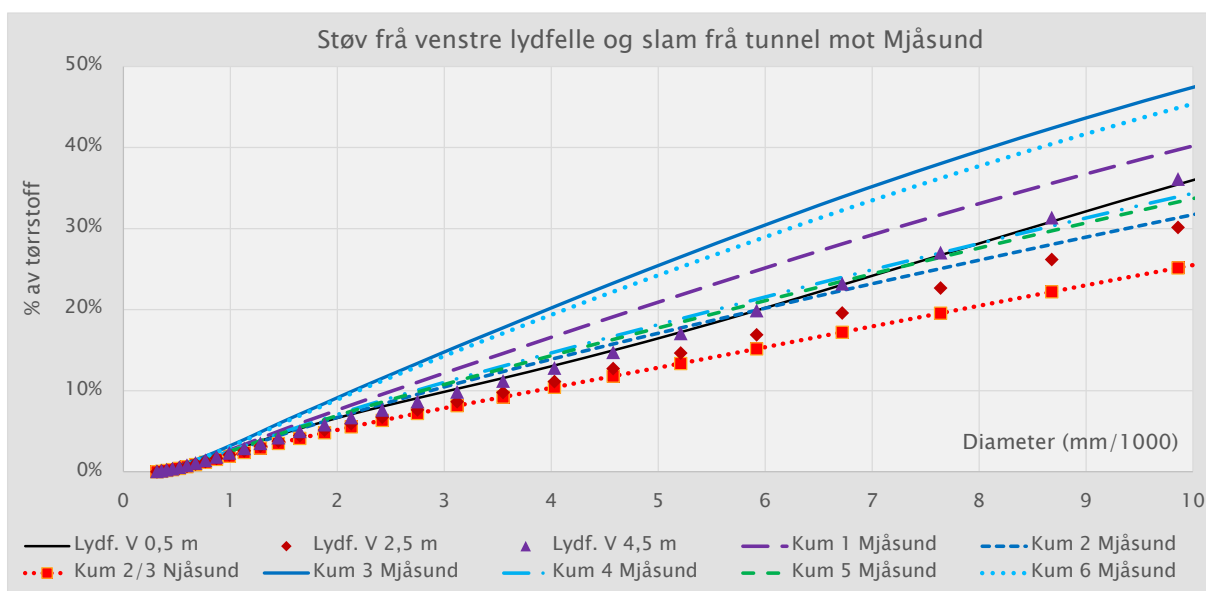
Figur 124: Partikkelfraksjon 0 – 100 µm i støv og slam frå vestre del av Karmøy tunnelen



Figur 125: Partikkelfraksjon 0 – 100 µm i støv og slam frå austre del av Karmøy tunnelen



Figur 126: Partikkelfraksjon 0,01 – 10 µm (PM10) i støv og slam fra vestre del av Karmøytunnelen



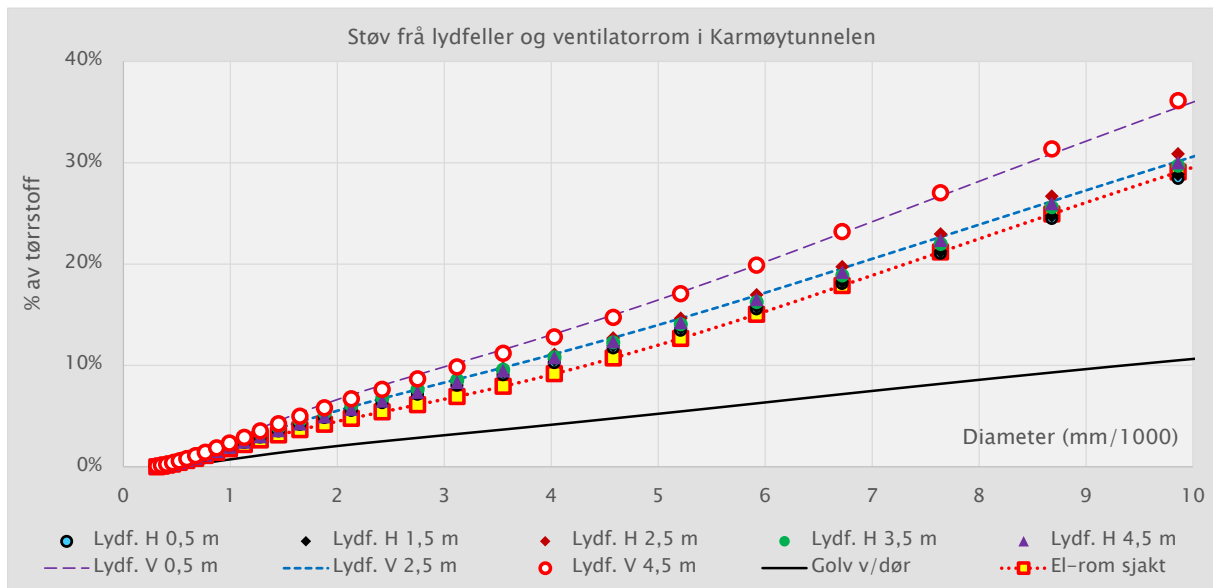
Figur 127: Partikkelfraksjon 0,01 – 10 µm (PM10) i støv og slam fra austre del av Karmøytunnelen

Tabell 32 på side 113 viser teoretisk sammenheng mellom partikkeldiameter og tid til botnfelling. Ut fra denne tabellen kunne ein rekne med å finne mest sand og lite silt og leire i botnslammet. Figur 123 – 125 viser derimot at siltfraksjonen utgjør over 80 vekt% både i svevestøv og slam.

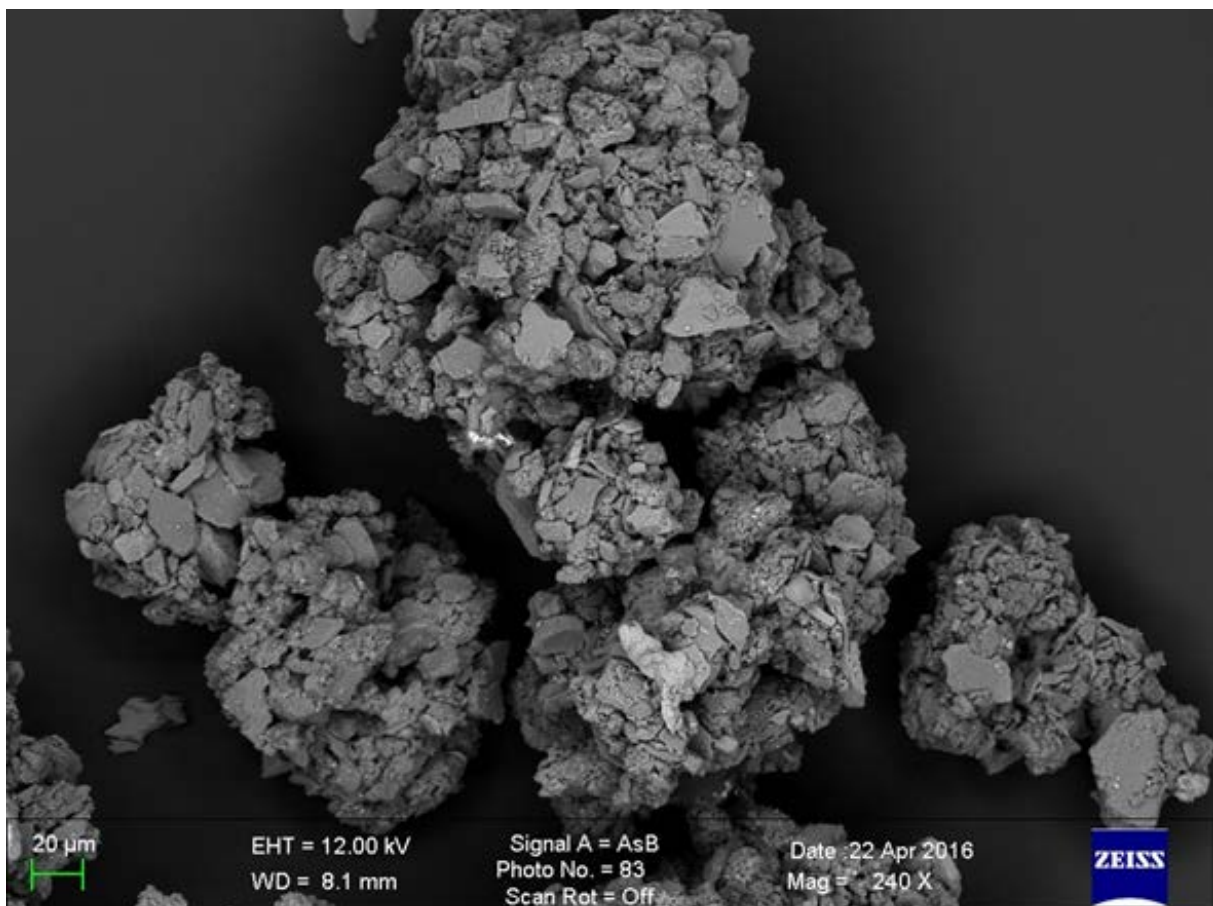
Figur 126 – 127 viser at det var 35 % PM10 i slamprøva frå kum 3 i vestre del av tunnelen og 47 % PM10 i kum 3 i austre del. Forklaring på den store leirfraksjon i botnslammet, kan vere at støvpartiklane byggjer opp solide agglomerat som ikkje blir knuste under vask. Dermed sedimenterer ein stor del av leirpartiklane som fin silt. Dette kan også forklare sedimenta på toppen av deleveggane mellom kum 2 og 3 der det vart påvist 25 % PM10 i begge slamprøvene. Ved frysing og tørking av slamprøvene blir materialet knust igjen slik at analysen viser svært små avvik i kornfordelinga i slam og støv.



Ca. 20 % sand på toppen av deleveggen mellom kum 2 og 3 var også eit uventa resultat. I den siste kummen er sandfraksjonen redusert til 7 %. Når den totale slammengda etter heilvask er mindre enn 30 liter i siste kum, betyr det at sandmengda i pumpemagasinet blir svært liten.



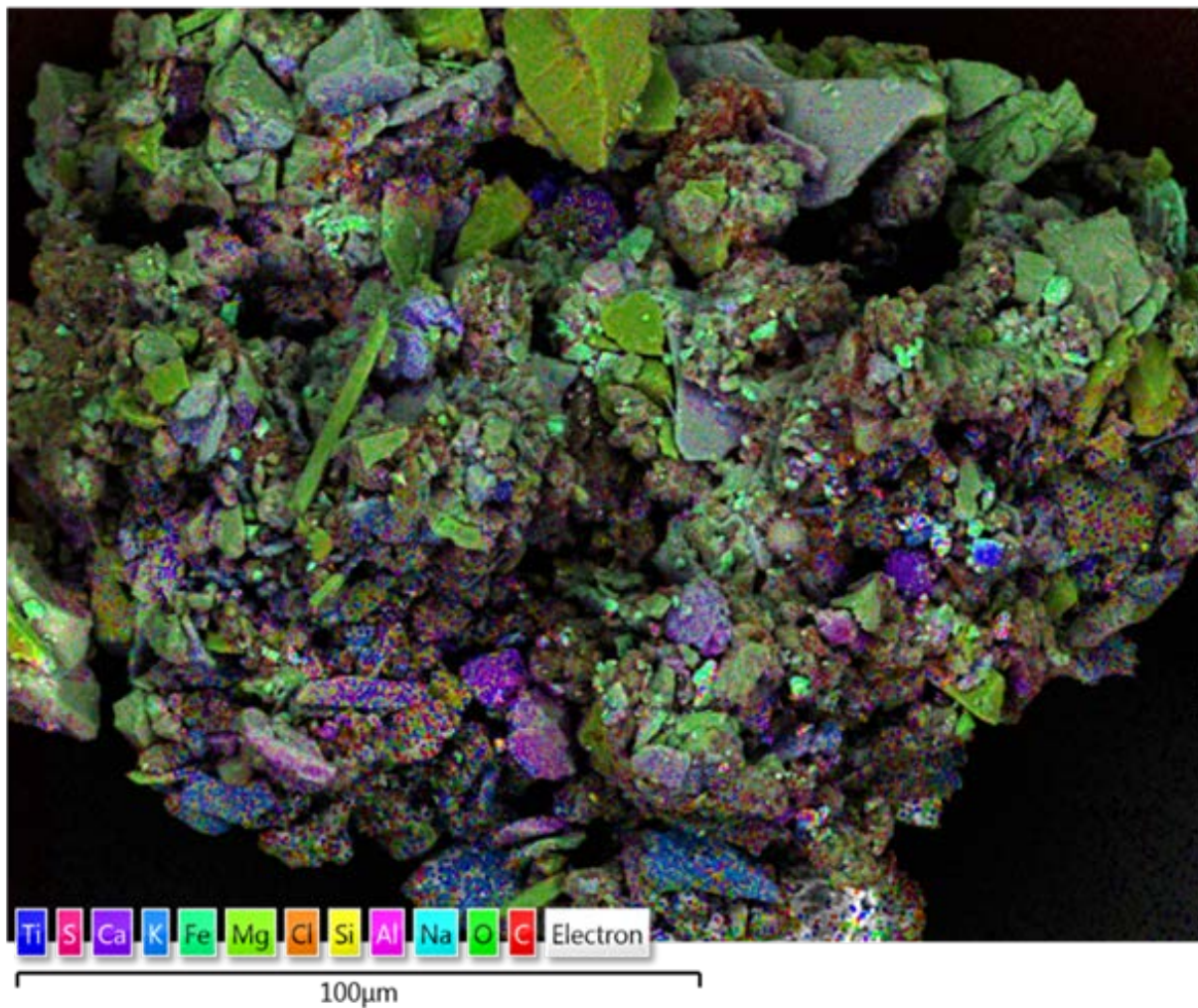
Figur 128: Samanlikning av partikkelfraksjon 0,01 – 10  $\mu\text{m}$  (PM10) i støvet frå lydfeller og ventilatorrom



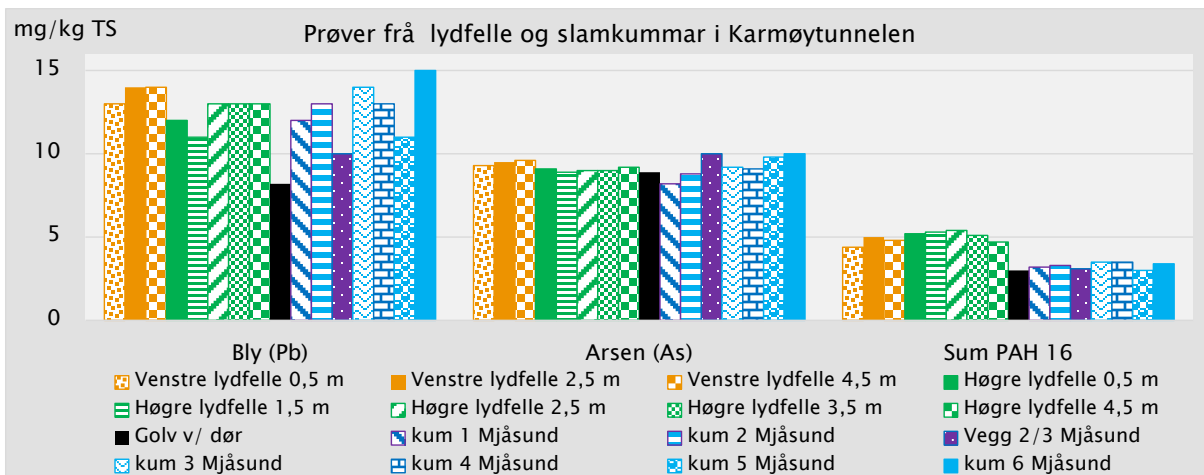
Figur 129: Typiske agglomerat i støvprøve frå lydfelle. Partikkeldimensjon 10 – 200  $\mu\text{m}$

Figur 128 viser at det fineste støvet i lydfeller og ventilatorrom har nøyaktig lik kornfordeling. På dei glatte stålplatene i lydfellene byggjer det seg gradvis opp store støvflak omtrent som på oppsamlingsplatene i eit elektrostatiske filter. Figur 129 viser at dei største støvkorna kan vere samansette av mange tusen partiklar som er mindre enn 20  $\mu\text{m}$ . Vi kan anta at det foregår ei tilsvarande oppbygging av agglomerat på veggane i tunnelen. Karbon frå bileksos og vegsilt fungerer truleg som lim mellom partiklane i tillegg til bitumen frå dekkleslitasje.

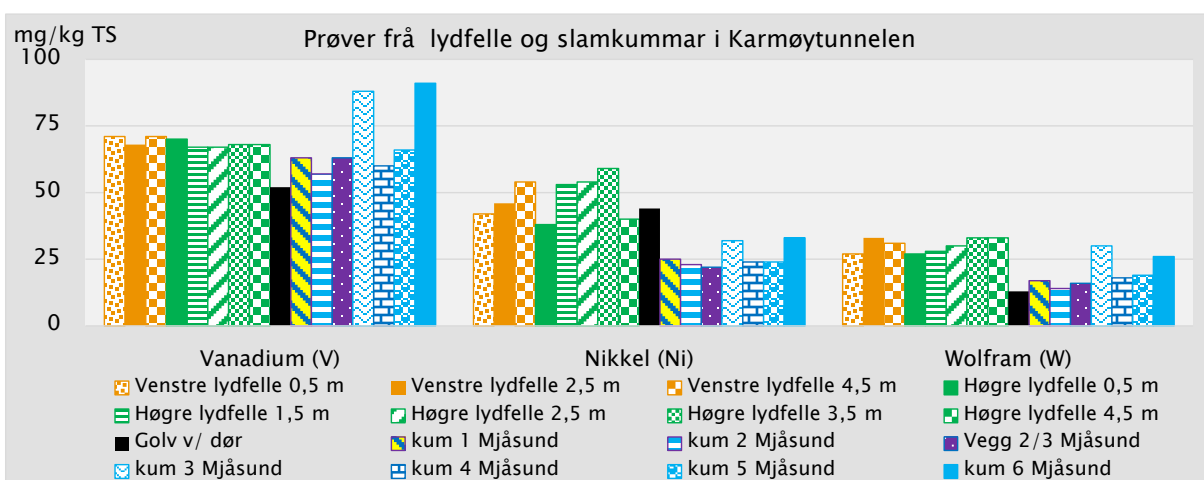
Figur 130 viser eksempel på struktur og kjemisk samansetjing i agglomerata. Eit utdrag av dei kjemiske analysane i vedlegg 2 - 4 er vist på dei neste sidene.



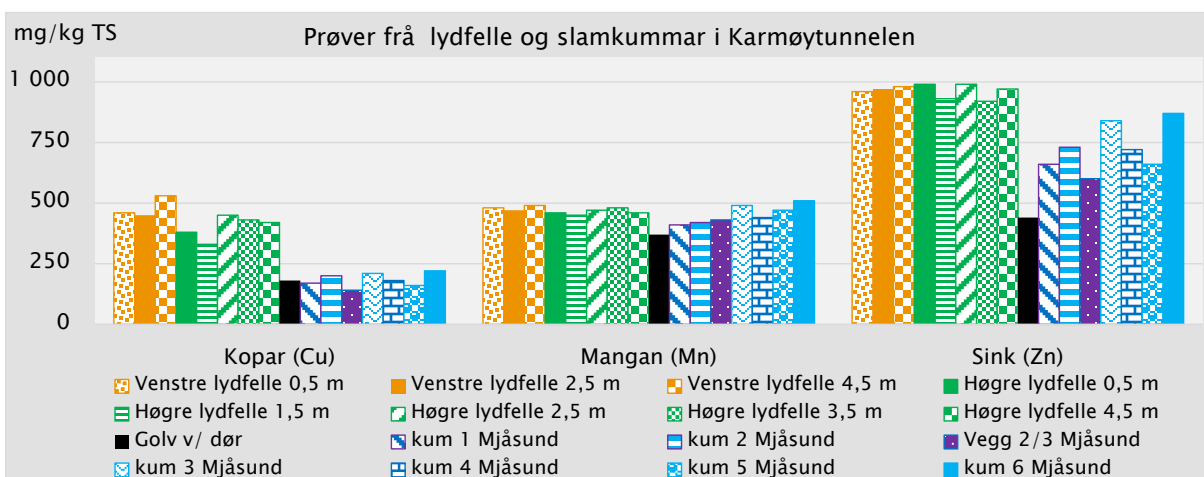
Figur 130: Eksempel på grunnstoff i eit tilfeldig agglomerat frå lydfelle. Alle elementa er med (med unntak av karbon)



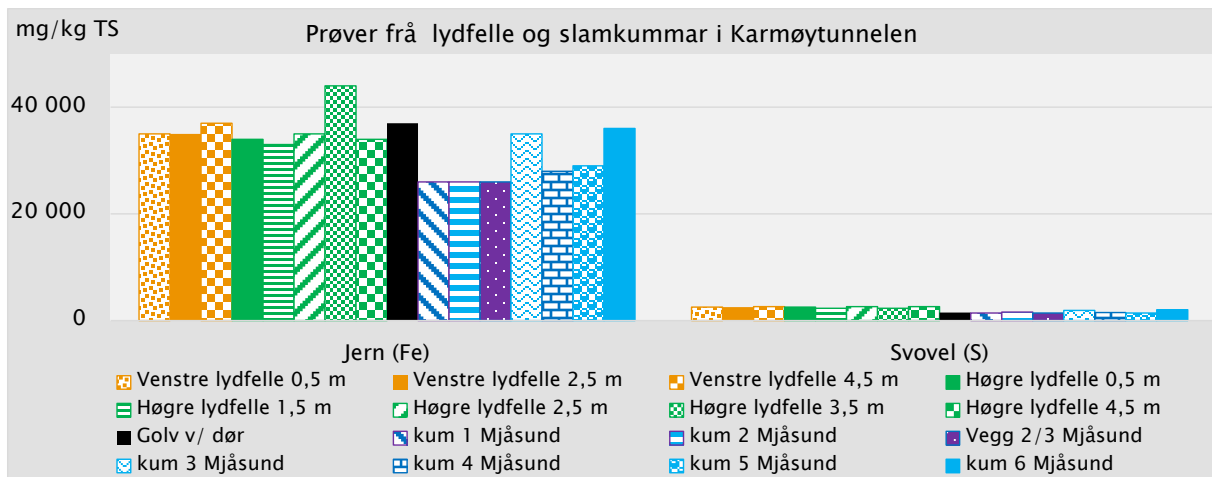
Figur 131: Konsentrasjon av bly, arsen og PAH (16) i støv- og slamprøver (Tilstandsklasse, tabell 1: «God»)



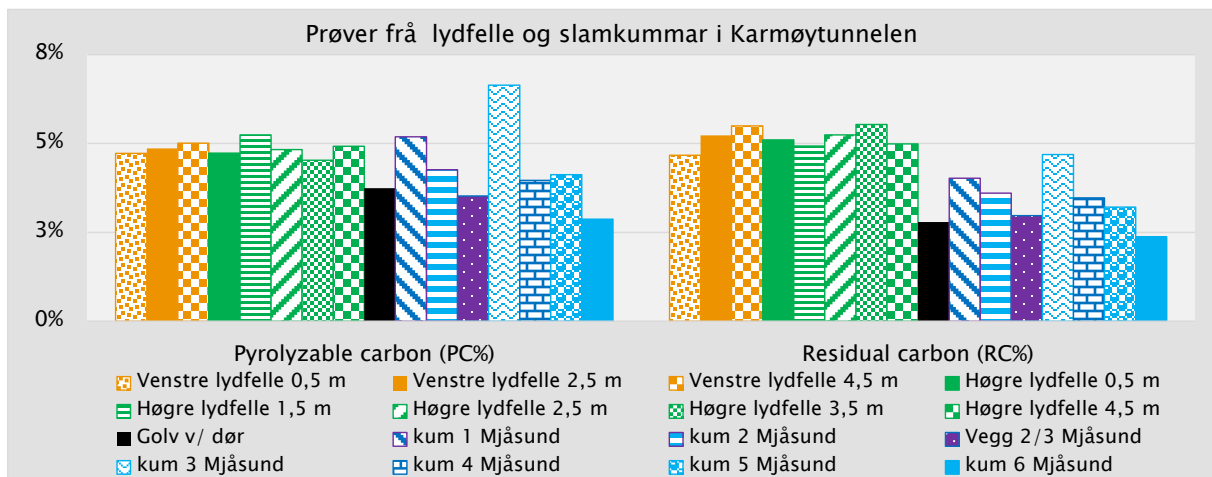
Figur 132: Konsentrasjon av vanadium, nikkel og wolfram i støv- og slamprøver (Tilstandsklasse, tabell 1: «Svært god»)



Figur 133: Konsentrasjon av kopar, mangan og sink i støv- og slamprøver (Tilstandsklasse tab. 1: Cu «Moderat» Zn på grensa mellom «Moderat» og «Dårleg»). Mangan er ikkje giftig. 20 µg/liter blir brukt som øvre grense for drikkevatt. Kroppen treng mangan for å produsere B-vitaminer, men det er uheldig å puste inn manganstøv.



Figur 134: Konsentrasjon av jern og svovel i støv- og slamprøver. Jern har ingen kjende skadelege helseeffektar, men ved store konsentrasjonar i vatn, kan vatnet bli farga av rust. Mengda av svovel utgjør ingen helse- eller miljørisiko



Figur 135: Konsentrasjon av karbon i støv- og slamprøver (% Tørrstoff TOC = PC% + RC%)

Analysane viser jamne konsentrasjonar av tungmetall og PAH i tunnelstøvet uavhengig av høgde over vegbana. Konsentrasjonen av bly, arsen, vanadium og jern er omtrent like stor i slamprøvene som i det tørre støvet. I slamm er det derimot mindre PAH, nikkel, wolfram, kopar, sink, jern og svovel. Dette kan bety at ein del av desse stoffa blir oppløyste i vatn eller at partiklane er for små til at dei blir utfelt i slamkummane. Bruk av såpe kan også vere ei årsak til avvik i mengder PAH og tungmetall i tørt støv og botnslam.

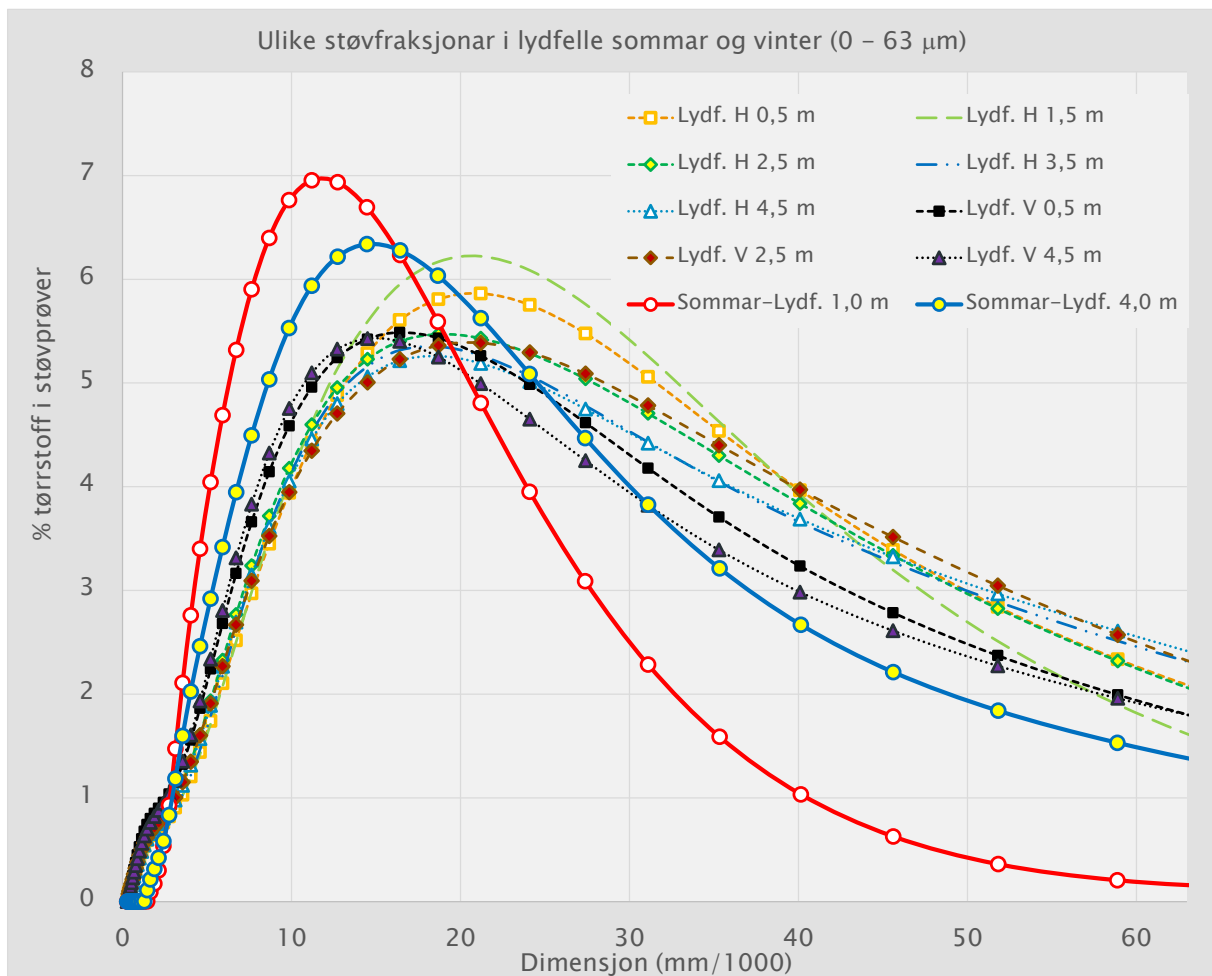
I svevestøvet ligg total karbon (TOC) nær 10 %. I slamkummane er det ein gradvis reduksjon frå kum 3 til kum 6 slik at vi kan rekne med ca. 5 % TOC i slamm som renn ut i pumpe-magasinet. Det vart ikkje observert olje på overflata, men det er sannsynleg at eit eventuelt oljeflak ville ha fordampa før det vart teke prøver. Sugerøret til pumpene ligg 1 – 2 meter under overflata for å hindre utslepp av lette oljeprodukt ved vask av tunnelen.

### 9.6.6 Samanlikning av støvfraksjonar vinter og sommar

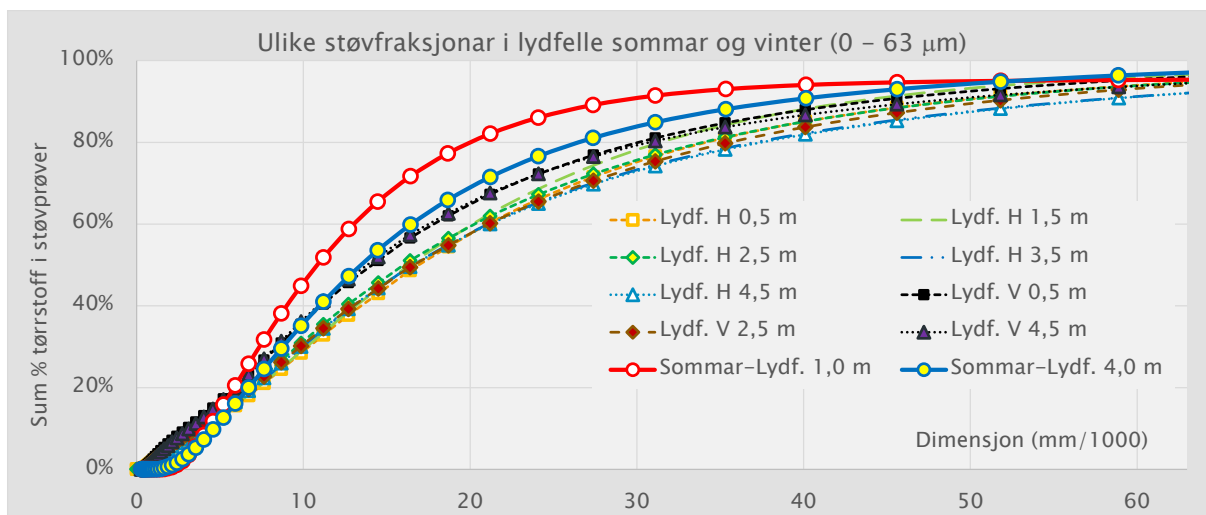
Hausten 2016 vart det oppdaga at ein stor del av vinterstøvet på lydfellene hadde falle av og var erstatta av eit nytt støvlag med ei anna korngradering. Det vart teke ut nye prøver frå nivå 1,0 m og 4,0 m over vegbana. Figur 136 viser at sommarstøvet har vesentleg mindre fin sand enn prøvene frå vintersesongen. Prøva frå nivå 1,0 m var nesten fri for sand. Det kan tenkjast at ein del sandkorn i prøva frå 4,5 m stammar frå vintersesongen slik at toppen på den blå kurva kunne ha lege litt lenger mot venstre.

Siltfraksjonen (2 – 63 µm) utgjer heile 95 % av begge prøvene mot 85 – 88 % i vinterstøvet. (Figur 123). Diagramma på neste side viser at leirfraksjonen som utgjer 5 – 6 % av støvet i vinterhalvåret, er langt mindre om sommaren. Figur 139 viser at PM 2,5-andelen vart redusert frå ca. 7 % om vinteren til under 2 % hausten 2016. I sommarstøvet vart det ikkje påvist partiklar som er mindre enn 1/1000 mm, medan alle støvprøvene frå vintersesongen inneheldt ca. 2 % av fraksjonen under 1,0 µm.

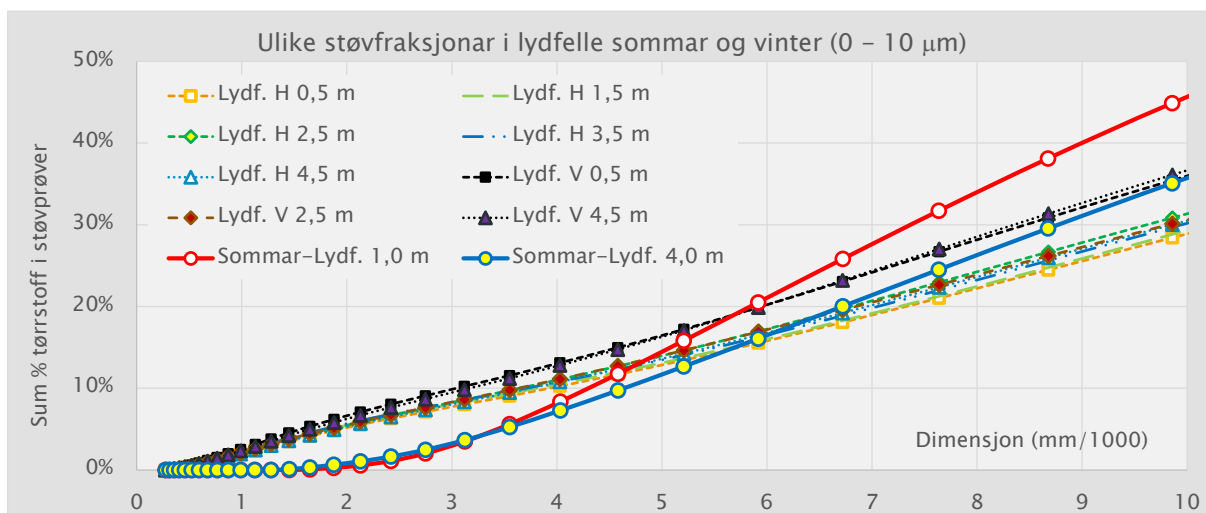
Figur 138 viser at alle kurvene for vinterstøv stig jamt med eit forholdstal mellom PM2,5 og PM10 mellom 1 : 4 og 1 : 5. I sommarstøvet ligg forholdstalet PM2,5 : PM 10 for dei to prøvene på 1 : 20 og 1 : 40. PM10 er dermed lite eigna som parameter for luftkvalitet i tunnelar. Registrering av PM2,5 gjev langt betre samsvar mellom målt støvnivå og mengde av dei minste og mest helsefarlege fraksjonane i svevestøvet.



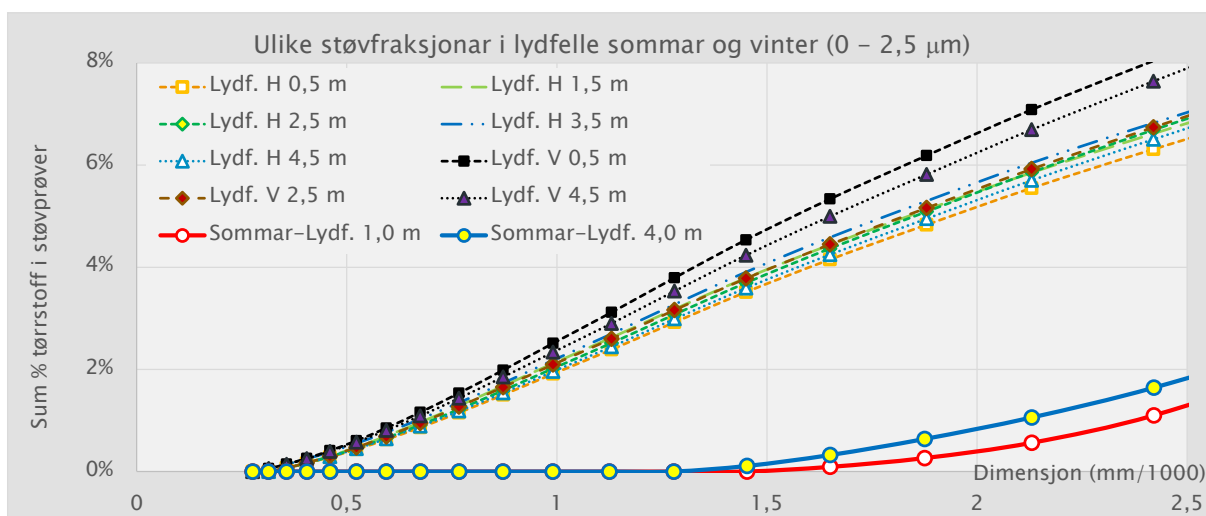
Figur 136: Samanlikning av leir- og siltfraksjon (< 63 µm) i støv frå vinter- og sommarsesong



Figur 137: Samanlikning av leir- og siltfraksjon (< 63  $\mu\text{m}$ ) i støv frå vinter- og sommarsesong



Figur 138: Samanlikning av PM10-fraksjon (0,01 – 10  $\mu\text{m}$ ) i støv frå vinter- og sommarsesong



Figur 139: Samanlikning av PM2,5-fraksjon (0,01 – 2,5  $\mu\text{m}$ ) i støv frå vinter- og sommarsesong

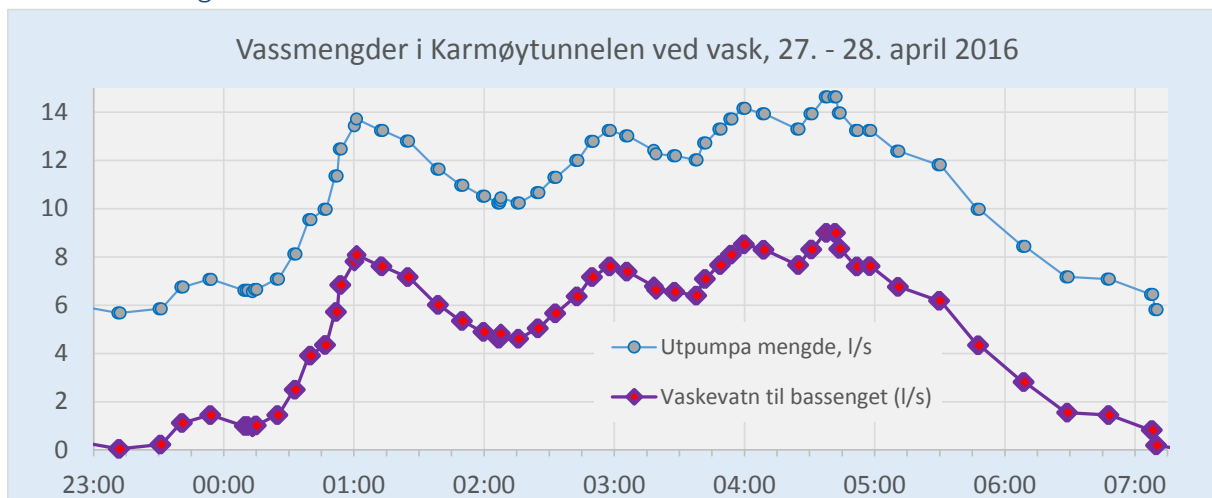
### 9.6.7 Bruk av såpe ved tunnelvask

I Karmøytunnelen vart det bruk 25 – 30 liter konsentrat *Micro Ultra* ved vask av teknisk utstyr og 55 – 60 liter konsentrat, type TK 370 *Clean Ekstra kraftvask*, ved den generelle tunnelvasken. Begge desse produkta inneheld komponentar som er klassifisert som etsande (C) og helseskadelege (Xi).

I rapport nr. 619 «*Renholdsforsøk i tunnel og gate i Trondheim våren 2015*» står m.a. dette om bruk av såpe:

Miljømessig bør man også redusere eller slutte å bruke såpe med tanke på utlekking av farlige komponenter til omgivelsene, spesielt gjelder dette tungmetaller som løses opp og ikke blir fanget opp i rensebassengene. For å begrense bruk av såpe i tunnel og slitasje på vifter bør man intensivere renhold av vegbane og bankett slik at man fjerner støvet jevnlig.

### 9.6.8 Vassmengder ved heilvask



Figur 140: Vassmengder basert på nivåmåling i pumpemagasinet. Normal innlekkasje er 5,63 l/s (20 m<sup>3</sup>/time)

Figur 140 viser gjennomsnittleg avrenning til det austre inntaksbassenget i Karmøytunnelen. Frå 27.4 klokka 23:00 til 28.4 kl. 07:10 auka vassmengda i pumpemagasinet ca. 137 m<sup>3</sup> meir enn ved normal innlekkasje. Seriekopla kummar gav redusert avrenning ved start og avslutning av vasken.

I pumpestasjonen i den vestre delen av tunnelen vart det målt ei ekstra vassmengde på 184 m<sup>3</sup> den 27. april. Samla avrenning av vaskevatt ved vask av heile tunnelen blir dermed 321 m<sup>3</sup> eller ca. 36 liter pr. meter tunnel. Sandfangkummane og oljeavskiljarane vart tømde før vasken starta. Dersom dette ikkje hadde vorte gjort, ville avrenninga til bassenget ha auka til ca. 48 l/m tunnel. Dette er ca. 70 % av den tilførte vassmengda på 70 liter pr. meter tunnel.

Ved bruk av tilsvarende vaskeprosess i Rogfast med tverrsnitt 2 x T10,5, kan vi rekne med ca. 70 % større samla overflateareal. Det gjev ei gjennomsnittleg avrenning på ca. 2 x 40 liter pr. m tunnel ved heilvask. Ved 1,5 km avstand mellom pumpestasjonane, trengst det slambasseng på ca. 100 m<sup>3</sup> i tillegg til volumet i den kombinerte slam- og oljeavskiljaren og slammagasinet på botnen av bassenget. Dei øvste bassenga bør i tillegg ha kapasitet til nedbør i portalområda under vasking og nokre dagar etterpå for å unngå for sterk utvasking av fint slam til pumpemagasinet.

## 10 Prognoser for dekkleslitasje og slammengder i Rogfast

### 10.1 Dekkeslitasje

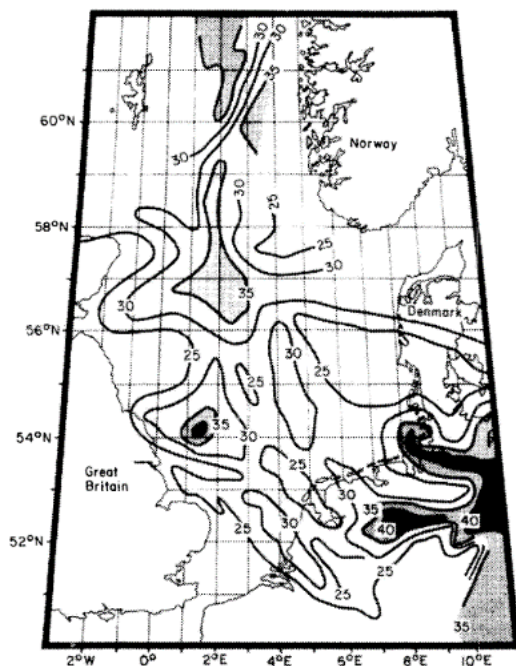
Slitasje av vegdekket er den dominerande kjelda til støv og slam i tunnelar. VTI-modellen gjev gode prognoser for piggdekkslitasje ved fartsgrense på 110 km/t med eit gjennomsnittleg SPS-tal på 6,3 gram/km for seks prøvefelt på svenske motorvegar.

I asfaltresepten bør det veljast steinmaterialar som gjev god slitasjestyrke og minst mogleg støvproduksjon på tørr veg. Med fem månader gjennomsnittleg piggdekk sesong og piggdekkandel under 20 %, kan den gjennomsnittlege piggdekkslitasjen frå kvar bil bli redusert til under 10 % av SPS. Ved bruk av det mest slitesterke tilslaget i asfalten, bør målet vere ein gjennomsnittleg dekkleslitasje på maksimalt 1,0 gram/km/personbil.

### 10.2 Temperatur og støvproduksjon

Resultata frå støvmålingane viser at det er lite støv i lufta når det er våt vegbane i tunnelane. Når vegbana tørkar opp igjen, stig støvnivået ofte langt over det normale nivået på grunn av oppsamla støv på vegbane og sideareal. I midtsona av Rogfast kan det ventast stabil temperatur heile året på grunn av varmeutveksling mellom ventilasjonslufta og berggrunnen. Om vinteren får lufta tilført jordvarme, slik at temperaturen stig innover frå inngangssone og ventilasjonssjakter. I piggdekk sesongen kan det derfor ventast tørr vegbane og støvproduksjon i ein stor del av tunnelen sjølv om det er fuktig luft og våt vegbane ute i dagen.

Når lufta ute er varmare enn vegbana inne i tunnelen, blir ventilasjonslufta avkjølt på veg innover, og det kan ventast kondens som gjev fuktig vegbane over lange strekningar. Dermed blir det liten støvproduksjon frå april til september. Men kondens på støvpartiklar kan likevel gje lokale siktproblem ved sjaktene ved innblåsing av varm og fuktig luft.



Temperaturen aukar med gjennomsnittleg 24 °C/km nedover i berggrunnen. Kartet til venstre som er teikna på grunnlag av målingar i samband med oljeboring i Nordsjøen, viser at den geotermiske gradienten varierer.

Midt i Lærdalstunnelen ligg bergtemperaturen rundt 17 °C heile året. I Rogfast blir bergoverflatene vesentleg kaldare på grunn av mindre overdekning og låg temperatur på sjøbotnen. Vi kan anta at temperaturen aukar berre 3 – 5 °C frå sjøbotn til tunnelnivå.

Figur 141: Geotermiske gradientar i Nordsjøen<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Figuren er kopiert frå K.W Glennie: Petroleum Geology of the North Sea, fourth edition



Tabell 31 viser at gjennomsnittstemperaturen på 150 m djup varierer mellom 8 °C i januar og 7 °C i juli. Dersom vi antar at temperaturen i sjøbotnen over tunnelen også ligg mellom 7 og 8 °C, kan det ventast bergtemperatur på 10 - 13 °C heile året.

Tabell 31: Temperaturmålingar frå Havforskningsinstituttet (www.imr.no)

Temperatur i °C 150 meter	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	Gjennomsnitt
<b>Januar</b>								
Lista (Farsund)	7,1	8,7	9,1	8,5	7,9	7,9	9,2	8,3
Ytre Utsira	7,5	8,5	8,6	8,4	8,7	7,9		8,3
Sognesjøen	7,5	7,6	8,5	7,7	8,5	8,7	8,5	8,1
Gjennomsnitt	7,4	8,3	8,7	8,2	8,4	8,2	8,9	<b>8,3</b>
<b>Juli</b>								
Lista (Farsund)	5,7	5,4	7,9	6,5	7,1	6,2	6,5	6,5
Ytre Utsira	5,6	6,2	7,7	6,5	7,0	7,6	6,9	6,8
Sognesjøen	6,7	6,5	7,7	6,8	7,1	7,8	7,2	7,1
Gjennomsnitt	6,0	6,0	7,8	6,6	7,1	7,2	6,9	<b>6,8</b>

### 10.3 Sedimentering av slam

Stokes lov kan brukast til å finne samanhengen mellom partikkelstorleik og tidsbruk for botnfelling av slam frå tunnelvask. Tabell 32 viser sedimentering av kuleforma steinpartiklar med eigenvekt på 2,5 tonn/m<sup>3</sup>. Knuste partiklar har større overflate og møter større motstand i vatnet. Partiklar som inneheld asfalt er lettare slik at sedimenteringa kan ta lenger tid. Den teoretiske grensa for sedimentering i sandfang og oljeavskiljar, ligg mellom fin sand og grov silt. Dersom fraksjonen under 0,01 mm som svarar til støvfraksjon PM10, skal fjernast ved naturleg sedimentering, trengst det slambasseng med stor overflate i forhold til vassmengda.

På side 20 er det vist eksempel på sedimentering av silt- og leirpartiklar i store slambasseng. I undersjøiske tunnelar ser det ut til at også silt- og leirpartiklane blir borte frå pumpemagasina etter kortare tid utan at dette er dokumentert med nøyaktige målingar. Salt eller mineral i grunnvatnet kan vere ein medverkande faktor til at dei minste partiklane gror i hop, eller at dei store partiklane trekkjer til seg fleire mindre partiklar, slik at utfelling av dei finaste siltpartiklane går raskare når det er stor partikkelkonsentrasjon i vatnet. Sjå eksempel på agglomerat i støvprøve frå Karmøytunnelen på side 105.

Tabell 32: Teoretisk samheng mellom partikkeldimensjon og maksimal sedimentasjonsfart i sjøvatn ved 10 °C

Fraksjon		Maksimal diameter mm	Sedimenteringsfart		
Grovinndeling	Fininndeling		mm/s	m/døgn	cm/månad
Sand	Grov	2	1618	140	
		1	404	35	
	Middels	0,50	101	9	
	Fin	0,25	25	2,2	
		0,125	6,3	0,55	
Silt	Grov	0,063	1,6	0,14	416
	Middels	0,025	0,25	0,022	66
	Fin	0,0063	0,016	0,0014	4
Leir		0,0020	0,0016	0,00014	0,4
		0,0010	0,0004	0,000035	0,1

## 10.4 Olje- og slamavskiljing

Seriekopling av sandfangkummar er brukt i ein del eldre tunnelar, men blir ikkje brukt i nye tunnelar i dag på grunn av risikoen for spreiding av brann ved lekkasje av brennbar væske eller gass i tunnelen. Seriekopla kummar gjev jamnare vassmengder i den nedste delen av leidningsnettet og ekstra avrenningstid. Figur 140 på side 111 viser eit eksempel på redusert avrenning før alle kummane blir fylt opp og redusert vassmengde i to timar etter avslutta spyling. Den samla vassmengda etter klokka 06:00 utgjer berre 3,5 % av samla avrenning til bassenget. Effekten av ekstra botnfelling i sandfangkummane ved seriekopling, blir dermed svært liten sjølv om det er brukt små vassmengder. Ved spyling med fleire bilar i den same tunnelseksjonen, aukar vassmengda gjennom alle kummane, og seriekopling gjev truleg litt mindre sedimentering enn når kummane er parallellkopla til avlaupsrøret.

Med vertikal dykkar på utløpsrøret, kan det ventast sikker sedimentering av sandfraksjonen over 1,0 mm dersom den maksimale vassmengda opp gjennom dykkaren ikkje kjem over ca. 10 l/s. Ved bruk av eksentriske kjegler eller topp-plater på sandfangkummane, vil mindre partiklar også bli felt ut når sluk eller inntaksrør er plassert i stor avstand frå utløpet.

Fin sand med fraksjon over 0,063 mm kan bli botnfelt i ein kombinert olje- og slamavskiljar som er utforma slik at farten på vatnet opp mot utløpet blir mindre enn 1,6 mm/s. Erfaringane frå Karmøytunnelen viser at det også blir liggjande igjen siltpartiklar i slamkummane. Ein del av partiklane som er mindre enn 63 µm, blir ført ut i slambassenget der dei tyngste partiklane i siltfraksjonen blir felt ut før resten av partiklane følgjer vaskevattnet over til pumpemagasinet og ut i sjøen. Sjå eksempel på kornfordeling i botnslam på side 21 og 103.

I rapport nr. 619: «Renholdsforsøk i tunnel og gate i Trondheim våren 2015» vart det registrert store variasjonar i oppsamla mengde finstoff i Strindheimtunnelen. Silt- og leirfraksjonen (< 0,063 mm) varierte frå 3,4 % til 21,3 % av total mengde tørrstoff. Dette viser at det er eit stort potensiale for å redusere avrenninga av finstoff til slambassenget samanlikna med dei ti år gamle registreringane frå Granfosstunnelen og Nordbytunnelen i rapport nr. 99.

Tabell 33 gjev ein grov prognose for slamproduksjon i Rogfast ved ÅDT 10.000 med bakgrunn i erfaringstal og nye krav til vaskemetodar og utstyr som kan ventast før Rogfast blir opna for trafikk. Støvmengda som blir ventilert ut av tunnelen er usikker og kan bli redusert ved nye tiltak som reduserer resirkulering av sand og støv frå sidearealet i tunnelen. I kap. 11 er det skissert fleire alternative tiltak som kan redusere støvmengda i tunnellufta og redusere slammengda ved vask av tunnelen.

Tabell 33: Prognose for dekkslitasje og slamproduksjon i Rogfast

Dekke- og dekkslitasje ved ÅDT 10.000	% vekt	tonn/ km/år	Sum tonn/år	Volum m <sup>3</sup> /år
20 % piggdekkandel:	100 %	6,0	160	80
Ventilasjon av PM10 og fin sand (< 0,25 mm)	10 %	0,60	16	8
Suge- og feiebil	75 %	4,50	120	60
Sedimentering i sandfang	8 %	0,48	12,8	6,4
Sedimentering i slam- og oljeavskiljar	4 %	0,24	6,4	3,2
Til slam- og luftebasseng	3 %	0,18	4,8	2,4
Sedimentering i slam- og luftebasseng	2 %	0,12	3,2	1,6
Partikkelutslepp via pumpemagasin	1 %	0,06	1,6	0,6

Ein stor del av slitasjeprodukta frå bildekk og bremser har for liten diameter til å bli utfelt i sandfangkummane. Mengda av tungmetall i sandfraksjonen er truleg så liten at sanden oppfyller krava til tilstandsklasse 1 og 2 ut frå kriteria frå SFT. Dette må dokumenterast med prøvetaking og analyse før sandfraksjonen kan brukast om igjen. Botnslammet i oljeavskiljaren kan bli plassert i tilstandsklasse 4 eller 5 fordi tunge bitumenpartiklar blir klassifiserte som alifat C12 – C35. Utfelt slammengde er usikker og vil variere med vaskemetode/-vassforbruk og form og storleik på oljeavskiljaren. Sjå registreringar frå Karmøytunnelen i kap. 9.6.5.

Ved 1,5 km avstand mellom pumpestasjonane, kan det ventast at det botnfelte slammet i kvart basseng utgjer ca. 200 kg pr. år. Dette er for det meste middels og fin silt (< 25 µm). Dei minste partiklane følgjer vaskevattnet til inntaksmagasinet mot pumpene uavhengig av opphaldstid. Dersom slammagasinet er 50 cm djupt og får eit botnareal på 8 x 10 m, kan det gå over hundre år før det må tømmast. Dette slammet vil truleg innehalde store nok mengder av kopar og sink frå dekk- og bremse slitasje til at det blir plassert i tilstandsklasse 3 eller 4.

Mengda av andre tungmetall og PAH ligg innafør krava til helsebasert tilstandsklasse 2 - 3, men bitumen frå asfalt slitasje medfører at botnslammet likevel hamnar i tilstandsklasse 4 eller 5, men godt under grenseverdien for farleg avfall (20.000 mg/kg Alifater > C12 – C35).

Tabell 34: Utdrag av tilstandsklasser for jord. Konsentrasjon i mg/kg tørrstoff (www.SFT.no)

Tilstandsklasse/ stoff	1 Svært god	2 God	3 Moderat	4 Dårleg	5 Svært dårleg
Arsen (Ar)	< 8	8 – 20	20 – 50	50 – 600	600 – 1000
Bly (Pb)	< 60	60 – 100	100 – 300	300 – 700	700 – 2500
Kadmium (Cd)	< 1,5	1,5 – 10	10 – 15	15 – 30	30 – 1000
Kopar (Cu)	< 100	100 – 200	200 – 1000	1000 – 8500	8500 – 25000
Sink (Zn)	< 200	200 – 500	500 – 1000	1000 – 5000	5000 – 25000
Krom (III)	< 50	50 – 200	200 – 500	500 – 2800	2800 – 25000
Krom (II)	< 2	2 – 5	5 – 20	20 – 80	80 – 1000
Nikkel (Ni)	< 60	60 – 135	135 – 200	200 – 1200	1200 – 2500
Sum 16 PAH	< 2	2 – 8	8 – 50	50 – 150	150 – 2500
Alifater > C12 – C35	< 100	100 – 300	300 – 600	600 – 2000	2000 – 20000

Tabell 34 gjeld ved plassering av jordmasser på land der det er liten risiko for avrenning til sjø, vassdrag eller grunnvatn. Maksimalverdiane i klasse 1 er lik normverdiane i vedlegg 1 i forurensningsforskrifta. Ved avrenning til sjø eller vassdrag, blir det sett krav til maksimale mengder av slampartiklar i tillegg til strenge grenseverdier for tungmetall, PAH og alifat. Det må alltid gjerast ei grundig undersøking av resipienten for å fastslå tolegrensa for utslepp av partiklar.

Fylkesmannen i Oslo og Akershus har utarbeidd vegleiane grenser for tilførsel av suspendert stoff (uoppløyst materiale i vatn), men understrekar at dette er svært resipientavhengig og må vurderast i kvart enkelte tilfelle:

Sårbare vassdrag: maks 100mg/l  
 Meir robuste vassdrag, samt sjøresipient : maks 400 mg/l

## 11 Alternative tiltak mot svevestøv i Rogfast

### 11.1 Vegdekke med stor slitastjemandstand

#### 11.1.1 Krav til asfaltdekke

Materialkrav				
Materialer	ÅDT	≤ 5000	5001-15000	> 15000
<b>Stein</b>				
Flisighetsindeks		≤ 30	≤ 25	≤ 25
Los Angeles-verdi		≤ 25	≤ 25	≤ 15
Mølleverdi		≤ 10	≤ 10	≤ 7
Knusningsgrad		C <sub>50/20</sub>	C <sub>100/0</sub>	C <sub>100/0</sub>
<b>Bindemiddel</b>		70/100-160/220	50/70-70/100 PMB	35/50-70/100 PMB
<b>Fibertilsetning</b> <sup>1)</sup>		4-6 (Masseprosent av bindemiddel)		
Grensekurver (tilsiktet utgående sammensetning)				
Gjennomgang i masseprosent				
ISO-sikt		Ska 8	Ska 11	Ska 16
22,4 mm				100
16 mm			100	90-100
11,2 mm		100	90-100	46-66
8 mm		90-100	47-64	30-44
4 mm		38-53	30-45	
2 mm		24-36	20-32	15-30
0,25 mm		14-22	12-20	10-17
0,063 mm		10-14	9-13	8-12
Minimum bindemiddelinhold tilsiktet utgående sammensetning <sup>3)</sup>				
Min. bindemiddelinhold <sup>2)</sup>		6,6	6,2	6,0

- 1) Angitt mengde tilsetning av fiber er basert på cellulosefiber, andre fibertyper vil kreve andre tilsetningsmengder
- 2) Minimum bindemiddeltilsetning i % av totalvekt asfaltmasse korrigeres med hensyn på steinmaterialets densitet ved å multiplisere med faktoren  $\alpha = \frac{2,650}{\rho_a}$ , hvor  $\rho_a$  er steinmaterialets densitet i megagram pr kubikkmeter (Mg/m<sup>3</sup>), bestemt i henhold til NS-EN 1097-6.
- 3) For masstyper med D<16mm vil bindemiddelinholdet normalt måtte ligge ca. 0,2 % over minimum bindemiddeltilsetning.

Figur 142: N200, figur 632.5: Krav til delmaterialar og utgåande tilsikta samansetning. Sjelettasfalt (Ska)

I hb. N200 *Vegbygging* er det sett minimumskrav til delmaterialane som skal brukast i asfaltdekke. Ska 16 har best motstand mot piggdekkslitasje og blir brukt på vegar utanfor tettbygd strøk der det ikkje blir stilt spesielle støykrav. I R761 Prosesskode 1 (2015) vart kravet til polymermodifisert bindemiddel PMB, endra til type 65/105-60. Dette er eit generelt krav både for veg i dagen og tunnel.

Ska 16 for ÅDT>15000 kan brukast som utgangspunkt ved dimensjonering av vegdekke i nye tunnelar. Tre ulike indeksar som kom inn i hb. 018 *Vegbygging* i 2005, skal sikre at tilslaget har rett kvalitet:

- Los ankeles-verdien (LA) er eit mål for motstand mot knusing ved slagpåkjenning.
- Mølleverdien (Mv) er eit mål for slitasjemotstand. Ein låg verdi gjev best motstand mot piggdekkslitasje.
- Flisighetsindeks (FI) er eit mål for kornform. Lange eller flate steinkorn har mindre motstand mot knusing enn kubiske korn. Tilslag med låg FI har best gjennomsnittleg kornform.

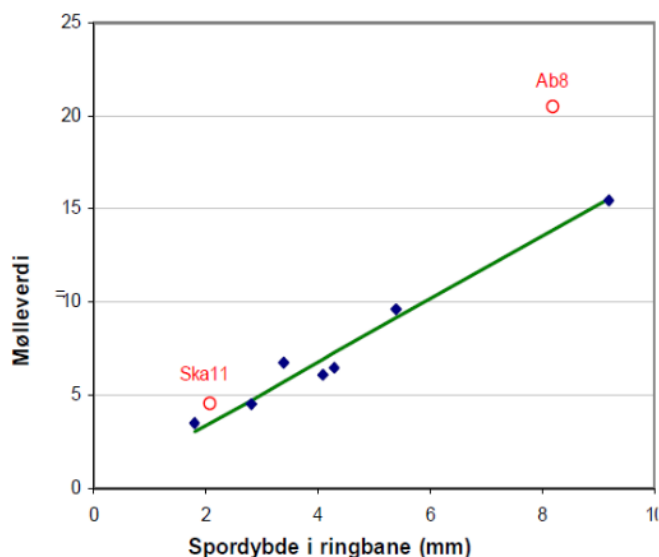
I 1998-utgåva av hb. 018 *Vegbygging* vart slitasjemotstanden målt som *Abrasjon* og SPSV (spesifikk piggdekkslitasje). Desse krava var strengare enn den nye felles europeiske asfaltstandarden frå 2006 (NS-EN 13108-serien). Resultat av slitasjeforsøk ved VTI tyder på at produksjon av vegstøv kan reduserast med minst 50 % ved bruk av tilslag med betre kvalitet enn minimumskrava i hb. N200. Sjå side 25.

### Sammenhengen mellom sporslitasje i ringbane og mølleverdi

Ortogonal regresjon:  
Mølleverdi = 1.689 \* Ringbane + 0.013

Regresjonskoeffisient R<sup>2</sup> = 0.97

Dekketype	Materiale	Ringbane	Mølleverdi
Ab11	Alvdalen	1.8	3.5
Ska11	Hadeland	2.1	4.5
Ab11	Hadeland	2.8	4.5
Ab11	Tau	3.4	6.8
Ab11	Hanekleiva	4.1	6.1
Ab11	Lierskogen	4.3	6.5
Ab11	Vassfjell	5.4	9.6
Ab8	Bremanger	8.2	20.5
Ab11	Hedrum	9.2	15.5



Figur 143: Samanheng mellom sporslitasje og mølleverdi for Ska 11 og Ab 11 (Kjelde: Dekkeseminar 2007)

<p><b>SIV - Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker</b> <b>KONKLUSJONER - Steinmaterialer</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulemølletesten gir en god rangering av steinmaterialer med hensyn på motstand mot piggdekkslitasje.</li> <li>• De nye krav (Mv) er mindre strenge enn tidligere krav (Sa-verdi)</li> <li>• Rimelig å opprettholde dagens krav til Mølleverdi</li> <li>• God overenstemmelse mellom sporslitasje i felt og beregninger med VTIs slitasjemodell.</li> </ul>	<p><b>SIV - Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker</b> <b>KONKLUSJONER – Krav til resept (1)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Det er et stort potensial i å oppnå lang dekkelevetid ved valg av sterke bergarter som dekketilslag.</li> <li>• Piggdekkslitasjen er svært avhengig av mengde stein større enn 4 mm.</li> <li>• Reduksjon i største steinstørrelse i våre massetyper medfører at mørtelfasen får større betydning for slitasjen.</li> <li>• Felldata på vegnetnivå stemmer i prinsipp godt overens med resultatene fra ringbaneforsøkene.</li> </ul>
--	--

Figur 144: Konklusjonar frå Dekkeseminar april 2007 (Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker 2001 – 2005).

Samanhengen mellom steinmaterialar og støvproduksjon er godt dokumentert i ITM-rapport 158 frå 2006 :

*«Måtingarna med provvægsmaskinerna i såväl Sverige som i Finland har visat att stenmaterialet i beläggnigen har stor betydelse. Skillnaden mellan en granitbaserad och kvartsitbaserad beläggnigen var en faktor 3, men även två olika kvartsitbeläggnigen gav olika PM10 bildning (Gustafsson et al., 2005; 2007). Även mobila mätningar i Sverige tyder på att olika typer av asfalt ger olika emissioner (Hussein et al., 2007). Detta är väl i överensstämmelse med mätningar av det totala väglitaget vid dubbdäcksanvändning (Jacobson & Wågberg, 2004).*

*Mätningar av totalt väglitage har visat att slitaget med dubbdäck kan vara upp emot 4 gånger större på våta vägbanor jämfört med torra (Jacobson & Wågberg, 2007)».*

Ved ringbaneforsøk er det dokumentert at tilslag med mølleverdi over 7,0 gjev vesentleg dårlegare motstand mot piggdekkslitasje enn tilslag med mølleverdi på 3,5. I Rogfast kan det ventast kondens og våt vegbane i sommarhalvåret. Det er dermed grunn til å vurdere om det bør stillast strengare krav til tilslagsmaterialar i denne tunnelen enn minimumskrava i hb. N200. Det bør vurderast å leggje ut prøvofelt med Ska 16 der tilslaget har mølleverdi på 3,5 i eit par tunnelar. Dette kan gje eit betre grunnlag for å velje rett asfaltresept i slitelaget før dette må bestillast. Legging av slitelag i Rogfast kan eventuelt utførast i lag med dei ordinære asfaltkontraktane det siste året før tunnelen blir opna.

I tillegg til dei vanlege funksjonskrava for vegdekke i dagen som bereevne, slitasjemotstand, friksjon og lysrefleksjon, bør det også leggjast stor vekt på støvproduksjon i tunnelen. Større materialkostnader kan forsvarast dersom det gjev redusert energibruk til ventilasjon og lenger intervall mellom kvar gong tunnelen må feiast og vaskast.

#### 11.1.2 Krav til betongdekke

I hb. N200, kap. 660 er det stilt generelle krav til betongdekke. Uarmert betong er mest brukt i dag. Ved tilslag frå slitesterke bergarter og betongkvalitet minimum B65, kan det ventast at betongdekke gjev vesentleg mindre produksjon av sand og grove siltpartiklar enn asfaltdekke.

Sikt	Passert sikt, masse-%	Tillatt variasjon ved leveranse, masse-%
16 mm	94-100	
11,2 mm	65-70	± 2
8 mm	45-50	
4 mm	38-42	± 2
2 mm	30-35	
1 mm	20-30	
0,5 mm	12-20	± 1
0,25 mm	6-10	
0,125 mm	2-4	± 0,5

Produksjonen av svevestøv er ikkje godt nok dokumentert til å vurdere om kostnadene med ventilasjon og reinhald av Rogfast blir mindre ved betongdekke enn ved legging av asfaltdekke med ekstra høg slitasjemotstand.

For å unngå polering av overflata og redusert friksjon, bør det vurderast å auke nominell kornstorleik opp til 22 mm.

Fordelar og ulemper med betongdekke er omtalt i hb V263 Betongdekker (1994) og Intern rapport nr. 1644.

Figur 145: Anbefalt korngradering i hb. N200

## 11.2 Sideareal og støvlagring

Vegdekke med høg slitasjemotstand og redusert piggdekkbruk kan redusere produksjonen av støv og sand i Rogfast med 80 – 90 % samanlikna med Lærdalstunnelen. Men fem gonger større trafikk og høgere fartsnivå i Rogfast, kan gje like stor årleg produksjon av sand og støv.



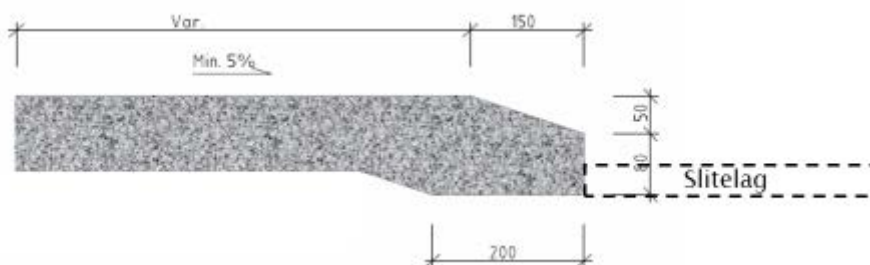
Med dagens rutinar for tunnelvedlikehald, kan det bli lagra over 50 m<sup>3</sup> sand- og støvpartiklar på vegbane og sideareal i intervallet mellom kvar tunnelvask. Dette svarar til eit 0,5 mm tjukt støvlag som er jamt fordelt over sidearealet.

I praksis blir det samla mykje meir sand og søppel i havarinisjene enn i resten av tunnelen. Ein god del av dei minste støvpartiklane vil feste seg på vegg- og takelementa. Det synlege støvlaget på sidearealet mellom havarinisjene, kan dermed bli mindre enn 0,5 mm før det blir feia opp.

Figur 146: Eksempel på støvlagring i 90 m lang havarinisje (E16 Vangstunnelen)

Dersom det ikkje blir sett i verk nye tiltak for effektiv mellomlagring eller fjerning av støvet, kan det ventast store utfordringar med støv i tunnelufta på grunn av resirkulering av tørt støv. Støvmålingane i Byhaugtunnelen våren 2016 viste liten nedgang i støvnivået ved overgang frå vinterdekk til sommardekk. Dette er eit godt eksempel på at oppsamla støv frå piggdekk-slitasje blir resirkulert lenge etter at piggdekkssesongen er avslutta.

### 11.2.1 Geometrisk utforming



Figur 147: Eksempel på sideareal (Figur 4.22 i N500, mars 2010)

I kap. 6 er det vist eksempel på ulik utforming av sidearealet i gamle og nye tunnelar. I gamle tunnelar med grusskulder og fuktig veggareal, er det som regel lite støv i lufta. I tunnelar med asfalt eller betong på sidearealet, varierer kapasiteten til lagring av sand- og støvpartiklar med breidde, overflatestruktur og geometrisk utforming.

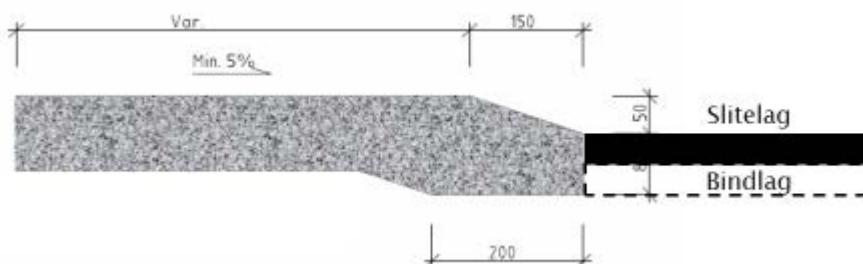
Det er mange eksempel på at tunnellufta er nesten støvfri dei fyrste dagane etter at tunnelen er vaska. Fuktige betongflater held godt på det nyproduserte støvet, men resirkulering startar igjen når tunnelen tørkar opp etter vask. Etter kvart som sandmengda på sidearealet veks, blir meir sand kasta tilbake på vegbana igjen når store bilar passerer. Resirkulering og knusing av resirkulert sand, er hovudårsaka til dei store støvmengdene som ofte blir observert like før tunnelane blir vaska.



Figur 148: Eksempel på utfelling av søppel og fin sand i snunisje i Bømlafjordtunnelen

I hb. N500 er det krav om at kantsteinen skal plasserast 0,25 m frå køyrebanekanten. I hb. N302 Vegoppmerking (2015) er det presisert at avstanden til kantstein skal målast frå senter kantlinje. Breidda på kantlinja er 150 mm i tunnelar med fartsgrense over 80 km/t. (Dette gjeld også i tunnelar på motorveg). I Rogfast vil standard vegmerking med 1,5 mm plast, gje rom for eit sandlager på ca. 30 m<sup>3</sup> mellom kantline og kantstein dersom kantlina ikkje blir frest ned i vegdekket. I tunnelar med høg trafikkfart, vil turbulensen frå trafikken blåse ein god del av den tørre sanden ut på sidearealet. Sinusfresing eller anna form for senking av kantlinjer, kan endre fordelinga av sand mellom køyrebane og sideareal.

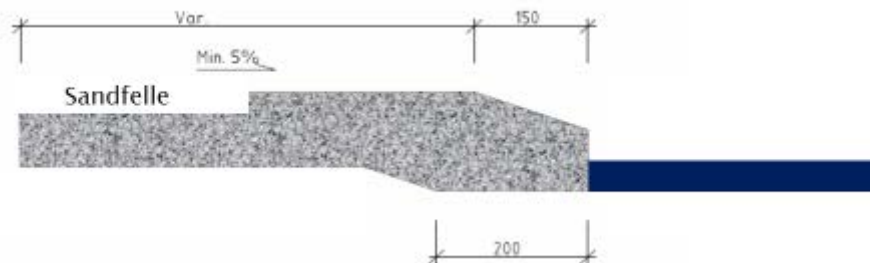
Den vertikale fronten på sidearealet blir brukt for å markere plass til legging av eit eventuelt nytt slitelag over det originale slitelaget. Figur 25 på side 31 viser eksempel på at dette kan medføre problem med resirkulering av sand når bilar køyrer ut mot kanten. I mange tunnelar er kantlina ofte dekt av sand og støv. Det bør vurderast om sidearealet bør senkast 40 mm for å unngå det vertikale profilet mot vegdekket. Denne utforminga vil også redusere risikoen for punktering og totalhavari ved køyring mot kantsteinen med lågprofildekk. Dersom det skulle bli behov for tjukkare vegdekke i framtida, kan overgangen mot sidearealet tilpassast med kantfresing i det gamle bindlaget.



Figur 149: Sideareal frå N500 utan vertikal front mot vegdekket

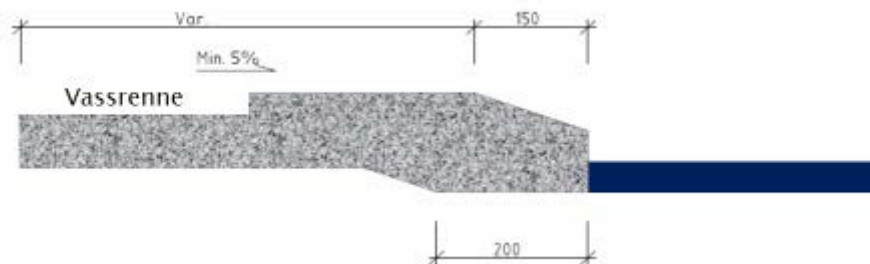


I ein del tunnelar er sidearealet støypt i to omgangar med ein stålglatte del nærast vegbanen og ei brettskurt eller avtrekt grov betongflate ut mot bergveggen. Figur 25 på side 31 viser at det blir samla lite sand på den glatte flata nærast køyrebanen. Den ca. 50 mm djupe sandfella som er etablert med ein senka ytre del av sidearealet i Åkrafjordtunnelen, ser ut til å fungere godt. Det bør utførast fullskala forsøk med varierende breidde og djupne på sandfella og nøyaktig måling av oppsamla sand- og støvmengder i kvart profil.



Figur 150: Sideareal frå N500 med sandfelle frå Åkrafjordtunnelen

### 11.2.2 Vassrenne med utnytting av lekkasjevatnet



Figur 151: Prinsippskisse av kombinert støvfelle og vassrenne ut mot veggen

Erferingane frå mange eldre tunnelar, viser at støvet samlar seg på fuktige flater. På side 30 er det vist eksempel frå Byfjordtunnelen der lekkasjevatnet frå tunnelveggen blir brukt både til støvfjerning og støvbinding. Denne kombinasjonen av sandfelle og vassrenne bør vurderast nærare. I sommarhalvåret vil ei vassrenne samle eventuelt kondensvatn frå tunnelveggen. Om vinteren kan kontrollert tapping av små vassmengder frå drens-systemet, fjerne ein del av dei minste støvpartiklane og hindre at større partiklar blir feia tilbake til vegbana av den kraftige turbulensen frå trafikken. Ved bruk av lekkasjevatn kan det bli utfelt salt som gjev ekstra støvbinding i renna når det er tørt luft i tunnelen og sjøvatnet fordampar. Det bør gjennomførast fullskala forsøk i ein eksisterande undersjøisk tunnel for å finne optimal form og plassering av ei vassrenne i sidearealet.

### 11.2.3 Sandfeller ved sjaktene i Rogfast

Med utgangspunkt i vurderingane i kap. 10 og erferingane frå andre tunnelar med sjaktventilasjon, kan vi anta at det blir transportert fleire tonn støv og fin sand ut gjennom sjaktene kvart år dersom det ikkje blir bygd effektive sandfeller i tunnelen. Sandfellene kan kombinert med enkle søppelnett som samlar opp papir og plast slik at dette ikkje blir kasta ut i terrenget rundt sjaktene. Figur 117 på side 100 viser eksempel på oppsamling av sand og søppel i enden av lydfella i Karmøy-tunnelen. Framfor lydfella er det for sterk turbulens til at

sand og søppel blir liggjande, men ein del av sanden blir felt ut i rommet mellom lydfelle og ventilatorar.



Figur 152: Lydfellene samlar store støvmengder sjølv om farten på lufta er dobbelt så stor som ut i tunnelen

### 11.3 Støvsuging med robot

Dagleg støvsuging av sidearealet kan redusere det generelle støvnivået i tunnelen slik at intervallet for vask av kameralinser og skilt kan aukast, og det kan bli lenger intervall mellom kvar gong tunnelen må stengjast for heilvask.

I Rogfast ligg det godt til rette for automatisert støvsuging av sideareala. Fire robotar på kvar side av Kvitsøykrysset og ein robot i krysset, kan byggjast med stor nok kapasitet til dagleg støvsuging av heile sidearealet. Dersom vi tek utgangspunkt i ein årsproduksjonen på 160 tonn og oppsamling av 100 tonn i fem månader frå oktober til mars, blir den daglege mengda ca. 700 kg eller knapt 100 kg for kvar robot.

Robotane bør ha stor lengde og liten høgde og dekkje heile breidda av sidearealet og den nedste delen av tunnelveggen. Støvposen må ha plass til ein del tomflasker og anna søppel i tillegg til ei støvmengde på ca. 100 liter. Roboten kan programmerast til å oversjå større avfall som til dømes eksosanlegg og hjulkapslar. Stasjonar for automatisk poseskift kan plasserast ved tunnelportalane og i Kvitsøykrysset.

Motoren på robotane blir ein del mindre enn på ein middels stor plentruktor som har motoreffekt på ca. 10 kW. Ved gjennomsnittsfart på 1,0 m/s, tek turen fram og tilbake gjennom

halve tunnelen knapt 8 timar, slik at samla effektbehov på kvar tur blir maksimalt 80 kWh. Til samanlikning vart bilmodellen Tesla levert med batterikapasitet opp til 85 kWh i 2014. Fordelar og ulemper med elektrisk drift, gass eller diesel må vurderast. Bensindrift er mindre aktuelt på grunn av lågt flammepunkt (-40 °C) og brannrisiko ved lekkasje eller trafikkuhell.

#### 11.4 Vinterfartsgrense

Rogfast blir dimensjonert for ei maksimal fartsgrense på 110 km/t. Forsøk med redusert fartsgrense på rv. 4 mellom Sinsen og Grorud vinteren 2004-2005, gav positive resultat. Det vart målt gjennomsnittleg fartsreduksjon på 7 – 10 km/t og 39 % mindre svevestøv langs vegen<sup>20</sup>. Dette kan bety at støvproduksjonen i Rogfast ved 110 km/t, blir ein god del større enn det som er målt ved slitasjeforsøk. Ved ringbanetest i laboratoriet blir støvet samla opp rett bak bilhjulet. Dermed blir ikkje effekten av resirkulering målt (sjå kap. 6).

Senking av den generelle fartsgrensa om vinteren blir brukt på ein del vegar i tettbygde strøk, men er førebels ikkje vurdert som eit aktuelt tiltak i Rogfast. Kortvarig nedsetjing av fartsgrensa kan derimot bli aktuelt for å senke støvnivået under dei største trafikktoppane. Ved tovegstrafikk i eitt løp, bør fartsgrensa senkast til 60 km/t både for å dempe produksjon og resirkulering av støv og for å redusere konsekvensane ved møteulukker.

#### 11.5 Fast ventilasjonsretning ved tovegstrafikk

I rapport nr. 138 (2012) er det vist to ulike ventilasjonsprinsipp ved tovegstrafikk i Rogfast. Ved å snu ventilasjonsretninga i halve tunnelen, vil ujamne trafikkmengder nordover og sørover gje lite utslag i ventilasjonsbehovet samanlikna med fast ventilasjonsretning i heile tunnelen. Dette alternativet kan dermed gje litt rimelegare ventilasjon ved tovegstrafikk. Tunnelen kan også få litt ekstra kapasitet ved tovegstrafikk dersom dette blir akseptert ut frå risikovurdering.

Men resultatet frå støvmålingane som vart utført i fleire ulike tunnelar våren 2016, viser at det blir avsett store mengder av støv og sand i tunnelane. I tunnelar med fast ventilasjonsretning, aukar støvmengda gradvis innover med ventilasjonsretninga. Sanddynene i havarinisjene blir forma etter den dominerande vindretninga. Innblåsing av frisk luft i motsett retning, kan dermed medføre resirkulering av større mengder sand og støv frå havarinisjer og sideareal. Start av impulsvifter for å snu ventilasjonsretninga, kan forsterke denne effekten. Dette kan vere ei av fleire moglege forklaringar på dei høge støvkonsentrasjonane som er registrerte i fleire tunnelar med skiftande trekkretning. Alternativet frå 2012 med snudd ventilasjonsretning ved tovegstrafikk, kan dermed leggjast bort. Ventilasjonsretninga i Rogfast bør ikkje endrast ved omlegging til tovegstrafikk i eitt løp.

---

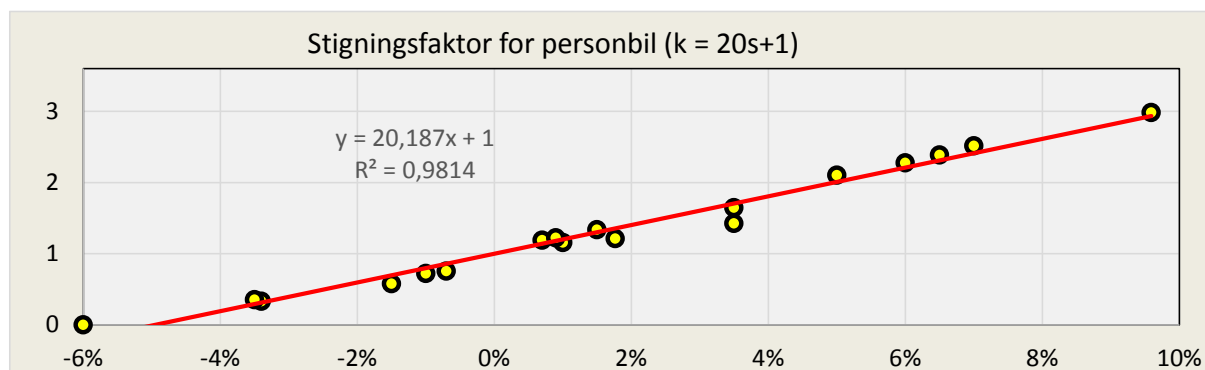
<sup>20</sup>

[https://www.regjeringen.no/contentassets/d583e96796c7499fa0e78f506a5a58a0/budsjett2011\\_sp2.pdf?id=279709](https://www.regjeringen.no/contentassets/d583e96796c7499fa0e78f506a5a58a0/budsjett2011_sp2.pdf?id=279709)

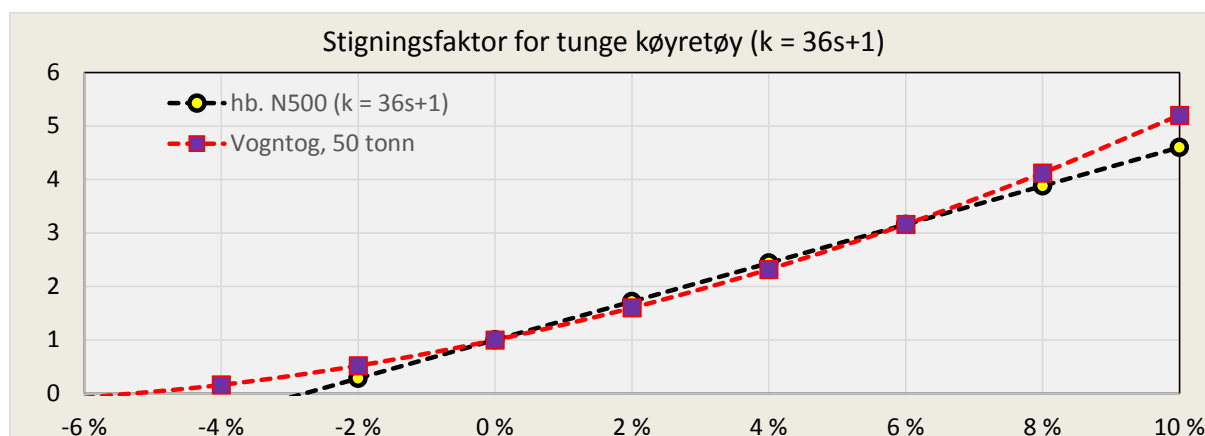
## 12 Oppsummering og konklusjon

### 12.1 Stigningsfaktorar for NO<sub>x</sub>-emisjon

Figur 153 viser lineær samanheng mellom auke og energibruk for ein personbil med gjennomsnittleg dieselforbruk på 0,5 liter/mil på flat veg. Målingane vart utført i lange tunnelar med jamn stigning og fart på 80 km/t. I rapporten «*Ferjefri E39 – klimaeffekter*» er det vist til målingar med ein Volvo V70 personbil med bensinmotor og eit Volvo FH16 750 lastebil med 50 tonns last som køyrde E39 og motorvegstrekningar på E16 og E18. Ved 10 % stigning hadde personbilen tre gonger større forbruk enn på flat veg. Forbruksmålingane med bensinmotor gav dermed ingen endring av stigningsfaktorane for personbil.



Figur 153: Målt stigningsfaktor for drivstoff-forbruk for personbil (Peugeot 308 diesel)<sup>21</sup>



Figur 154: Alternative stigningsfaktorar for drivstoff-forbruk for store køyretøy

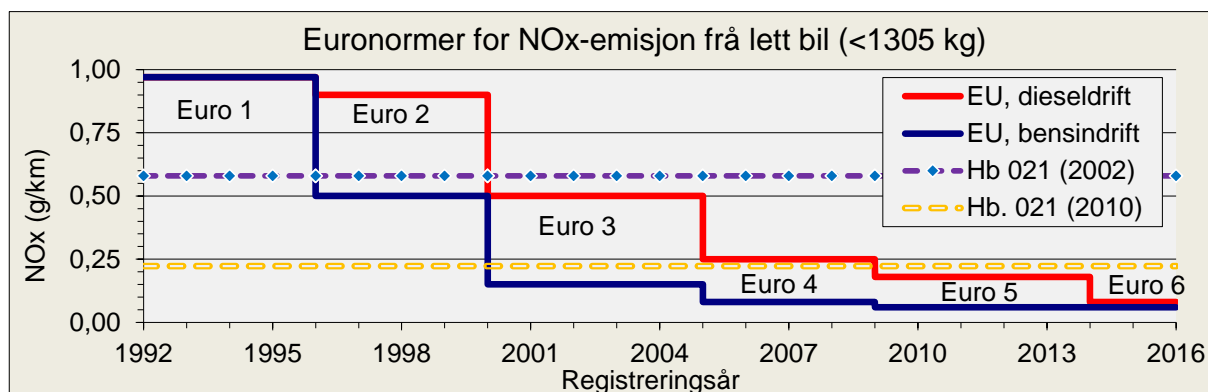
Figur 154 viser at testen med 50 tonns vogntog gav større dieselforbruk ved stigning over 6 % og ved køyring nedover enn stigningsformelen for tunge køyretøy i hb. N500. Dette kan skuldast ujamn køyrefart under testen på E39 på grunn av skarpe horisontalkurver og strekningar med smal køyrebane. I ein tunnel med god geometrisk standard, er det lite sannsynleg at eit 50 tonns vogntog vil få eit målbart dieselforbruk ved fall over ca. 3 %.

Emisjonsfaktorane i 2010-utgåva av hb. N500 er baserte på at det er eit konstant forhold mellom drivstoff-forbruk og emisjon av NO<sub>x</sub>. Måleresultata frå Lærdalstunnelen og Gudvangatunnelen gjev ikkje grunnlag for å endra dette.

<sup>21</sup> Formelen for lette køyretøy i hb. N500 har 25 % tillegg i stigning pga. ujamn fart m.m.

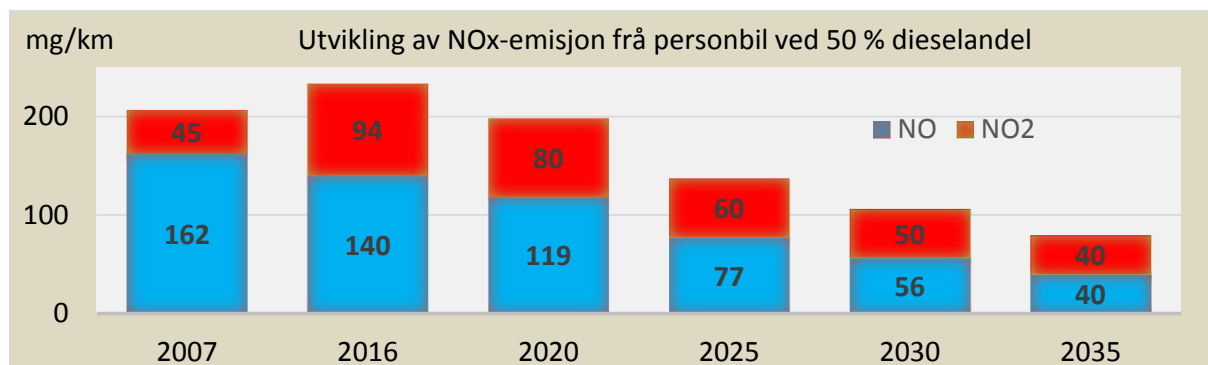
## 12.2 Utvikling av NO<sub>x</sub>-emisjon

Målinger i Lærdalstunnelen viser at NO-konsentrasjonen er redusert med 50 % frå 2007 til 2016, men det er liten endring i NO<sub>2</sub>-nivået. Dette skuldast utvikling av effektiv avgassreinsing og strenge utslppskrav for NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) frå tungtrafikken. Figur 8 på side 11 viser at det kan ventast sterk nedgang i utslipp av NO<sub>x</sub>- og PM10 frå tungtrafikken i åra framover i takt med utskifting av gamle vogntog med Euro 5-motor. Dette vil gje reduserte ventilasjonskostnader frå måndag til fredag.



Figur 155: Historisk utvikling av grenseverdier for personbil og dimensjoneringsverdier for NO<sub>x</sub> i hb. 021 (N500)

Dersom overgangen frå bensin til dieseldrift for personbilar stoppar ved ca. 50 % dieselandel, kan vi vente ein svak nedgang i NO<sub>2</sub>-utslepp frå personbilane frå 2017 sjølv om effekten av Euro 6 kjem nokre år seinare enn planlagt. Fram mot 2025 kan det også ventast strengare utslppskrav og elektrisk drift på ein større del av bilane.



Figur 156: Framskrivning av NO<sub>x</sub>-emisjon frå personbilar frå 2016 til 2035 ved 50 % dieselandel

Tabell 35: Forslag til emisjonsverdier for NO<sub>2</sub> og NO i 2025

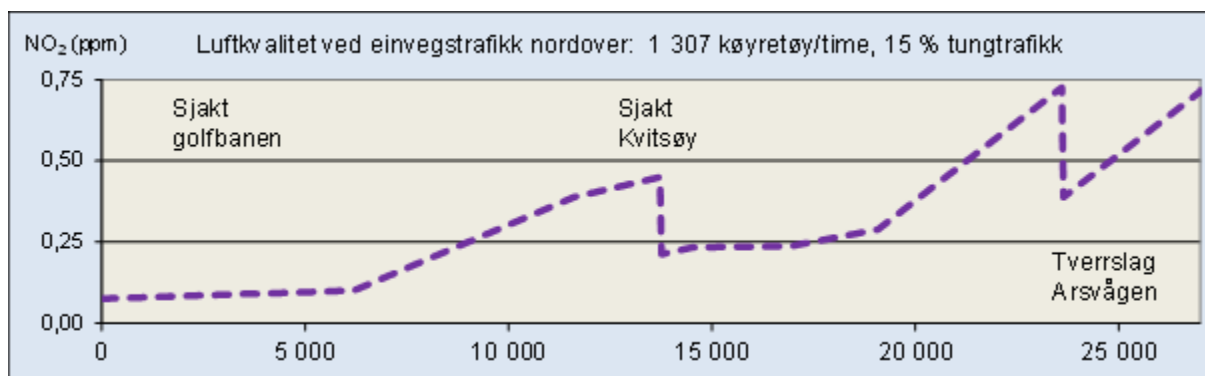
Gjennomsnittleg NO <sub>x</sub> -emisjon i 2025 (l/km/bil)				Volum NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>
Køyretøylengde	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	
Inntil 5,6 m	0,03	0,06	0,09	33 %
Over 5,6 m	0,10	0,90	1,00	10 %

Tabell 35 inneheld forslag til emisjonsverdier for NO<sub>2</sub> og NO i 2025. Etter 2025 er det god grunn til å rekne med at den årlege nedgangen i NO<sub>2</sub>-utslepp blir større enn trafikkauken. Prognosar for NO<sub>2</sub>-utslepp i opningsåret kan dermed leggjast til grunn for dimensjonering av ventilasjonsanlegget i Rogfast.

### 12.3 Dimensjonerande NO<sub>2</sub>-nivå i Rogfast

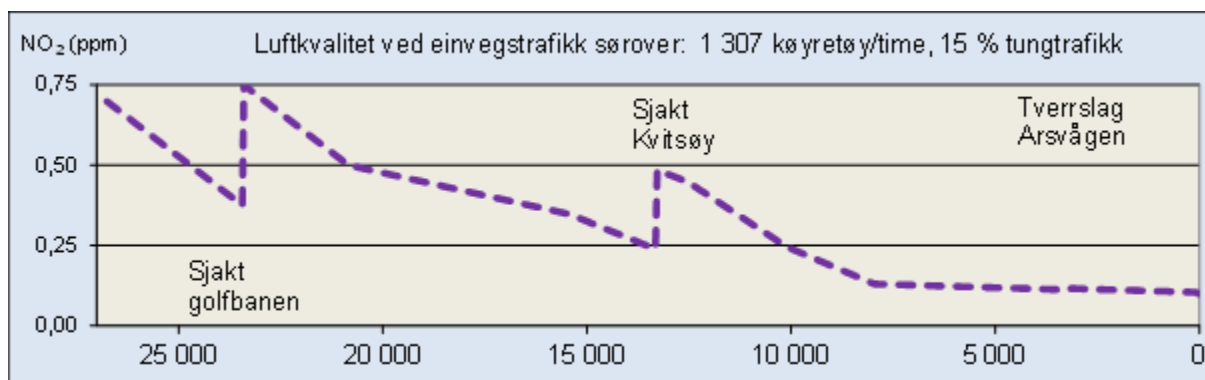
Rogfast får kapasitet til å skifte ut lufta i tunnelen fleire gonger i timen gjennom sjakter og tverrslag. Ved einvegskøyning og gjennomsnittsfart på 90 km/t, fungerer bilane som stempel som gjev medvind på over 6 m/s ved dimensjonerande timetrafikk. Når frisklufts-ventilatorane ved Kvitsøy går med litt større kapasitet enn avtrekks-ventilatorane, vil eit svakt overtrykk i krysset gje naturleg trekk oppover i armen mot Kvitsøy. Det blir jamn medvind i heile tunnelen dersom det blir trekt ut og tilført jamstore luftmengder ved golfbana og Arsvågen.

Når det er stor trafikk blir utluftingstida mellom Kvitsøy og Arsvågen knapt ein halv time. Figur 157 viser at NO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i nordgåande tunnel aukar mest i stigninga opp mot Bokn. Når 2/3 av trafikken går nordover, må ca. 50 % av lufta skiftast ut både ved Kvitsøy og Arsvågen. Sjaktventilasjon med avtrekk av tunnelluft og innblåsing av frisk luft, gjev låg gjennomsnittskonsentrasjon av NO<sub>2</sub> og låge energikostnader i Rogfast samanlikna med andre lange tunnelar. Samla effektbehov ved dimensjonerande timetrafikk på 1850 køyretøy/time blir ca. 400 kW. Ujamm retningsfordeling på trafikken gjev små variasjonar i energibruk, fordi redusert luftbehov i det eine tunnellopet gjev omtrent tilsvarende auke i det andre.



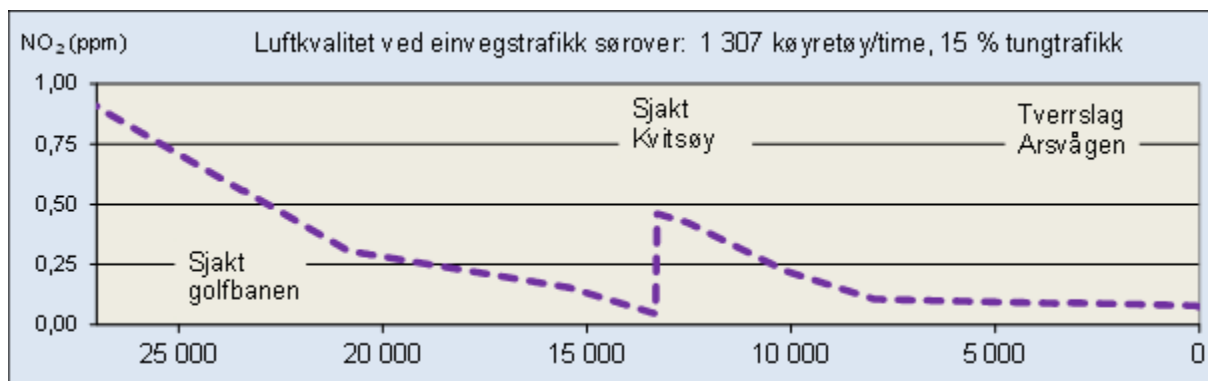
Figur 157: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå frå Harestad til Laupland ved dimensjonerande timetrafikk nordover (ÅDT 13.000)

I sørgåande løp er stigninga mot Harestad kortare enn stigninga mot Bokn i nordgåande løp, men det blir liten differanse i samla luftbehov. Figur 157 viser at NO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i sørgåande tunnel aukar sterkt i stigningane opp mot Kvitsøykrysset og Harestad. Når 2/3 av trafikken går sørover, kan 50 % av lufta bli skifta ut ved Kvitsøy og 50 % ved golfbana. Samla energibehov til sjaktventilatorane blir ca. 425 kW ved dimensjonerande timetrafikk på 1850 køyretøy/time (sum begge retningar).



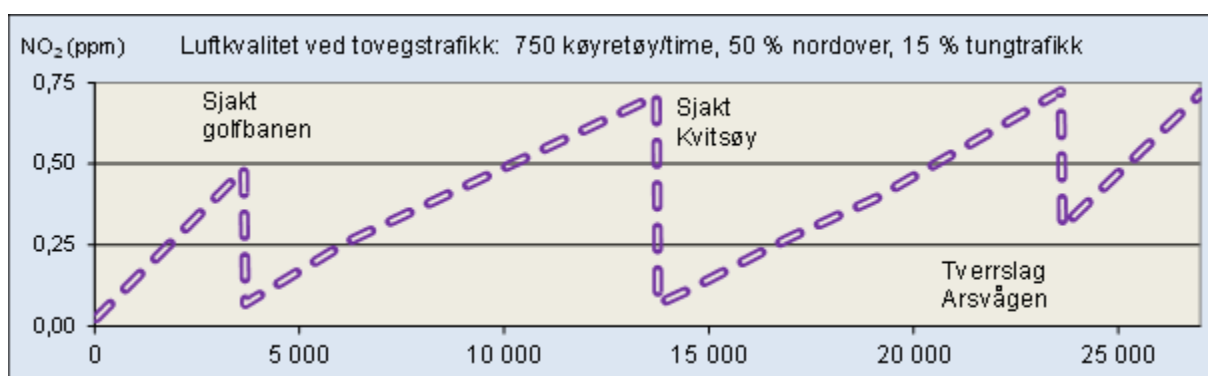
Figur 158: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå frå Laupland til Harestad ved dimensjonerande timetrafikk sørover (ÅDT 13.000)

Nedgangen i NO<sub>2</sub>-emisjon frå nye bilar, gjer det naturleg å stille spørsmål om det blir behov for sjaktene ved golfbana etter 2030. Dersom desse sjaktene ikkje blir bygde, må ein større del av lufta skiftast ut ved Kvitsøy. Figur 159 viser variasjon i NO<sub>2</sub>-nivået ved dimensjonerande timetraffikk i sørgående løp dersom det ikkje blir avtrekk ved golfbana. NO<sub>2</sub>-konsentrasjonen ut mot Harestad går litt opp, men det gjennomsnittlege NO<sub>2</sub>-nivået frå Kvitsøy til Harestad går likevel ned når 90 % av lufta blir skifta ut ved Kvitsøy. Samla effektbehov til ventilasjon av heile tunnelen aukar til ca. 600 kW. Det er ein føresetnad at det blir sett inn effektive tiltak mot svevestøv slik at det ikkje trengst ekstra ventilasjon for å blåse støvet ut av tunnelen.



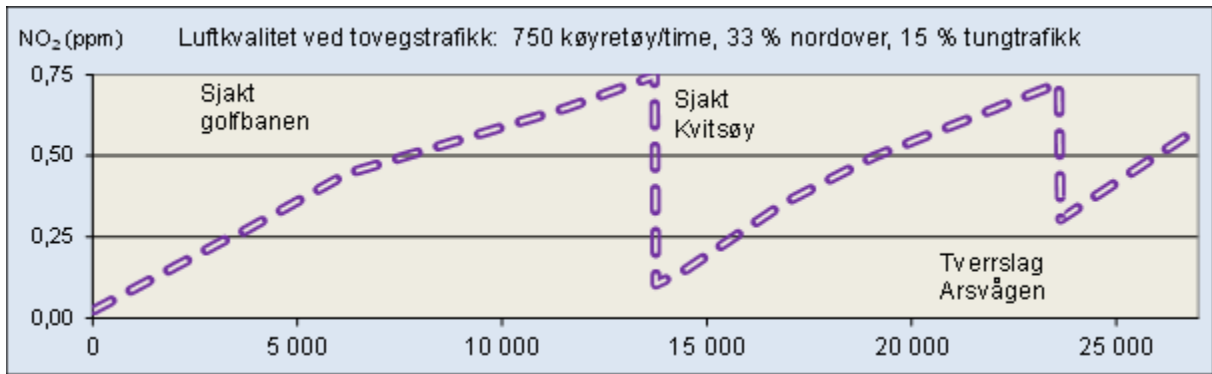
Figur 159: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå frå Laupland til Harestad til ved dimensjonerande timetraffikk sørover (ÅDT 13.000)

Ved stenging av det eine tunneløpet og tovegstrafikk i det andre, må trafikkmengda reduserast, og farten må senkast for å oppnå eit akseptabelt risikonivå. Dimensjonerande timetraffikk ved tovegstrafikk er sett til 750 køyretøy/time med maksimalt 2/3 mot ventilasjonsretninga. Figur 160 viser eit eksempel på NO<sub>2</sub>-konsentrasjon i nordgåande tunnel. Sjølv om 90 % av lufta blir skifta ut både ved golfbanen, Kvitsøy og Arsvågen, og trafikken er 60 % mindre enn dimensjonerande einvegstrafikk, trekkjer ventilasjonsanlegget 5 - 8 gonger meir energi enn ved einvegskøyring. Årsaka er at ein stor del av impulsventilatorane må takast i bruk for å drive lufta gjennom tunnelen når stempeleffekten frå trafikken blir borte eller går mot ventilasjonsretninga.



Figur 160: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå ved jamn tovegstrafikk og ventilasjon nordover mot Laupland

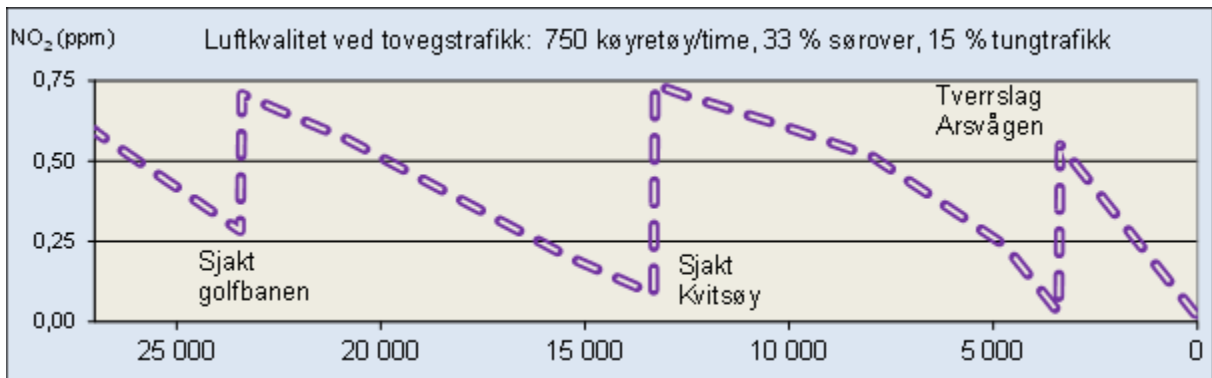
Dersom det ikkje blir bygd sjakter ved golfbanen, må farten på lufta aukast for å oppnå like god gjennomsnittleg luftkvalitet mellom Harestad og Kvitsøy. Effektbehovet aukar til ca. 3 MW når det er jamn trafikk i begge retningar og 4 MW når 2/3 av bilane køyrer sørover. Figur 161 viser variasjonane i NO<sub>2</sub>-nivået når det er størst trafikk sørover.



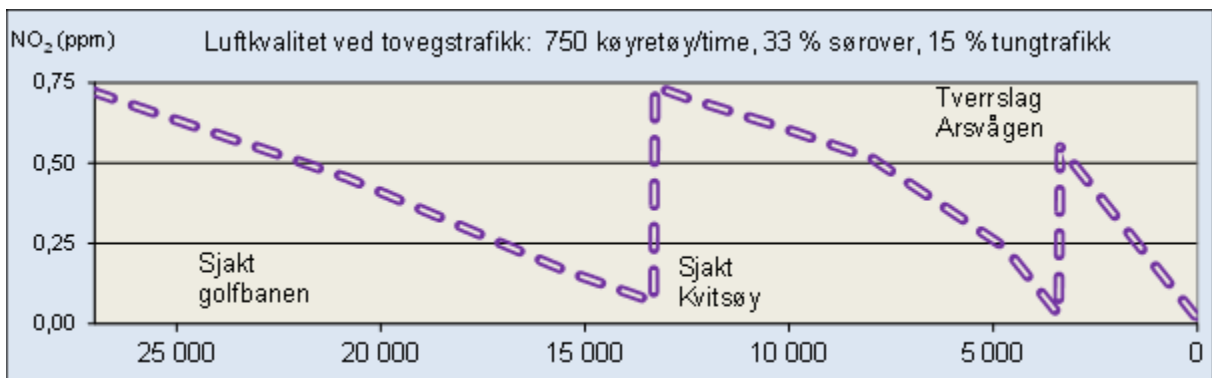
Figur 161: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå ved jamn tovegstrafikk og ventilasjon nordover utan drift av sjaktventilatorar ved golfbanen

Figur 162 viser eksempel på NO<sub>2</sub>-nivå i sørgående løp ved dimensjonerande tovegstrafikk. Luftbehovet blir størst på strekninga mellom Kvitsøykrysset og Arsvågen når 2/3 av trafikken køyrer i stigninga mot Laupland. Ved utskifting av 90 % av lufta i tre punkt, blir det det trekk på 2,4 – 2,8 m/s i dei to lange ventilasjonsavsnitta i midtsona og 1,5 m/s i begge endane. Samla effektbehov for sjakt- og impulsventilatorar blir om lag 6,0 MW. Ved jamn trafikk i begge retningane, blir samla effektbehov ved tovegstrafikk i sørgående løp redusert til 4 MW.

Figur 163 viser NO<sub>2</sub>-nivå i sørgående løp ved tovegstrafikk utan bruk av sjaktventilasjon ved golfbanen. Når 2/3 av trafikken går nordover, aukar effektbehovet til ca. 7 MW under føresetnad av at støvni vået i tunnelen ligg under grenseverdien.



Figur 162: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå ved tovegstrafikk og ventilasjon sørover mot Harestad



Figur 163: Variasjon i NO<sub>2</sub>-nivå ved jamn tovegstrafikk og ventilasjon sørover utan drift av sjaktventilatorar ved golfbanen



#### 12.4 Svevestøv og slam: Frå avfall til ressurs?

Statens vegvesen ønskjer å bruke gode og miljømessig trygge avfallsbaserte produkt i vegbygging, samt å handtere eige avfall på ein forskriftsmessig og økonomisk god måte<sup>22</sup>. I dag blir støv og slam frå tunnelvask rekna som avfall. Levering til godkjende deponi blir som regel vurdert som enklare og rimelegare enn tilrettelegging for gjenbruk. Tilsvarende vurderingar vart gjort i smelteverksindustrien då dei fyrste effektive reinseanlegga for røyk kom i drift for 50 år sidan. Men dei store støvdeponia vart borte etter kvart som det vart funne alternativ bruk av støvet. Støv frå smelteverk blir mellom anna brukt som tetningsmiddel i undersjøiske tunnelar.

Analyseresultatet av prøvene av støv og slam frå Karmøy-tunnelen viser at svevestøv fungerer som effektive byggjeklossar i større partiklar og kan brukast til å produsere vassette membranar ved sedimentering i rennande vatn. Denne eigenskapen kan utnyttast til tetningslag i grøfter og steinfyllingar og til å hindre avrenning frå massedeponi. Bruk av svevestøv og slam som injeksjonsmiddel bør prøvast ut for å sjå om det kan erstatte andre materialar som til dømes sement og silika. Gjenbruk som filler (fylling av holrom) i asfaltdekke er også eit interessant bruksområde.



Figur 164: Eksempel på slamavleiring på toppen av delevegg i slam- og oljeavskiljar

<sup>22</sup> <http://www.vegvesen.no/fag/Teknologi/Vegteknologi/Gjenbruk/Prosjektrapporter>

## 12.5 Tiltak mot svevestøv i Rogfast, vidare arbeid

Frå 1. januar 2016 vart det sett strengare krav til luftkvaliteten i Noreg. Regjeringa grunnar dette med at ny forskning viser at det er større helsefare ved låge konsentrasjonar av svevestøv enn det som var kjent tidlegare<sup>23</sup>. I tillegg til konsekvensane for helsa til trafikantar og driftspersonell i tunnelane, medfører det fine støvet store kostnader til reinhald av elektrisk utstyr som m.a. lysutstyr, kamera og skilt.

Erfaring frå eksisterande tunnelar viser at det er samanheng mellom støv og korrosjon, spesielt i kombinasjon med fuktige overflater på grunn av kondens eller lekkasje. Det er lite korrosjon på reine og tørre flater. Støvbinding med salt forsterkar korrosjonsproblema.

Etter kvart som NO<sub>2</sub>-utsleppet frå bilane går ned, kan støvmengda i lufta bli den viktigaste parameteren for styring av ventilasjonsanlegg i lange tunnelar. Resultatet frå støvmålingane som vart utført i fleire tunnelar våren 2016, viser at slitasje av vegdekket er hovudkjelde til svevestøv i tunnelane. Lange intervall mellom støvsuging og liten lagringskapasitet for sand og støv på sidearealet, medfører resirkulering av sand i tunnelrommet og kontinuerleg knusing og produksjon av svevestøv store delar av vinterhalvåret.

Tiltak som reduserer støvmengda i tunnellufta, kan gje ein positiv helseeffekt for trafikantar og driftspersonell, forlenge levetida på teknisk utstyr og reduserte utgiftene til reinhald av tunnelen.

I 2007 vart energibehovet til ventilasjon av Rogfast vurdert til ca. 2,5 GWh/år. Energiforbruket kan reduserast med 50 % dersom det blir skifta ut 20 % mindre luft ved sjaktene. Dette kan vere eit realistisk mål dersom det blir sett i verk effektive tiltak mot vegstøv. Reduksjon av dimensjonerande luftmengder gjev også innsparing i byggjekostnader fordi sjakter og ventilasjonskanalar kan byggjast med mindre tverrsnitt.

Ekstra kostnader med støvreduserande tiltak må sjåast i samanheng med innsparing i ventilasjonskostnader og reduserte utgifter til reinhald av tunnelen. Arbeidet med utvikling av meir slitesterke dekketypar i tunnelar bør prioriterast høgt. Det er også behov for oppbygging av ny fagkompetanse på drift og reinhald av tunnelar. Sjå rapport nr. 619 frå Statens vegvesen.

Det vidare arbeidet kan summerast opp med vurdering av tre hovudpunkt:

- Nye krav til steinkvalitet i vegdekke i lange tunnelar
- Tiltak som reduserer resirkulering av støv og sand frå sidearealet
- Utvikling av rutinar og utstyr for støvsuging og vask

---

<sup>23</sup> <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/strengere-krav-til-luftkvaliteten/id2469043/> (24.12.2015)  
<https://www.fhi.no/ml/miljo/luftforurensninger/fakta-om-svevestov-i-uteluft-og-hel/> (15.12.2015)

## 13 Referansar:

- Jordforsk: Miljøkjemisk undersøkelse av tunnelvask. Statens vegvesen rapport nr. 31/95
- Universitetet i Stavanger: Rensing av tunnelvaskevann. Fullskala forsøk i Byfjordtunnelen (2003)
- NGU: Vegstøv i Trondheim – En analyse av mineralinnholdet i svevestøvet (2004)
- VTI-notat 36-2005: Undersökning av dubbslitaget vintern 2004/2005 och validering av VTI:s slitagemodell
- ITM-rapport 158: Betydelse av dubbdäck mm för PM10 halterna längs vägarna (2006)
- Statens vegvesen: Forurensning fra sterkt trafikerte vegtunneler (2006)
- Statens vegvesen Region vest: E16 Lærdalstunnelen, Kontroll av luftkvalitet og energibruk. (2007)
- Statens vegvesen: E39 Rogfast. Tunnelventilasjon. Ei vurdering av ventilasjonsprinsipp og driftskostnader (2007)
- TØI: NO<sub>2</sub>-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer (2011)
- Norconsult: Tunneler og lokal luftkvalitet. Vurdering av ventilasjonssystemer og rensemetoder (2011) = Statens vegvesen: Rapport nr. 152 (2012)
- Statens vegvesen, E39 Rogfast, Ventilasjon og luftkvalitet. Rapport nr. 138 (2012)
- PIARC: Road tunnels: Vehicle emissions and air demand for ventilation (2012)
- Statens vegvesen: Kjemisk karakterisering av sediment fra Vassum sedimenteringsbasseng. Rapport nr. 94 (2012)
- Bioforsk: Renseanlegg for vaskevann fra vegtunneler (Statens vegvesen: Vol. 7 nr. 115 - 2012)
- TØI: Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi (Rapport nr. 1259/2013)
- Statens vegvesen: Estimering av forurensning i tunnel og tunnelvaskevann. Rapport nr. 99 (2013)
- Statens vegvesen: NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> volume ratio in three tunnels in Norway. Rapport nr. 173 (2013)
- Statens vegvesen: Rensing av vann fra veg og anlegg. Rapport nr. 195 (2013)
- Statens vegvesen: Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging (2014)
- Miljødirektoratet: M-129 Grenseverdier og nasjonale mål (2014)
- TØI: Utslipp fra nye kjøretøy – holder de hva de lover? (2015)
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Bericht der Untersuchungskommission «Volksvagen» ([www.bmvi.de](http://www.bmvi.de) 2015)
- Tommy Dolmen, Knut-Eirik Lunden: Ventilasjon og svevestøv i Byhaugtunnelen (Bacheloroppgave UiS 2016)
- Department for Transport, UK: Vehicle Emissions Testing Programme ([www.gov.uk](http://www.gov.uk) 2016)
- Statens vegvesen/Aquateam Cowi: NORWAT-rapport. Laboratorietester – rensing av vaskevann fra Nordbytunnelen. Rapport nr. 521 (2016)
- Tor Henrik Porsmo & Martin Stamland: Forurensning og miljøproblemer tilknyttet tunnelvask (Masteroppgave ved HSN 2016)
- Statens vegvesen: Renholdsforsøk i tunnel og gate i Trondheim våren 2015. Rapport nr. 619 (2016)
- Statens vegvesen: Ferjefri E39 – klimaeffekter (2016)
- Dutsche Umwelthilfe: NO<sub>x</sub>- und CO<sub>2</sub>-Messungen an Euro 6 Pkw im realen Fahrbetrieb. Messergebnisse ([www.duh.de](http://www.duh.de) 2016)
- Handbøkene til Statens vegvesen ([www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no))

Karmøy tunnelen 2016:

## Innsamling av støv- og slam-prøver.

---

### Innledning

Oppgaveformuleringen som kommunisert av Gunnar Lotsberg:

*«Slam og støv er eit nytt og spennande fagområde der vi altfor lite kunnskap. – Ved prosjektering av tunnelen prioriterte vi stort oljevolum. Derfor ligg tverrspaltane berre 10 cm over botnen i dei tre siste kummane. For å finne ut korleis kummane fungerer foreslår eg følgjande opplegg ved begge pumpestasjonane:*

1. *Måling av pH i kum 1 og kum 6 og pH i basseng under brua*
2. *Vassprøve i kum 1 og kum 6*
3. *Vassprøve i inntaksbassenget mot veggen nær overflata til høgre for brua eller ute ved enden for brua. (Eventuelt fleire prøver i ulike nivå i bassenget, men det krev litt ekstra utstyr.)*
4. *Måling utfelt slamvolum i alle kammer (cm hjørna og midt i kummane.)*
5. *Ei slamprøve midt i kvar kum. Analyse av %-vis partikkelstørrelse og analyse av PAH, ledningsevne og Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn.*
6. *Ei ekstra slamprøve av avsettinga på delevæggen mellom kum 2 og 3.*

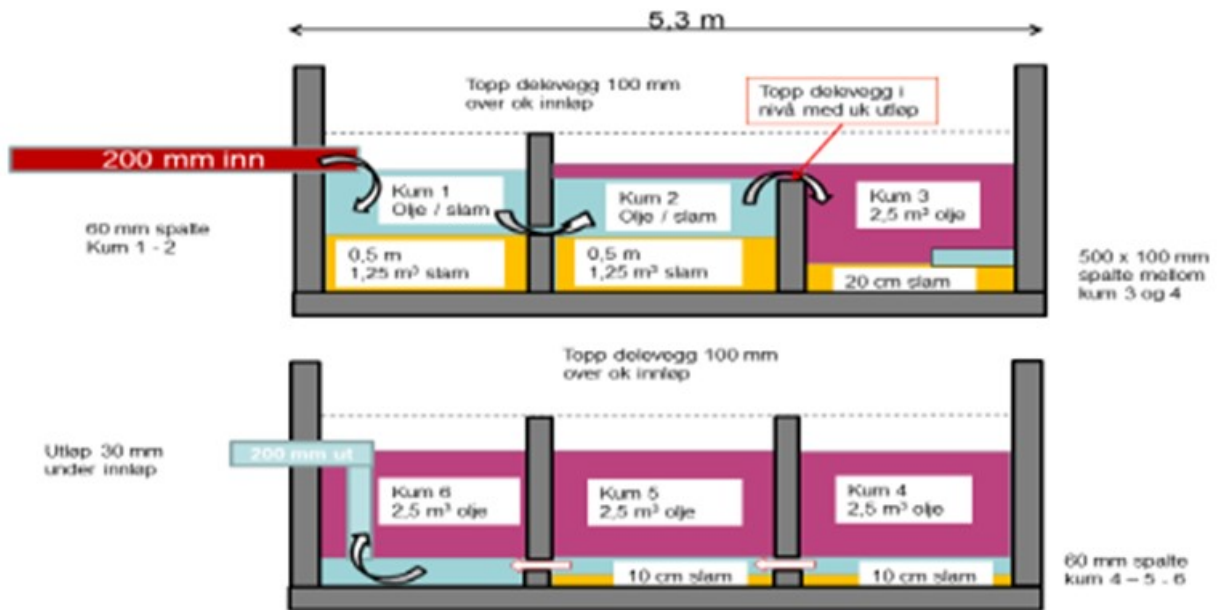
*Ved sjakta kan vi få gode data om svevestøv i tunnelen : Prøvetaking med ein liten støvsugar med ny pose for kvar prøve.*

1. *Prøvetaking og analyse av støv fra lydfellane i høgde 0,5, 1,5, 2,5, 3,5 og 4,5 m og vurdering av mengde for kvart nivå på begge sider av porten (Dette er det farlegaste støvet med partiklar mindre enn 10/1000 mm) Fordeling av PM<sub>2,5</sub> og Pm<sub>10</sub>? Dersom det er omtrent samme mengde oppe som nede og på begge sider av porten, kan antall prøvar reduserast.*
2. *Prøvetaking og analysering av støv på golvet like innanfor porten mellom lydfellene*
3. *Prøvetaking og analyse av støv fra «det støvfrie rommet» der frekvensomformarne står (Vi må sjekke om det er støv som har gått gjennom støvfilteret i luka inn til sjakta)*

*Støvfilteret i luka inn til sjakta skulle gje overtrykk med rein luft. Men dersom det viser seg at støvet kjem gjennom dette filteret, bør vi heller sette inn ei tett luke og bruke ein lite elektrostatfilter for å halde rommet støvfritt. Dette får vi komme tilbake til.»*

### Prinsippskisse av slamavskiller:

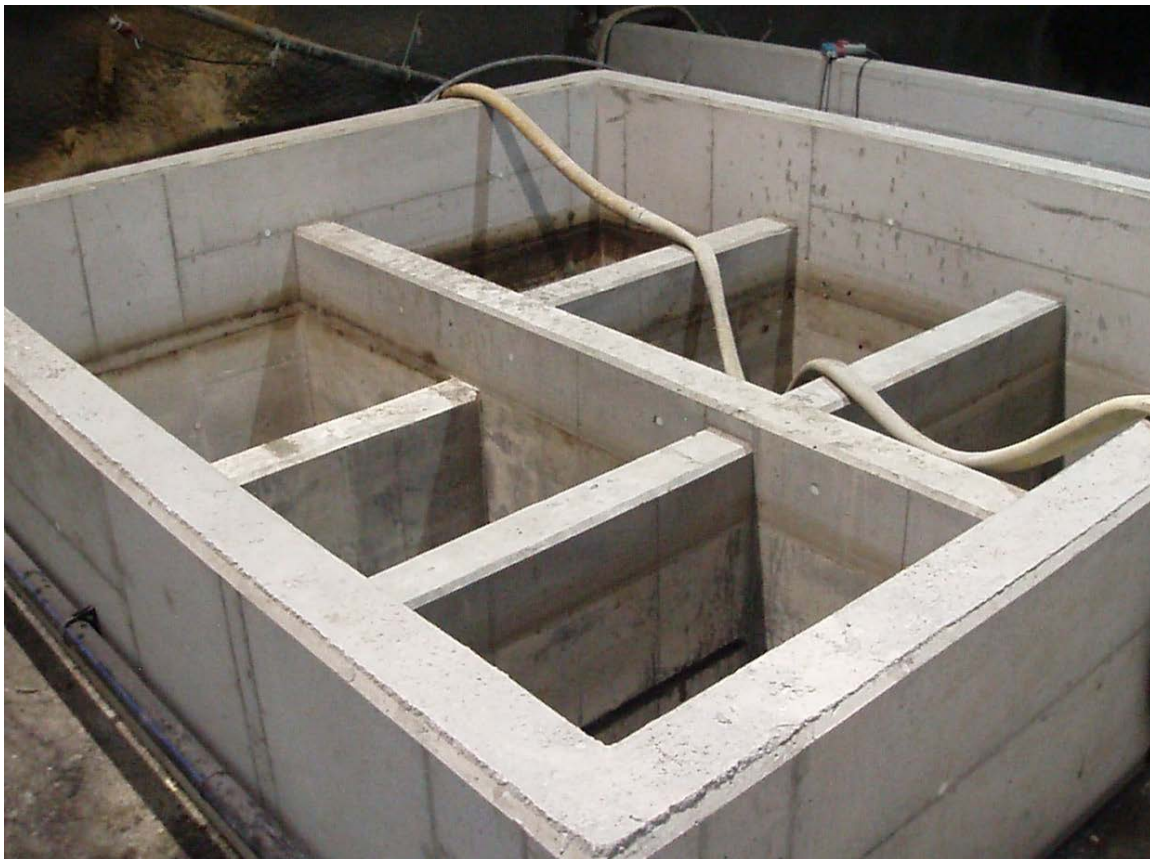
Sedimenteringssystemet består prinsipielt av 6 kummer slik som vist på bilde 1 den fysiske utformingen går frem av bilde 2.



Bilde 1. Prinsippskisse av slamavskiller

Hver av de 6 kamrene har en overflate på ca. 2,9 m<sup>2</sup> d.v.s en samlet overflate på ca. 17 m<sup>2</sup> og en beregnet væskehøyde på ca. 1 m.

Beregnet volum for olje (Substanser lettere enn vann) er ca. 10 m<sup>3</sup> og slamvolum ca. 3 m<sup>3</sup>.



Bilde 2. Oversiktsbilde av slamavskiller



Bilde 3. Oversiktsbilde fra slamavskiller (Håviksiden) når prøvetaking fant sted. Bildet viser skille mellom kum 2 og 3. Et tykt slamlag er settlet på skilleveggen. Hvor høyt vannstanden har vært kan tydelig sees (se pil).

Som det fremgår av bilde 3 er det tydelig at vann og slamtilførselen ved minst ett tilfelle har vært betydelig større enn de prosjekterte volumer. Tilsvarende slamlag ble også observert på Mjåsundsiden. Store mengder slam ligger på skilleveggen mellom kum 2 og 3 – høyde ca. 6 cm. I tillegg er det en tydelig slamstripe på veggen som viser hvor høyt væsknivået har vært.

Slik som slamutskillerne er designet, burde det ikke vært mulig å oppnå væsknivåer vesentlig høyere enn skilleveggen mellom kum 2 og 3. Det er nærliggende å anta at utløpet fra slamavskiller har vært midlertidig blokkert, men siden forholdene er like for begge slamutskillerne kan andre årsaker ikke utelukkes.

Som bildene viser ligger det noen isopor-partikler på overflaten i samtlige kummer, i tillegg ble det funnet små mengder synlig olje på overflaten i samtlige kummer. Et tydelig bevis på at væskehøyden har vært høyere enn de høyeste skilleveggene mellom kummer.

### **Måling av slamnivået.**

Det vites ikke om kummene i slamavskillerne har vært tømt etter åpningen av tunnelen i september 2013. Slamhøydene ble målt 21.01.2016. Selve måleprogrammet ble litt redusert av praktiske og sikkerhetsmessige årsaker.

Slamdybden ble målt ved å stikke et kosteskraft ned i slammet og så måle høyden med en tommestokk. Målenøyaktighet anslås til +/- 0,5 cm. Det ble målt 2 - 3 målinger i hvert kammer - midt i kammeret og i ett eller to hjørner mot ytre vegg.

### Måledata slamdybdemålinger:

#### Håvik-siden:

Kum #	Enkeltmåling hjørne [cm]	Enkeltmåling midt [cm]	Enkeltmåling Hjørne [cm]	Gjennomsnitt [cm]
1	24	26	26	25
2	26,5	25		26
3	11,5	12		12
4	9	9		9
5	5	8		7
6	3	6	5	5

#### Mjåsund-siden:

Kum #	Enkeltmåling hjørne [cm]	Enkeltmåling midt [cm]	Enkeltmåling Hjørne [cm]	Gjennomsnitt [cm]
1	23	20	0 <b>NB!</b>	14
2	21	21	21	21
3	7	10	10	9
4	9	7	8	8
5	2,5	4		3
6	3,5	3	6	4

#### Betraktninger:

Slamansamlingen på skilleveggen mellom kum 2 og 3 indikerer at hele salmaavskilleren har vært fylt med vann meget rikt på slam. Den målte slamhøyden i kum 1 i begge slamavskillerne, forventes å skulle være like høy som skilleveggen (ca. 50 cm). Mens målt høyde er ca. halve høyden. Slammet i disse kamrene var meget kompakt - en mulig forklaring er derfor karene har vært fylt av slam, men at slammet har ytterligere settlet under etterfølgende normaltstand. - Ut i fra en slik vurdering må det nødvendigvis være et betydelig tidsrom mellom innflux av slamrikt vann og måletidspunktet.

Målingen i kum 1 på Mjåsundsiden - hvor det i et begrenset område ikke ble funnet slam overhode(!) kan indikere spesielle strømningsforhold i kummen. Målingen er gjort mot vegg mot de tekniske rom, på denne siden ligger også innløpet til kummen.

En hypotese er: Ved tilførsel av store vannmengder vil det kunne oppstå lokal turbulens i dette området, som hvirvler opp settlet slam og fører det videre i vannstrømmen. Det er ellers verdt å merke seg at tettheten av slam i de forskjellige kummene varierte betydelig, fra meget stor tetthet i kum 1 og gradvis mindre til kum 6.

### Innsamling av slamprøver

Det ble benyttet et enkelt system for innhentning av slamprøvene. Et syrefast stål målebeger til bruk i matlagning, ble festet til en lekte og benyttet for å grave opp en prøve av slammet. Prøvetakningen ble konsentrert om midten av kummene.

I karene 1 tom. 4 var slammet settlet betydelig dvs. en betydelig kraft måtte anvendes for å komme ned i slamlaget og hente opp en prøve.

I kummene 5 og 6 var slammet betydelig løsere – dvs. inneholdt betydelig mere vann og vesentlig mindre fast stoff. Det var ikke mulig rent visuelt å fastslå om partikkelstørrelsen i slammet var forskjellig i de forskjellige kummene, eller om den følte forskjell i slamkonsistens indikere at hovedutfellingen har skjedd i de tidligere karene, slik at det kun er partikler som trenger lang settlingstid som befinner seg i disse kamrene.

De innsamlede prøvene ble overført til tette plastbokser for videre analyser. Ved innhentningen av prøvene fulgte det med vannmengder som gjorde det umulig å utføre tetthetsmålinger av slammet i de forskjellige karene.

### Vannanalyser.

Som avtalt ble det tatt prøver av vann fra begge slamavskillerne ved samt pumpesummer (samlebasseng) (to anledninger), prøvene ble sendt til analyse av pH og kloridkonsentrasjon.

Vannprøvene ble samlet direkte opp i plastflasker innhentet hos analyselaboratoriet.

#### Analyse- og prøve-resultater:

Dato	Lokasjon	Prøvested	pH	Klorid [mg/l]
21.01.2016	Håviksiden	Utløp slamavskiller	7,5	91,2
21.01.2016		Kum 1	7,0	87,6
1.2.2016		I samlebasseng ved «strandkant»	7,6	521
1.2.2016		Kum 1	7,5	266
1.2.2016		Kum 6	7,5	230
21.01.2016	Mjåsundsiden	Utløp lekkasjevann (ikke fra trafikkrom)	7,7	6020
1.2.2016		Kum 1	7,6	309
21.01.2016		Kum 6	7,8	68,3
1.2.2016		Samlebasseng - ende av bro	7,8	4020
1.2.2016		Kum 6	8,1 <b>NB</b>	80,8



Når prøvene ble hentet inn var det ikke tilsig av vann samlet bak vann og frostsikringen på Håviksiden, men et betydelig innsig på Mjåsundsiden.

Variasjonene i kloridinnhold indikere forholdet mellom ferskvann og saltvann i henholdsvis vegtrafikkrommet og bak vann og frostsikring.

Når det gjelder pH variasjonene kan det se ut som om at trafikkrommet tilføres substanser som endrer pH. I Kum 1 på Håviksiden er det rapportert pH på 7,0 den 21. 01.2016, mens det 10 dager senere rapporteres en pH på 7,6 – som er som forventet.

Også målingen av pH på 8,1 i Kum 6 på Mjåsundsiden den 1.2.2016 – mot målingen 10 dager tidligere på pH 7,8, indikere tilførsel av basiske elementer – begge dager.

Tilsynelatende tilføres det både sure og basiske elementer i trafikkrommet i tunnelen – frekvens og mengder er ukjent – men spørsmålet om forurensningens natur og kilde bør identifiseres er nærliggende. (På denne tid av året forventes ikke søl av silosaft eller gjødsel fra landbruket bl.a.)

### Støvprøver fra lydfellene.

Fotografiene av støvbelegg på lydfellene bilde 4 og 5, viser hvorledes støvet ligger på disse. Støvet er samlet på hullplatene og på utløpssiden av lydfelledelene. Støvet var meget klebelig og den eneste måten å fjerne det fra lydfelle-overflaten var å skrape med en kjittkniv. Tydeligvis er det bare når støvet er klebelig at det fester seg. I praksis vi dette si et det er bare når støvet er fuktig, d.v.s når det regner ute (eller tunnelen tilføre vann på annen måte) at støvet vil feste seg til lydfelle-overflaten.



Bilde 4. Støv på utløpssiden av lydfellen ca. 1,5 m over gulvplan, høyre side i forhold til kjøreport.



Bilde 5. Ansamling av støv på lydfelle ca. 2,5 m over gulvplan høyre side av kjøreport. Støvvavleiring på de perforerte platene og på utløps siden.

Der er nærliggende å fremkaste følgende hypotese: I perioder med regne vil deler av tunnelstøvet bli fuktig og kan avsette seg på lydfelleoverflaten. I etterfølgende perioder tørker støvet opp og frigis fra overflaten, dvs. føres inn i rommet før ventilatorene.

I så fall vil de innsamlede prøvene kun representere distinkte tidsintervaller og ikke gi et gjennomsnittlig bilde av støv- type, kilde eller partikkelfordeling.

Støvprøvene ble skrapet av lydfelleoverflaten fortrinnsvis på den buede utløpssiden og samlet direkte i plastbokser med gummipakning.

Midt i lydfelleveggen er det anbragt en stor kjøreport. I «vindskyggen» bak porten dannes det et område med lav lufthastighet hvor luftretningen påvirkes. I dette området settler en del av tunnelstøvet i luften, sannsynligvis i hovedsak støv som har passert den delene av lydfellene som ligger over døråpningen (ca. 4,5 m over gulvhøyde). Det danner seg et betydelig lag av tørt støv. Prøver ble tatt av støvet, som avtalt ca. 1 m innenfor enden av lydfellen, hvor støvlaget var tykkest. Støvlaget var relativt kompakt, men ikke så kompakt som slammet i slamavskillerne. Tykkelsen av støvlaget ved prøveinnsamling var ca. 7 cm. Siden denne porten er den naturlige tilkomst til sjaktventilatorene, må en regne med at dette området kontamineres med støv som bringes inn når portene åpnes og med støv bragt inn av personer og kjøretøy som bruker porten.

Det er nærliggende å anta at de støvpartiklene med minst diameter ikke vil settle i dette området på samme måte som større støvpartikler.

I henhold til verbal kommunikasjon med MESTA v / Odd Karel Nyrud er det høyst sannsynligvis ikke foretatt noen rengjøring i dette området av tunnelen siden tunnelåpningen i 2013.

De siste prøvene ble innsamlet fra rommet mellom ventilator innsug og vegg mot sjekt – i rommet for frekvensomformerne. Dette rommet er beregnet å være støvfritt og lufttrykket i rommet er det samme som i sjaktrommet. For å sikre at støv ikke presses inn under drift.

Gulvet i rommet og alle horisontale flater var dekket av et tilsynelatende relativt jevnt og tykt lag av støv. Støvet ble samlet inn ved å koste en flate og samle støvet i en plastboks med forsegling. Ved kostingen ble det klart at støvet var svært lett og at støvlaget hadde en liten tetthet, slik at en betydelig flate måtte kostes for å få samlet ønsket vekt ca. 100 g.

Hvorvidt kilden til dette støvet er støv som trekkes inn gjennom støvfilteret i åpningen mot sjakt, eller kommer fra andre kilder er ikke fastlagt. I følge informasjon fra filterleverandør er porestørrelsen i filteret PM0,4, d.v.s at partikelfordelingen forventes å være annerledes i dette støvet enn i støv samlet på lydfeller eller fra gulv i mellomrommet før innløp til sjaktventilatorene.

Graden av rengjøring av dette området etter montering av Corten skillevegg og installasjon av frekvensomformere og smørepumpe, vites ikke. Derfor er det nærliggende å anta at dette støvet har to hovedfraksjoner: – støv fra tunnelen og støv (forurensning) etter montasje.

Haugesund september 2016

*Carl Lewin*



teknova

## NOTAT

15. november 2016

**Mottakere:** Carl Lewin Carl (Statens vegvesen/privat) og Gunnar Lotsberg (Statens vegvesen)

**Utarbeidet av:** Sissel Brit Rannekleiv (NIVA) og Hege Indresand (Teknova)

**Kopi:** Elisabeth Lie (NIVA) og Nabil Belbachir (Teknova)

**Journalnummer:** 1159/16 (NIVA)

**Prosjektnummer:** 16158 (NIVA), KARMØY (Teknova)

**Sak:** Kjemisk karakterisering av innsamlet slam fra slamutskiller (sedimentasjonsbasseng) og støv fra lydfelle-system i Karmøytunnelen for vurdering av kilder til slam og støv.

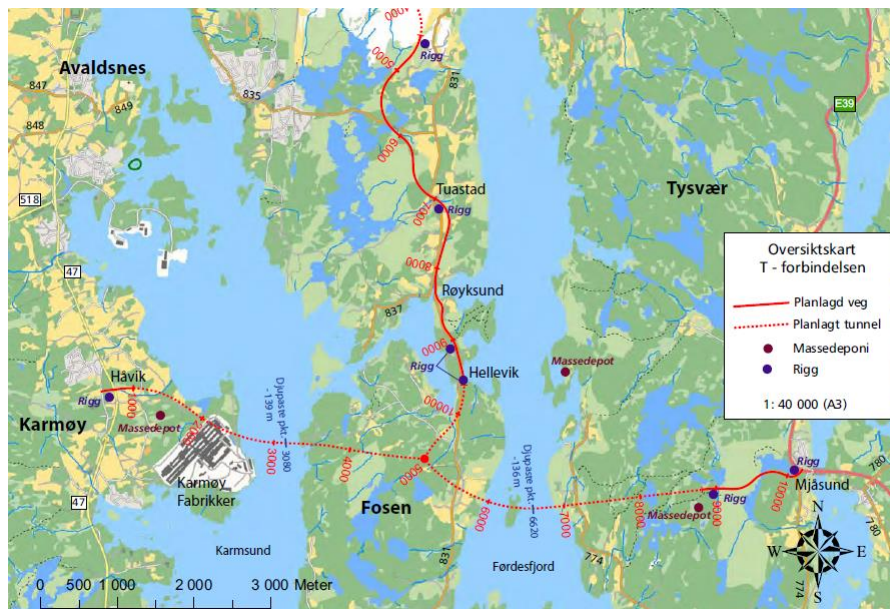
### Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b>	<b>2</b>
1.1	Håndtering av veivann og innlekkasje i tunnelene	2
1.2	Ventilasjonssystemet	3
<b>2</b>	<b>Materiale og metode</b>	<b>4</b>
2.1	Innsamling av prøver og kjemiske analyser	4
2.2	SEM	6
2.3	Størrelsesfraksjonering	6
2.4	Analyser av metaller og PAH16	6
2.5	Rock-Eval	6
2.6	Statistiske analyser	7
<b>3</b>	<b>Resultater</b>	<b>7</b>
3.1	SEM	7
3.2	Størrelsesfraksjonering	9
3.3	Rock-Eval	10
3.4	Metaller	12
<b>4</b>	<b>Oppsummering</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>17</b>

## 1 Bakgrunn

For å knytte Haugesund-regionen tettere sammen ble veiprojektet T-forbindelsen iverksatt. Anleggsarbeidet startet opp i 2009 og ferdigstilt i 2013. T-forbindelsen reduserer kjøreavstander, avlastet annet vegnett, samt bedrer tilgangen til Haugesund flyplass og E39 i regionen.

T-forbindelsen omfatter tre tunnelgreiner under Karmsundet og Førresfjorden (Førdesfjord), som er knyttet sammen i en rundkjøring 60 m under havnivået. De tre tunneltraseene betegnes samlet for Karmøytunnelen. I tillegg utgjør T-forbindelsen ca 10 km vei i dagen, samt to tunneler på land. I Error! Reference source not found. vises T-forbindelsen og beliggenhet av Karmøytunnelen. Ytterligere informasjon om Karmøytunnelen er gitt i **Tabell 1**.



**Figur 1.** Oversikt over T-forbindelsen og Karmøytunnelens beliggenhet (Sandven, Karlsen et al. 2006).

**Tabell 1.** Informasjon om Karmøytunnelen. Tunnelen er sikret med sprøytebetongbuer. Informasjon fra (Hatlenes 2011).

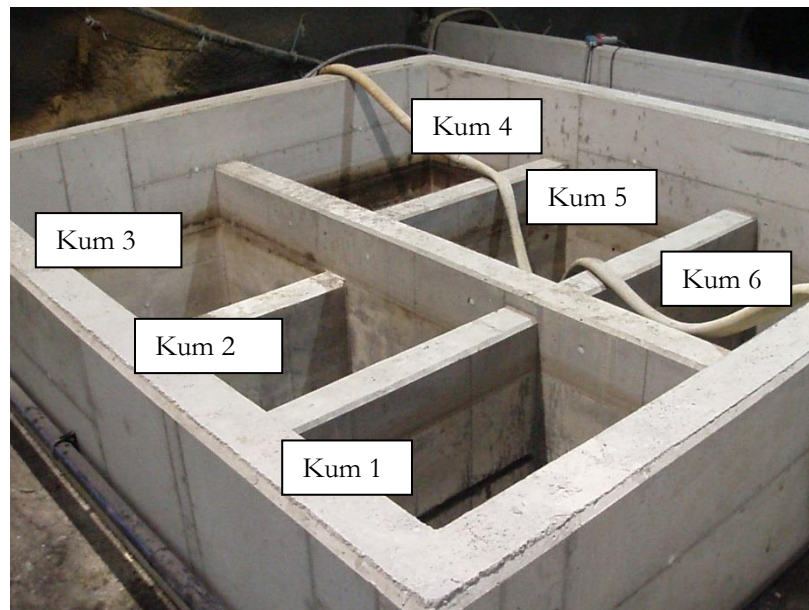
Tunnel	Tverrsnitt (m <sup>2</sup> )	Total lengde (m)	Undersjøisk lengde (m)	Laveste nivå (m)	Maks. stigning (%)	Årsdøgntrafikk (ÅDT) (total/andel tunge kjøretøy) *
Karmsundet («Håvik»)	92,27	3977	700	-139	5,0-7,4	3 560 /384
Førresfjorden («Mjåsund»)	92,27	3764	745	-136	5,4-7,0	4 038/358
Fosen («Hellevik»)	92,27	1164	-----	-60	6	3 648/498

\*Data fra SVVs trafikkregistreringer

### 1.1 Håndtering av veivann og innlekkasje i tunnelene

I tunnelenes lavest nivåer, «Håvik» og «Mjåsund», er det etablert bassenger for håndtering av veivann, tunnelvaskevann og innlekket vann. Bassengene er hver for seg koblet til ledningsnett med 6

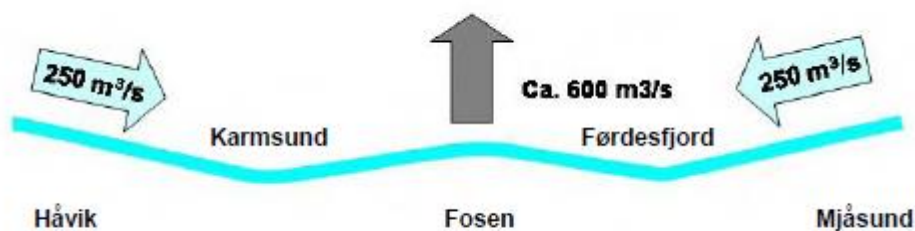
sedimentasjonskummer som håndterer overvann fra veibanen. I **Figur 2** vises den kombinerte slam- og oljeavskilleren. Slam og suspendert stoff i overvann fra veibanen, tunnelvaskevann og innlekket vann sedimenteres ut i kummene før vannet samles opp i bassengene. Fra innvielse av tunnel og fram til i dag har det vært 3 tunnelvasker. Vann fra bassengene pumpes videre ut til Karmsundet og Førresfjorden. Tunnelen vaskes minst to ganger i året.



**Figur 2.** Kombinerte slam- og oljeavskiller. Vaskevannet kommer inn i kum1 og sirkulerer med klokka fra kum til kum. Videre renner vannet over deleveggen mellom kum 2 og 3, og i horisontale spalter mellom de andre kummene. Kummene er ca. 1,0 m dype og har et overflateareal på ca. 3 m<sup>2</sup>. Teoretisk kapasitet for olje er ca. 10 m<sup>3</sup>.

## 1.2 Ventilasjonssystemet

Det tilføres frisk luft fra alle tre tunnelåpningene i et langs-luftingssystem innover mot en vertikal utblåsningsjakt ved rundkjøringen på Fosen. **Figur 3** viser luftmengdene som transporteres ved maksimale trafikk forhold. Ventilasjonssystemet styres automatisk basert på forurensningsnivået i tunnelen. Lufthastigheten varierer i takt med trafikk, og gjennomsnittlig lufthastighet ved normal trafikk er ca 2,0 – 3,0 m/s (maks 3,5 m/s) i de to lengste tunnelene og ca. 1,0 m/s (maks 1,5 m/s) i den korteste tunnelen. I perioder med liten trafikk, kan ventilasjonssystemet bli slått av (Sandven et al.,2006).



**Figur 3.** Skisse av ventilasjonssystemet (Sandven et al.,2006).

Sjaktventilatorene (avtrekksviftene) som finnes tunnelens midtseksjon støyer – og det er derfor montert en lydfelle på ca. 40 – 50 kvadratmeter og opp til ca. 5 m høyt og 3m dypt for å dempe støyen ut til kjørebane. **Figur 4** viser et bilde av lydfellen.



**Figur 4.** Bilde av en lydfelle.

## 2 Materiale og metode

### 2.1 Innsamling av prøver og kjemiske analyser

Slam fra sedimentasjonskummene, bjelker mellom sedimentasjonskum 2 og 3, støv i lydfellen, gulv innenfor lydfellen og El-rom sjakt i «Håvik» og «Mjåsund» ble tatt ut med skje og overført til plastbokser. Innsamling av prøver ble utført av Carl Lewin. Prøvene ble sendt til NIVA, hvor de ble fryst ned fram til analyse. Etter opptining og blanding ble delprøver (ca 10 g) tatt ut til scanning elektron mikroskop analyse (SEM) av Hege Indresand (**Figur 5** og **6**). Prøvene som ble tatt ut til SEM ble oppbevart delvis i kjøleskap og romtemperatur inntil analyse var foretatt på Elkems laboratorier i Kristiansand av Anders Hope Amundsen. Delprøver for Rock-Eval analyser for karbonkvalitet og størrelsesfraksjonering ble deretter tatt ut av Sissel Ranneklev og sendt til laboratoriene. Resterende prøvemateriale ble sendt til analyse for bestemmelse av konsentrasjoner av metaller og PAH16. En oversikt over de innsamlede prøvene er gitt i **Tabell 2**.



**Figur 5.** Bilde av prøve ElrS ved uttak til SEM analyse. Prøve ble tatt ut på 5 steder med spatel.



**Figur 6.** Bilde av prøve LFH2.5 ved uttak til SEM analyse. Prøve ble tatt ut på 5 steder med spatel.

**Tabell 2.** Innsamlede prøver og kjemiske analyser som har blitt gjennomført.

Prøve id	Lokasjon	Kjemiske analyser
LFH0.5	Lydfelle høyre 0,5m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFH1.5	Lydfelle høyre 1,5 m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFH2.5	Lydfelle høyre 2,5 m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFH3.5	Lydfelle høyre 3,5 m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFH4.5	Lydfelle høyre 4,5 m	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFV0.5	Lydfelle venstre 0,5 m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFV2.5	Lydfelle venstre 2,5 m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
LFV4.5	Lydfelle venstre 4,5 m fra grunn	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
GVD	Gulv v/ dør innenfor lydfelle	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
ElrS	El-rom sjakt ved luftinnløpet til sjaktventilatorene	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering, SEM
HK1	Kum 1 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
HK2	Kum 2 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
HK3	Kum 3 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
HK4	Kum 4 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
HK6	Kum 5 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
HK6	Kum 6 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
MK1	Kum 1 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
MK2	Kum 2 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering

Prøve id	Lokasjon	Kjemiske analyser
MK3	Kum 3 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
MK4	Kum 4 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
MK5	Kum 5 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
MK6	Kum 6 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
HB	Slam på bjelke mellom kum 2 og 3 Håvik	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering
MB	Slam på bjelke mellom kum 2 og 3 Mjåsund	PAH16, metaller, Rock-Eval, størrelsesfraksjonering

## 2.2 SEM

Fotografering og grunnstoffanalyse (gjennom SEM) av støvprøvene og utvalgte partikler i prøvene ble utført med Elkem (Kristiansand) sitt mikroskop (Scanning electron microscope). Mikroskopet har også kapasitet til å utføre røntgenspektroskopianalyse (grunnstoffanalyse) på valgte punkter og gjennom mapping av områder, da mikroskopet har en ekstra detektor for dette. Prøvene er drysset på en karbonstubb (prøveholder med karbontape) som er ca 1 cm i diameter (noe som medfører at signalet fra karbon under mapping over et større område kan ikke brukes). Det er foretatt systematisk mapping over to områder på hver prøve, nemlig ett map over flere partikler samt ett map over en partikkel. Punktanalyser er tilfeldig gjort på interessante partikler innenfor hvert map. Det har blitt tatt oversiktsbilder av alle prøver ved ca 30X, og det er også tatt bilder ved høyere forstørrelse for å få frem strukturen i prøvene. Bilder og SEM rapporter av støvprøvene er sendt oppdragsgiver i separat korrespondanse.

## 2.3 Størrelsesfraksjonering

Størrelsesfraksjoneringen av innsamlet materiale ble gjennomført med laser granulometri av typen Malvern Mastersizer 3000. Størrelse på partikler som påvises er i området 0,01-2000 µm. Synlige partikler større enn 2 mm fjernes manuelt før analyse. Partiklene deles videre inn i fraksjonene sand (63-2000 µm), silt (2-63 µm) og leire (0,01-2µm). Analysen ble gjennomført av Universitetet i Reading UK ([www.reading.ac.uk/quest/](http://www.reading.ac.uk/quest/)). Data fra analysene er lagt i **Vedlegg 1**.

## 2.4 Analyser av metaller og PAH16

Konsentrasjoner av metaller ble bestemt i totaloppluttede prøver. For As, Pb, Cd, ble metoden NS EN ISO 17294-2 benyttet, for V, Cu, Ni, Zn, Fe, Mn, S og Ag metoden NS EN ISO 11885, mens W ble bestemt etter metoden SS SS028311/ICP-MS. PAH16 analysene ble gjennomført etter metode ISO 16703. Analysene ble gjennomført av Eurofins ([www.eurofins.no](http://www.eurofins.no)). Analysedata (25 sider) er sendt til oppdragsgiver.

## 2.5 Rock-Eval 6

Rock-Eval er en pyrolyseteknikk som er utviklet til å måle innhold og type organisk materiale i kildebergarter (sedimentære bergarter som inneholder hydrokarboner). Metoden har også vært benyttet som teknikk for å karakterisere organisk materiale i for eksempel sedimenter, sot og tjære. En kort beskrivelse av metoden er gitt under. Under Rock-Eval-analysen varmes prøven (14 til 29 mg i vårt tilfelle) progressivt opp til ca 600°C i fravær av oksygen (helium eller nitrogen benyttes som bæregass). Lettere hydrokarboner påvises tidlig i oppvarmingen, mens tyngre hydrokarboner påvises i slutten av pyrolysen. Forekomst av hydrokarboner påvises ved hjelp av flammeionisasjonsdetektor (FID). I trinn



to av analysen varmes prøven videre opp til ca 700°C i nærvær av oksygen, og utviklet CO<sub>2</sub> og CO påvises ved hjelp av infrarød spektroskopi (IR). Utvalgte typer karbonforbindelser/parametere fra Rock-Eval analysen er gitt i **Tabell 3**. I tillegg beregnes en rekke andre parametere fra analysene. Rock-Eval analysen ble gjennomført av Deltares ([www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)). Utvalgte data fra analysene er lagt i **Vedlegg 2**.

**Tabell 3.** Typer hydrokarboner og karbonforbindelser påvist i Rock-Eval analysen.

Parameter	Type karbon, informasjon
S1	Frie hydrokarboner, prøven inneholder lettere olje/hydrokarboner
S2	Hydrokarboner som dannes under pyrolysen av prøven, eller tyngre hydrokarboner som er til stedet, samt forbindelser som inneholder oksygen
S3	Karbonatlignende karbon
PC	Pyrolyserbart organisk karbon
RC	Residual karbon, inerte organisk materiale, tilsvarende «Black Carbon»
TOC	Total organisk karbon
HI	Hydrogen indeks, mengde hydrogen i forhold til mengde organisk karbon
OI	Oksygen indeks, mengde oksygen i forhold til mengde organisk karbon
MinC	Mineralsk karbon, i hovedsak fra karbonatrike mineraler

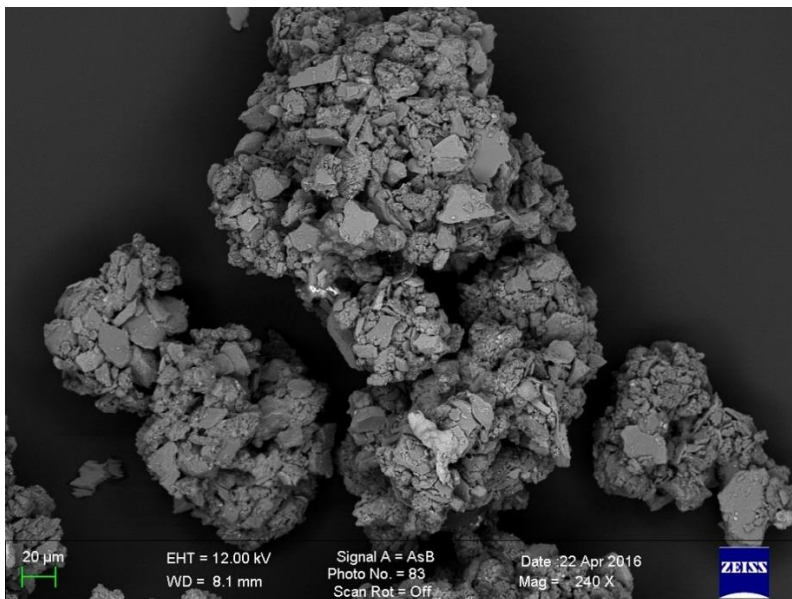
## 2.6 Statistiske analyser

En cluster- og prinsipalkomponentanalyse (JMP-programvare) ble gjennomført på bearbejdet data fra Rock-Eval analysene, størrelsesfraksjoneringen og de kjemiske analysene. Dataanalysen ble gjennomført av Eirik Fjeld/NIVA. De statistiske metodene ble utprøvd på flere ulike sett av data. Resultater fra en dataanalyse er vist i **Vedlegg 3**. Ved gjennomsyn av data ble innsamlet prøver videre inndelt i «lydfellen», «slam», «GVD» og «ElrS».

# 3 Resultater

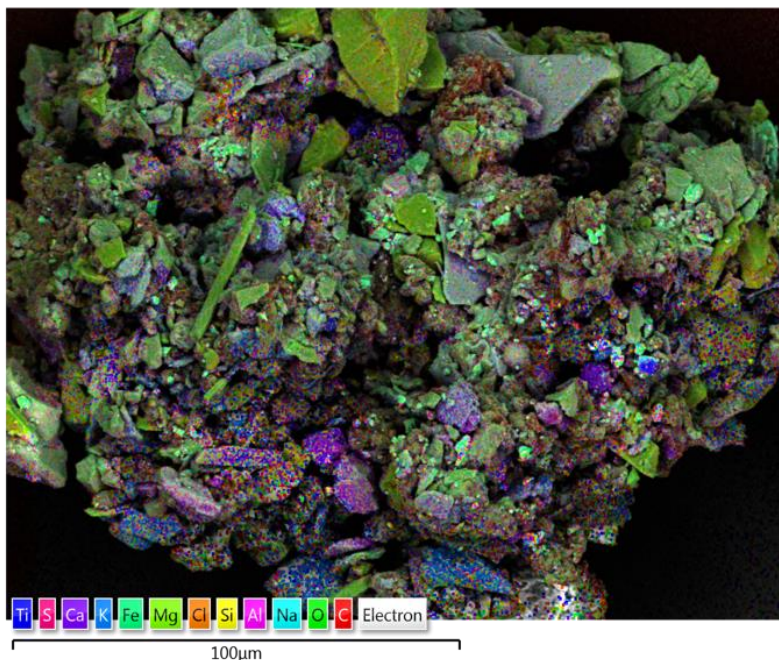
## 3.1 SEM

Partiklene som ble observert i mikroskopet består hovedsakelig av agglomerater. Hovedelementene i alle prøvene basert på synkende konsentrasjon er Si, O, Al, dernest så kommer C, Mg, Cl, Na, K, Ca, tilslutt, Fe, S, Ti. Agglomeratene består av forskjellige silikat-forbindelser/-partikler. De ser ut til å være bundet sammen av saltforbindelser, muligens også andre karbonholdige forbindelser. **Figur 7** og **8** viser eksempler på et agglomerat.



**Figur 7.** Typiske agglomerater bestående av hovedsakelig silisium- og aluminiumoksider iblandet andre grunnstoffer og partikler (C, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe, Ti). Størrelsen på agglomeratene er fra ca 10 – 200 µm. Prøve LfV0.5.

EDS Layered Image 18



**Figur 8.** Mapping over et agglomerat (Prøve LFH3.5). Alle elementene (og fargene) er tatt med her.

**Tabell 4.** oppsummerer funnene i SEM bildene, punktanalyser av spesielle partikler og mappingen av områder på prøvestubben. Agglomeratene fra lydfellene i alle forskjellige høyder er i hovedsak ganske like i sammensetning og stammer nok fra kilder som inneholder bergarter, i.e. veistøv eller grus, og fra veisalt og karbonpartikler fra kjøretøyer, mest sannsynlig fra diesel motorer. Prøvene GVD (Gulv v/ dør

innenfor lydfele) og ElrS (El-rom sjakt ved luftinnløpet til sjaktventilatorene) skiller seg litt ut ved at man finner enestående større partikkeltyper.

**Tabell 4.** Kvalitative observasjoner i SEM bildene av alle støvprøvene.

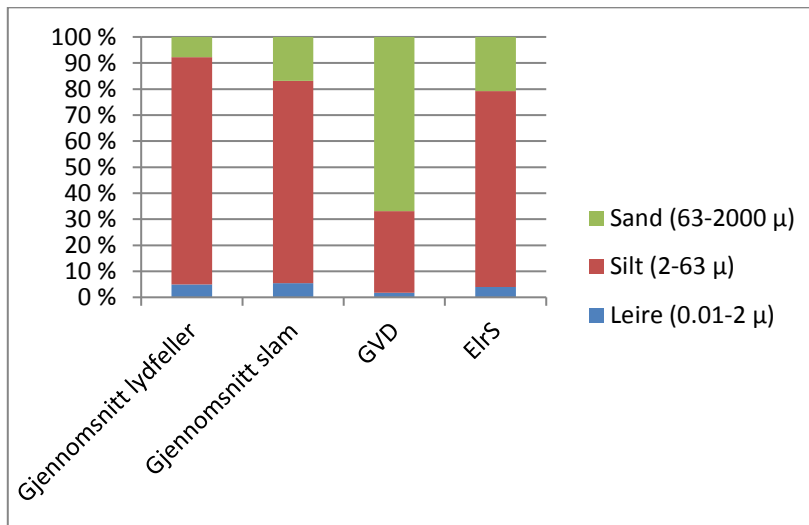
Prøve id	Beskrivelse ved inspeksjon	Beskrivelse utifra SEM oversiktsbilde	Ca størrelse og hovedgrunnstoffer i agglomerater i synkende kons. fra område mapping**	Spesielle partikkel funn (blant eller som et større agglomerat med ca diameter
LFH0.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe, Ti	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene
LFH1.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, Ca, K, Fe, Ti	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene NaCl (salt) partikler funnet iblandet agglomeratene
LFH2.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene Kalsium partikkel funnet iblandet agglomeratene
LFH3.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, Fe, Ca	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene Jernpartikkel funnet iblandet agglomeratene
LFH4.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe, Ti	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene Jernpartikkel funnet iblandet agglomeratene Svovelpartikkel funnet iblandet agglomeratene
LFV0.5	Homogen	Homogen	100-200 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe, Ti	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene
LFV2.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene
LFV4.5	Homogen	Homogen	50-300 µm; O, Si, Al, Na, Cl, Mg, S, K, Ca, Fe, Ti	Karbon partikler funnet iblandet agglomeratene
GVD	Sigarettsneip, fibre, delvis homogen	Homogen	10-100 µm; Si, O, Al, Na, Cl, Mg, Ca, S, K, Fe, Ti	Ren silisiumoksid partikkel (uten Al) ca 200 µm Kalsiumpartikkel ca 150 µm Karbonpartikkel ca 100 µm Jernpartikkel eller lag ca 100 µm Natriumklorid (salt) partikkel eller lag ca 50 µm Sandpartikkel (Si, Al) ca 200 µm
ElrS	Fibre, delvis homogen	Ikke homogen*	10-100 µm; O, Si, Al, Na, Mg, Fe, S, K, Ca, Cl	Karbonpartikkel 185,3 µm Sandpartikkel (Si, Al) ca 200 µm Sandpartikkel (Si) med lag av sink ca 50 µm Kalsiumpartikkel ca 50 µm Jernpartikkel ca 50 µm Jernpartikkel (kuleform) 10-20 µm

\*mindre forstørring i bildet enn for de andre prøvene

\*\*individuelle partikler kan ha innflytelse på resultatet, karbon ikke målt i mapping

### 3.2 Størrelsesfraksjonering

Etter nærmere vurdering av analysene (basert på alle målinger) ble data inndelt i lydfele, slam, GVD og ElrS. Størrelsesfraksjoner av innsamlet materiale er vist i **Figur 9**.



**Figur 9.** Størrelsesfraksjonering av materiale innsamlet fra lydfeller, slam, GVD og ElrS. Gjennomsnittlige verdier vises.

Størrelsesfraksjoneringen viste at silt-fraksjonen dominerte i materialet fra lydfeller og slam. Slam hadde en høyere andel av sand i forhold til materialet fra lydfellene. Leirfraksjonen utgjorde under 6% i de materialene som ble samlet inn. Prøven GVD skilte seg mest ut fra de andre, med en høy sandfraksjon.

### 3.3 Rock-Eval

Utvalgte parametere fra Rock-Eval analysen er vist i **Tabell 5**.

**Tabell 5.** Utvalgte parametere fra Rock-Eval analysen. Gjennomsnittlige verdier og standard avvik (St. dev.) vises.

Prøve	S1 - (mg/g)	S2 - (mg/g)	S3 - (mg/g)	PC(%)	RC(%)	TOC(%)	HI	OI	pyroMINC(%)	MINC(%)
<b>Lydfeller (gjennomsnitt)</b>	<b>0,2</b>	<b>54,8</b>	<b>7,7</b>	<b>4,9</b>	<b>5,1</b>	<b>10,0</b>	<b>547,8</b>	<b>77,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
<i>St.dev</i>	<i>0,1</i>	<i>2,5</i>	<i>0,3</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>22,8</i>	<i>3,3</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>
<b>Slam (gjennomsnitt)</b>	<b>0,2</b>	<b>50,4</b>	<b>4,8</b>	<b>4,4</b>	<b>3,5</b>	<b>7,9</b>	<b>634,6</b>	<b>61,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
<i>St.dev</i>	<i>0,1</i>	<i>12,7</i>	<i>1,0</i>	<i>1,1</i>	<i>0,7</i>	<i>1,7</i>	<i>22,3</i>	<i>5,4</i>	<i>0,03</i>	<i>0,04</i>
<b>GVD</b>	<b>0,14</b>	<b>42,94</b>	<b>4,29</b>	<b>3,74</b>	<b>2,79</b>	<b>6,53</b>	<b>658</b>	<b>66</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>
<b>ElrS</b>	<b>0,03</b>	<b>21,74</b>	<b>6,7</b>	<b>2,06</b>	<b>2,59</b>	<b>4,65</b>	<b>468</b>	<b>144</b>	<b>0,69</b>	<b>1,39</b>

Prøvematerialet inneholdt lette hydrokarboner (jevn stigning i FID-signalet fra lav temperatur til høy) og en tydelig tyngre hydrokarbonkomponent (sterkt signal fra FID-analysen ved ca 450°C). Materialet fra lydfellene og slam inneholdt ca 10% TOC. Parameterne S3, RC, OI og MINC var høyere i lydfellene i forhold til slamprøvene. I slamprøvene var HI høyere enn materialet fra lydfellene. Prøvene GVD og ElrS avvik fra de andre i kjemisk sammensetning.

### 3.4 Metaller

I **Tabell 6** og **Tabell 7** vises målte konsentrasjoner av metaller og PAH -forbindelser i innsamlet materiale. Ratioer av noen PAH-forbindelser er vist i **Tabell 8**.

**Tabell 6.** Konsentrasjoner av metaller (totaloppluttede prøver) i innsamlet materiale.

Prøve	Arsen (mg/kg)	Bly (mg/kg)	Jern (mg/kg)	Kadmium (mg/kg)	Kobber (mg/kg)	Mangan (mg/kg)	Nikkel (mg/kg)	Sink (mg/kg)	Svovel (mg/kg)	Sølv (mg/kg)	Vanadium (mg/kg)	Wolfram (mg/kg)
<b>Lydfeller (gjennomsnitt)</b>	<b>9,2</b>	<b>13</b>	<b>35875</b>	<b>0,04</b>	<b>431</b>	<b>470</b>	<b>48</b>	<b>964</b>	<b>2488</b>	<b>0,2</b>	<b>69</b>	<b>30</b>
<i>St. dev</i>	<i>0,2</i>	<i>0,9</i>	<i>3257</i>	<i>0,002</i>	<i>55</i>	<i>12</i>	<i>7</i>	<i>24</i>	<i>117</i>	<i>0,05</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<b>Slam (gjennomsnitt)</b>	<b>9,3</b>	<b>11</b>	<b>26143</b>	<b>0,1</b>	<b>164</b>	<b>422</b>	<b>24</b>	<b>645</b>	<b>1436</b>	<b>0,2</b>	<b>62</b>	<b>18</b>
<i>St. dev</i>	<i>0,9</i>	<i>2,0</i>	<i>5153</i>	<i>0,03</i>	<i>33</i>	<i>47</i>	<i>4</i>	<i>143</i>	<i>266</i>	<i>0,2</i>	<i>14</i>	<i>6</i>
<b>GVD</b>	<b>8,9</b>	<b>8,2</b>	<b>37000</b>	<b>0,047</b>	<b>180</b>	<b>370</b>	<b>44</b>	<b>440</b>	<b>1500</b>	<b>0,06</b>	<b>52</b>	<b>13</b>
<b>ElrS</b>	<b>7,8</b>	<b>24</b>	<b>55000</b>	<b>0,32</b>	<b>34000</b>	<b>520</b>	<b>150</b>	<b>3800</b>	<b>2000</b>	<b>0,51</b>	<b>41</b>	<b>17</b>

**Tabell 7.** Konsentrasjoner (mg/kg) av PAH-forbindelser i innsamlet materiale. \* påfulgt av siffer angir antall målinger under kvantifiseringsgrensen. Antall ringer i PAH-forbindelsen er gitt i parentes.

Prøve	Naftalen (2)	Acenaften (3)	Acenaftalen (3)	Fluoren (3)	Fenantren (3)	Antracen (3)	Pyren (4)	Benzo[a]antracen (4)	Fluoranten (4)	Krysen (4) + Trifenylene	Benzo[a]pyren (5)	Benzo[b]fluoranten (5)	Benzo[k]fluoranten (5)	Dibenzo[a,h]antracen (5)	Benzo[g,h,i]perylene (6)	Indeno[1,2,3-cd]pyren (6)	ΣPAH 16
<b>Lydfeller (gj. snitt, n= 8)</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt; 0,02*<sup>8</sup></b>	<b>0,03</b>	<b>0,1</b>	<b>1,0</b>	<b>0,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1*<sup>1</sup></b>	<b>0,03*<sup>4</sup></b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>5,0</b>
<i>St. dev</i>	<i>0,01</i>		<i>0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,1</i>	<i>0,01</i>	<i>0,1</i>	<i>0,01</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,01</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,004</i>	<i>0,1</i>	<i>0,02</i>	<i>0,3</i>
<b>Slam (gj. snitt, n= 14)</b>	<b>0,04</b>	<b>&lt; 0,02*<sup>14</sup></b>	<b>&lt; 0,03*<sup>14</sup></b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,04*<sup>3</sup></b>	<b>0,8</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,03*<sup>7</sup></b>	<b>0,04*<sup>6</sup></b>	<b>0,2</b>	<b>0,1*<sup>1</sup></b>	<b>3,1</b>
<i>St. dev</i>	<i>0,01</i>			<i>0,03</i>	<i>0,1</i>	<i>0,01</i>	<i>0,1</i>	<i>0,02</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,02</i>	<i>0,1</i>	<i>0,004</i>	<i>0,008</i>	<i>0,1</i>	<i>0,01</i>	<i>0,4</i>
<b>GVD</b>	<b>0,03</b>	<b>&lt; 0,02</b>	<b>&lt; 0,02</b>	<b>&lt; 0,02</b>	<b>0,5</b>	<b>0,029</b>	<b>0,8</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>		<b>0,04</b>	<b>3,0</b>
<b>ElrS</b>	<b>0,03</b>	<b>&lt; 0,02</b>	<b>&lt; 0,02</b>	<b>&lt; 0,02</b>		<b>&lt; 0,02</b>		<b>0,03</b>			<b>0,03</b>	<b>0,1</b>	<b>&lt; 0,020</b>	<b>&lt; 0,020</b>		<b>&lt; 0,02</b>	<b>1,4</b>

**Tabell 8.** Ratioer til utvalgte PAH-forbindelser som gir indikasjoner til kilder (pyrogent eller petrogent).

<b>PAH-ratioer</b>	<b>Lydfelle</b>	<b>Slam</b>
Antracen/Antracen+Fenan	0,08	0,08
Fluoranten/Fluoranten+Pyren	0,4	0,4
Benzo[a]antracen/Benzo[a]antracen+Krysen	0,2	0,1
Indeno[1,2,3-cd]pyren/Indeno[1,2,3-cd]pyren+Benzo[g,h,i]perylen	0,2	0,2



Konsentrasjoner av Fe, Cu, Ni, Zn, S og W var høyere i materialet fra lydfellene, mens konsentrasjonen av Cd var høyest i slammet. I prøven ElrS ble det målt særdeles høye konsentrasjoner av en rekke metaller.

Sum PAH16 var noe høyere i lydfellene i forhold til slammet. Den høyere konsentrasjonen i lydfellene kunne tilskrives de letteste PAH-forbindelsene (2,3 og 4 ringede forbindelser). Ratioer til utvalgte PAH-forbindelser indikerte at PAH-forbindelsene var fra petroleumskilder, som hadde vært gjennom en forbrenningsprosess og ikke, dvs blandede kilder (Yunker, Macdonald et al. 2002).

## 4 Oppsummering

Størrelsesfraksjonen silt dominerte slammet og materialet fra lydfellene. Slammet hadde en høyere andel av sand i forhold til lydfellene, mens leirfraksjonene var omtrent like. Sem bilder av støvprøvene viste at støvet bestod av agglomerater på størrelse orden 10-300 µm.

I forhold til slammet hadde materialet på lydfellene en høyere konsentrasjon av karbonmateriale som var av mineralsk opprinnelse, samt en høyere andel av mer inert, lignende «Black Carbon» og karbonet var mer anrikt av oksygen. Slammet hadde karbonkilder som var mer anrikt med hydrogen i forhold til materialet fra lydfellene.

Konsentrasjoner av Fe, Cu, Ni, Zn, S og W var høyere i materialet fra lydfellene, mens konsentrasjonen av Cd var høyest i slammet. I vegtrafikk regnes slitasje av dekk å være største kilden til Zn, kilden til Cu antas å ha sitt opphav fra bremseser, S fra drivstoff og W fra piggdekk. For Ni kan kildene være drivstoff, smøreolje, metaller og belegg på bremseser. Kilder til Fe kan være mange. Kadmium antas å ha sitt opphav fra dekkslitasje.

Sum PAH16 var noe høyere i lydfellene i forhold til slammet. Den høyere konsentrasjonen i lydfellene kunne tilskrives de letteste PAH-forbindelsene (2,3 og 4 ringede forbindelser). Ratioer til utvalgte PAH-forbindelser indikerte at PAH-forbindelsene fra slam og lydfeller var fra petroleumskilder, som hadde vært gjennom en forbrenningsprosess (pyrogent) og ikke (petrogent), dvs blandede kilder.

Det var ingen antydning til kjemiske forskjeller i materialet som var samlet inn fra de ulike høyder i lydfellen. Dette ble også vist i SEM-analysene. I slammet som var samlet inn var det ingen tendens til reduksjoner i konsentrasjoner av TOC, metaller, PAH-forbindelser eller sedimentering av tyngre materiale (sand) fra kum 1 til kum 6.

Partikler med kilder fra forbrenningsmotorer og mekaniske prosesser som bremsing og piggdekkslitasje danner partikler som kan suspenderes i luft over lengre perioder, bla. pga deres små størrelser. Disse små partiklene koagulerer i luft og ved deposisjon, og danner til slutt agglomerater. Støvet fanget på lydfellen er påvist til å være litt forskjellig fra slammet, og disse forskjellene er assosiert med kilder som er korrelert med større andel mindre partikler. Dvs. det vi observerer stemmer med det vi vet fra teorien om at i støvet suspendert i lufta er det en høyere andel mindre partikler enn i det støvet som akkumulerer på bakken.

## 5 Referanser

Hatlenes, C. (2011). "T-forbindelsen. Analyse av ingeniørgeologiske forhold knyttet til krysning av svakhetssoner i undersjøisk tunnel." Masteroppgave NTNU, 111 s + vedlegg.

Sandven, R. B., et al. (2006). "Risikoanalyse T-forbindelsen." Region Vest, prosjektering.

Yunker, M. B., et al. (2002). "PAHs in the Fraser River basin; a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition." Organic Geochemistry **33**: 489-515.

## 6 Vedlegg

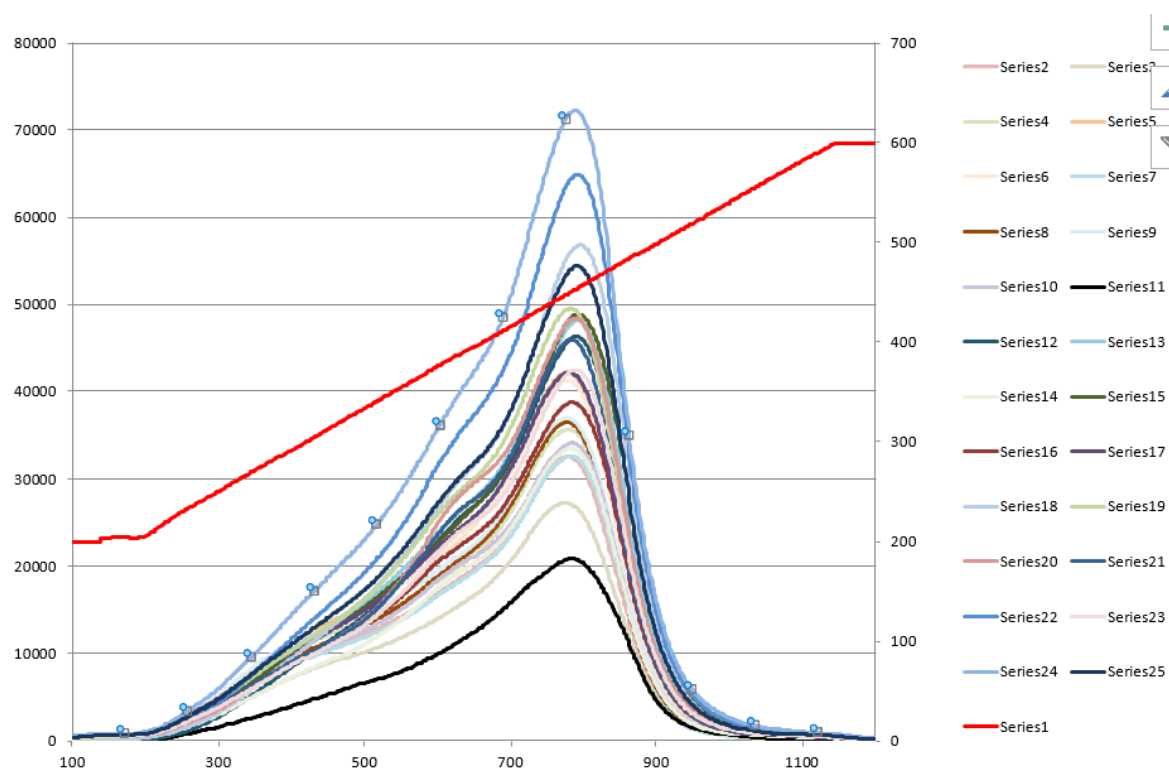
**Vedlegg 1.** Størrelsesfraksjoner av slam og støv.

Sample Name	Leire (0.01-2 $\mu$ )	Silt (2-63 $\mu$ )	Sand (63-2000 $\mu$ )
LF1	4,50	88,07	7,44
LF8	4,95	84,75	10,30
LF5	4,60	85,01	10,38
LF2	5,41	87,22	7,37
LF3	4,73	87,78	7,48
LF6	5,77	88,42	5,81
LF7	4,81	86,83	8,36
LF4	4,79	90,10	5,11
GVD9	1,78	31,33	66,89
EIR10	3,93	75,30	20,76
HS11	5,11	73,86	21,03
HS12	3,48	57,57	38,95
MS13	7,58	85,66	6,76
HBS14	4,52	75,97	19,51
HS15	4,33	70,16	25,51
HS16	5,97	81,58	12,45
MBS17	4,47	74,03	21,50
HS18	3,81	76,67	19,51
HS19	3,98	75,22	20,80
MS20	5,76	81,61	12,63
MS21	6,50	84,89	8,61
MS22	6,08	82,83	11,10
MS23	7,77	85,98	6,25
MS24	5,96	82,79	11,26

**Vedlegg 2:** Rock-Eval analyser.

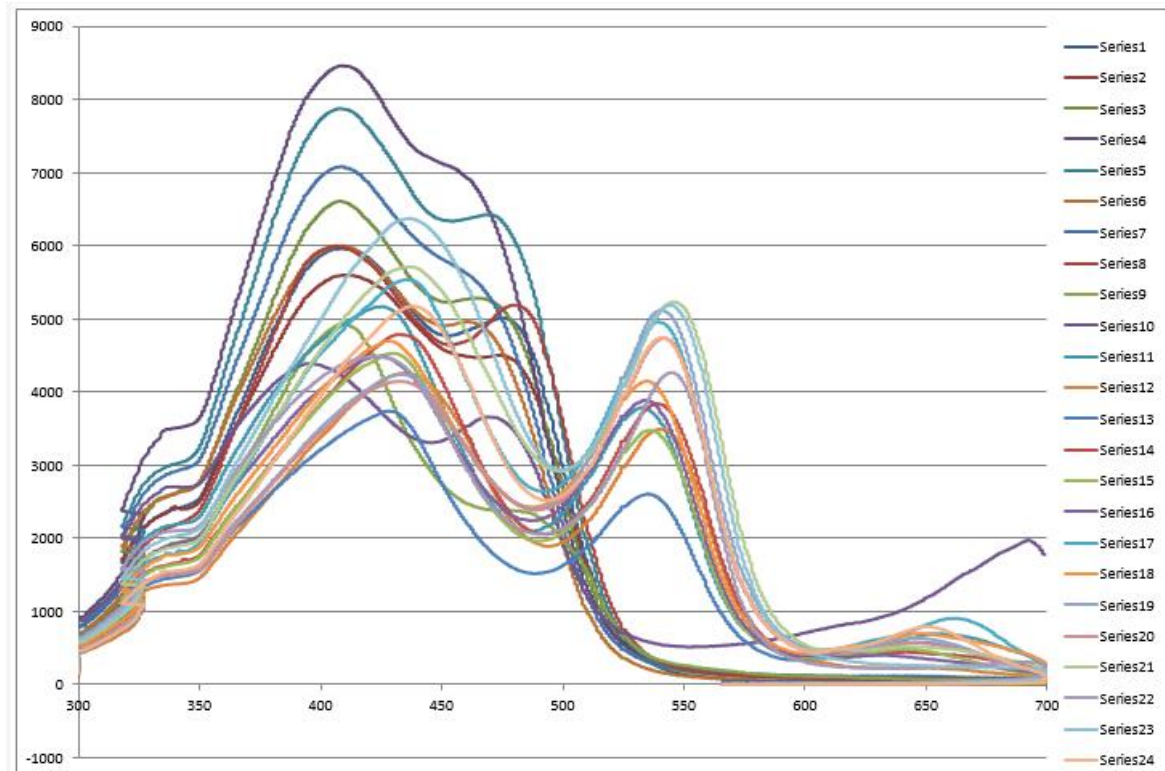
Ny iD	Deltares id
LFH0.5	Series 2 i FID og Series 1 i IR
LFH3.5	Series 3 i FID og Series 2 i IR
LFH4.5	Series 4 i FID og Series 3 i IR
LFH4.5	Series 5 .....Tilsvarende for de andre prøvene under
LFH2.5	Series 6
LFV0.5	Series 7
LFV2.5	Series 8
LFH1.5	Series 9
GVD	Series 10
ElrS	Series 11
HK1	Series 12
HK2	Series 13
MK6	Series 14
HB	Series 15
HK4	Series 16
HK3	Series 17
MB	Series 18
HK5	Series 19
HK6	Series 20
HK2	Series 21
MK1	Series 22
MK4	Series 23
MK3	Series 24
MK5	Series 25

FID-spektra (series 1 = temp (°C)/høyre y-akse, venstre akse = FID-signal og x-akse = tid )



IR-spektra (X-akse = temp (°C), Y-akse = IR-signal)





ID	Deltares id	Qty - (mg)	KFID	S1 - (mg/g)	S2 - (mg/g)	PI	Tmax(°C)	TpkS2(°C)	S3CO - (mg/g)	S3'CO - (mg/g)	S3 - (mg/g)	S3' - (mg/g)	PC(%)	RC(%)	TOC(%)	HI	OICO	OI	pyroMINC(%)	oxiMINC(%)	MINC(%)
LFH0.5	Series 2	16,2	834	0,09	53,15	0,00	410	448	0,90	3,30	7,41	18,10	4,73	5,10	9,83	541	9	75	0,56	0,00	0,56
LFH3.5	Series 3	14,3	834	0,05	50,47	0,00	409	447	0,73	3,90	8,24	19,10	4,53	5,53	10,06	502	7	82	0,60	0,03	0,63
LFH4.5	Series 4	17,4	834	0,22	55,69	0,00	410	448	1,05	1,30	7,51	13,70	4,92	4,99	9,91	562	11	76	0,40	0,01	0,41
LFH4.5	Series 5	19,6	834	0,24	56,70	0,00	410	448	1,16	1,20	7,78	13,80	5,01	5,49	10,50	540	11	74	0,40	0,01	0,41
LFH2.5	Series 6	20,0	834	0,16	54,54	0,00	410	448	0,88	2,30	7,43	16,30	4,83	5,24	10,07	542	9	74	0,49	0,00	0,50
LFV0.5	Series 7	16,2	834	0,15	53,11	0,00	413	451	0,61	3,00	7,82	16,30	4,72	4,67	9,39	566	6	83	0,51	0,00	0,51
LFV2.5	Series 8	17,4	834	0,19	54,92	0,00	410	448	0,72	2,10	7,73	14,90	4,86	5,23	10,09	544	7	77	0,45	0,03	0,48
LFH1.5	Series 9	17,1	834	0,35	59,46	0,01	410	448	0,99	1,20	7,60	13,00	5,24	4,93	10,17	585	10	75	0,38	0,02	0,40
GVD	Series 10	21,3	834	0,14	42,94	0,00	413	451	0,46	1,50	4,29	10,40	3,74	2,79	6,53	658	7	66	0,32	0,00	0,32
ElrS	Series 11	24,5	834	0,03	21,74	0,00	413	451	0,66	2,00	6,70	23,60	2,06	2,59	4,65	468	14	144	0,69	0,70	1,39
HK1	Series 12	29,9	834	0,02	38,83	0,00	415	453	0,78	1,70	3,72	8,80	3,40	2,98	6,38	609	12	58	0,28	0,02	0,30
HK2	Series 13	16,4	834	0,26	76,20	0,00	417	455	1,24	1,50	6,75	11,00	6,62	4,62	11,24	678	11	60	0,33	0,02	0,35
MK6	Series 14	26,5	834	0,07	32,55	0,00	412	450	0,41	2,10	3,59	7,30	2,87	2,38	5,25	620	8	68	0,24	0,01	0,26
HB	Series 15	24,9	834	0,17	50,28	0,00	417	455	0,96	1,00	5,33	7,30	4,40	3,38	7,78	646	12	69	0,22	0,02	0,24
HK4	Series 16	26,9	834	0,10	37,99	0,00	413	451	0,57	2,30	4,08	9,20	3,35	2,86	6,21	612	9	66	0,30	0,01	0,31
HK3	Series 17	20,0	834	0,24	56,57	0,00	412	450	0,84	2,60	6,25	9,70	4,98	4,14	9,12	620	9	69	0,32	0,02	0,34
MB	Series 18	34,1	834	0,04	40,68	0,00	418	456	0,44	1,50	3,45	7,20	3,52	2,97	6,49	627	7	53	0,23	0,02	0,24
HK5	Series 19	28,4	834	0,09	44,83	0,00	412	450	0,60	2,10	4,25	8,20	3,91	3,01	6,92	648	9	61	0,27	0,03	0,29
HK6	Series 20	24,3	834	0,17	49,89	0,00	415	453	0,71	1,30	4,93	8,10	4,35	3,66	8,01	623	9	62	0,25	0,01	0,26
HK2	Series 21	23,7	834	0,19	48,71	0,00	413	451	0,56	1,80	4,91	8,50	4,26	3,60	7,86	620	7	62	0,27	0,02	0,29
MK1	Series 22	27,0	834	0,20	59,85	0,00	416	454	0,98	1,40	4,96	8,50	5,19	4,02	9,21	650	11	54	0,26	0,02	0,28
MK4	Series 23	24,0	834	0,18	45,25	0,00	415	453	0,53	1,60	4,80	9,00	3,96	3,47	7,43	609	7	65	0,28	0,10	0,38
MK3	Series 24	24,1	834	0,28	76,64	0,00	415	453	1,18	1,70	6,16	8,30	6,64	4,69	11,33	676	10	54	0,26	0,03	0,29
MK5	Series 25	29,4	834	0,17	47,45	0,00	416	454	0,62	1,20	4,15	7,90	4,12	3,21	7,33	647	8	57	0,24	0,01	0,25

Vedlegg 3: Cluster- og prinsipalkomponentanalyse.

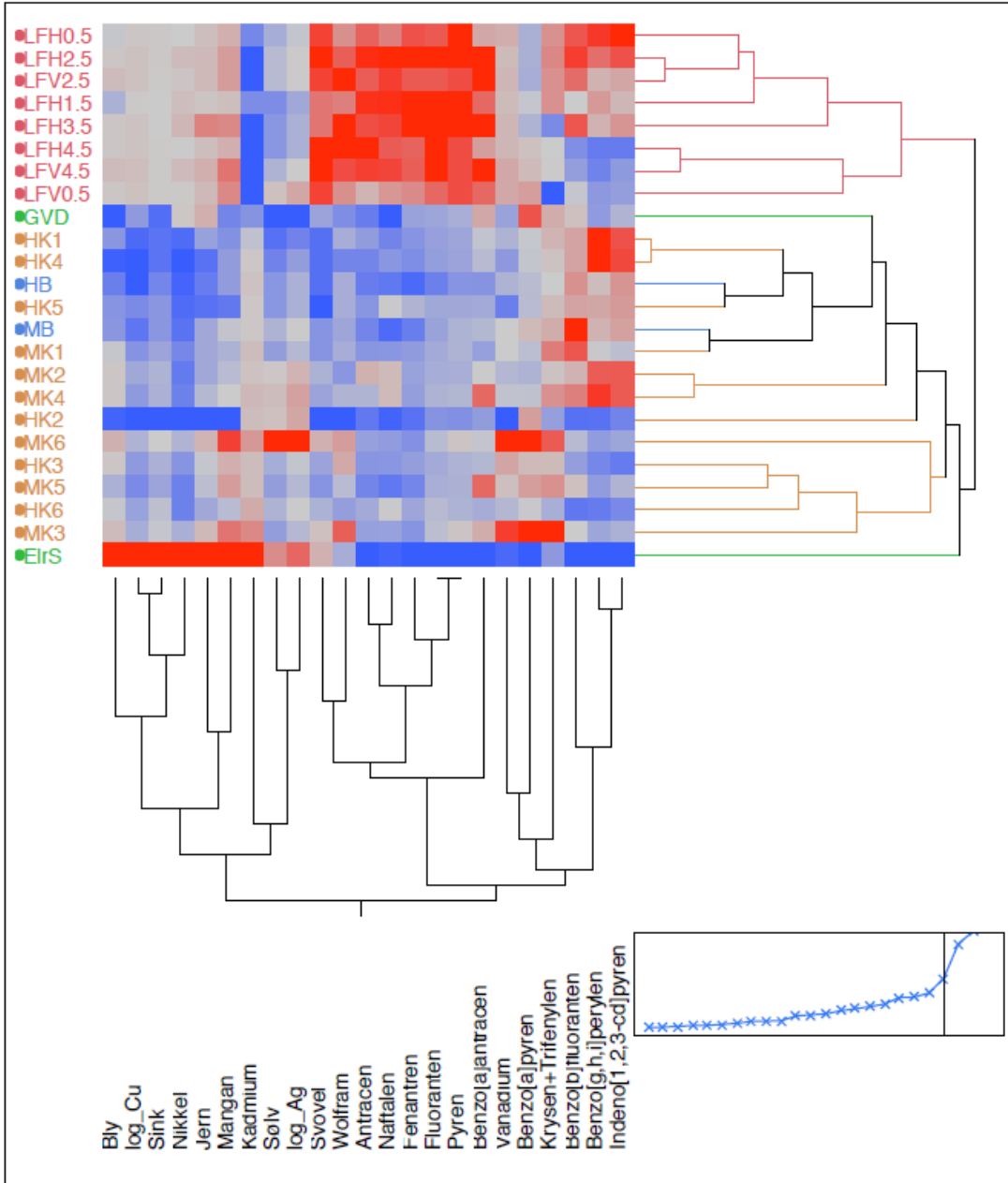
Cluster + PCA.jrn

Page 1 of 2

Hierarchical Clustering

Method = Ward

Dendrogram



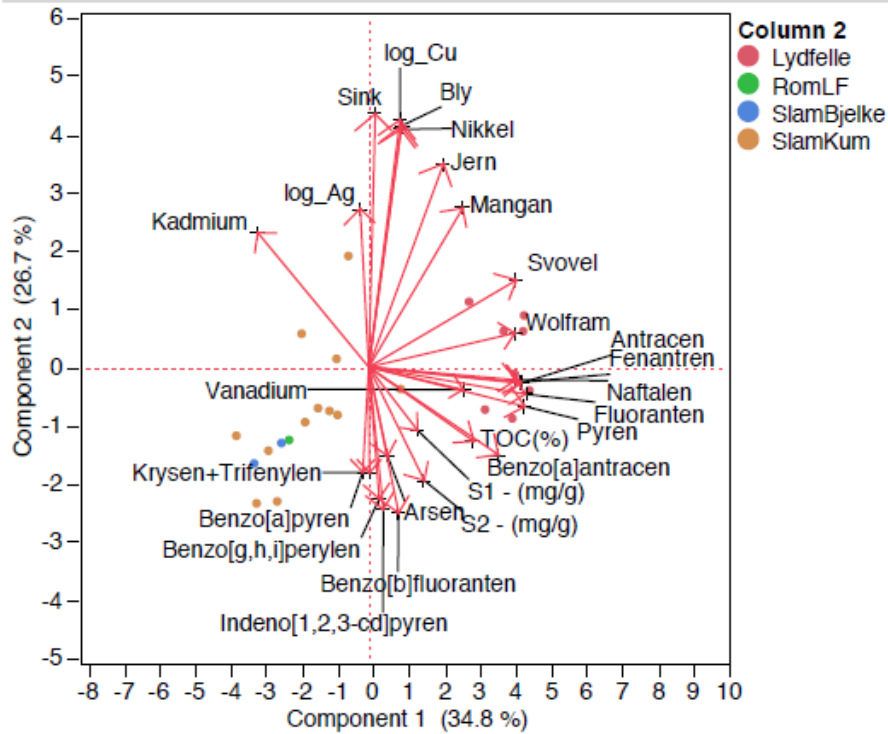
Principal Components: on Correlations

Biplot

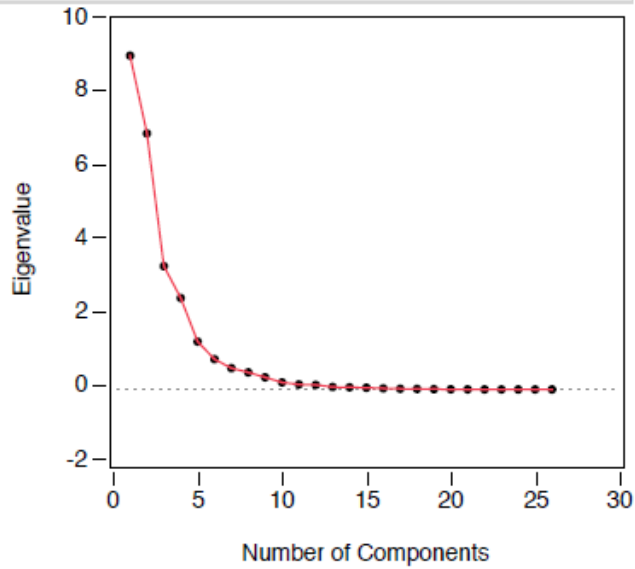


Principal Components: on Correlations

Biplot



Scree Plot



### Analyseresultat: Partikkelfraksjon og metall (mg/kg)

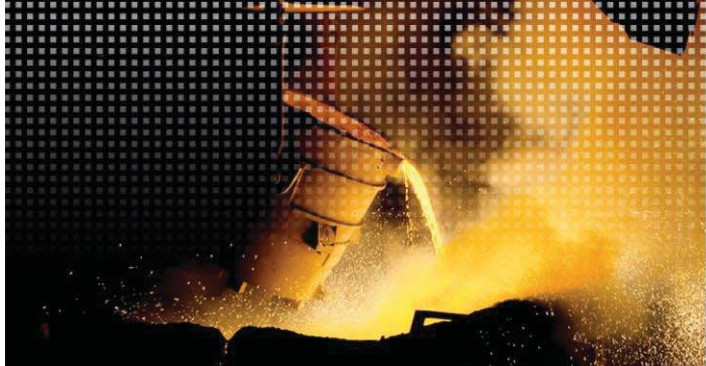
Lokasjon	Leire (0.01 - 2 µ)	Silt (2 - 63 µ)	Sand (63- 2000 µ)	Arsen	Bly	Jern	Kadmium	Kobber	Mangan	Nikkel	Sink	Svovel	Sølv	Vanadium	Wolfram
Lydfelle H 0,5m	4,5	88,1	7,4	9,1	12	34000	0,038	380	460	38	990	2500	0,15	70	27
H 1,5 m	4,8	90,1	5,1	8,9	11	33000	0,042	330	450	53	930	2300	0,11	67	28
H 2,5 m	4,7	87,8	7,5	9	13	35000	< 0,010	450	470	54	990	2600	0,17	67	30
H 3,5 m	4,9	84,8	10,3	9	13	44000	< 0,010	430	480	59	920	2300	0,12	68	33
H 4,5 m	4,6	85,0	10,4	9,2	13	34000	< 0,010	420	460	40	970	2600	0,12	68	33
V 0,5 m	5,8	88,4	5,8	9,3	13	35000	< 0,010	460	480	42	960	2500	0,27	71	27
V 2,5 m	4,8	86,8	8,4	9,5	14	35000	< 0,010	450	470	46	970	2500	0,17	68	33
V 4,5 m	5,4	87,2	7,4	9,6	14	37000	< 0,010	530	490	54	980	2600	0,16	71	31
Gulv v/ dør	1,8	31,3	66,9	8,9	8,2	37000	0,047	180	370	44	440	1500	0,06	52	13
El-rom sjakt	3,9	75,3	20,8	7,8	24	55000	0,32	34000	520	150	3800	2000	0,51	41	17
Slamutskiller Håvik:															
Kum 1	5,1	73,9	21,0	11	10	25000	0,088	130	380	21	460	1200	0,08	56	17
Kum 2	3,5	57,6	39,0	7,9	8,4	18000	0,13	120	340	19	380	1100	0,27	39	7,8
Delevegg	4,5	76,0	19,5	9	9,2	21000	0,12	120	390	20	530	1200	0,12	56	17
Kum 3	6,0	81,6	12,5	10	13	30000	0,13	180	460	27	720	1500	0,15	72	25
Kum 4	4,3	70,2	25,5	9,8	8,3	20000	0,11	120	390	19	460	1200	0,1	50	12
Kum 5	3,8	76,7	19,5	8	9,9	20000	0,11	160	360	21	600	1100	0,12	45	17
Kum 6	4,0	75,2	20,8	9,2	12	26000	0,16	190	420	24	800	1600	0,16	57	15
Slamutskiller Mjåsund:															
Kum 1	6,5	84,9	8,6	8,2	12	26000	0,13	170	410	25	660	1400	0,13	63	17
Kum 2	5,8	81,6	12,6	8,8	13	26000	0,12	200	420	23	730	1600	0,23	57	14
Delevegg	4,5	74,0	21,5	10	10	26000	0,11	140	430	22	600	1400	0,16	63	16
Kum 3	7,8	86,0	6,3	9,2	14	35000	0,21	210	490	32	840	1900	0,13	88	30
Kum 4	6,1	82,8	11,1	9,1	13	28000	0,14	180	440	24	720	1500	0,29	60	18
Kum 5	6,0	82,8	11,3	9,8	11	29000	0,13	160	470	24	660	1400	0,13	66	19
Kum 6	7,6	85,7	6,8	10	15	36000	0,19	220	510	33	870	2000	0,85	91	26

**Analyseresultat PAH (mg/kg) og Karbon (%)**

Lokasjon	Sum PAH 16 mg/kg	Acenaften	Acenaftylen	Antracen	Benzo[a]antracen	Benzo[a]pyren	Benzo[b]fluoranten	Benzo[g,h,i]perylene	Benzo[k]fluoranten	Dibenzo[a,h]antracen	Fenantren	Fluoranten	Fluoren	Indeno[1,2,3-cd]pyren	Krysen+Trifenylen	Naftalen	Pyren	PC %	RC %	TOC %
Lydfelle H 0,5m	5,2	<0,028	0,038	0,083	0,098	0,073	0,28	0,26	0,039	0,033	1	1	0,057	0,074	0,52	0,065	1,6	4,73	5,1	9,83
H 1,5 m	5,3	<0,026	0,033	0,093	0,11	0,088	0,21	0,2	0,043	<0,026	1,1	1,1	0,057	0,054	0,52	0,076	1,6	5,24	4,93	10,17
H 2,5 m	5,4	<0,027	0,038	0,094	0,12	0,073	0,29	0,23	0,031	0,03	1,1	1,1	0,064	0,069	0,53	0,077	1,6	4,83	5,24	10,07
H 3,5 m	5,1	<0,027	0,033	0,087	0,12	0,075	0,28	0,18	0,042	0,026	1,1	1,1	0,061	0,06	0,22	0,073	1,6	4,53	5,53	10,06
H 4,5 m	4,7	<0,026	0,033	0,095	0,1	0,097	0,12	0,071	<0,026	<0,026	0,96	1,1	0,053	0,028	0,44	0,07	1,5	4,92	4,99	9,91
V 0,5 m	4,4	<0,028	0,029	0,061	0,11	0,11	0,2	0,097	0,2	<0,028	0,85	0,97	0,059	0,036	0,1	0,061	1,5	4,72	4,67	9,39
V 2,5 m	5	<0,023	0,033	0,084	0,12	0,071	0,27	0,18	0,033	0,023	0,98	1	0,058	0,057	0,52	0,074	1,5	4,86	5,23	10,09
V 4,5 m	4,8	<0,026	0,034	0,09	0,12	0,1	0,14	0,078	0,027	<0,026	0,97	1,1	0,056	0,035	0,45	0,073	1,5	5,01	5,49	10,5
Gulv v/ dør	3	<0,020	<0,020	0,029	0,098	0,13	0,22	0,099	0,044	0,026	0,46	0,51	<0,020	0,042	0,49	0,029	0,83	3,74	2,79	6,53
El-rom sjakt	1,4	<0,022	<0,022	<0,022	0,028	0,031	0,065	0,048	<0,022	<0,022	0,28	0,26	<0,022	<0,022	0,26	0,03	0,37	2,06	2,59	4,65
Slamutskiller Håvik																				
Kum 1	3,2	<0,028	<0,028	0,037	0,082	0,089	0,24	0,27	0,031	0,049	0,42	0,49	0,11	0,069	0,48	0,035	0,77	3,4	2,98	6,38
Kum 2	2,2	<0,025	<0,025	0,028	0,058	0,11	0,086	0,064	<0,025	<0,025	0,33	0,44	0,064	0,03	0,28	0,03	0,64	6,62	4,62	11,24
Delevegg	2,5	<0,029	<0,029	<0,029	0,053	0,081	0,25	0,17	<0,029	0,03	0,31	0,37	0,046	0,06	0,44	0,033	0,66	4,4	3,38	7,78
Kum 3	2,9	<0,028	<0,028	0,035	0,074	0,1	0,14	0,081	<0,028	<0,028	0,45	0,53	0,11	0,028	0,47	0,038	0,87	4,98	4,14	9,12
Kum 4	3,1	<0,025	<0,025	0,031	0,076	0,087	0,24	0,27	0,035	0,048	0,4	0,48	0,084	0,07	0,46	0,038	0,76	3,35	2,86	6,21
Kum 5	3,2	<0,027	<0,027	0,035	0,066	0,08	0,24	0,19	<0,027	0,031	0,52	0,52	0,1	0,059	0,47	0,049	0,79	3,91	3,01	6,92
Kum 6	2,8	<0,031	<0,031	0,041	0,067	0,09	0,093	0,071	<0,031	<0,031	0,47	0,6	0,11	<0,031	0,33	0,049	0,86	4,35	3,66	8,01
Slamutskiller Mjåsund																				
Kum 1	3,2	<0,026	<0,026	0,035	0,06	0,082	0,28	0,15	0,028	0,027	0,44	0,53	0,11	0,045	0,54	0,038	0,87	5,19	4,02	9,21
Kum 2	3,3	<0,026	0,04	0,062	0,089	0,075	0,23	0,24	0,032	0,042	0,46	0,54	0,11	0,068	0,46	0,054	0,83	4,26	3,6	7,86
Delevegg	3,1	<0,026	<0,026	0,031	0,074	0,1	0,3	0,18	0,029	0,033	0,36	0,5	0,027	0,058	0,49	0,031	0,86	3,52	2,97	6,49
Kum 3	3,5	<0,038	<0,038	<0,038	0,097	0,14	0,21	0,11	<0,038	<0,038	0,42	0,62	0,1	0,041	0,61	0,04	1,1	6,64	4,69	11,33
Kum 4	3,5	<0,028	<0,028	0,044	0,11	0,084	0,26	0,26	0,037	0,045	0,45	0,57	0,11	0,068	0,52	0,054	0,89	3,96	3,47	7,43
Kum 5	3	<0,031	<0,031	<0,031	0,11	0,11	0,22	0,1	0,04	<0,031	0,38	0,55	0,068	0,042	0,52	0,033	0,85	4,12	3,21	7,33
Kum 6	3,4	<0,035	<0,035	0,038	0,083	0,14	0,18	0,1	<0,035	<0,035	0,41	0,61	0,11	0,038	0,57	0,039	1,1	2,87	2,38	5,25

**Analyseresultat: Rock Eval**

	Qty - (mg)	KFID	S1 - (mg/g)	S2 - (mg/g)	PI	Tmax(°C)	Tpks2(°C)	S3CO - (mg/g)	S3'CO - (mg/g)	S3 - (mg/g)	S3' - (mg/g)	PC(%)	RC(%)	TOC(%)	RC/PC	HI	OICO	OI	pyroMINC(%)	oxiMINC(%)	MINC(%)
Lydfelle H 0,5m	16,2	834	0,1	53,2	0	410	448	0,9	3,3	7,4	18,1	4,7	5,1	9,8	1,1	541	9,0	75	0,56	0,00	0,56
H 1,5 m	17,1	834	0,4	59,5	0,010	410	448	1,0	1,2	7,6	13,0	5,2	4,9	10,2	0,9	585	10,0	75	0,38	0,02	0,40
H 2,5 m	20,0	834	0,2	54,5	0	410	448	0,9	2,3	7,4	16,3	4,8	5,2	10,1	1,1	542	9,0	74	0,49	0,00	0,50
H 3,5 m	14,3	834	0,1	50,5	0	409	447	0,7	3,9	8,2	19,1	4,5	5,5	10,1	1,2	502	7,0	82	0,60	0,03	0,63
H 4,5 m	17,4	834	0,2	55,7	0	410	448	1,1	1,3	7,5	13,7	4,9	5,0	9,9	1,0	562	11,0	76	0,40	0,01	0,41
V 0,5 m	16,2	834	0,2	53,1	0	413	451	0,6	3,0	7,8	16,3	4,7	4,7	9,4	1,0	566	6,0	83	0,51	0,00	0,51
V 2,5 m	17,4	834	0,2	54,9	0	410	448	0,7	2,1	7,7	14,9	4,9	5,2	10,1	1,1	544	7,0	77	0,45	0,03	0,48
V 4,5 m	19,6	834	0,2	56,7	0	410	448	1,2	1,2	7,8	13,8	5,0	5,5	10,5	1,1	540	11,0	74	0,40	0,01	0,41
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>17,3</b>	<b>834</b>	<b>0,2</b>	<b>54,8</b>	<b>0</b>	<b>410</b>	<b>448</b>	<b>0,9</b>	<b>2,3</b>	<b>7,7</b>	<b>15,7</b>	<b>4,9</b>	<b>5,1</b>	<b>10,0</b>	<b>1,1</b>	<b>548</b>	<b>8,8</b>	<b>77</b>	<b>0,47</b>	<b>0,01</b>	<b>0,49</b>
Gulv v/ dør	21,3	834	0,1	42,9	0	413	451	0,5	1,5	4,3	10,4	3,7	2,8	6,5	0,7	658	7,0	66	0,32	0,00	0,32
El-rom sjakt	24,5	834	0,0	21,7	0	413	451	0,7	2,0	6,7	23,6	2,1	2,6	4,7	1,3	468	14,0	144	0,69	0,70	1,39
Slamutskiller Håvik																					
Kum 1	29,9	834	0,0	38,8	0	415	453	0,8	1,7	3,7	8,8	3,4	3,0	6,4	0,9	609	12,0	58	0,28	0,02	0,30
Kum 2	16,4	834	0,3	76,2	0	417	455	1,2	1,5	6,8	11,0	6,6	4,6	11,2	0,7	678	11,0	60	0,33	0,02	0,35
Delevegg	24,9	834	0,2	50,3	0	417	455	1,0	1,0	5,3	7,3	4,4	3,4	7,8	0,8	646	12,0	69	0,22	0,02	0,24
Kum 3	20,0	834	0,2	56,6	0	412	450	0,8	2,6	6,3	9,7	5,0	4,1	9,1	0,8	620	9,0	69	0,32	0,02	0,34
Kum 4	26,9	834	0,1	38,0	0	413	451	0,6	2,3	4,1	9,2	3,4	2,9	6,2	0,9	612	9,0	66	0,30	0,01	0,31
Kum 5	28,4	834	0,1	44,8	0	412	450	0,6	2,1	4,3	8,2	3,9	3,0	6,9	0,8	648	9,0	61	0,27	0,03	0,29
Kum 6	24,3	834	0,2	49,9	0	415	453	0,7	1,3	4,9	8,1	4,4	3,7	8,0	0,8	623	9,0	62	0,25	0,01	0,26
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>24,4</b>	<b>834</b>	<b>0,2</b>	<b>50,7</b>	<b>0</b>	<b>414</b>	<b>452</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>	<b>5,0</b>	<b>8,9</b>	<b>4,4</b>	<b>3,5</b>	<b>8,0</b>	<b>0,8</b>	<b>634</b>	<b>10,1</b>	<b>64</b>	<b>0,28</b>	<b>0,02</b>	<b>0,30</b>
Slamutskiller Mjåsund																					
Kum 1	27,0	834	0,2	59,9	0	416	454	1,0	1,4	5,0	8,5	5,2	4,0	9,2	0,8	650	11,0	54	0,26	0,02	0,28
Kum 2	23,7	834	0,2	48,7	0	413	451	0,6	1,8	4,9	8,5	4,3	3,6	7,9	0,8	620	7,0	62	0,27	0,02	0,29
Delevegg	34,1	834	0,0	40,7	0	418	456	0,4	1,5	3,5	7,2	3,5	3,0	6,5	0,8	627	7,0	53	0,23	0,02	0,24
Kum 3	24,1	834	0,3	76,6	0	415	453	1,2	1,7	6,2	8,3	6,6	4,7	11,3	0,7	676	10,0	54	0,26	0,03	0,29
Kum 4	24,0	834	0,2	45,3	0	415	453	0,5	1,6	4,8	9,0	4,0	3,5	7,4	0,9	609	7,0	65	0,28	0,10	0,38
Kum 5	29,4	834	0,2	47,5	0	416	454	0,6	1,2	4,2	7,9	4,1	3,2	7,3	0,8	647	8,5	57	0,24	0,01	0,25
Kum 6	26,5	834	0,1	32,6	0	412	450	0,4	2,1	3,6	7,3	2,9	2,4	5,3	0,8	620	8,0	68	0,24	0,01	0,26
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>27,0</b>	<b>834</b>	<b>0,2</b>	<b>50,2</b>	<b>0</b>	<b>415</b>	<b>453</b>	<b>0,7</b>	<b>1,6</b>	<b>4,6</b>	<b>8,1</b>	<b>4,4</b>	<b>3,5</b>	<b>7,8</b>	<b>0,8</b>	<b>636</b>	<b>8,4</b>	<b>59</b>	<b>0,25</b>	<b>0,03</b>	<b>0,28</b>



Rapport nr. 390, Vedlegg 4, side 1



# Prosjekt Karmøy, prøve A: ElrS

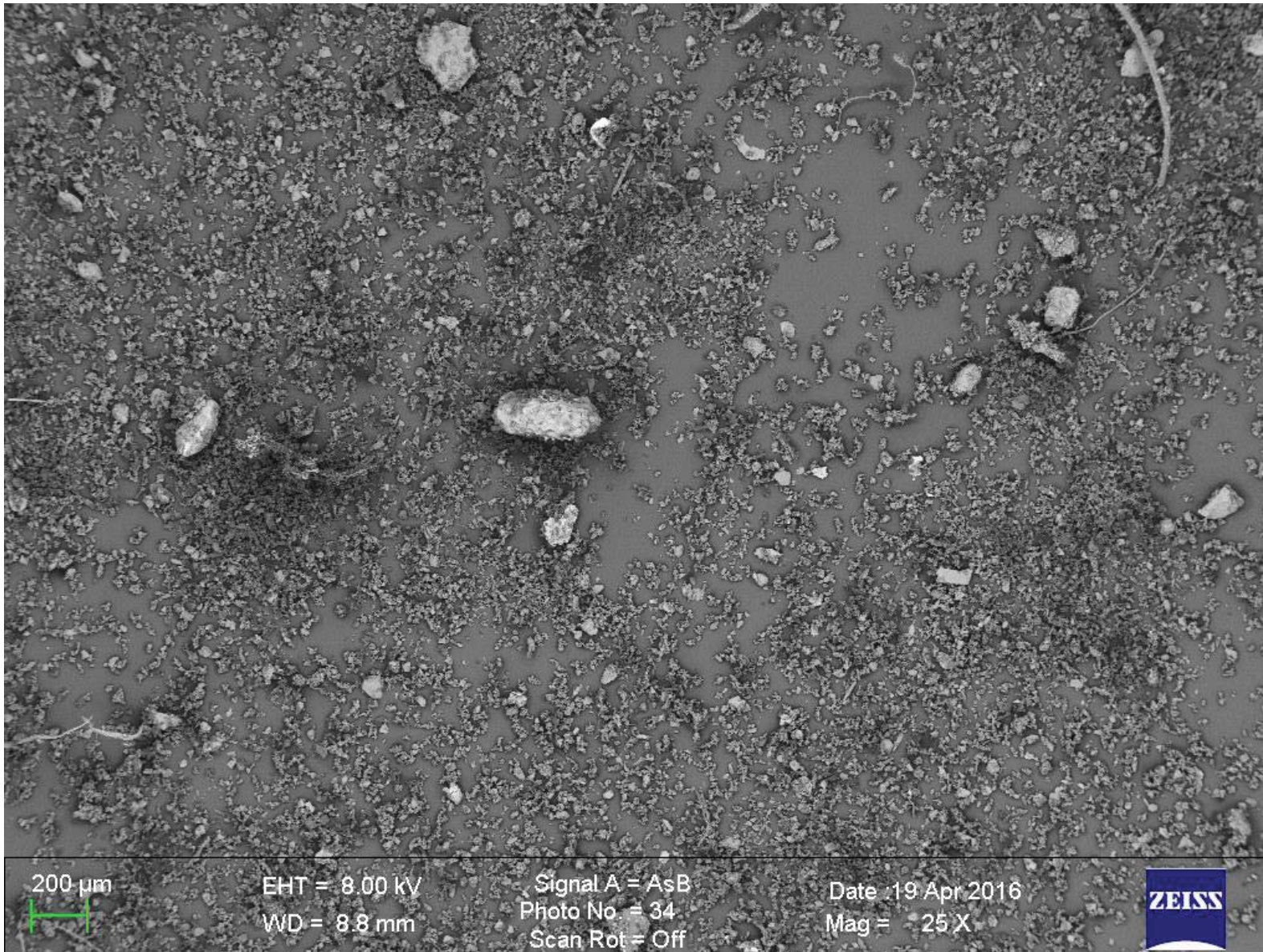
ElrS	El-rom sjakt ved luftinnløpet til sjaktventilatorene
------	--

SEM-analyser, vår ref.- M216-115

Anders H. Amundsen, 27.05.2016

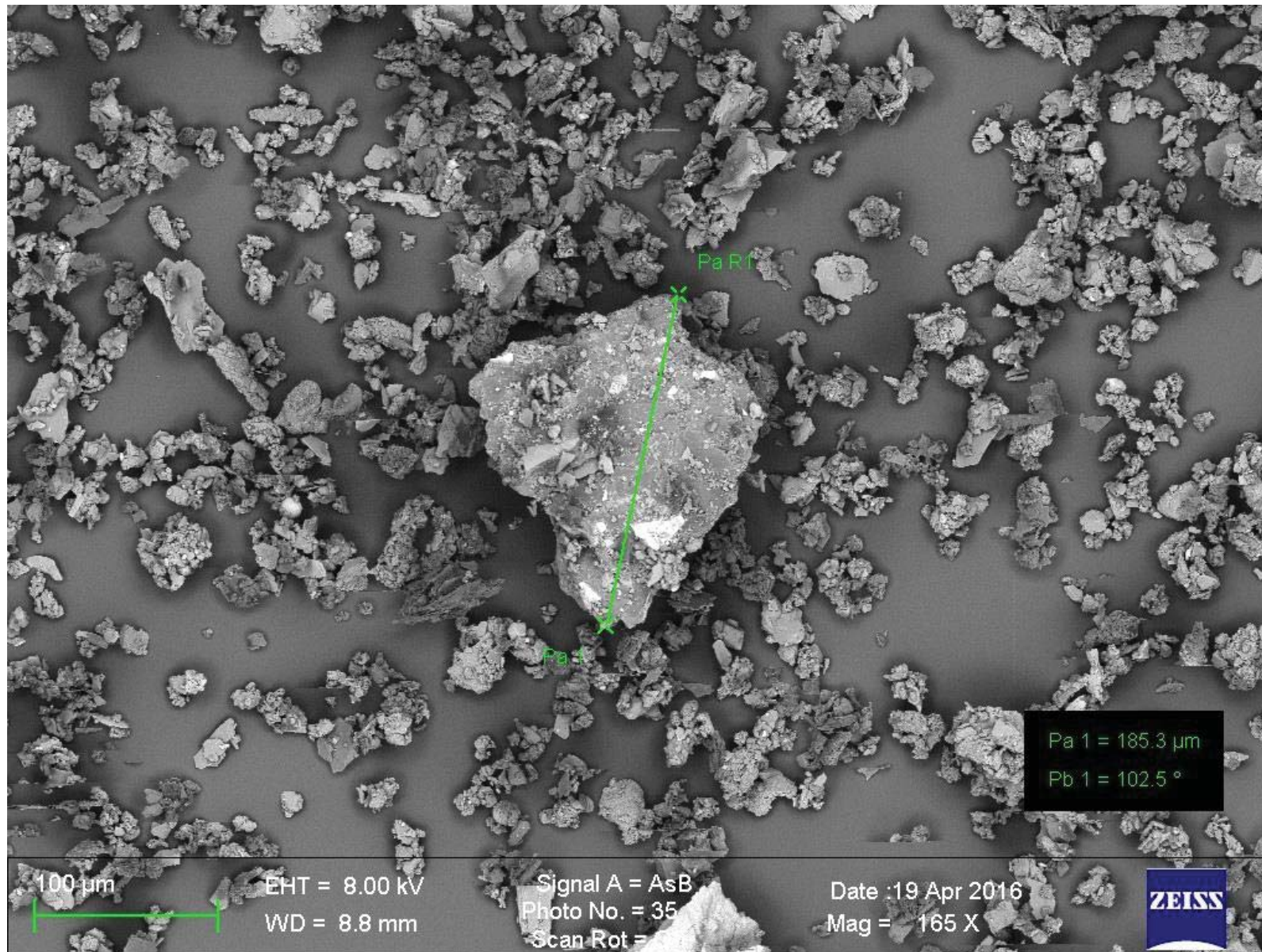


## PROSJEKT KARMØY, PRØVE A



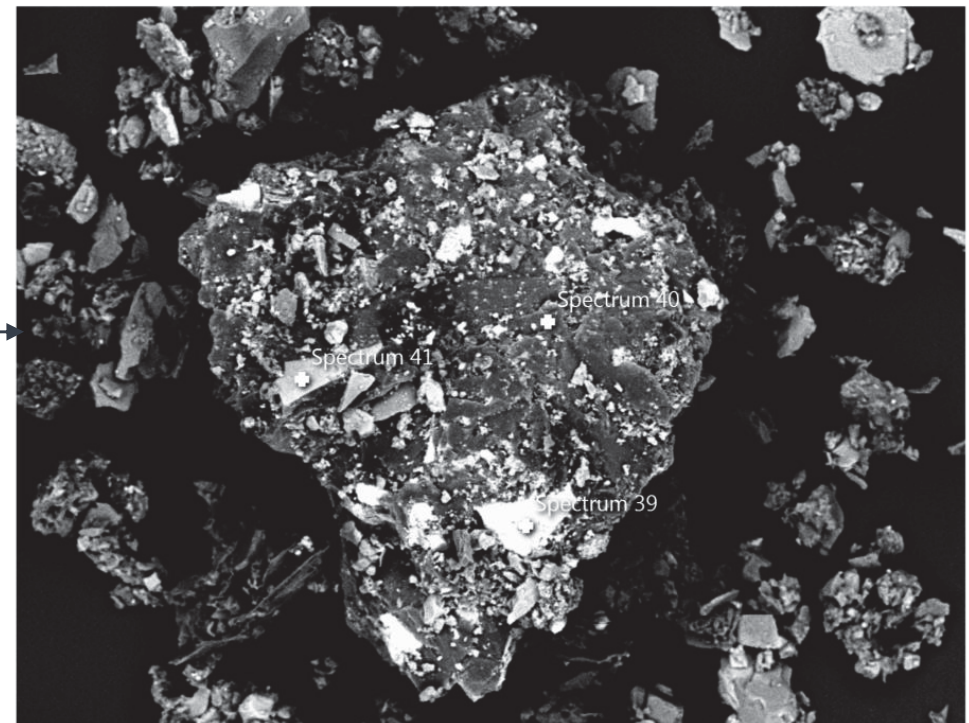
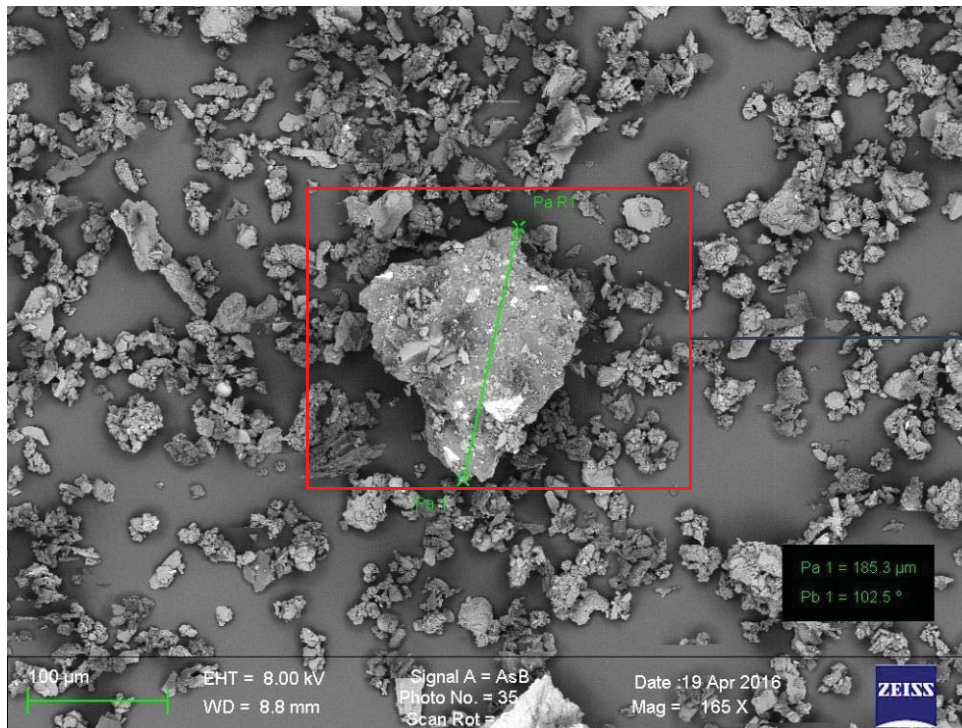
SEM. Oversiktsbilde (dryssprøve).

## PROSJEKT KARMØY, PRØVE A



# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

Electron Image 17



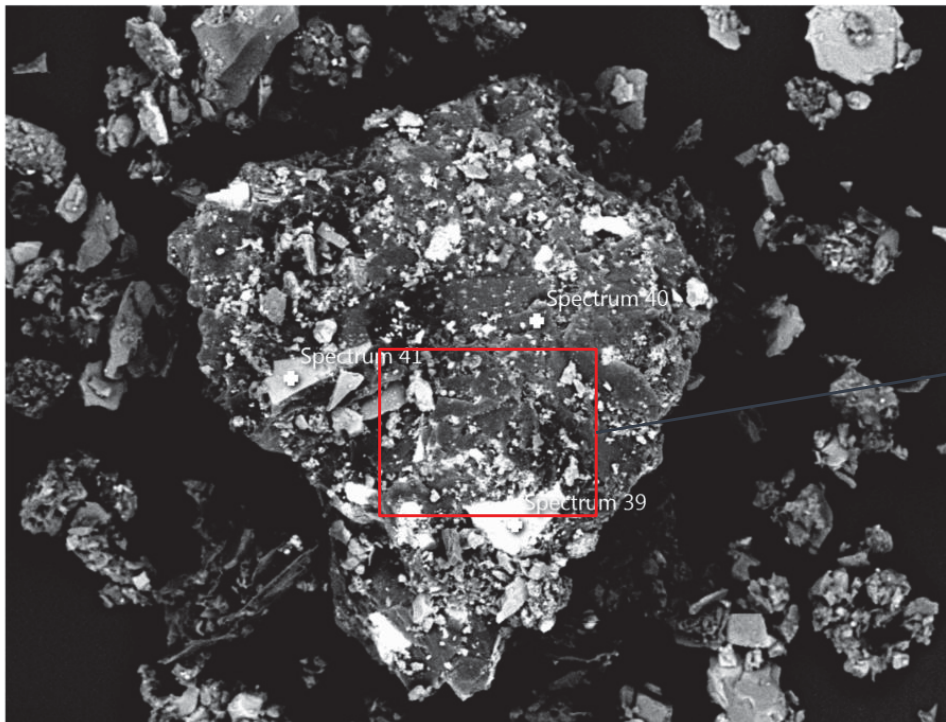
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 39	Spectrum 40	Spectrum 41
C		82.50	
O	34.53	17.02	54.47
F			1.95
Na	0.92		0.76
Mg	0.38		1.43
Al	0.80	0.07	11.43
Si	1.28	0.13	13.81
S	10.60		
Cl	1.38	0.18	
K	1.40	0.09	1.89
Ca	2.04		11.50
Ti			1.13
Fe	2.82		
Zr			1.62
Ba	43.85		
Total	100.00	100.00	100.00



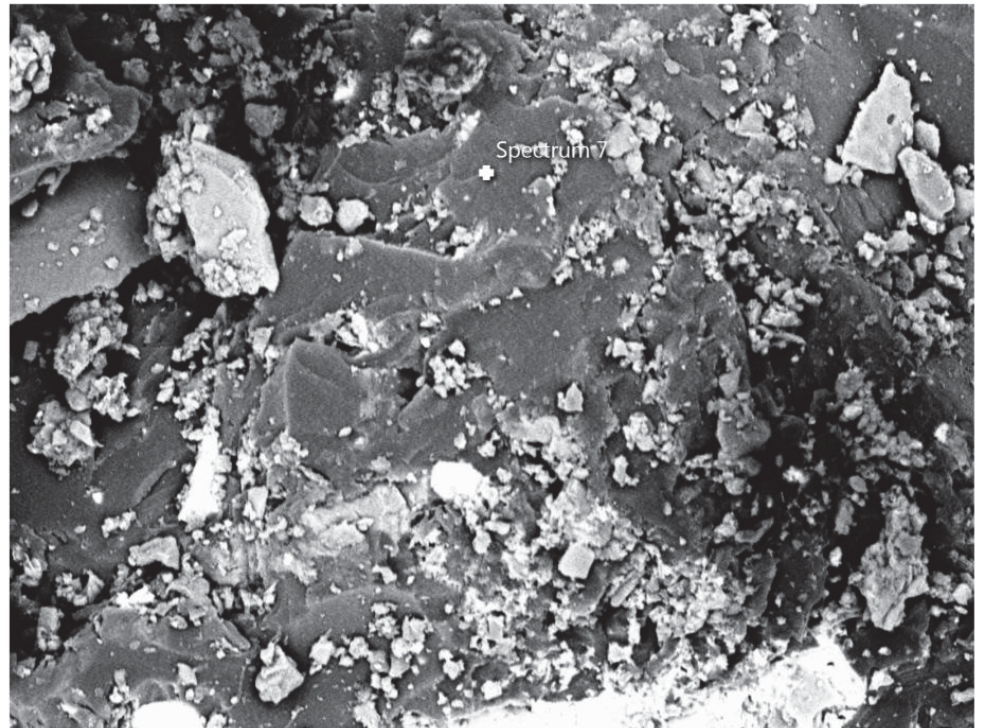
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

Electron Image 17



100µm

Electron Image 4



25µm

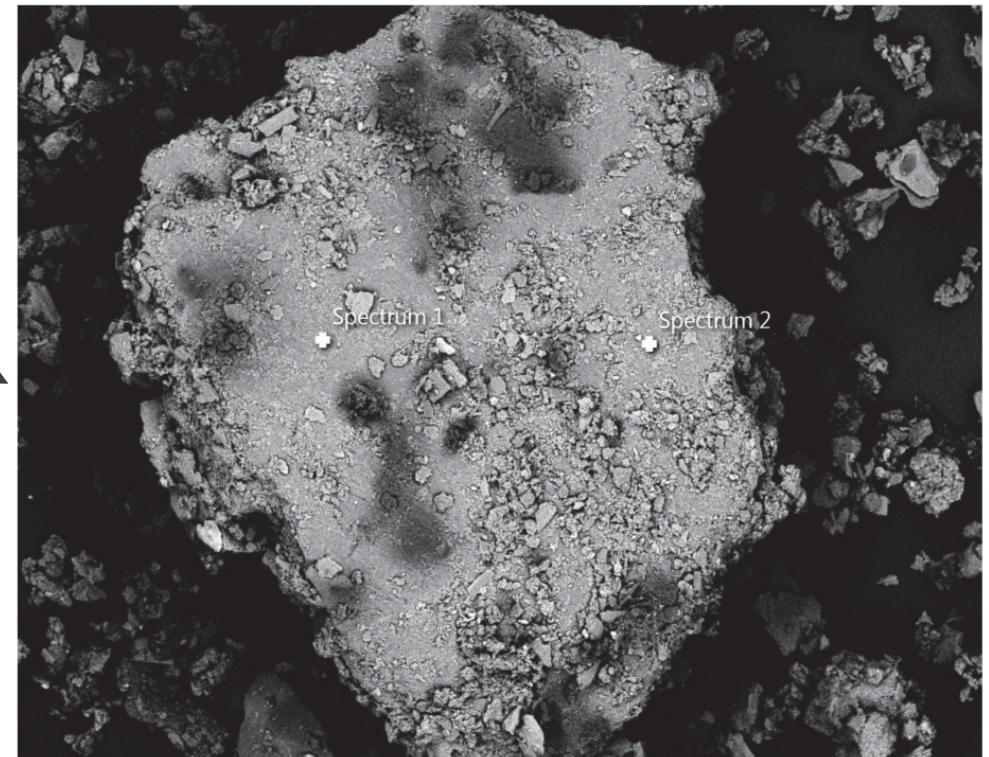
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 7
C	83.63
O	15.24
Na	0.25
Si	0.20
Cl	0.42
K	0.26
Total	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A



Electron Image 1



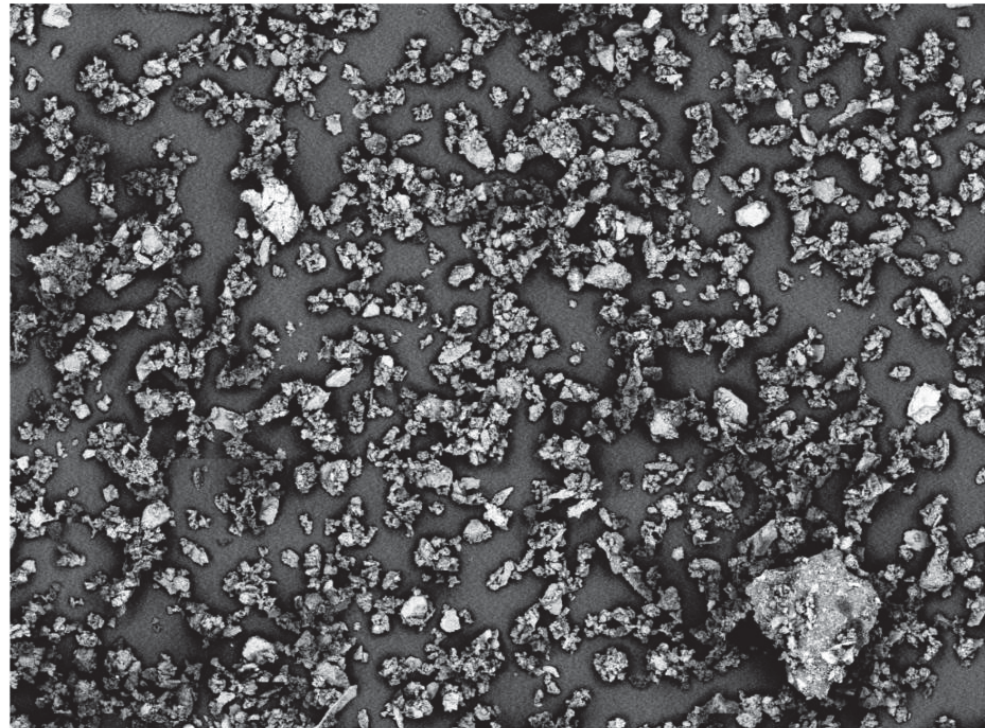
100µm

Result Type	Weight %
-------------	----------

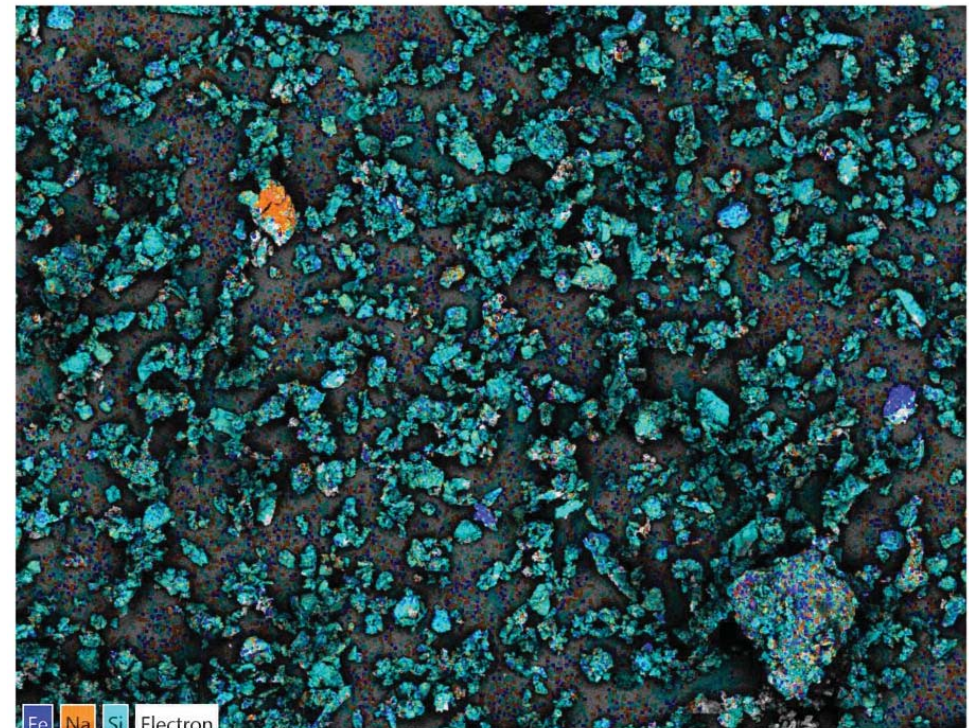
Spectrum Label	Spectrum 1	Spectrum 2
O	37.02	53.19
Na	6.51	7.33
Mg	1.73	
Al	8.86	9.41
Si	22.44	28.45
Cl	3.28	0.61
K	1.63	
Ca	3.18	1.02
Fe	15.35	
Total	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

Electron Image 2

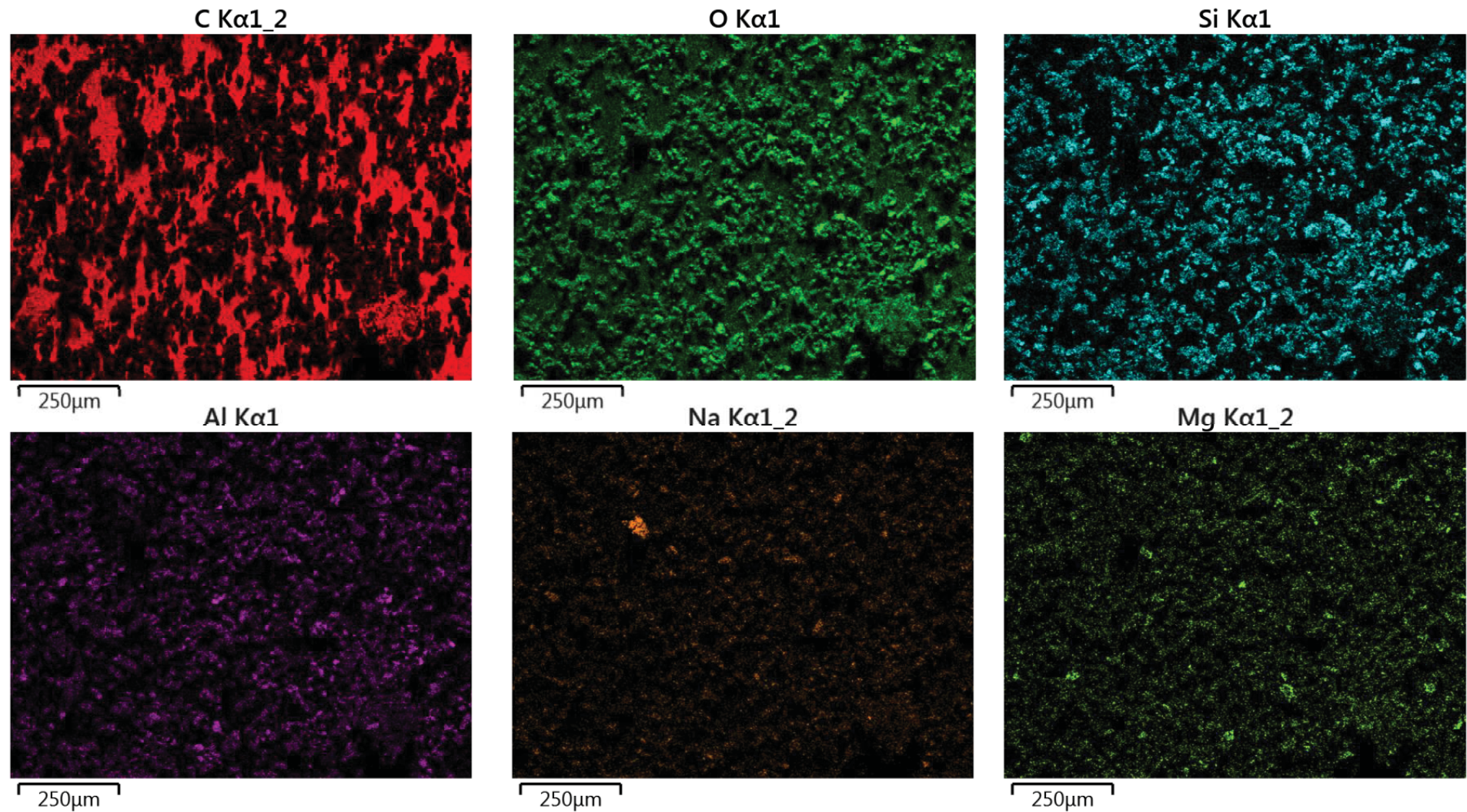


EDS Layered Image 1

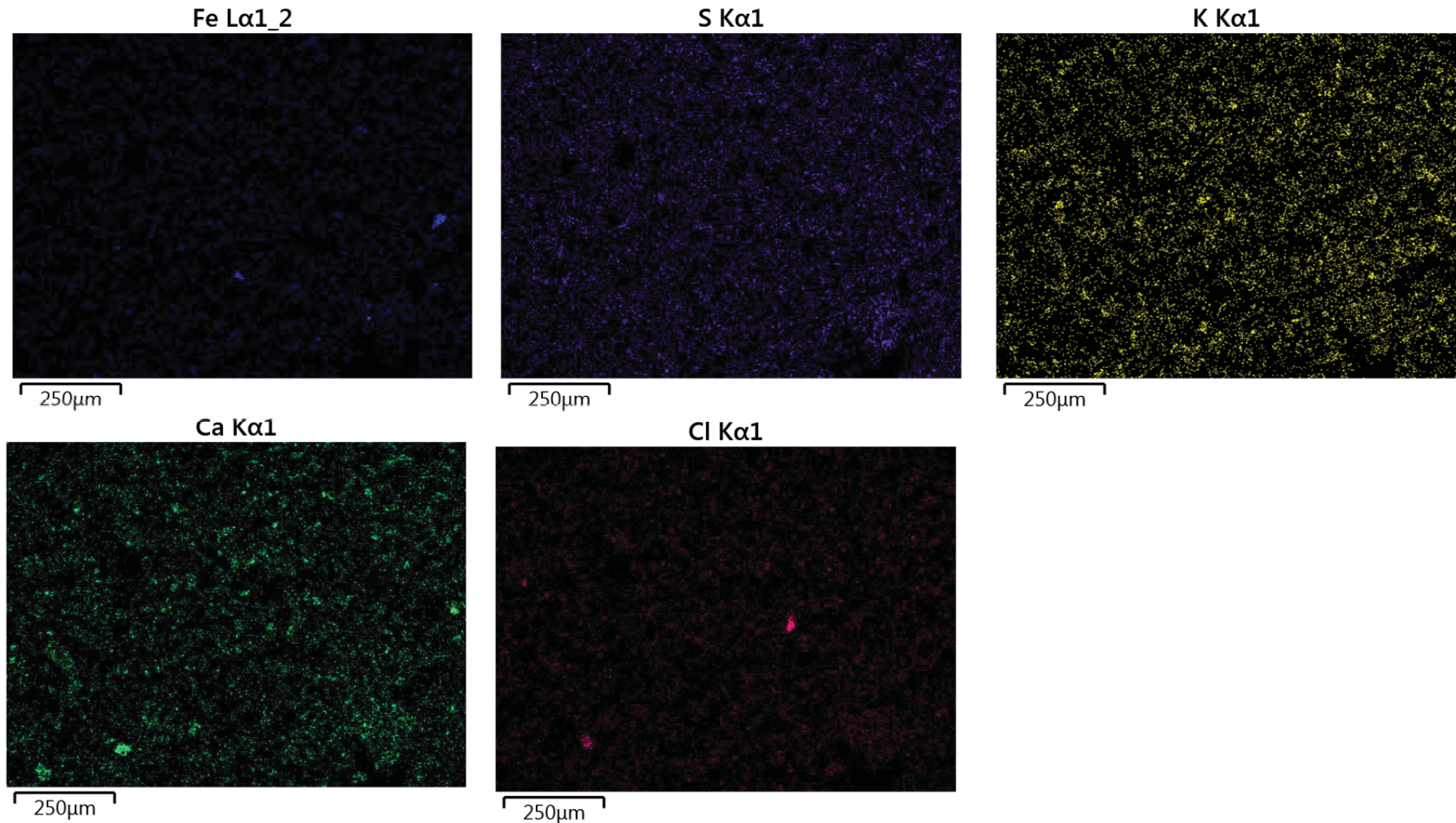


Mapping over en samling med agglomerater. Fe, Na og Si er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A



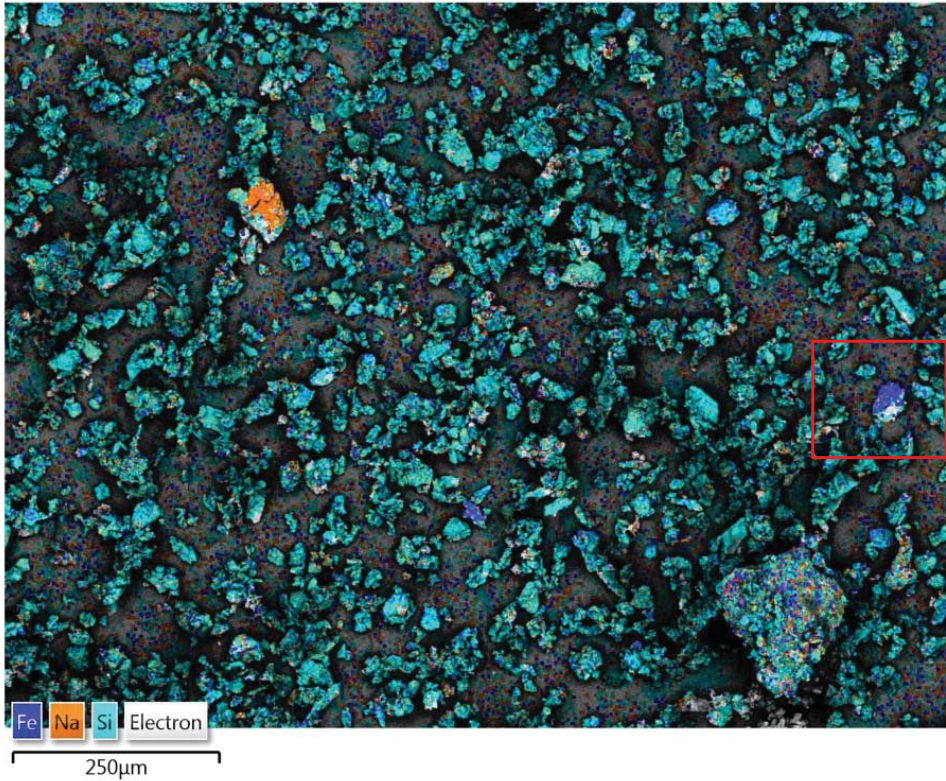
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE A



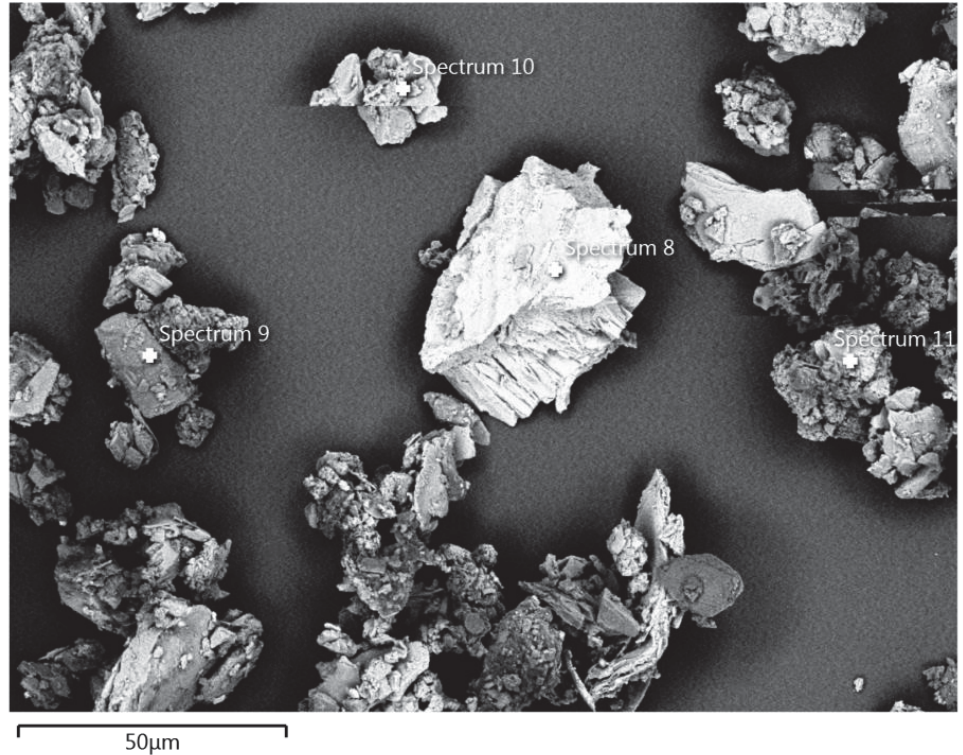
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

EDS Layered Image 1



Electron Image 5

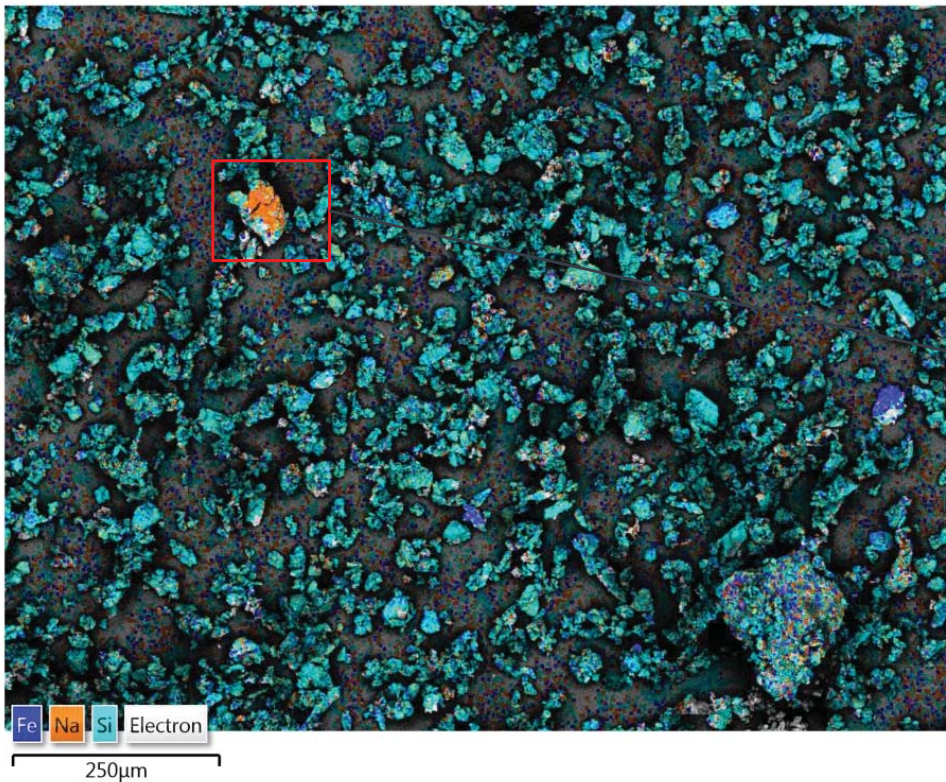


Result Type	Weight %
-------------	----------

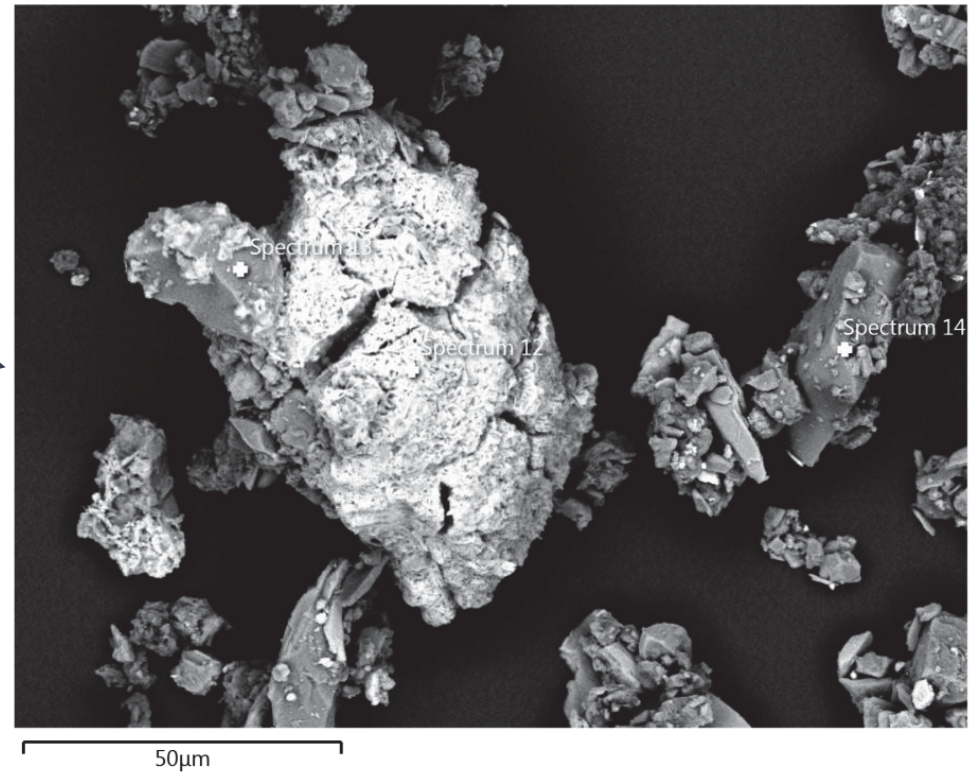
Spectrum Label	Spectrum 8	Spectrum 9	Spectrum 10	Spectrum 11
O	28.17	47.61	24.09	53.33
Na	0.59	6.42	0.36	0.57
Mg				0.84
Al	0.27	12.58	1.57	1.39
Si	0.72	29.46	70.66	6.98
Cl	1.12		1.46	0.96
K		0.35	1.87	0.52
Ca		3.57		32.68
Fe	69.13			
Mo				2.73
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

EDS Layered Image 1



Electron Image 6

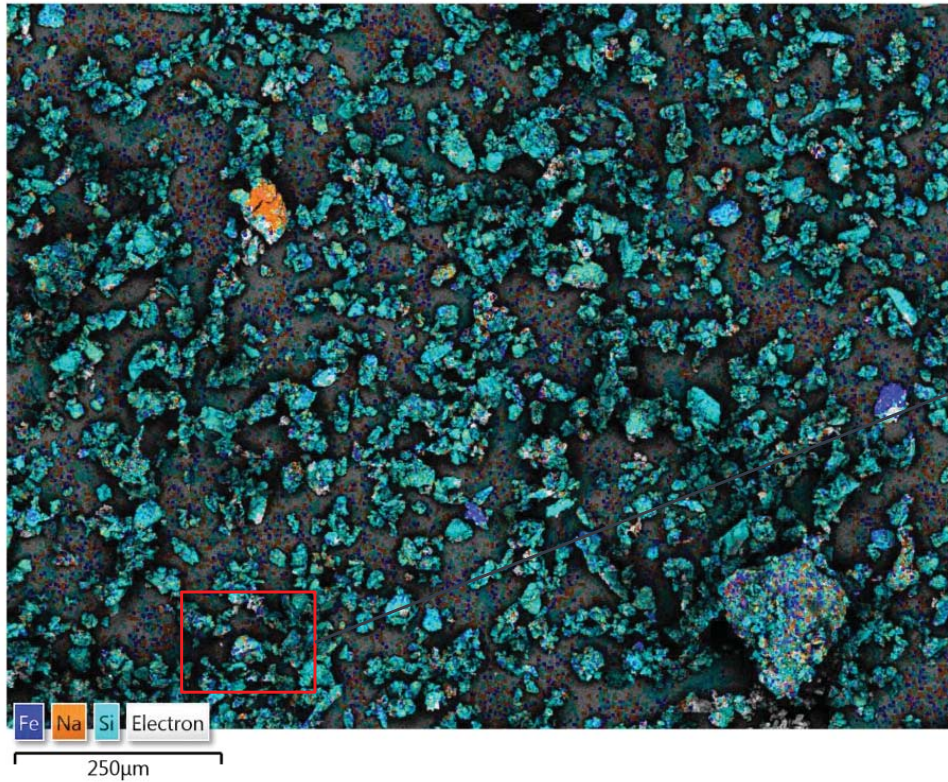


Result Type	Weight %
-------------	----------

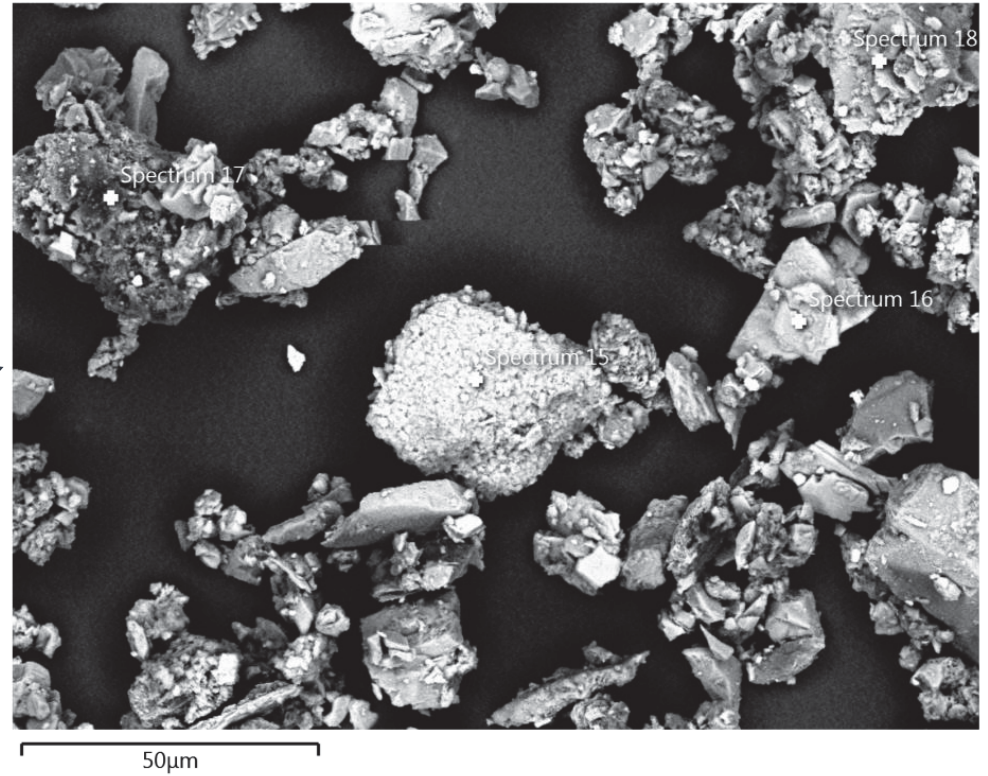
Spectrum Label	Spectrum 12	Spectrum 13	Spectrum 14
O	26.22	19.89	57.16
Na	5.24		4.11
Mg			0.52
Al		1.37	5.70
Si		70.01	29.53
Cl	1.39		0.67
K	0.54		0.45
Ca	0.98		1.02
Fe	1.10	3.84	0.84
Zn	64.54	4.89	
Total	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

EDS Layered Image 1



Electron Image 7



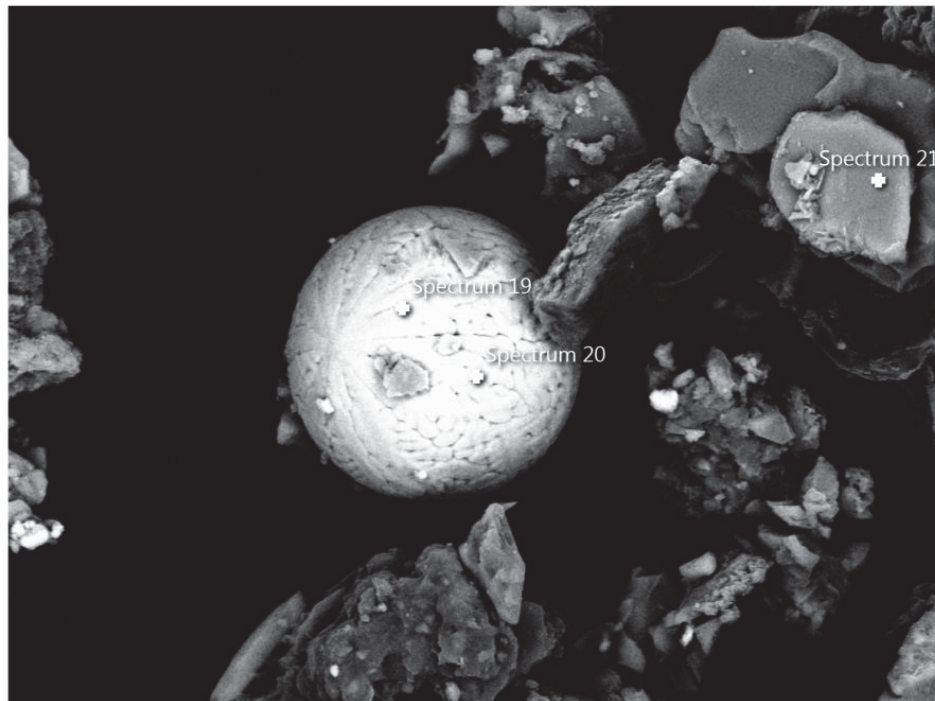
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 15	Spectrum 16	Spectrum 17	Spectrum 18
C			67.07	
O	50.22	28.49	16.84	45.45
F			5.16	
Na	0.79	0.67	0.67	1.79
Mg	0.49	5.27	0.41	1.10
Al	0.55	9.81	2.98	14.11
Si	8.36	20.02	0.54	22.79
S	0.25		0.14	
Cl	0.36	0.98	5.01	0.38
K	1.50	10.03	0.72	8.28
Ca	37.48		0.47	1.41
Ti		1.06		0.40
Fe		23.67		4.30
Total	100.00	100.00	100.00	100.00



# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

Electron Image 8

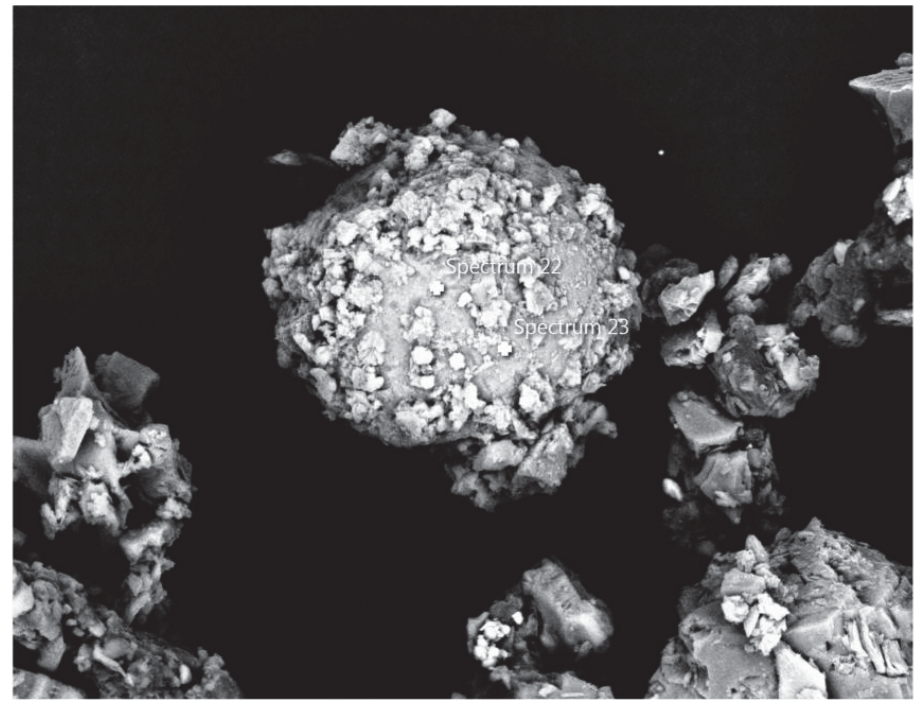


10µm

Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 19	Spectrum 20	Spectrum 21
O	34.93	27.97	48.16
Na			0.56
Mg			4.09
Al	0.22	0.25	8.66
Si	0.59	0.88	14.76
Cl			0.30
K			5.89
Ti			0.90
Mn		0.55	0.32
Fe	64.25	70.36	16.36
Total	100.00	100.00	100.00

Electron Image 9



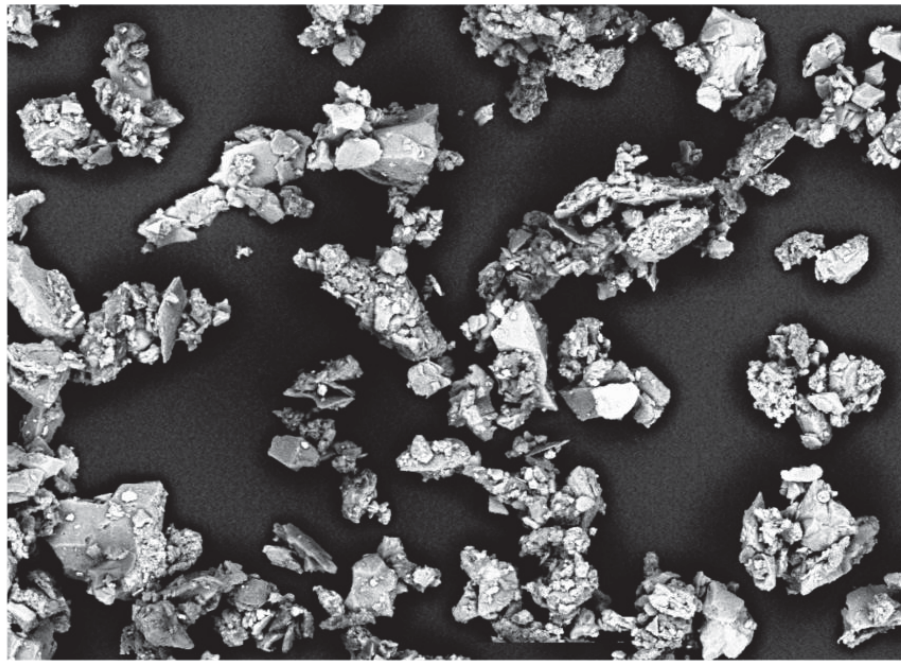
25µm

Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 22	Spectrum 23
O	48.81	34.66
Na	0.23	0.28
Mg	0.16	0.35
Al	16.78	18.79
Si	17.23	21.16
P	0.28	
K	0.31	0.51
Ca	10.79	15.73
Ti	3.26	4.43
Fe	0.78	1.83
W	1.35	2.26
Total	100.00	100.00

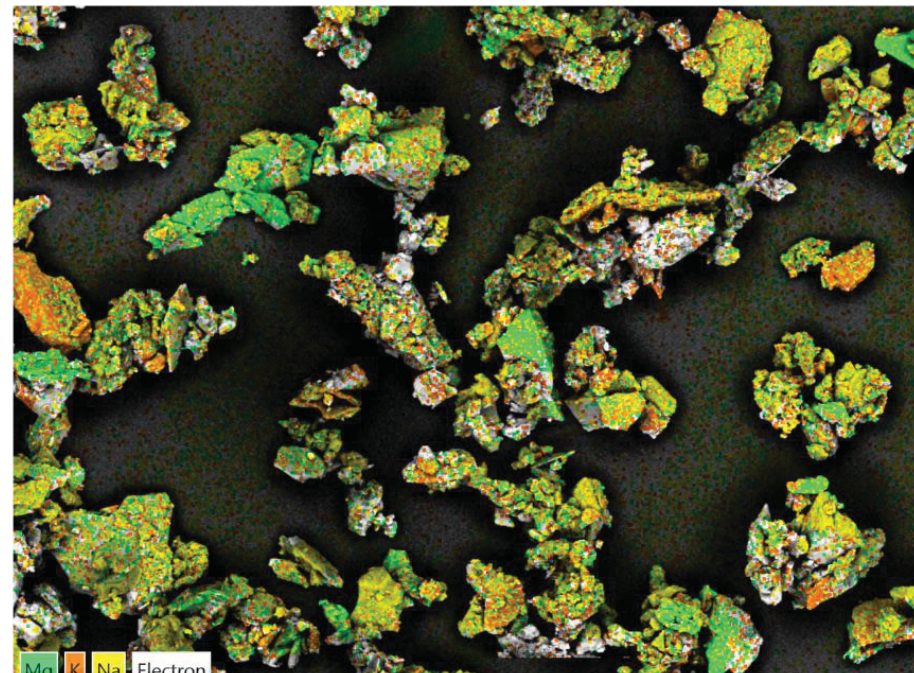
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

Electron Image 10



50µm

EDS Layered Image 2

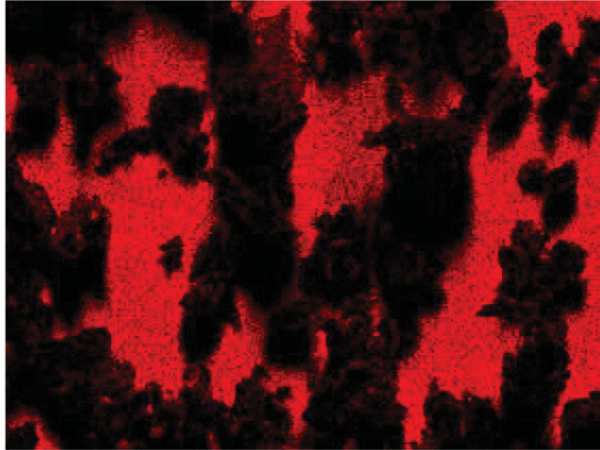


50µm

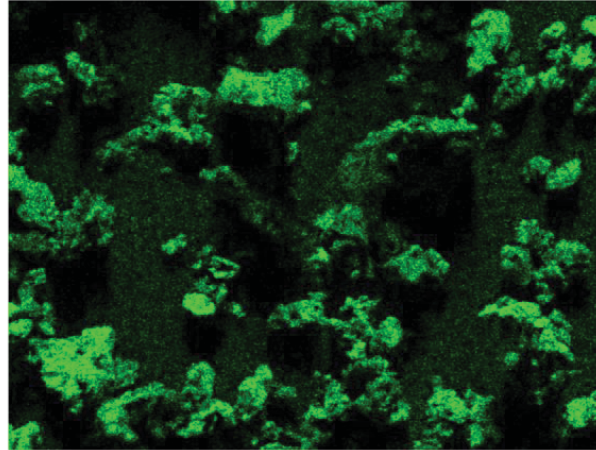
Mapping over en samling med agglomerater. Mg, K og Na er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

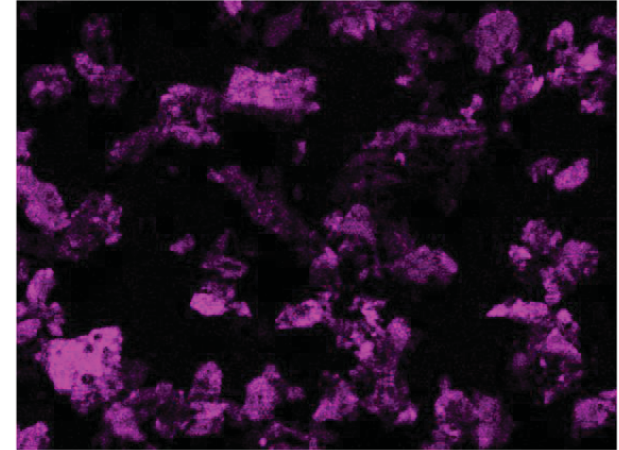
C K $\alpha$ 1\_2



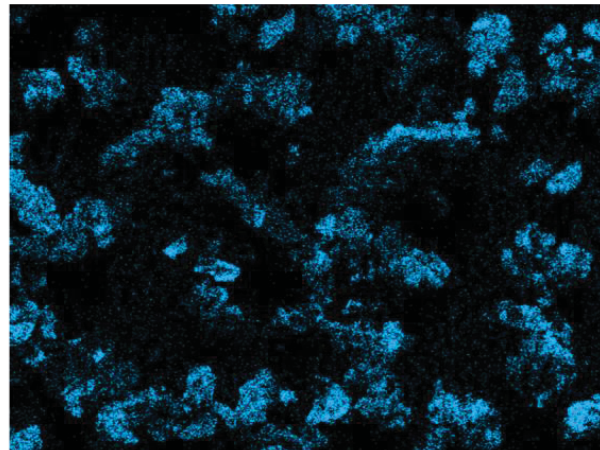
O K $\alpha$ 1



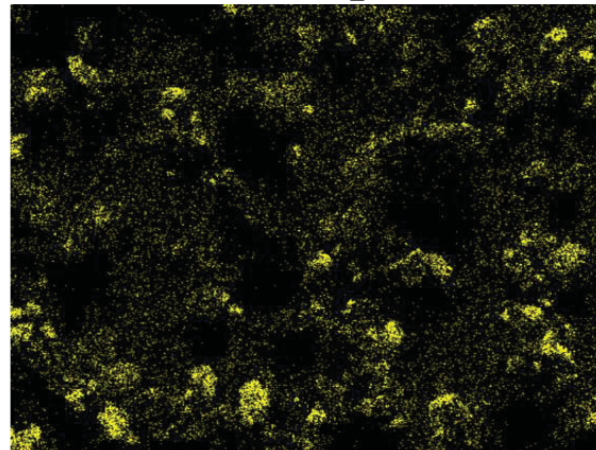
Si K $\alpha$ 1



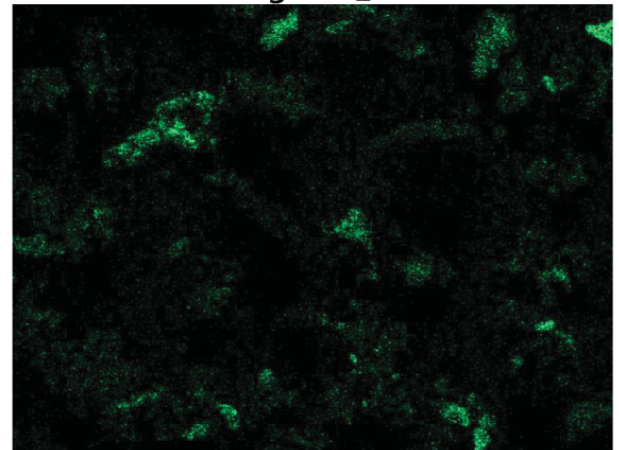
Al K $\alpha$ 1



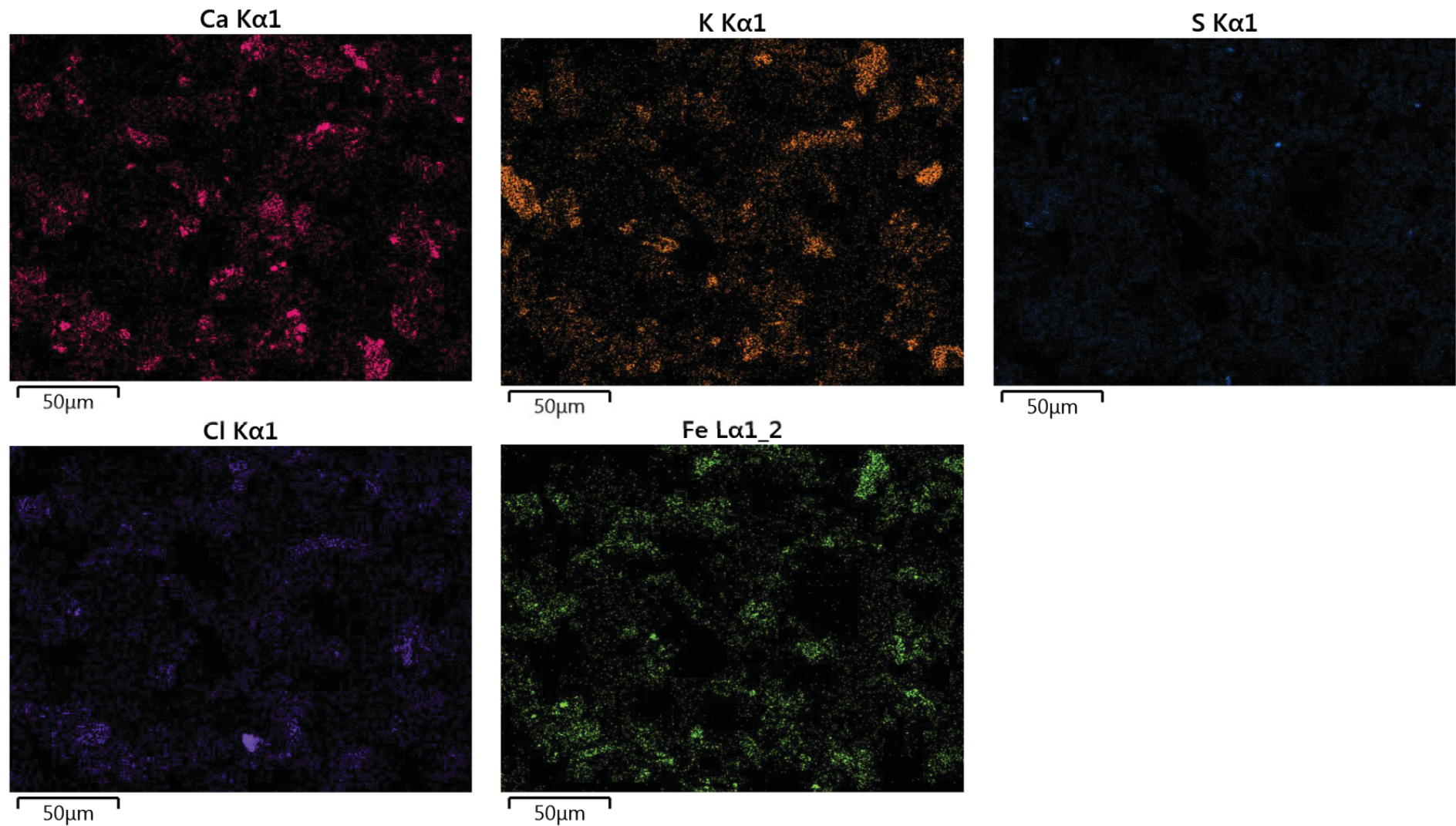
Na K $\alpha$ 1\_2



Mg K $\alpha$ 1\_2



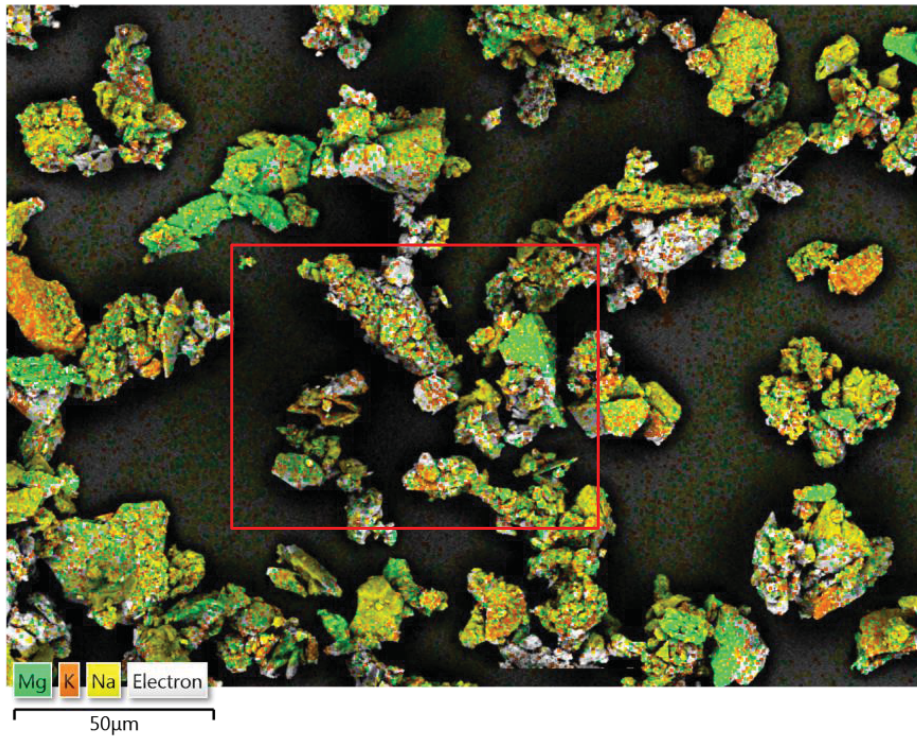
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE A



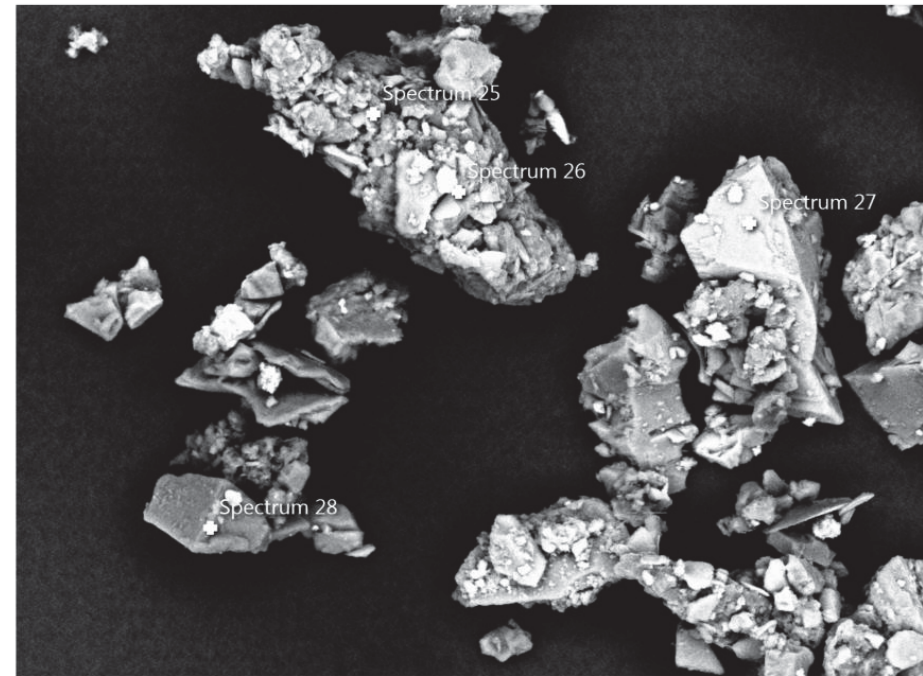
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

EDS Layered Image 2



Electron Image 12

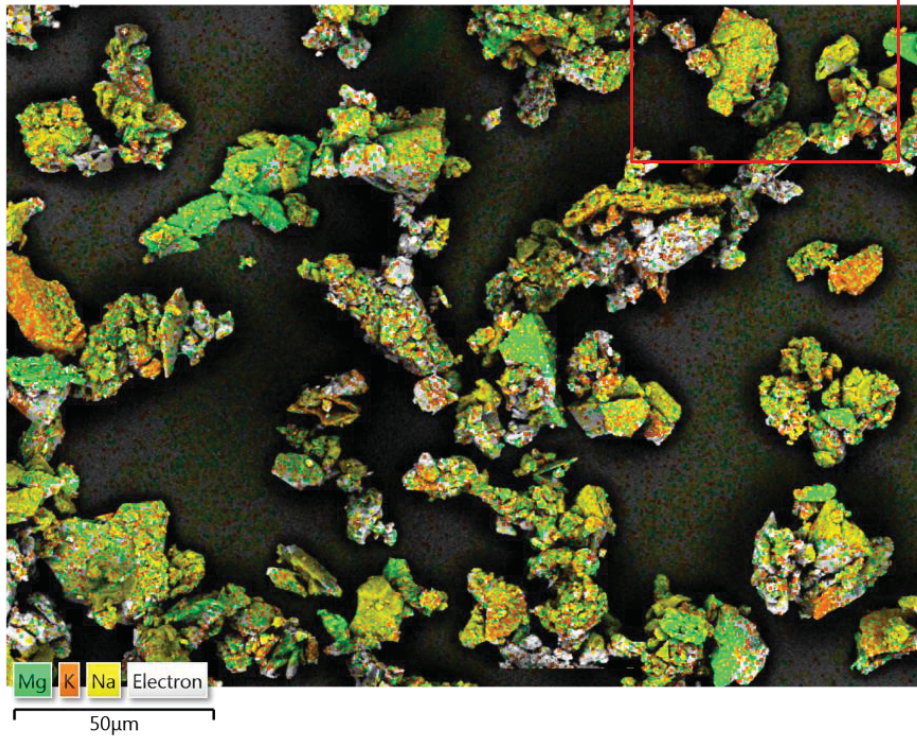


Result Type	Weight %
-------------	----------

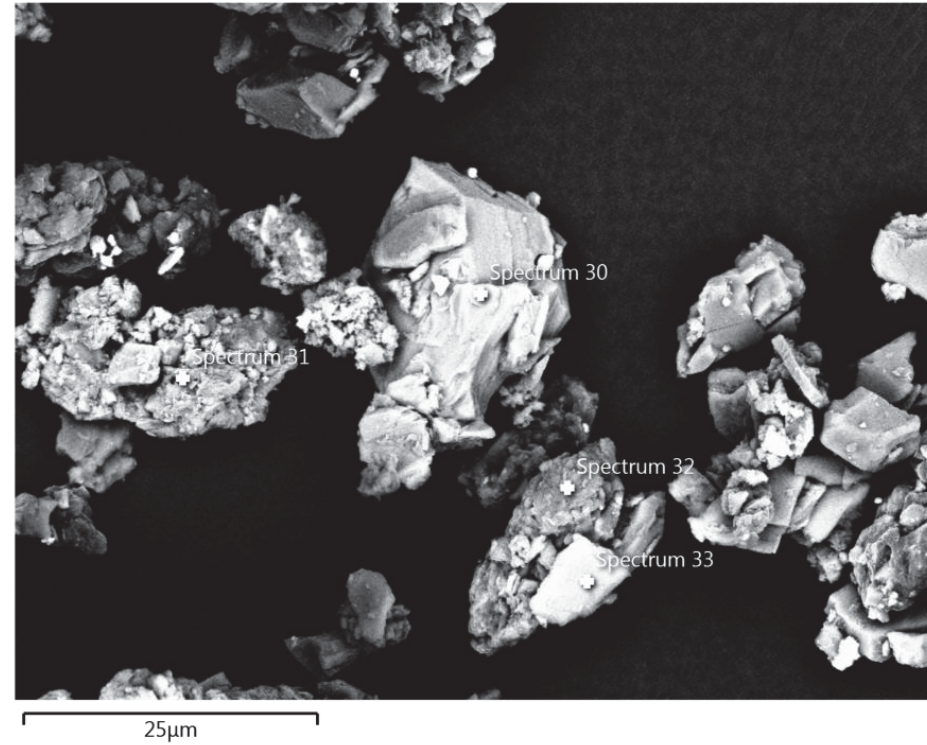
Spectrum Label	Spectrum 25	Spectrum 26	Spectrum 27	Spectrum 28
C	56.46			
O	27.09	13.14	43.38	59.12
Na	0.96	1.08	0.97	0.29
Mg	0.72	1.89	7.89	
Al	2.37	8.48	5.87	
Si	6.57	22.68	21.99	40.38
S	0.69	1.17		
Cl	0.63	3.46		0.21
K	1.06	9.98	0.35	
Ca	0.82	5.89	8.27	
<u>Ti</u>	0.19	1.08	0.53	
Fe	2.43	31.15	10.75	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

EDS Layered Image 2



Electron Image 14

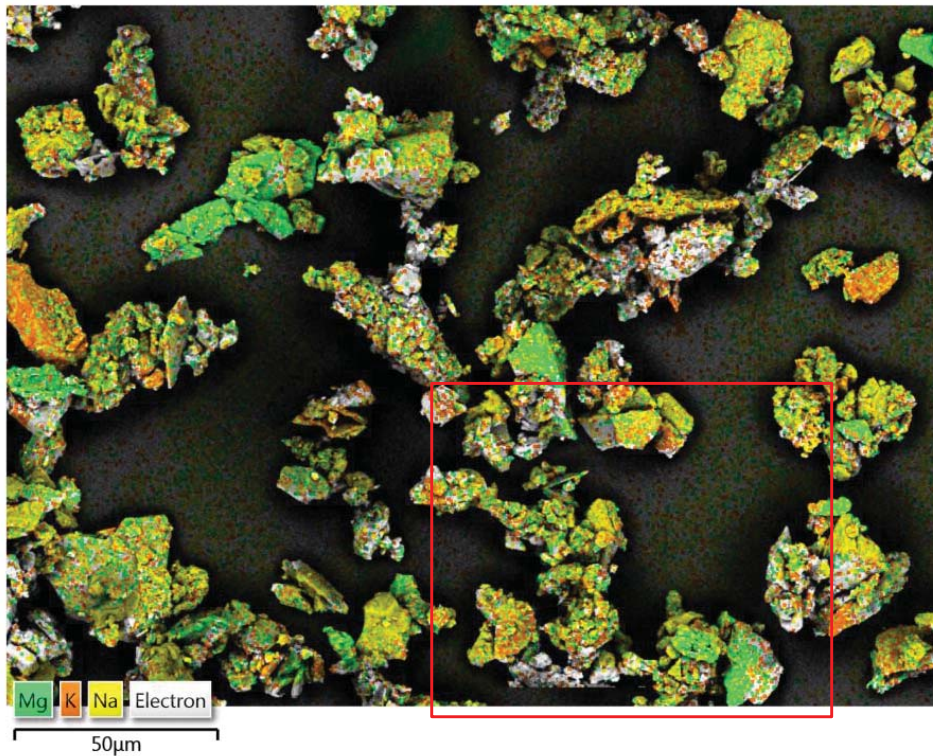


Result Type	Weight %
-------------	----------

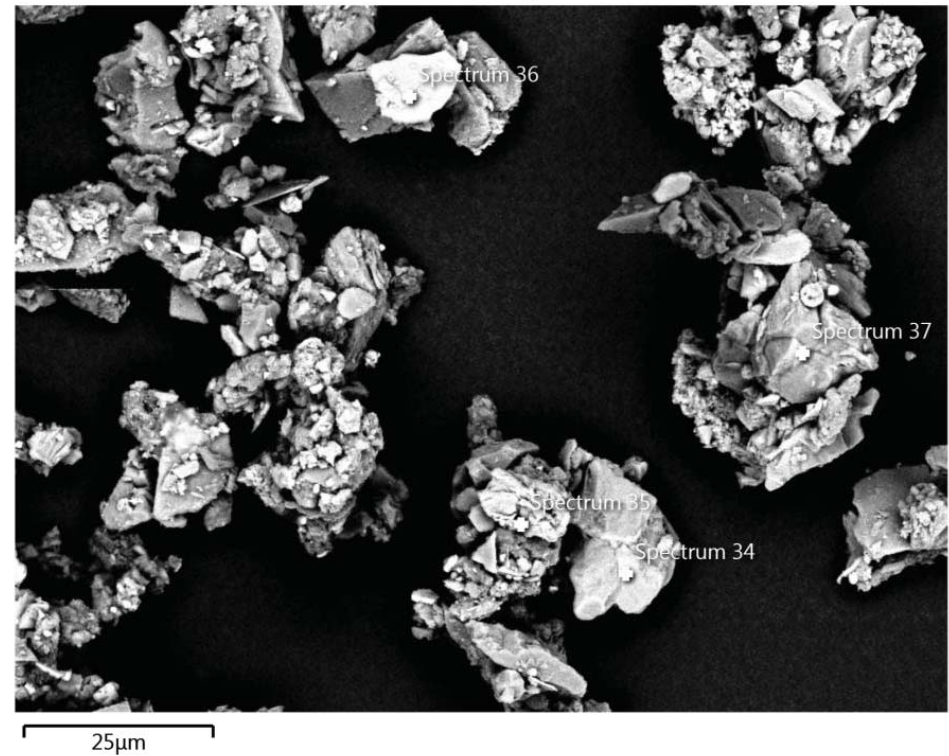
Spectrum Label	Spectrum 30	Spectrum 31	Spectrum 32	Spectrum 33
C		27.45	45.16	17.28
O	47.21	27.22	32.20	29.38
Na	0.57	1.42	1.33	0.54
Mg	4.24	2.05	1.29	3.32
Al	7.35	5.24	4.08	6.76
Si	15.34	11.65	8.47	16.90
S		0.66	0.67	
Cl	0.63	1.84	0.60	
K	6.52	3.27	1.66	6.32
Ca		5.55	0.42	
Ti	1.09	0.37		
Mn	0.52			
Fe	16.54	13.27	4.12	19.50
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE A

EDS Layered Image 2

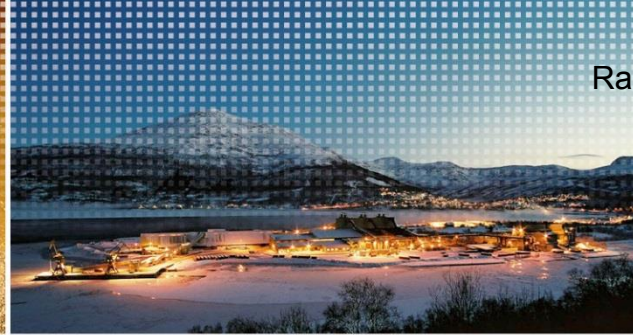


Electron Image 15



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 34	Spectrum 35	Spectrum 36	Spectrum 37
O	37.21	50.82	47.32	6.99
Na		0.70		0.90
Mg		8.16	4.99	2.18
Al	12.84	10.47	8.91	9.17
Si	19.24	11.09	16.19	15.98
Cl		0.76	0.30	
K		0.31	6.56	1.00
Ca	19.78			
Ti			0.64	
Fe	10.93	17.69	15.10	61.67
W				2.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00



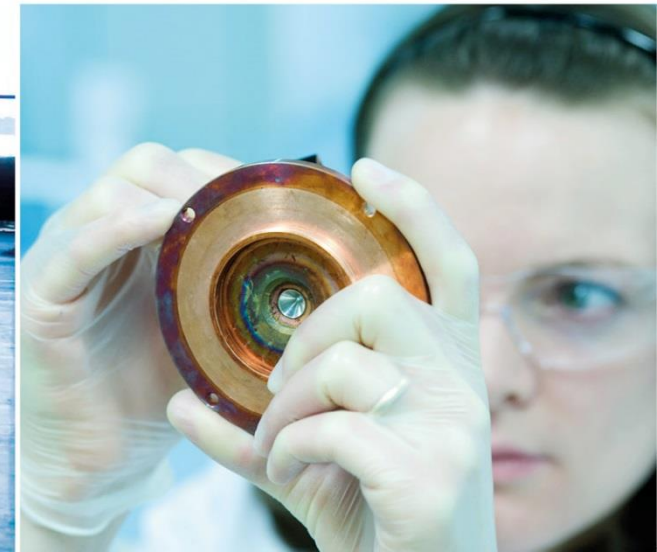
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 20



# Prosjekt Karmøy, prøve B: GVD

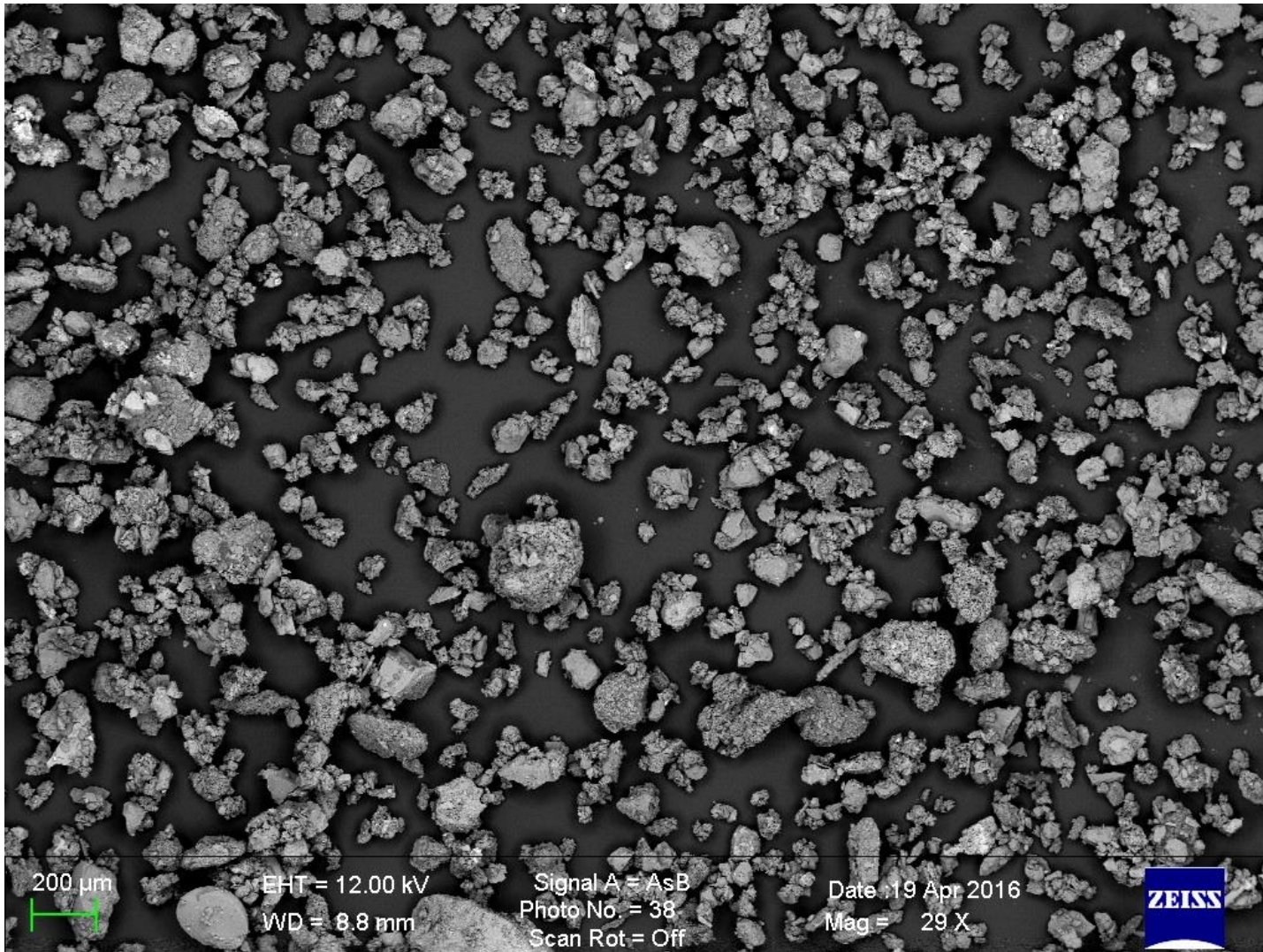
GVD	Gulv v/ dør innenfor lydfelle
-----	-------------------------------

SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 27.05.2016





## PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

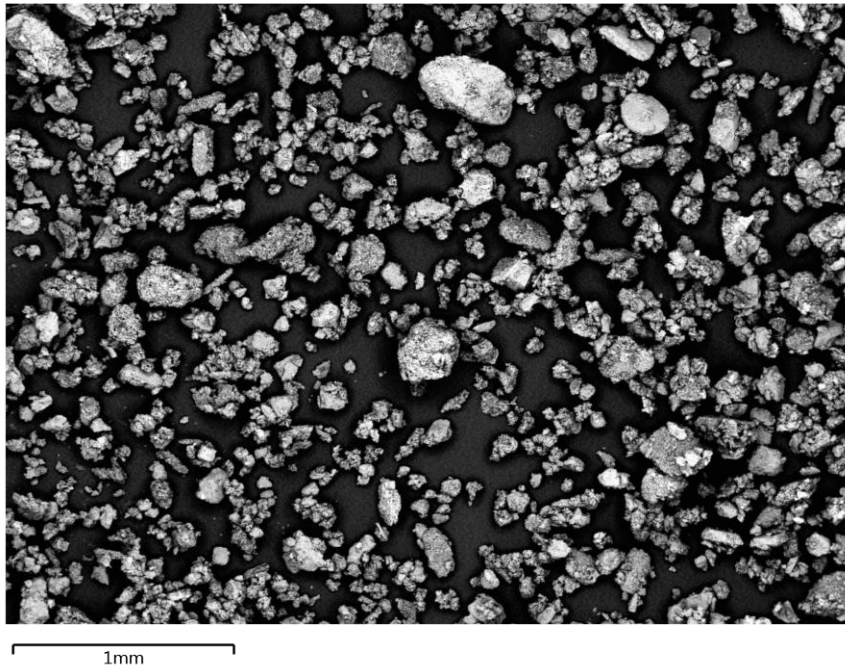


SEM. Oversiktsbilde  
(dryssprøve).

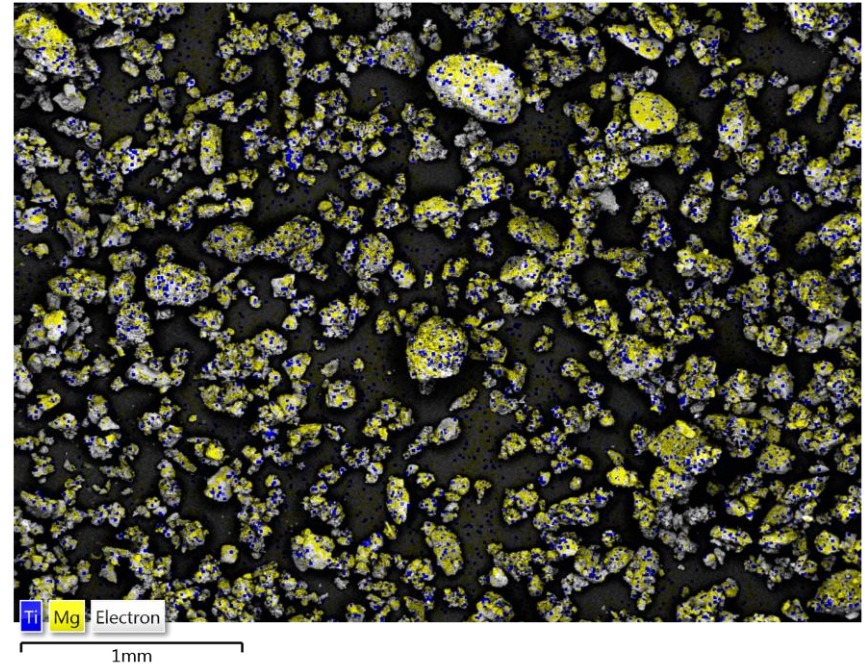
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

---

Electron Image 20



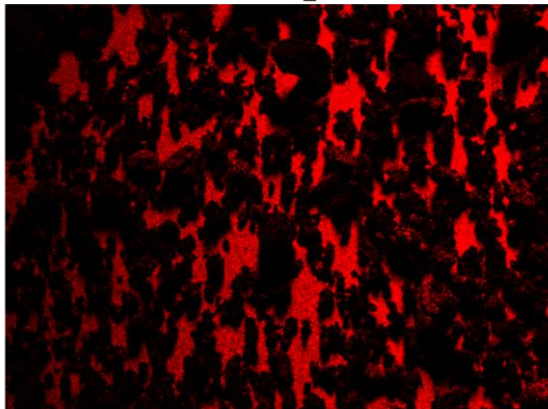
EDS Layered Image 5



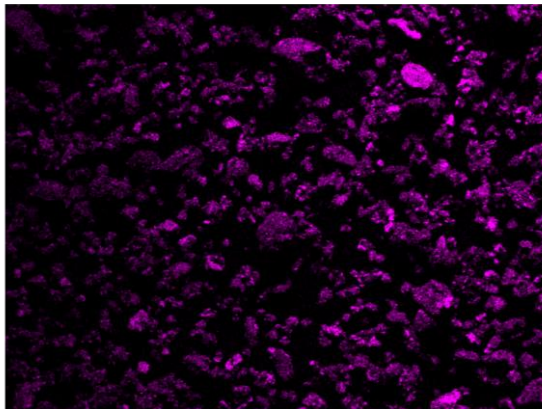
Mapping over en samling med agglomerater. Ti og Mg er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

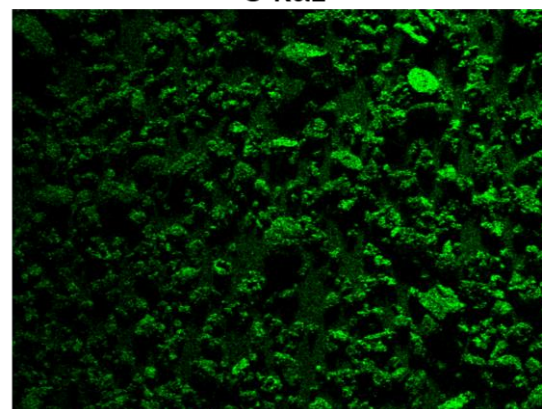
C K $\alpha$ 1\_2



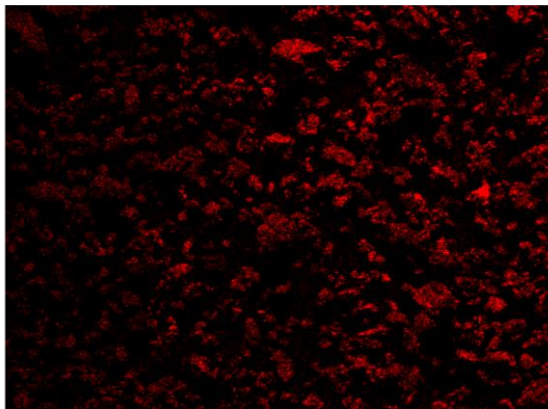
Si K $\alpha$ 1



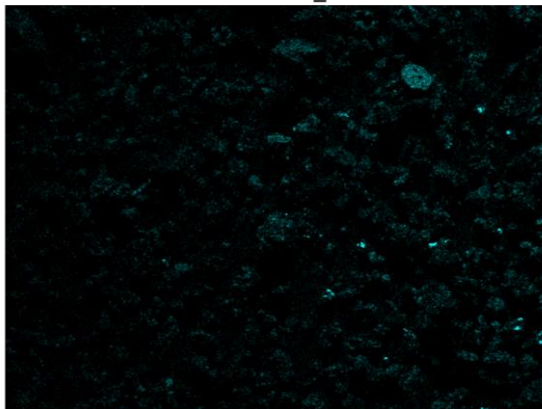
O K $\alpha$ 1



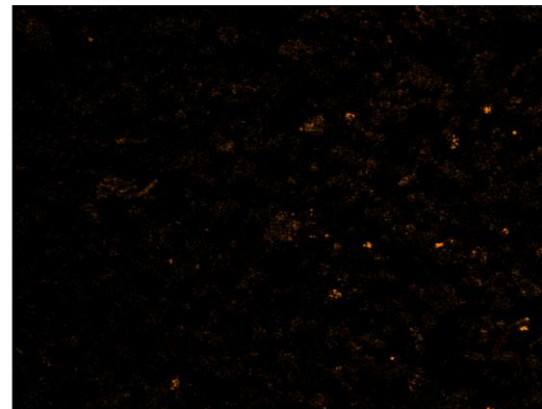
Al K $\alpha$ 1



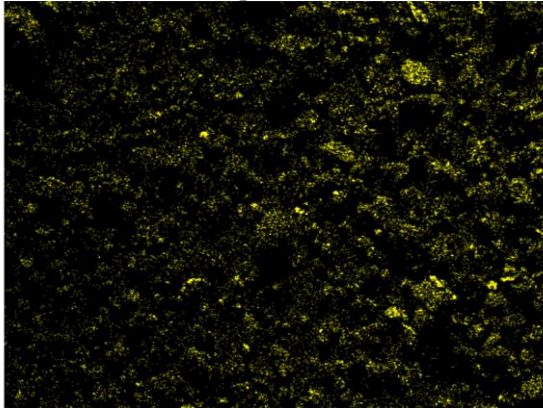
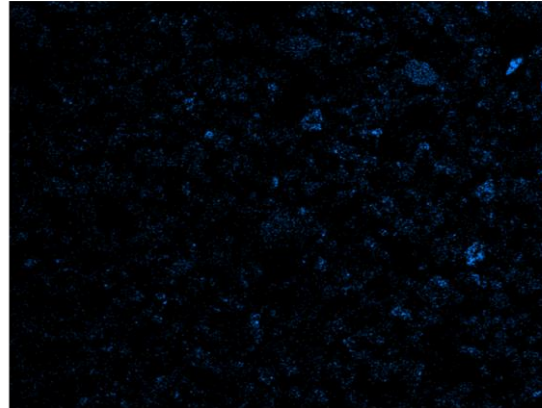
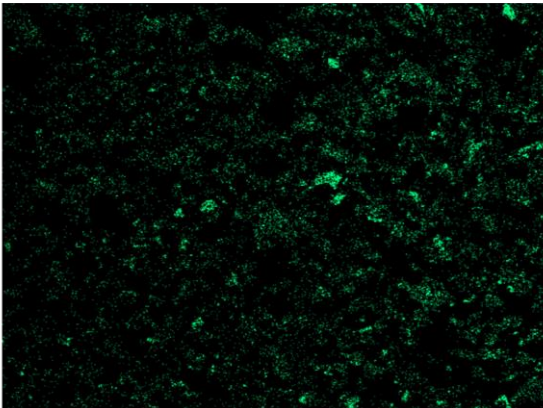
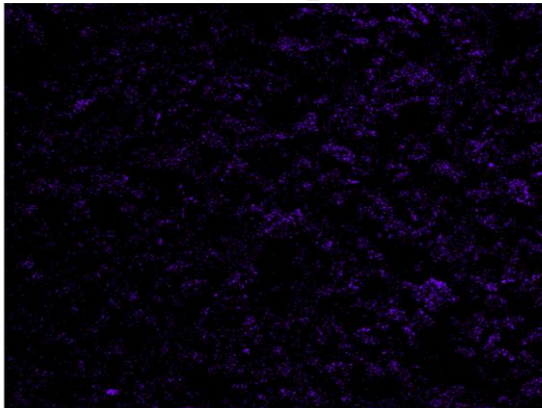
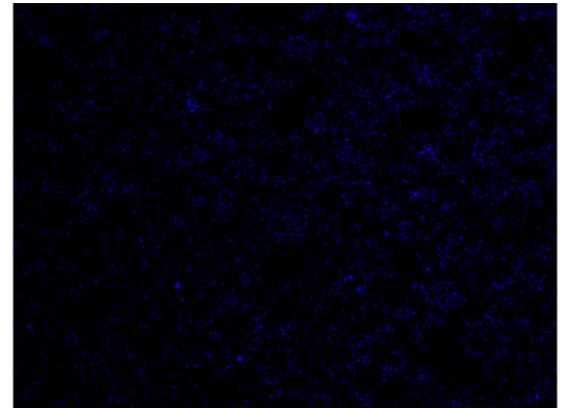
Na K $\alpha$ 1\_2



Cl K $\alpha$ 1



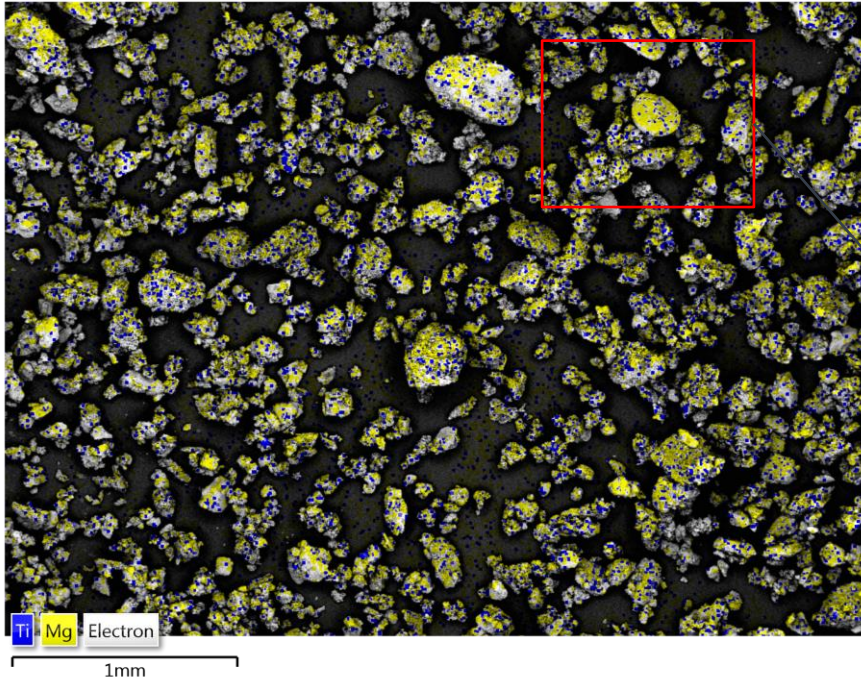
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

Mg  $K\alpha_{1,2}$ Ca  $K\alpha_1$ S  $K\alpha_1$ K  $K\alpha_1$ Fe  $L\alpha_{1,2}$ Ti  $K\alpha_1$ 

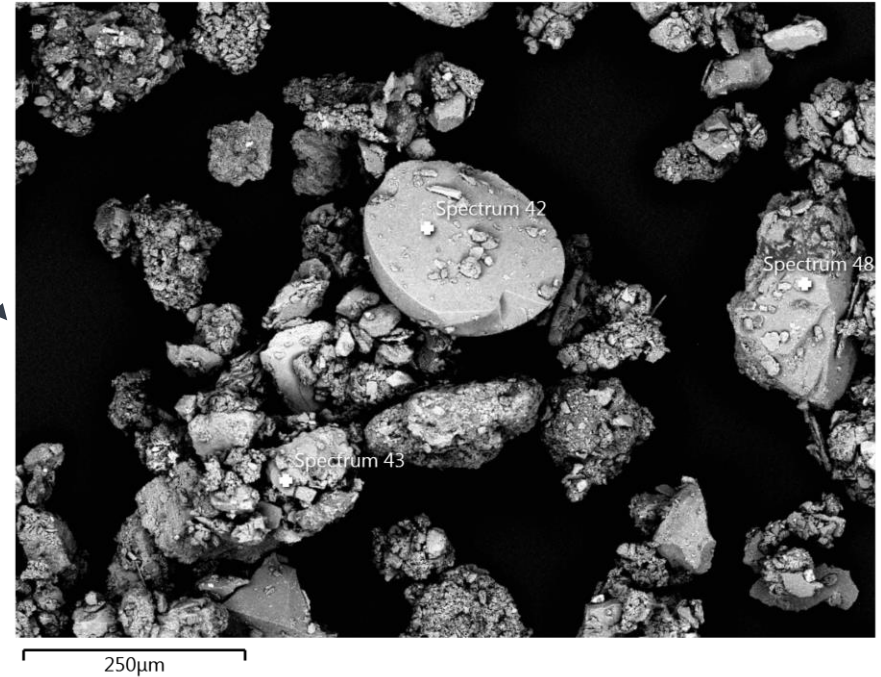
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 5



Electron Image 21

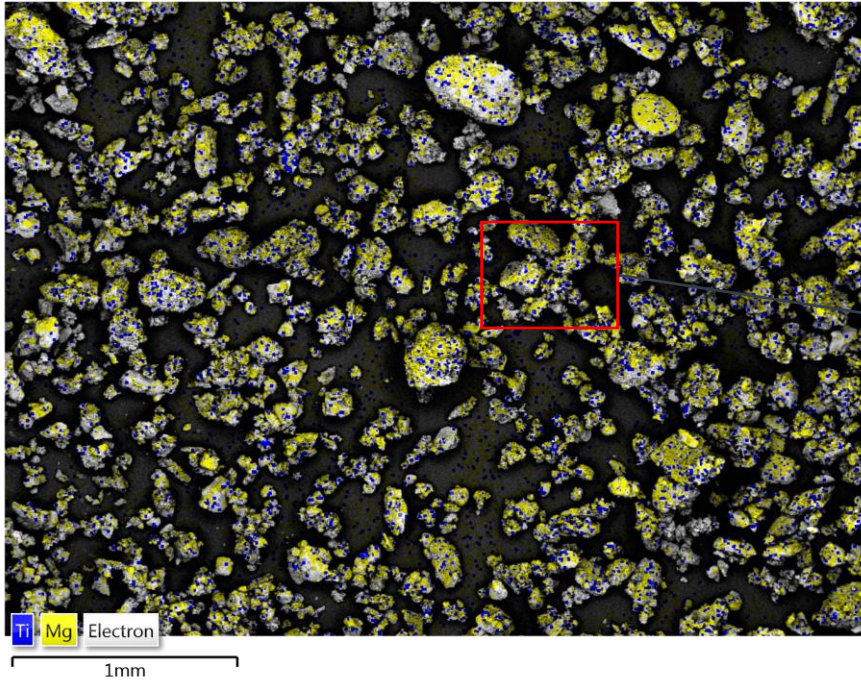


Result Type	Weight %
-------------	----------

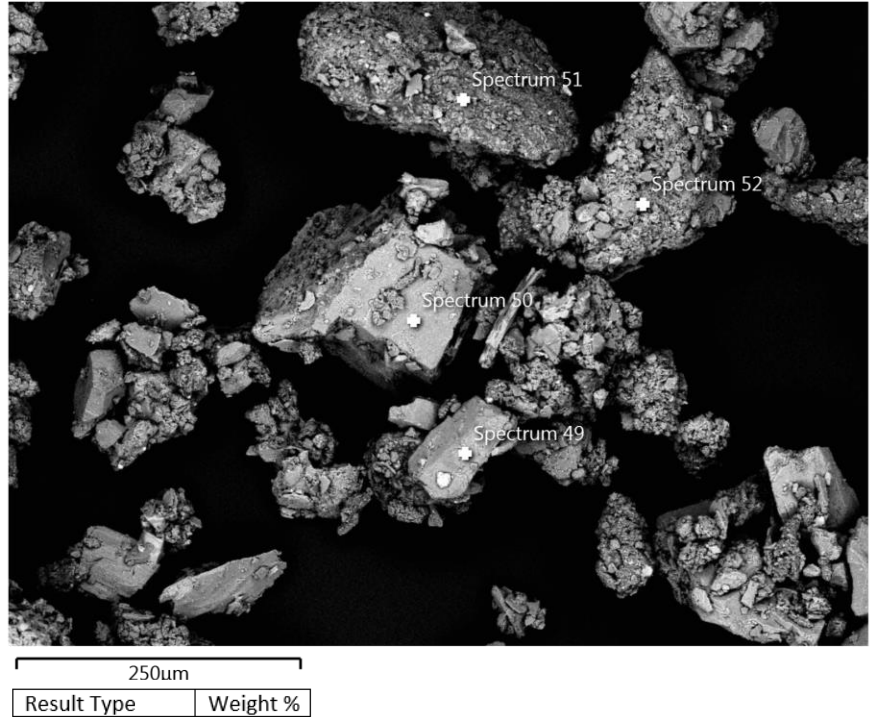
Spectrum Label	Spectrum 42	Spectrum 43	Spectrum 48
O	54.16	25.39	62.62
Na	9.30	1.66	0.22
Mg	1.91		
Al	0.84	0.90	0.14
Si	27.51	69.18	37.01
Cl	0.68	2.87	
K	0.65		
Ca	4.48		
Fe	0.47		
Total	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 5



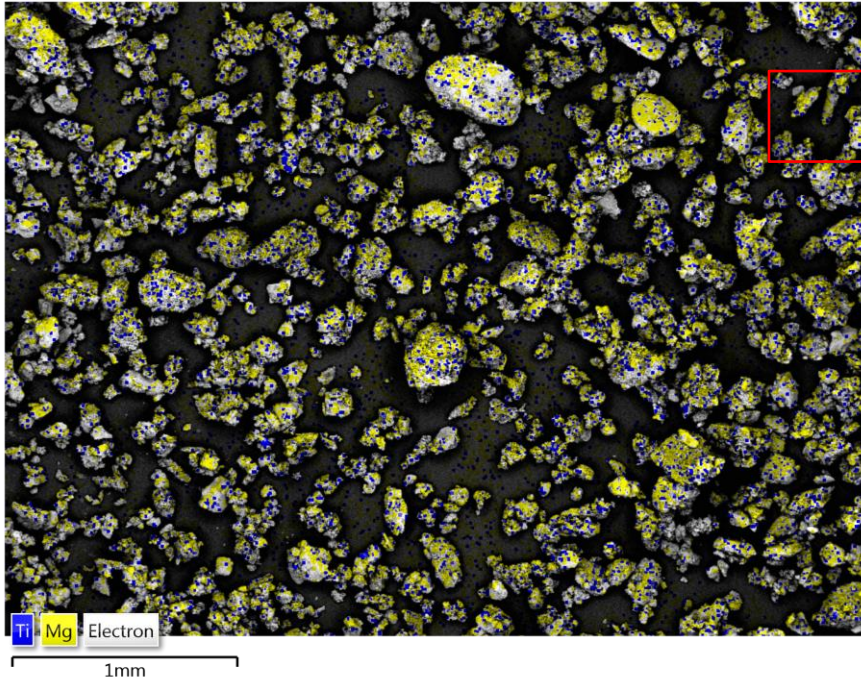
Electron Image 22



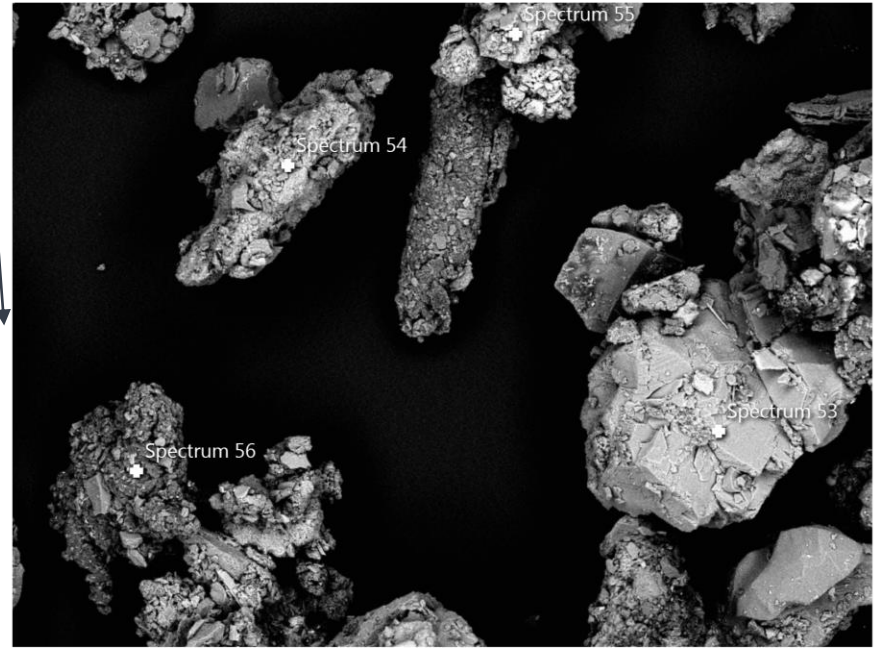
Spectrum Label	Spectrum 49	Spectrum 50	Spectrum 51	Spectrum 52
C			50.02	
O	45.45	33.90	32.31	55.04
Na	1.40	0.37	2.59	8.46
Mg	0.45		0.47	0.18
Al	9.67	11.55	3.26	9.02
Si	28.91	36.57	8.21	25.97
S			0.52	
Cl	0.97		0.46	0.20
K	11.51	17.61	0.47	0.17
Ca			0.22	0.18
Fe	1.66		1.46	0.78
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 5



Electron Image 23

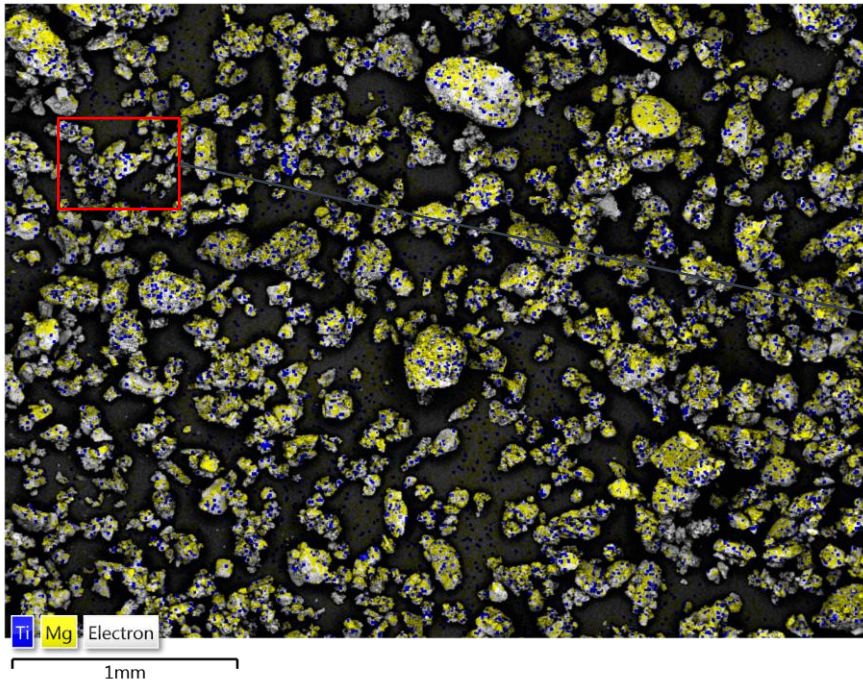


Result Type	Weight %
-------------	----------

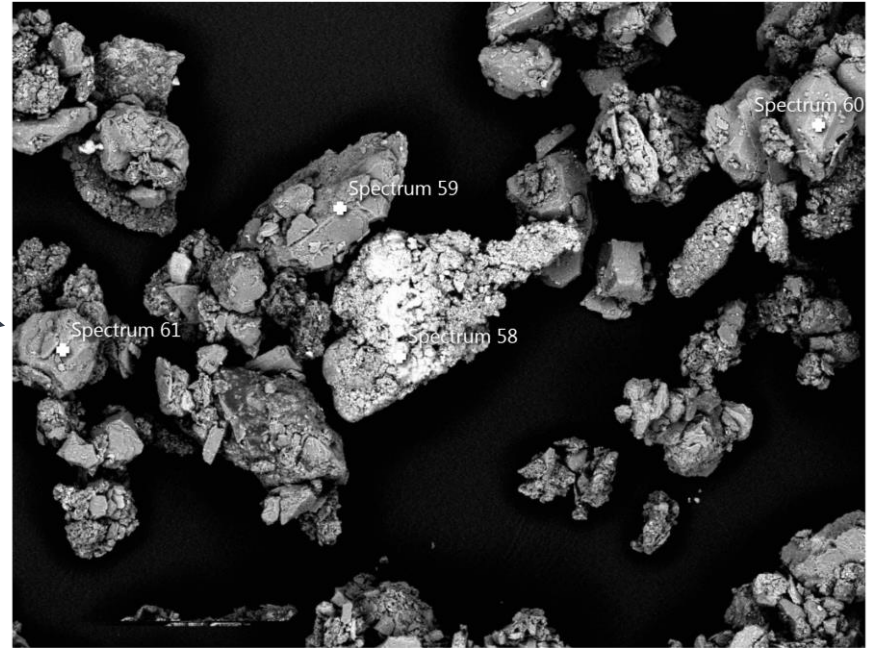
Spectrum Label	Spectrum 53	Spectrum 54	Spectrum 55	Spectrum 56
C				66.69
O	40.91	56.28	37.01	20.40
Na		8.48	4.71	0.86
Mg	0.18		6.96	0.81
Al	0.16	8.82	2.61	1.76
Si	0.27	25.79	27.29	3.20
S				0.82
Cl			6.38	0.73
K			0.36	0.42
Ca	56.58	0.62	8.22	0.63
Mn	0.85			
Fe	1.06		6.46	3.69
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 5



Electron Image 24



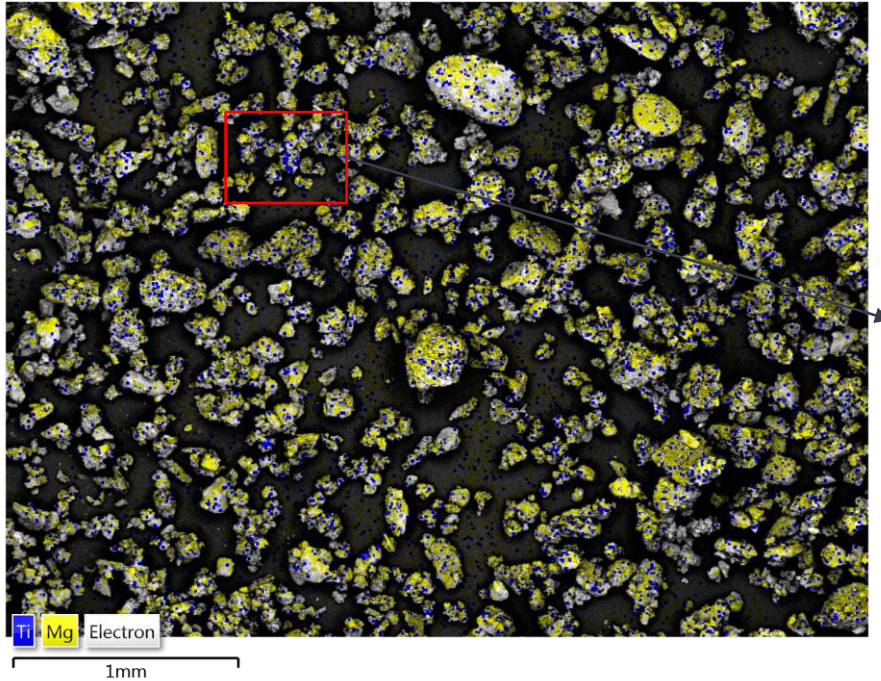
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 58	Spectrum 59	Spectrum 60	Spectrum 61
O	10.25	26.66	53.22	40.11
Na	0.72	0.51	0.14	11.77
Mg		0.45		0.91
Al	0.53	16.57	0.14	8.70
Si	1.21	37.37	46.49	22.89
S	0.33			0.31
Cl	4.33	0.66		8.74
K		2.32		1.39
Ca	0.51	13.60		0.48
Fe	82.11	1.87		4.71
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

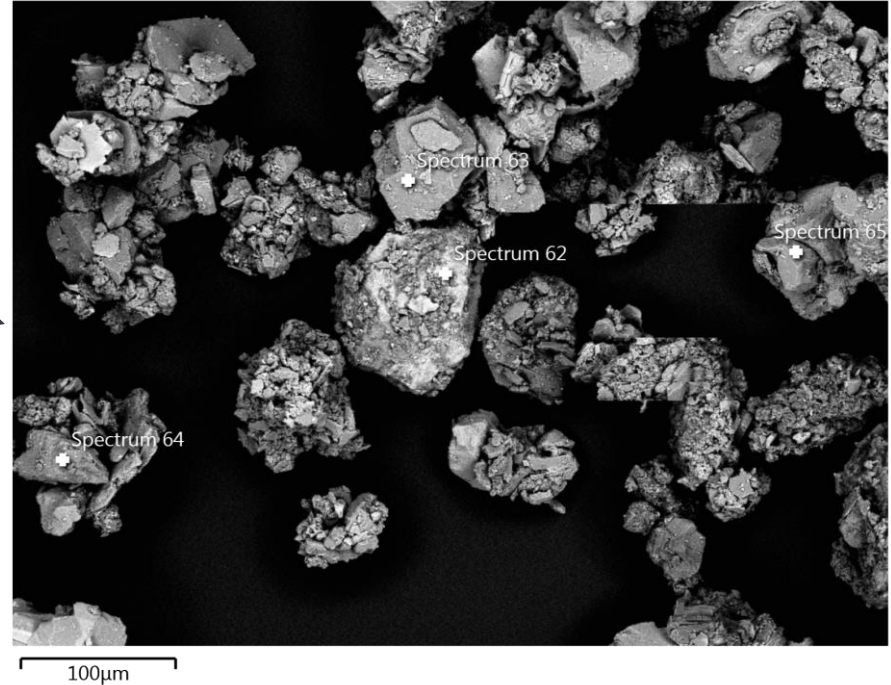


# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 5



Electron Image 25



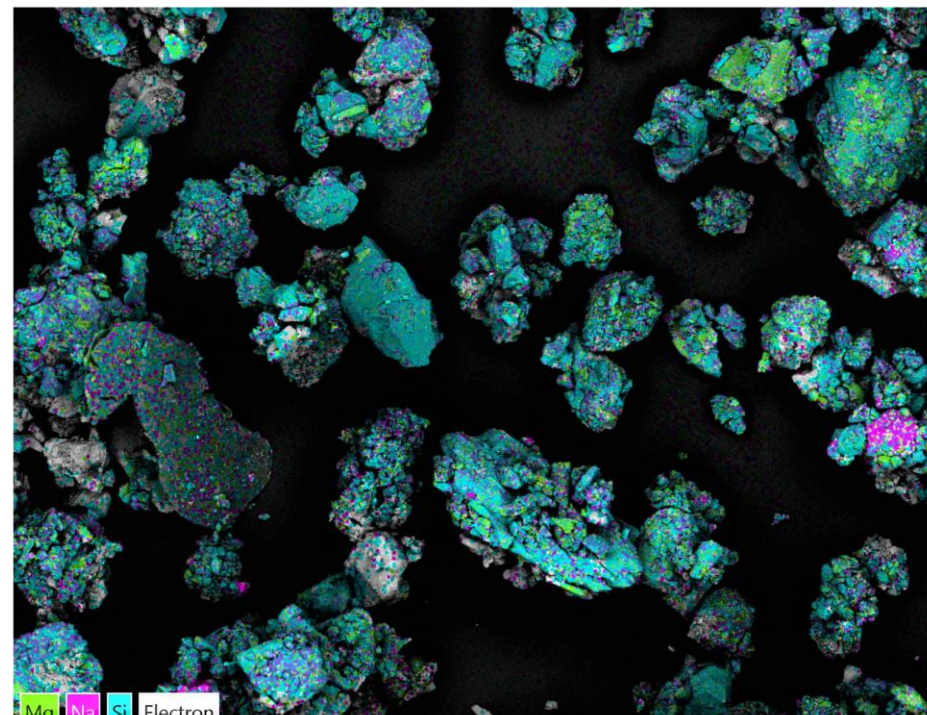
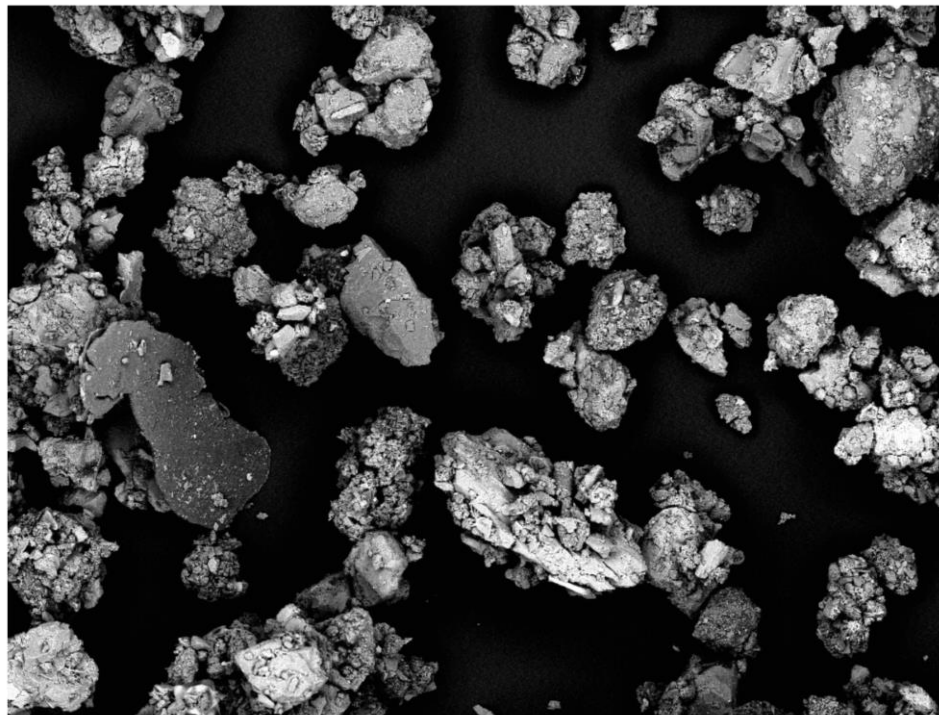
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 62	Spectrum 63	Spectrum 64	Spectrum 65
O	28.35	17.17	37.26	60.76
Na	0.58	0.86	1.67	0.52
Mg	0.70		4.77	
Al	2.36	2.13	2.95	0.40
Si	15.38	70.64	12.49	38.32
Cl	0.60	1.95	2.40	
K		2.16	1.14	
Ca	23.54	0.77	35.50	
<u>Ti</u>	24.92			
Fe	3.57	4.32	1.82	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

Electron Image 26

EDS Layered Image 6



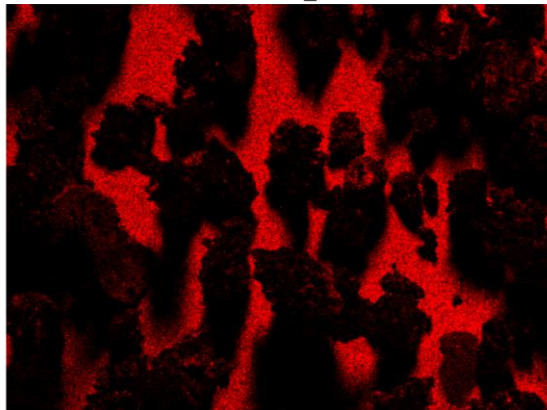
250µm

250µm

Mapping over en samling med agglomerater. Mg, Na og Si er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

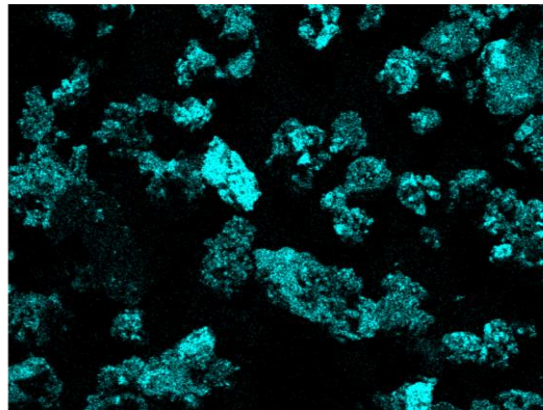
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

C K $\alpha$ 1\_2



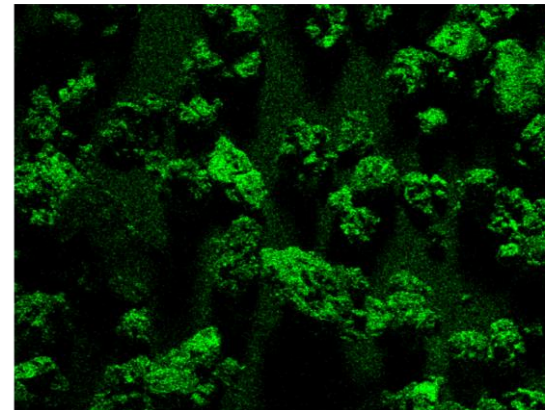
250 $\mu$ m

Si K $\alpha$ 1



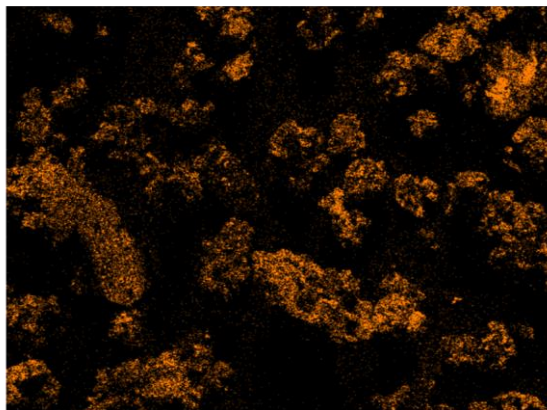
250 $\mu$ m

O K $\alpha$ 1



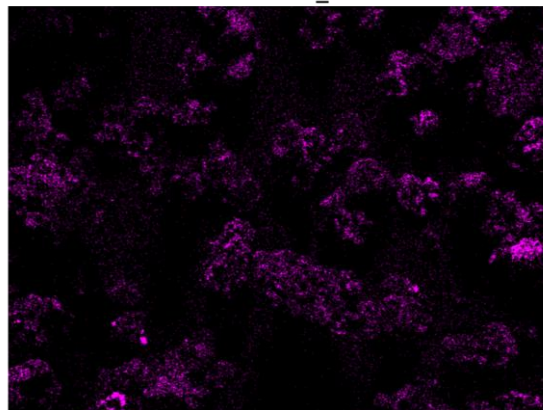
250 $\mu$ m

Al K $\alpha$ 1



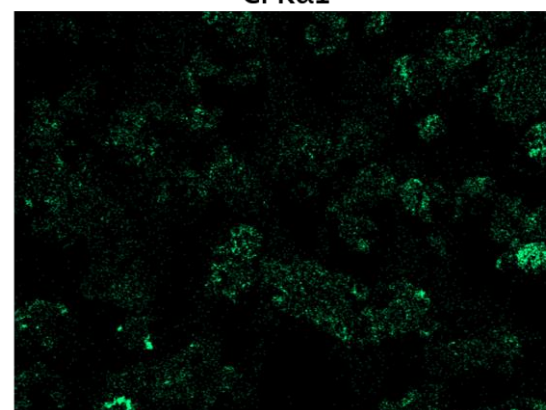
250 $\mu$ m

Na K $\alpha$ 1\_2



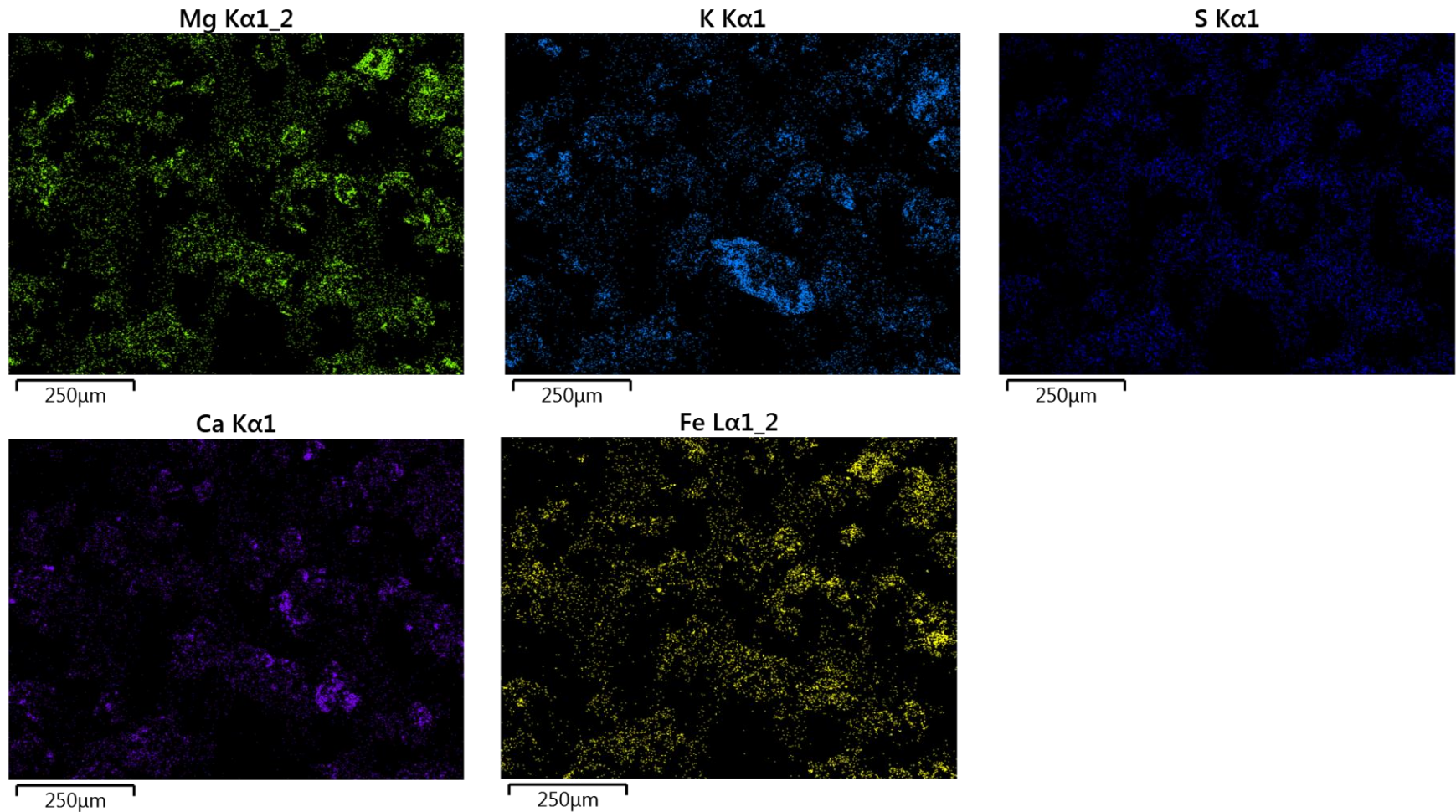
250 $\mu$ m

Cl K $\alpha$ 1



250 $\mu$ m

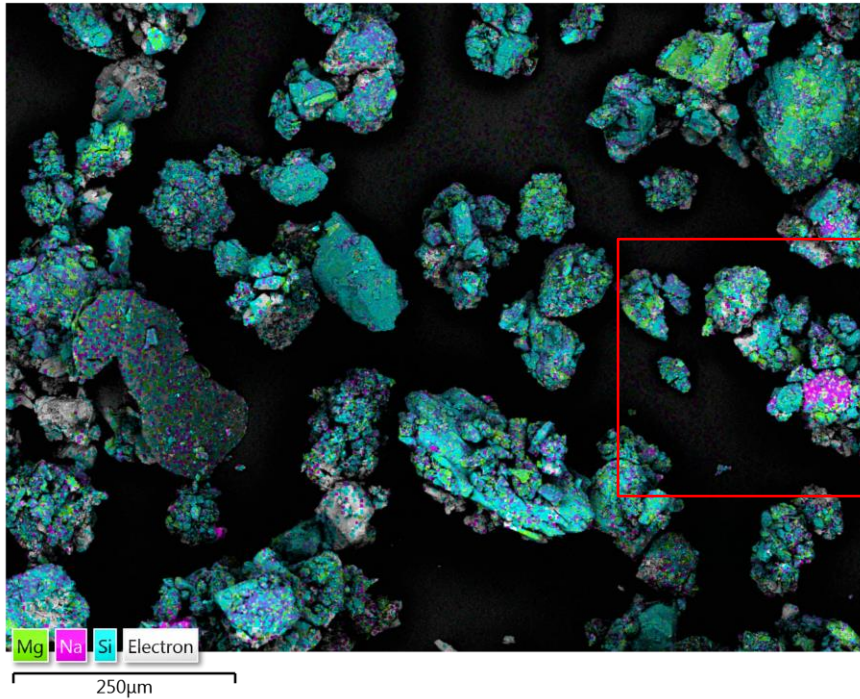
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE B



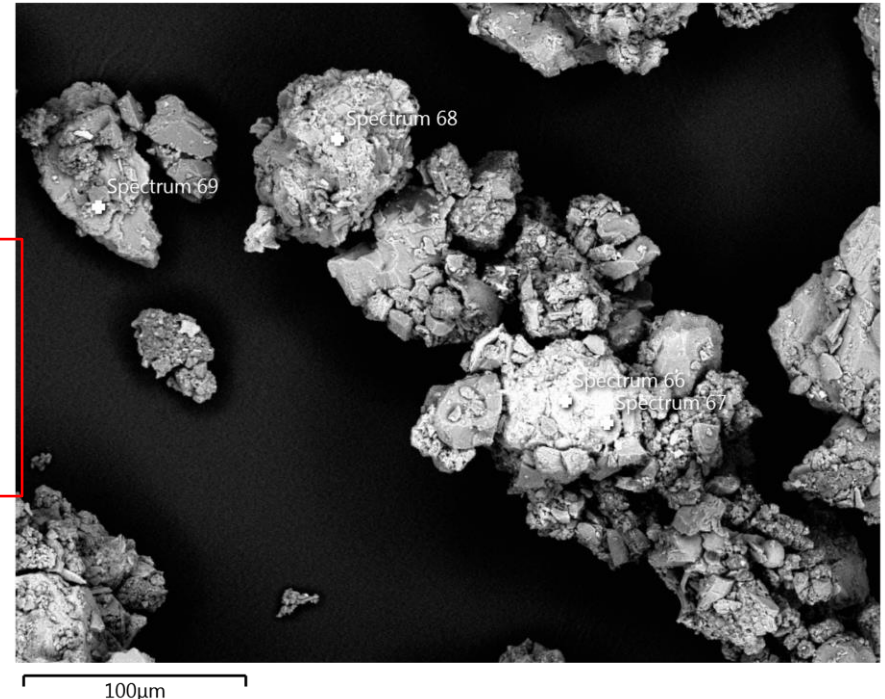
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 6



Electron Image 27

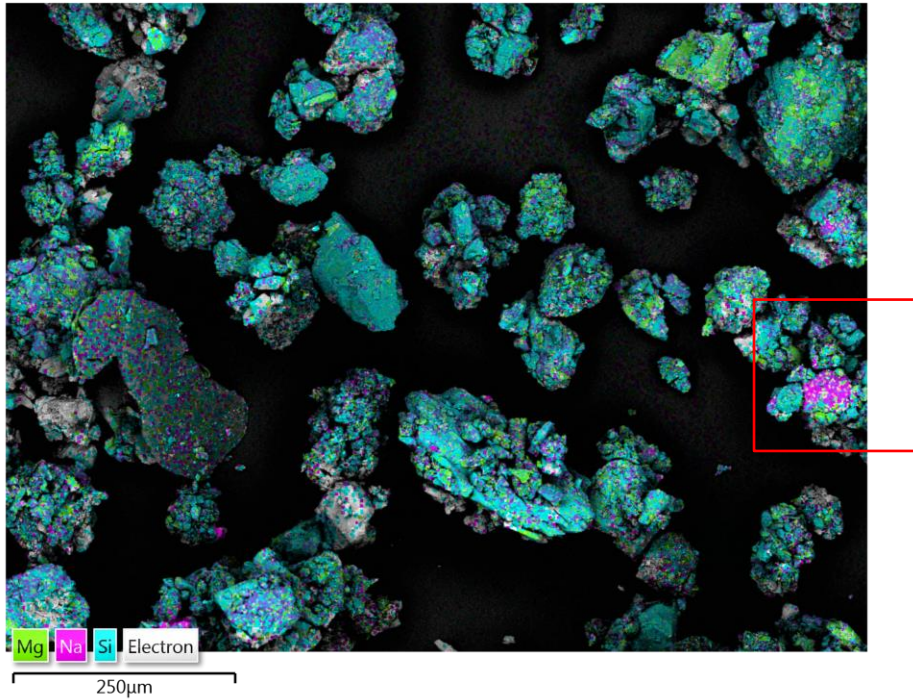


Result Type	Weight %
-------------	----------

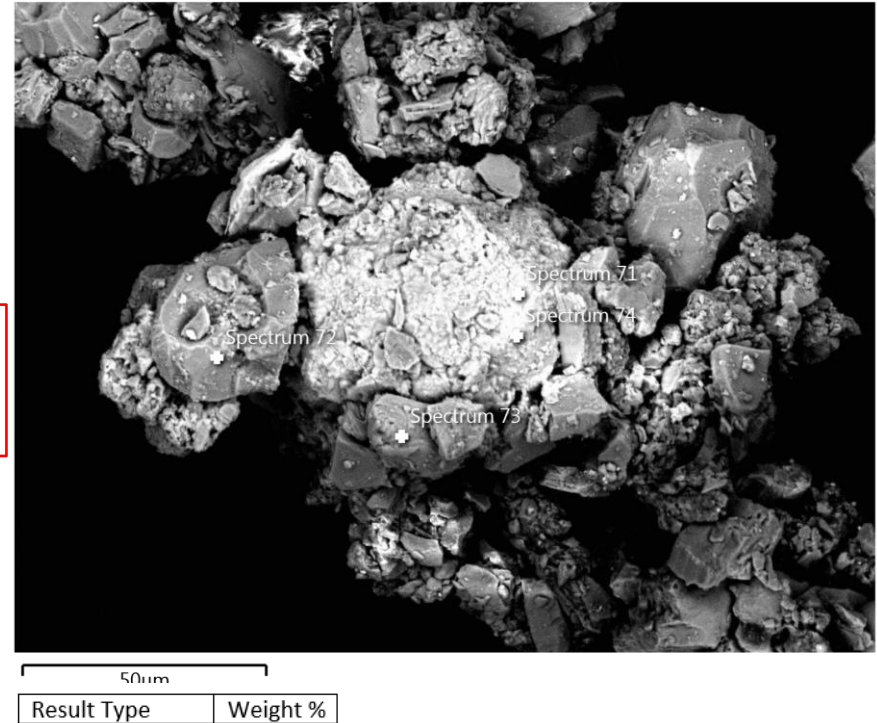
Spectrum Label	Spectrum 66	Spectrum 67	Spectrum 68	Spectrum 69
O	41.35	12.49	27.44	10.13
Na	8.89	8.90	6.51	1.39
Mg		0.23	0.65	1.10
Al	0.74	0.88	7.74	6.53
Si	3.53	4.99	25.95	30.84
P	0.44			
S	0.58		1.95	0.63
Cl	6.49	23.00	8.93	18.75
K		0.71	3.33	6.10
Ca	1.29	6.97	4.31	2.41
Ti				1.68
Fe	36.69	41.84	13.19	20.46
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 6



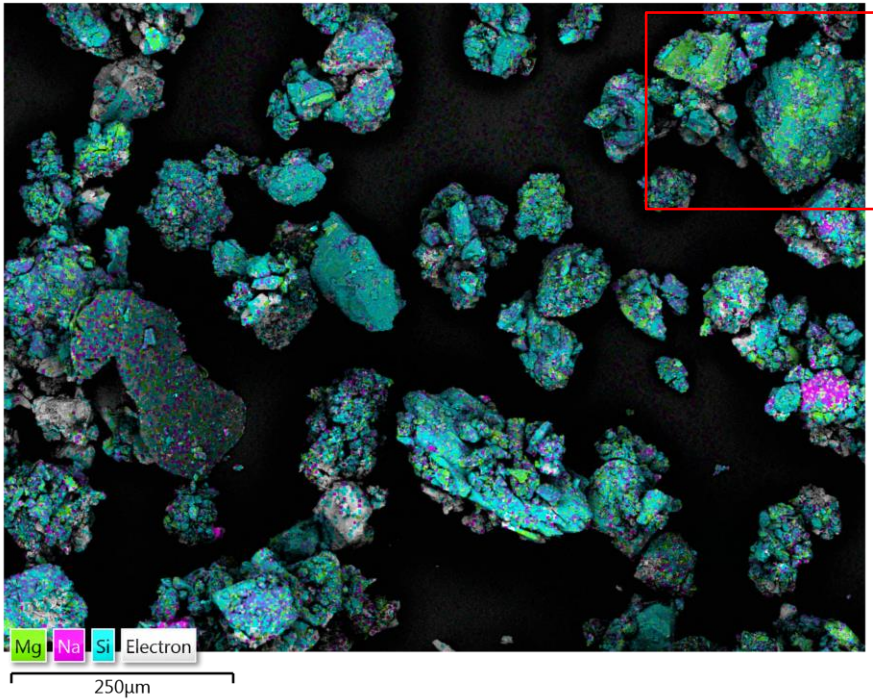
Electron Image 29



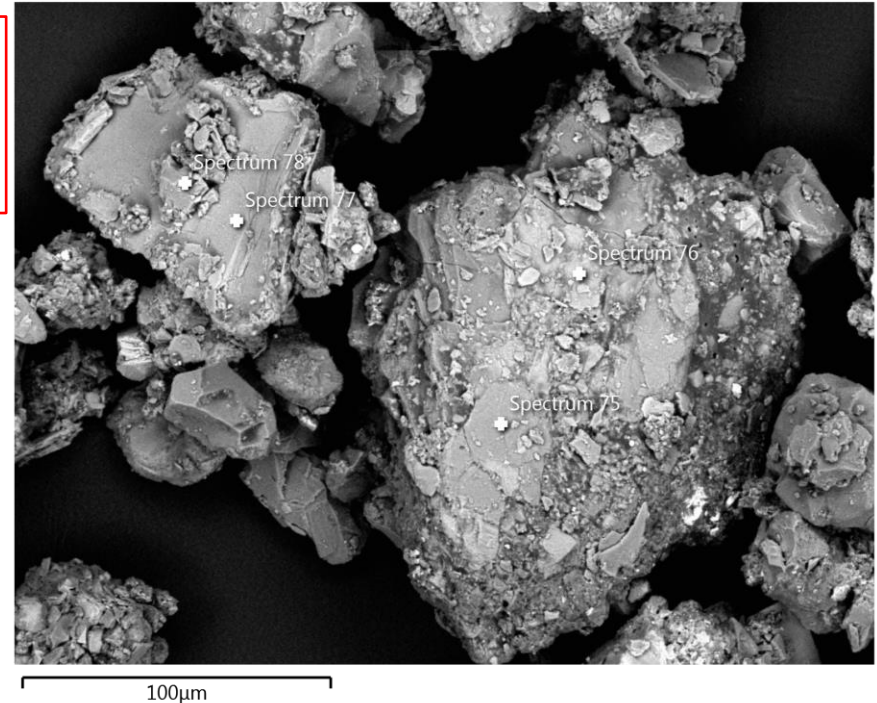
Spectrum Label	Spectrum 71	Spectrum 72	Spectrum 73	Spectrum 74
O	31.79	33.06	21.79	22.69
Na	11.58	0.36	1.30	19.32
Mg			7.54	
Al	0.56	0.62	10.42	0.58
Si	3.17	65.47	16.41	3.21
S	0.32			
Cl	8.42	0.49	3.47	20.94
K			0.93	
Ca	2.42		0.63	3.10
Fe	41.75		37.51	30.16
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 6



Electron Image 30

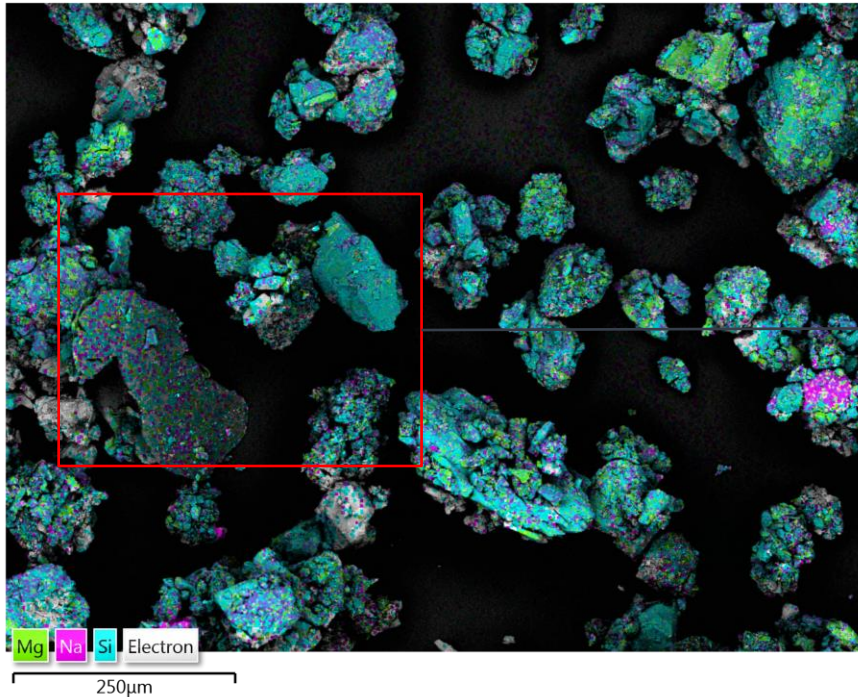


Result Type	Weight %
-------------	----------

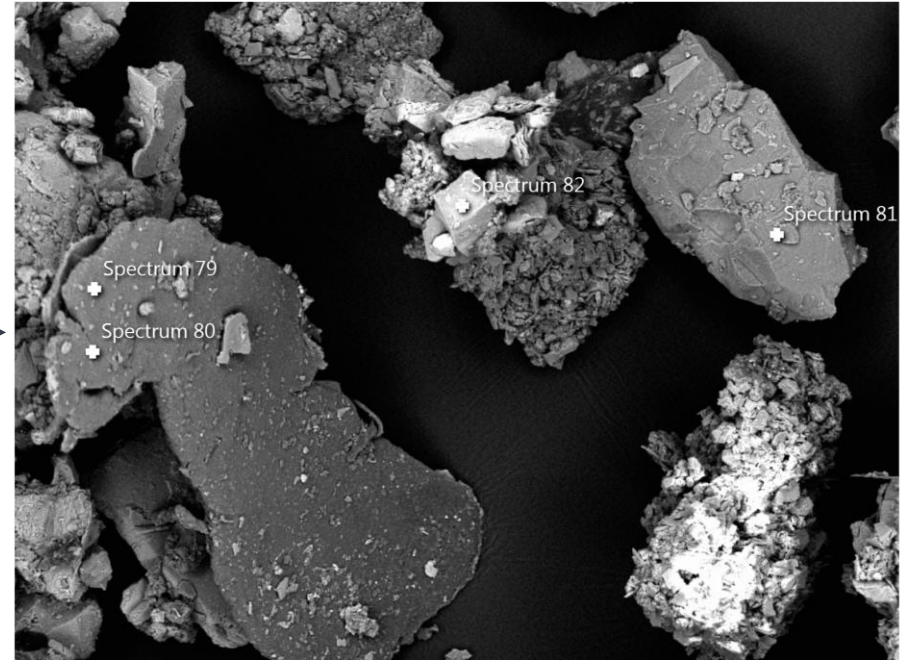
Spectrum Label	Spectrum 75	Spectrum 76	Spectrum 77	Spectrum 78
O	54.56	48.36	54.47	32.55
Na	0.39		1.35	0.71
Mg	0.61	5.29	5.79	0.39
Al	16.80	9.40	9.81	1.22
Si	20.04	15.24	15.17	60.79
Cl			0.60	0.99
K	6.65	5.78	2.29	0.46
Ca				0.50
<u>Ti</u>		0.89	0.73	
Fe	0.95	15.03	9.79	2.40
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE B

EDS Layered Image 6



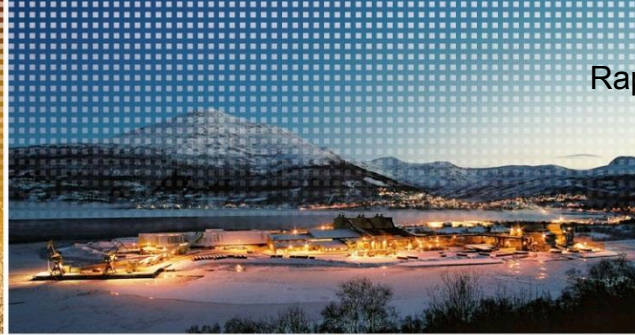
Electron Image 31



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 79	Spectrum 80	Spectrum 81	Spectrum 82
O	47.11	35.71	55.43	36.13
Na	8.07	2.56		3.18
Mg		1.55		0.60
Al	12.17	24.18	0.16	3.81
Si	28.19	15.84	44.41	11.49
S		0.83		
Cl	2.29	5.68		1.99
K	0.35	0.87		1.05
Ca	0.68	0.93		1.70
Ti				12.20
Mn				4.09
Fe	1.14	11.85		23.77
Total	100.00	100.00	100.00	100.00





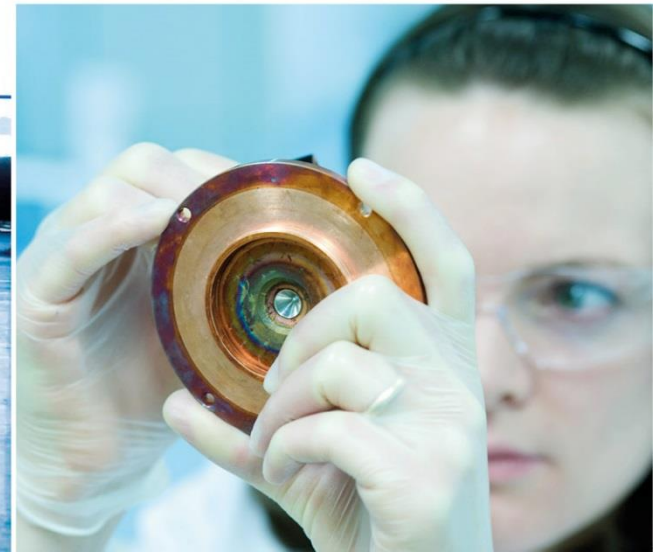
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 37



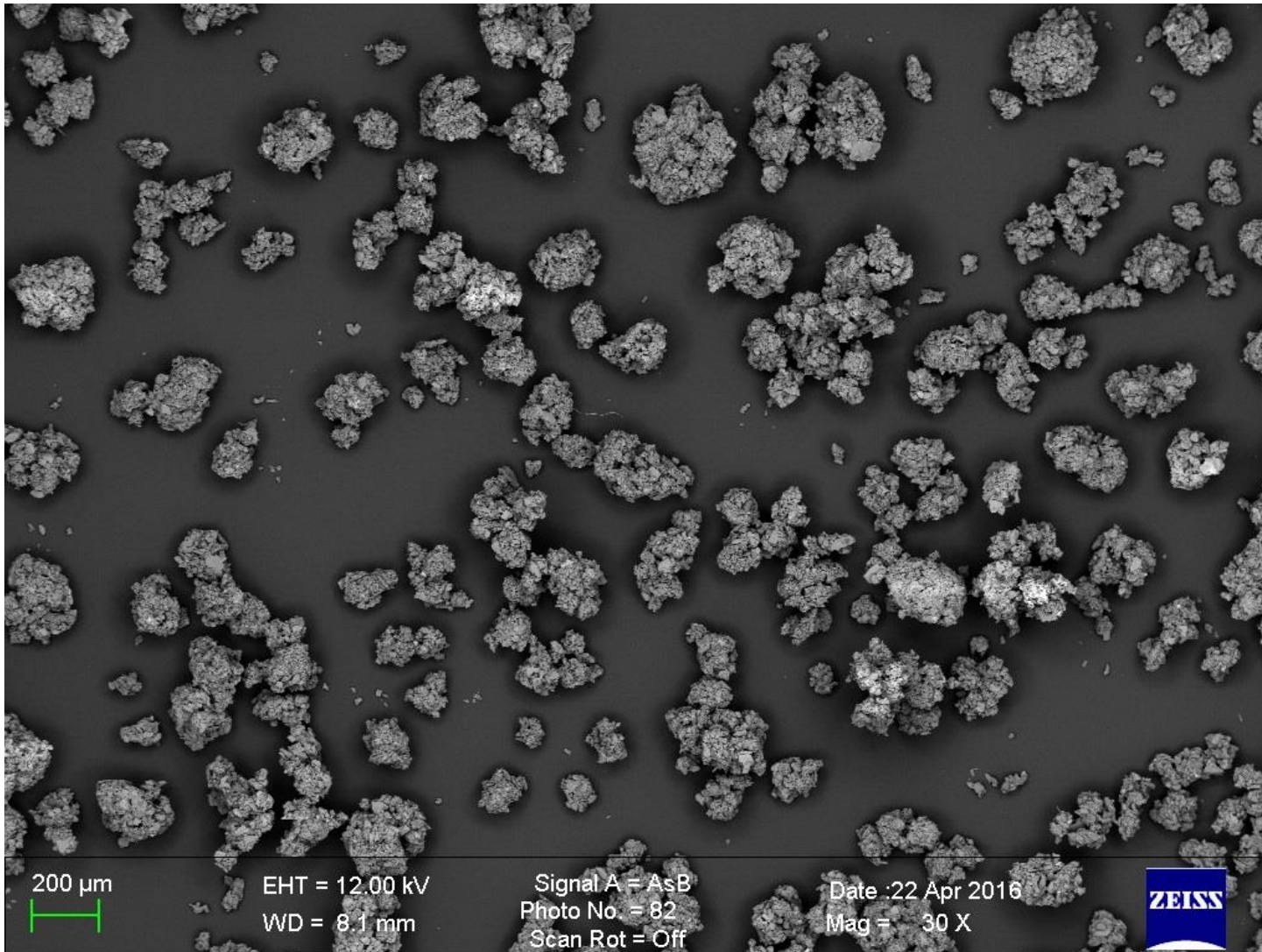
## Prosjekt Karmøy, prøve C: LFV0.5

LFV0.5	Lydfelle venstre 0,5 m fra grunn
--------	----------------------------------

SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 27.05.2016

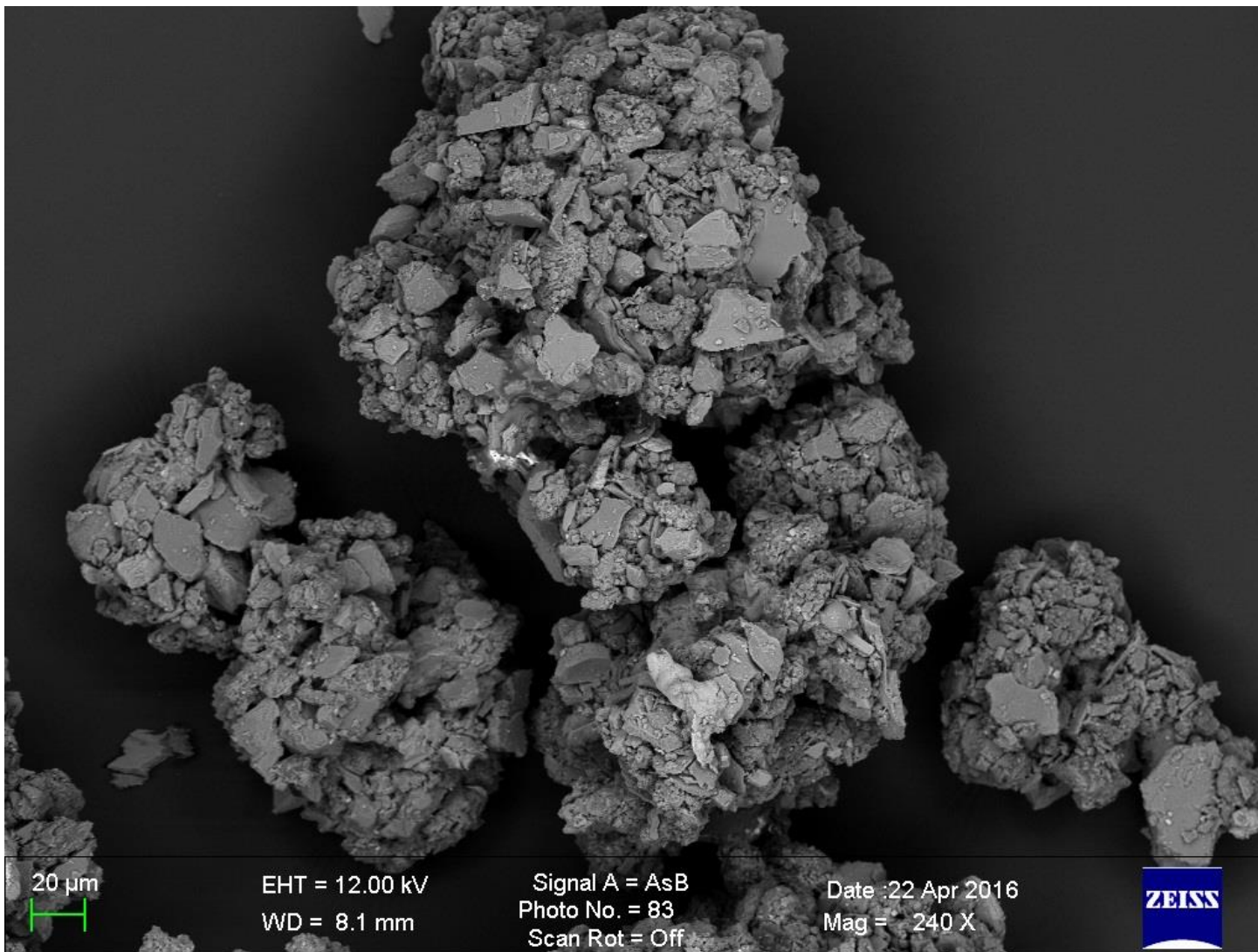


## PROSJEKT KARMØY, PRØVE C



SEM. Oversiktsbilde  
(dryssprøve).

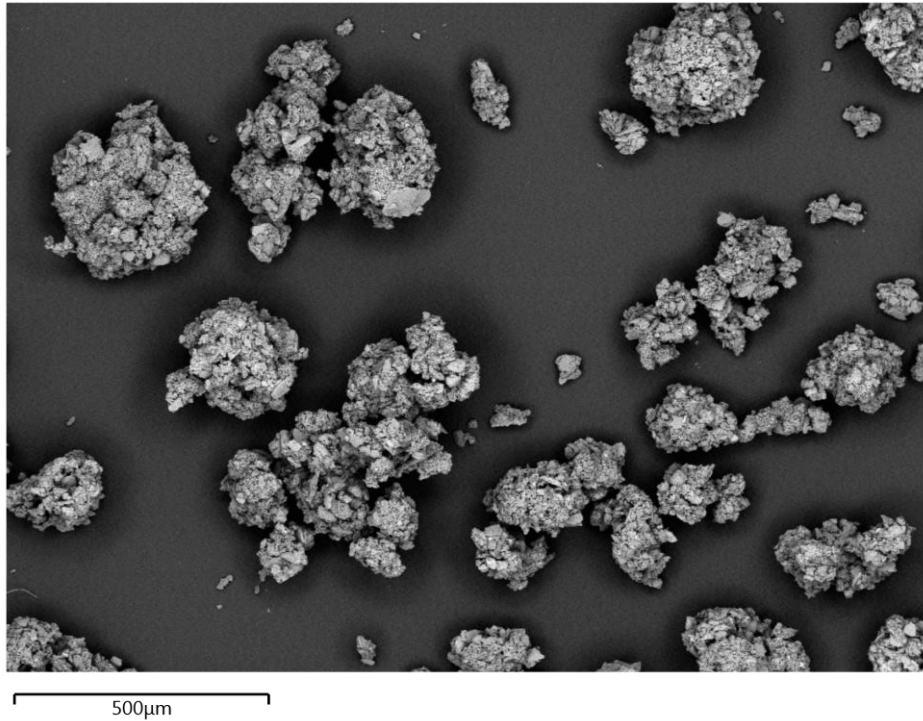
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE C



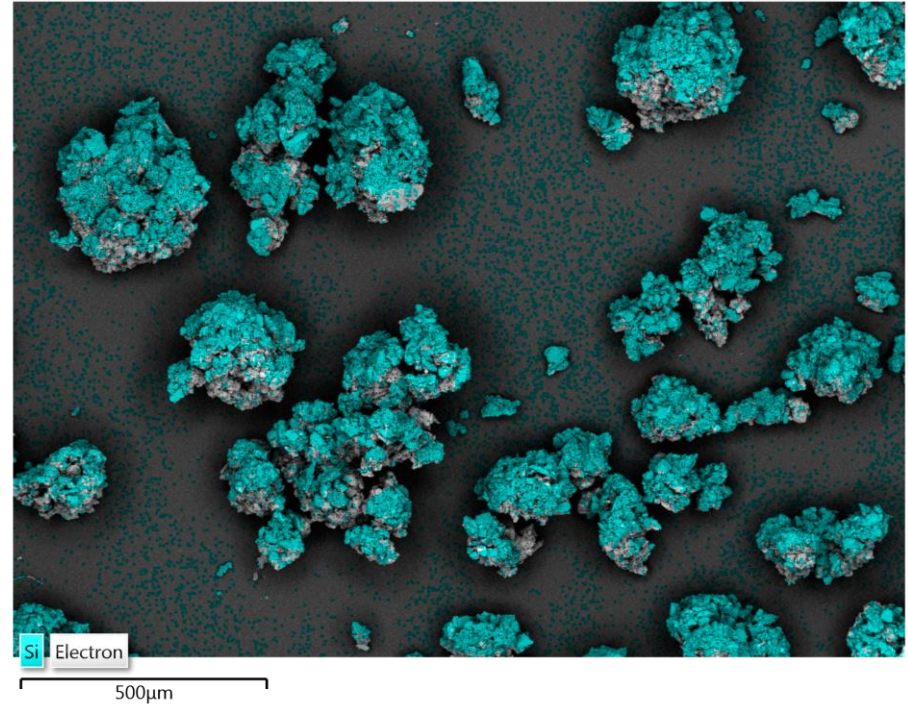
Typiske agglomerater i mottatt prøve.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

Electron Image 32



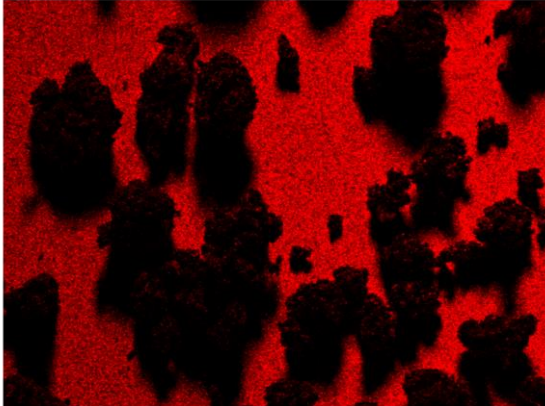
EDS Layered Image 7



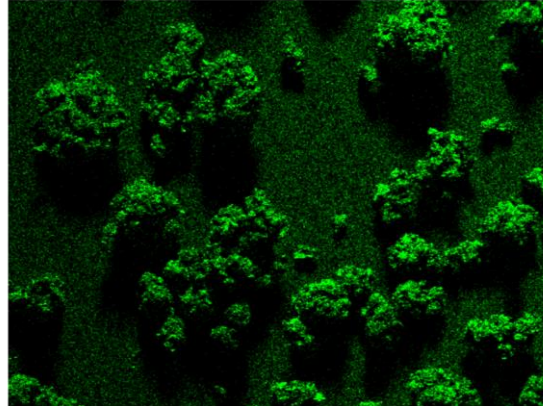
Mapping over en samling med agglomerater. Si er et tilfeldig utvalgt element. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

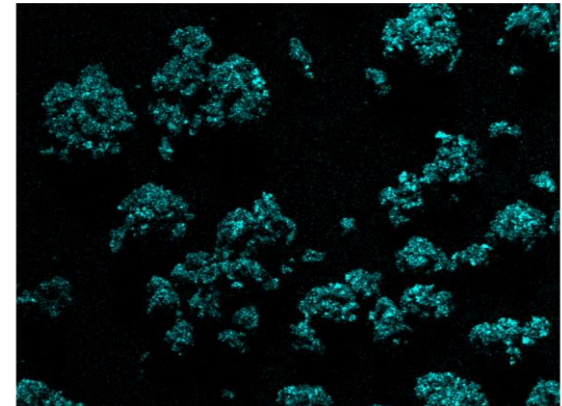
C K $\alpha$ 1\_2



O K $\alpha$ 1



Si K $\alpha$ 1

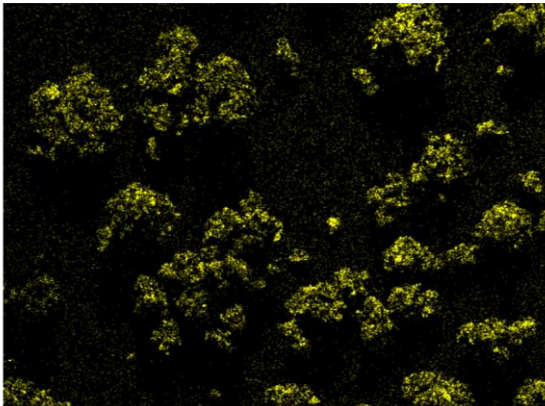


500 $\mu$ m

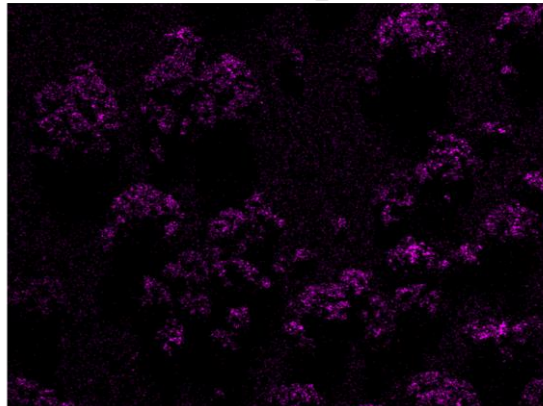
500 $\mu$ m

500 $\mu$ m

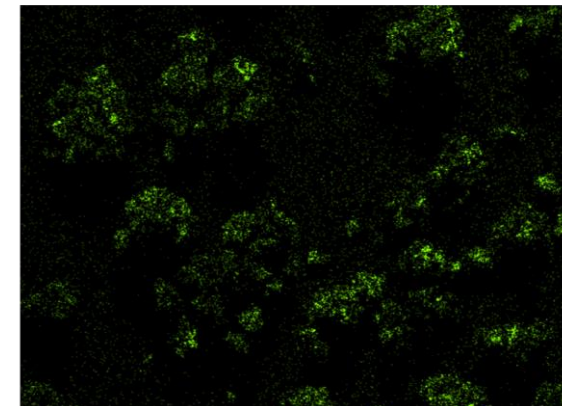
Al K $\alpha$ 1



Na K $\alpha$ 1\_2



Cl K $\alpha$ 1

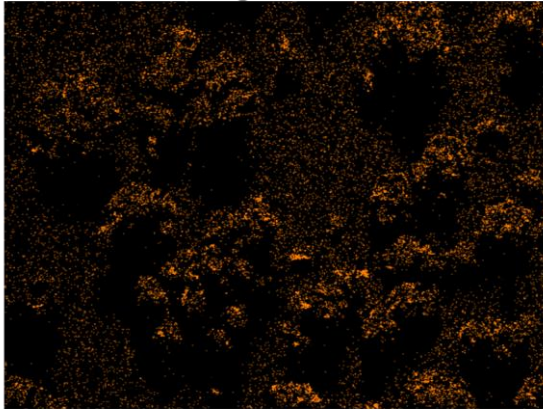
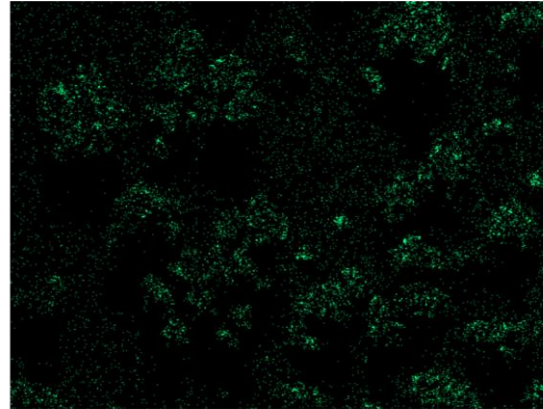
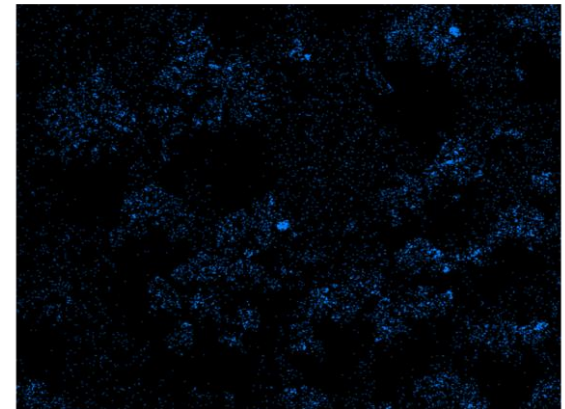
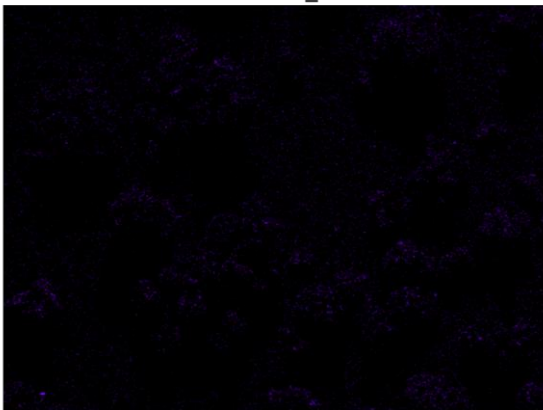
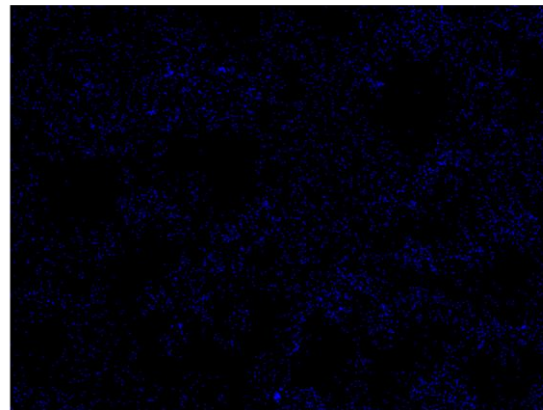


500 $\mu$ m

500 $\mu$ m

500 $\mu$ m

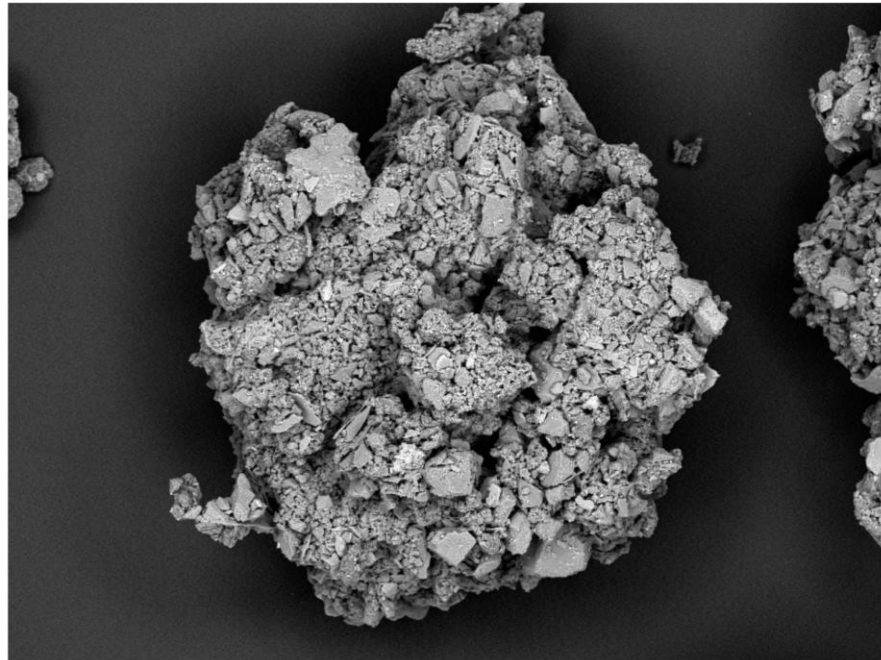
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

Mg  $K\alpha_{1,2}$ K  $K\alpha_1$ Ca  $K\alpha_1$ Fe  $L\alpha_{1,2}$ Ti  $K\alpha_1$ 

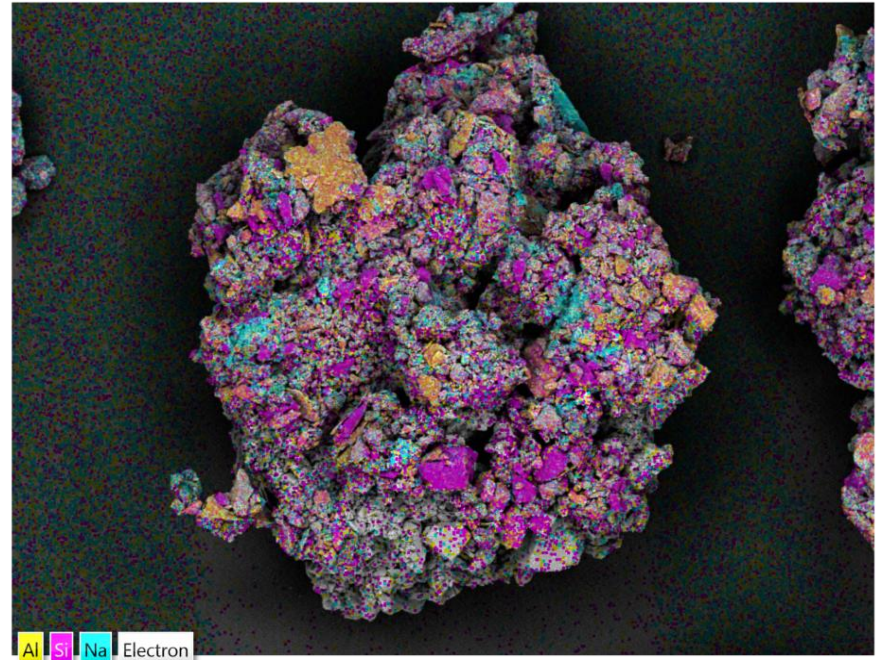
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

Electron Image 33



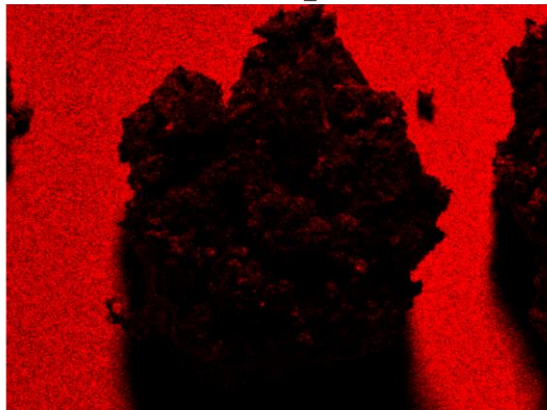
EDS Layered Image 8



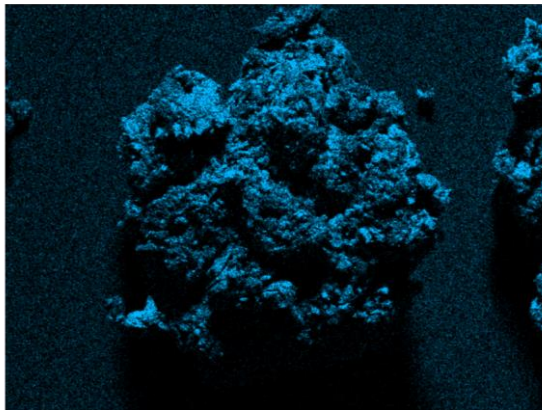
Mapping over et agglomerat. Al, Si og Na er tilfeldig utvalgt. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

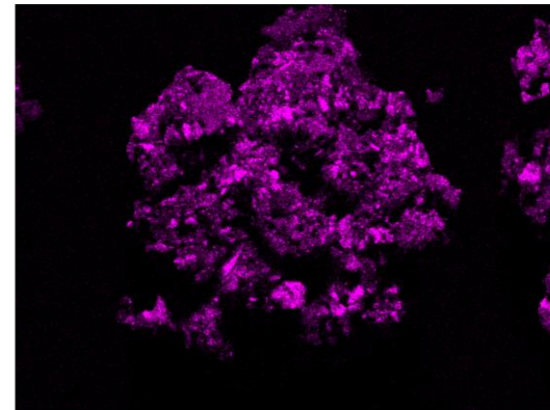
C K $\alpha$ 1\_2



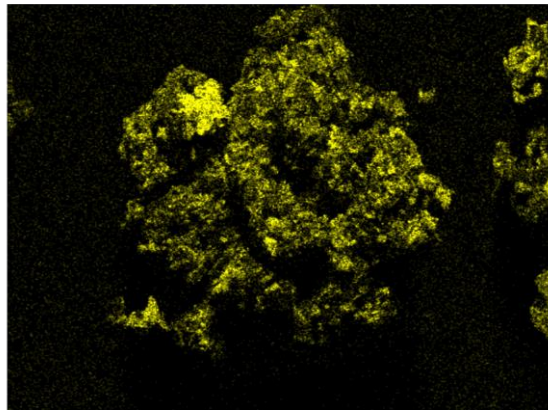
O K $\alpha$ 1



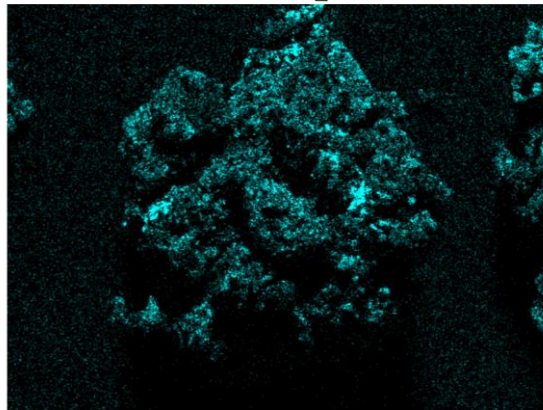
Si K $\alpha$ 1



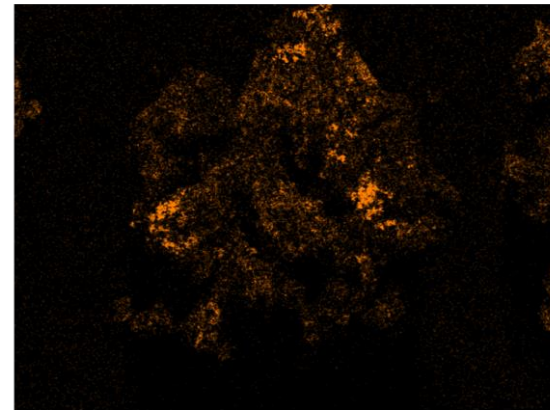
Al K $\alpha$ 1



Na K $\alpha$ 1\_2

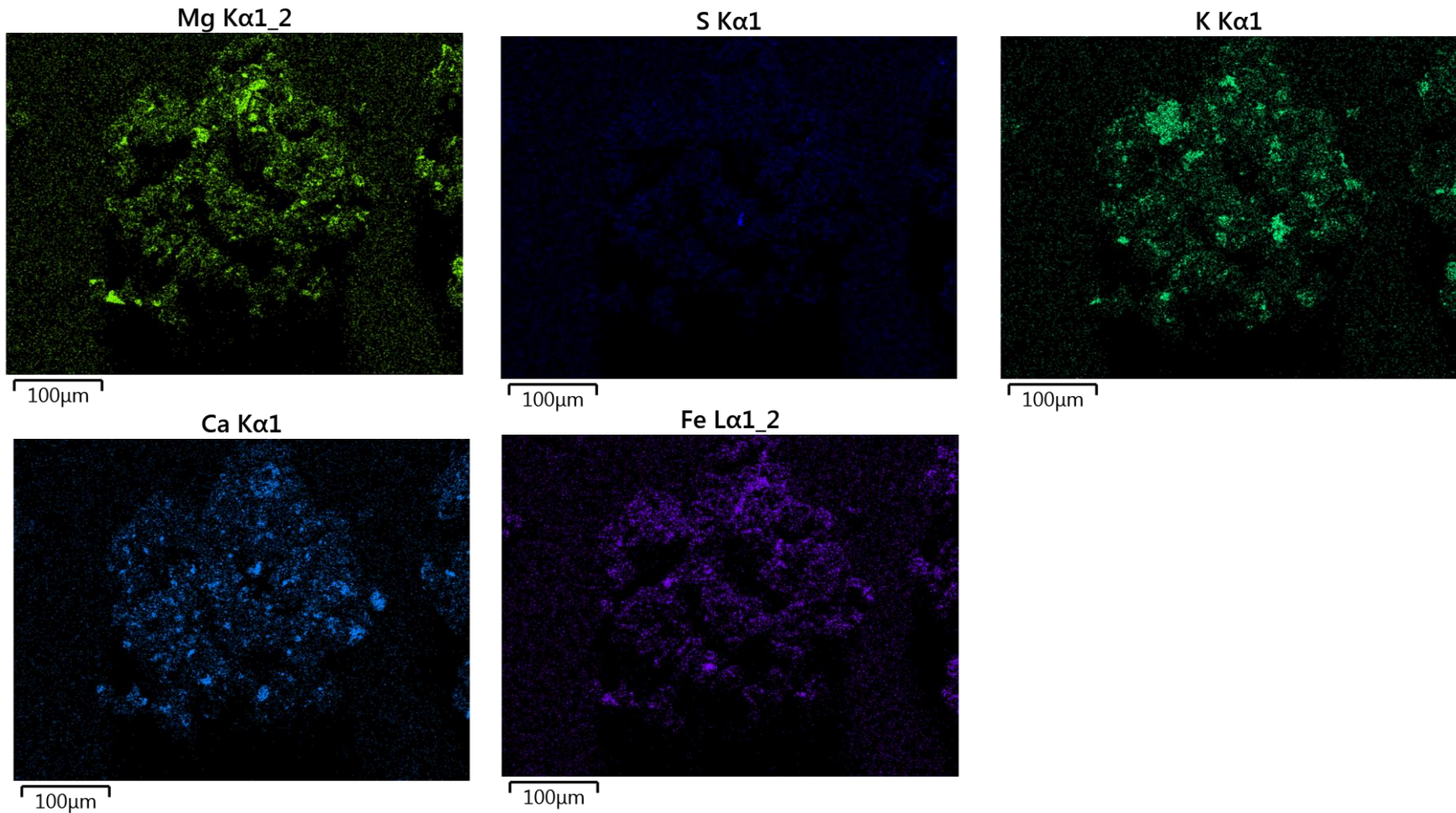


Cl K $\alpha$ 1





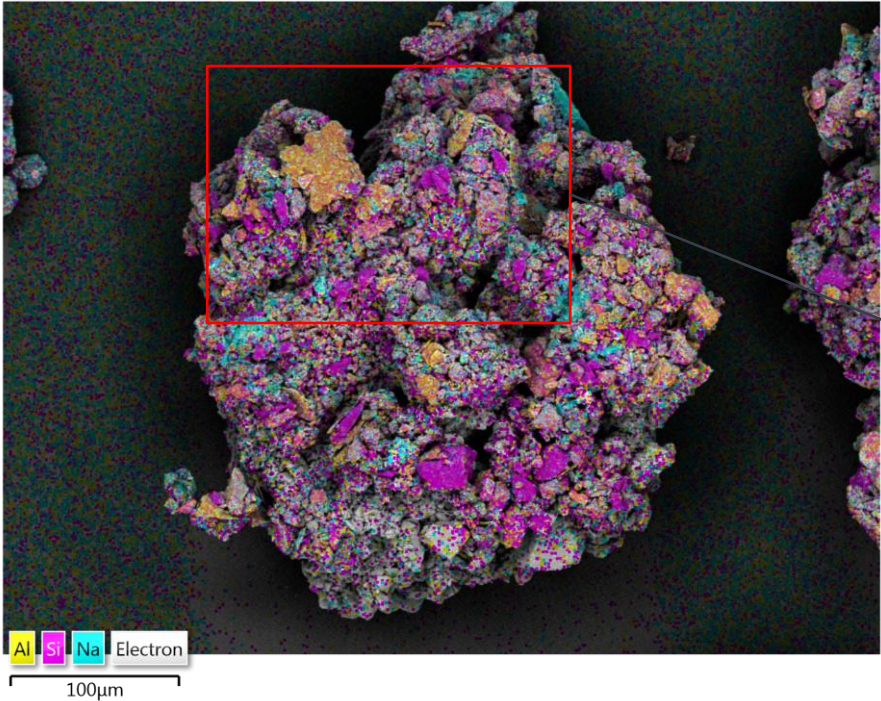
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE C



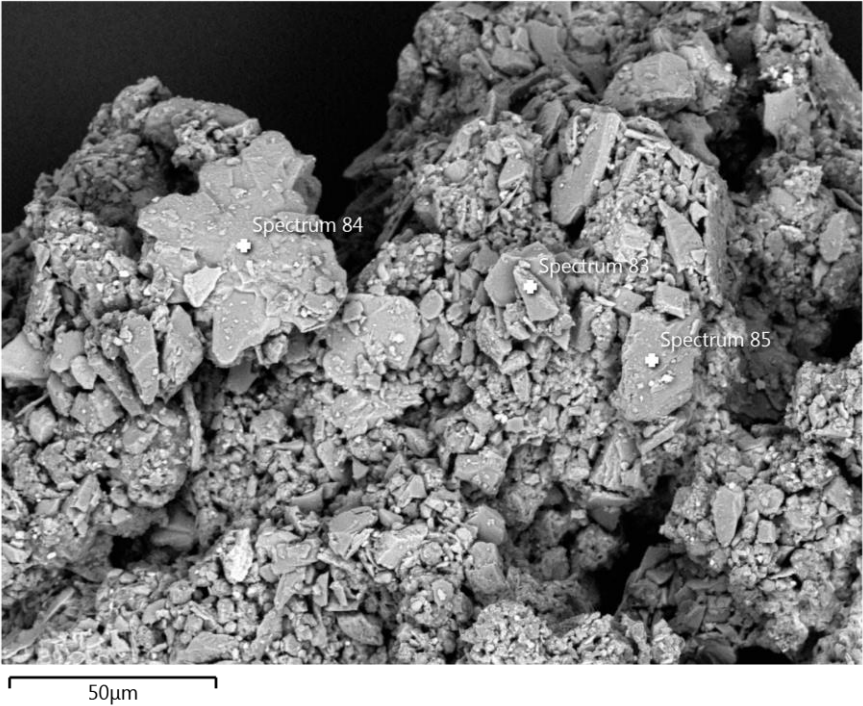
Ovenfor er alle hovedelementene i agglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at signalet fra denne forstyrrer karbonsignalet fra selve prøven

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

EDS Layered Image 8



Electron Image 34

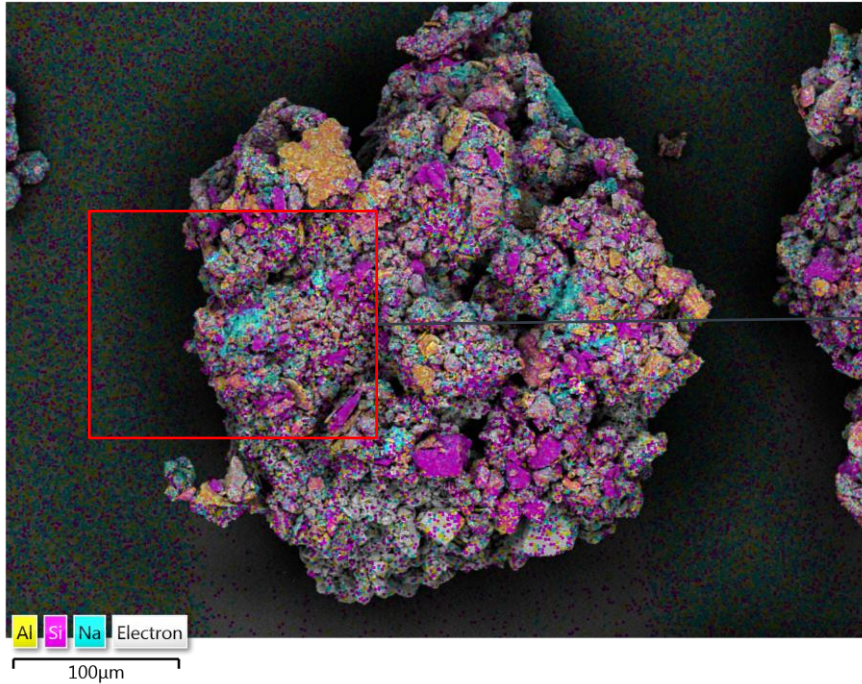


Result Type	Weight %
-------------	----------

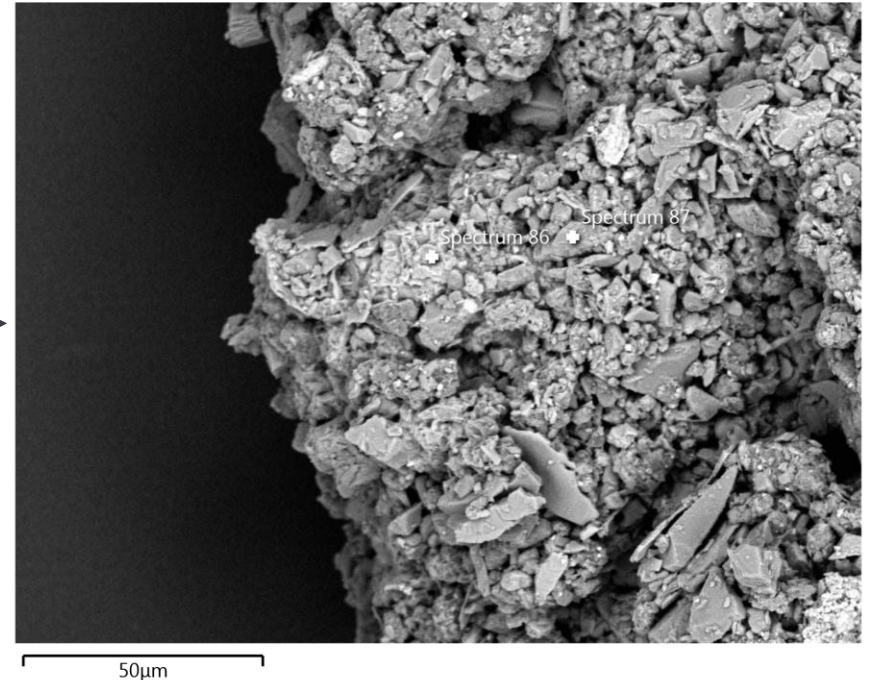
Spectrum Label	Spectrum 83	Spectrum 84	Spectrum 85
O	60.70	57.04	41.50
Na	0.37	0.51	7.58
Al	0.24	16.84	12.70
Si	38.30	18.28	35.88
Cl	0.39		0.44
K		6.56	
Ca			1.91
Fe		0.77	
Total	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

EDS Layered Image 8



Electron Image 35

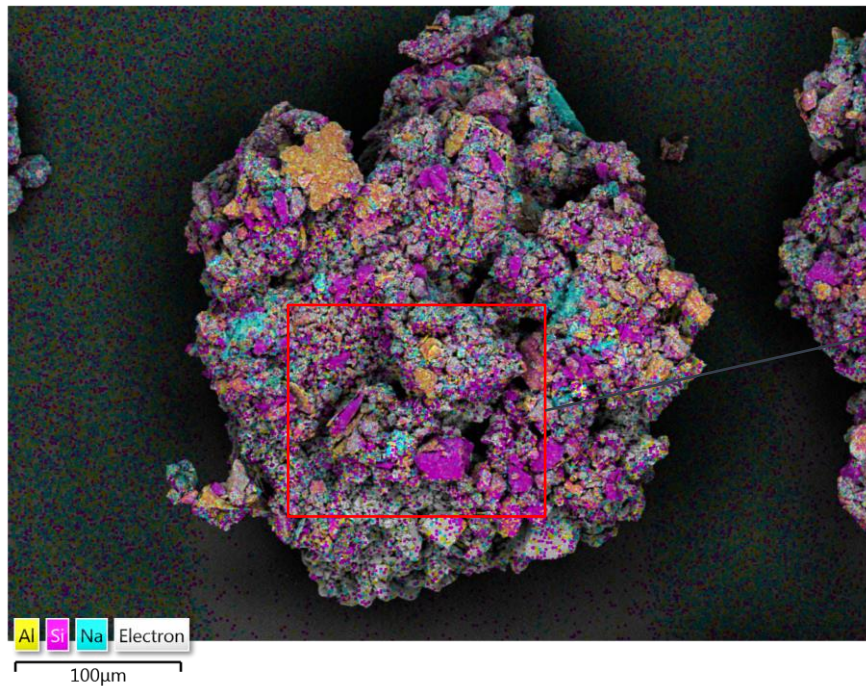


Result Type	Weight %
-------------	----------

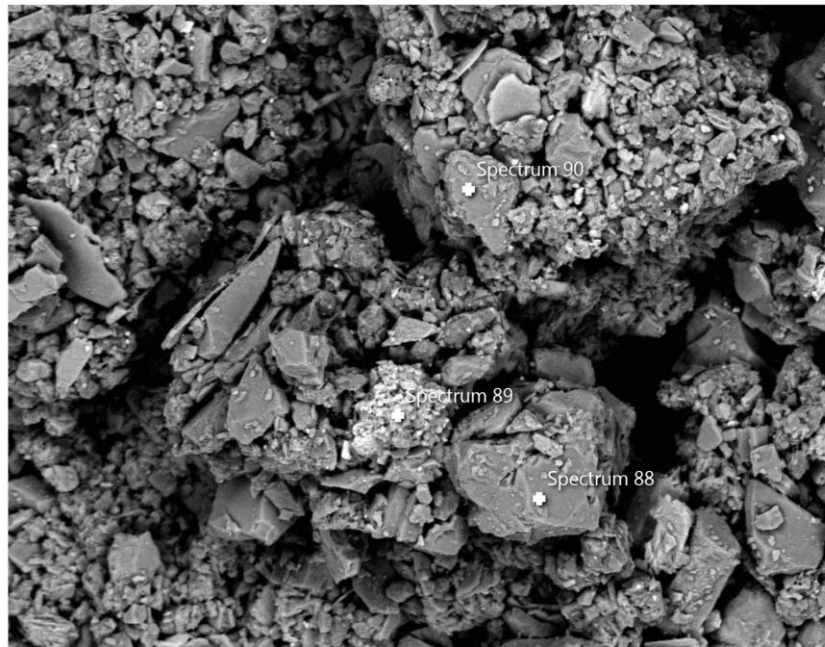
Spectrum Label	Spectrum 86	Spectrum 87
C	38.78	
O	15.31	47.98
Na	13.51	6.65
Mg	0.44	
Al	0.86	12.79
Si	2.04	28.34
S	0.49	
Cl	21.64	0.33
K	0.56	
Ca	5.16	3.92
Fe	1.21	
Total	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE C

EDS Layered Image 8

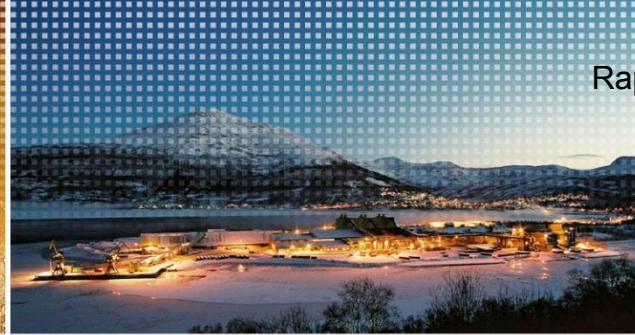


Electron Image 36



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 88	Spectrum 89	Spectrum 90
O	39.14	31.56	29.78
Na	3.56	2.80	0.55
Mg	0.31		0.48
Al	1.53	0.35	23.77
Si	50.13	2.23	28.61
Cl	3.16	2.99	0.43
K	0.59	0.27	13.27
Ca	0.56	0.74	
<u>Ti</u>			0.53
<u>Mn</u>		0.76	
Fe	1.02	49.55	2.58
Cu		4.04	
Zn		3.12	
Mo		1.60	
Total	100.00	100.00	100.00



Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 49

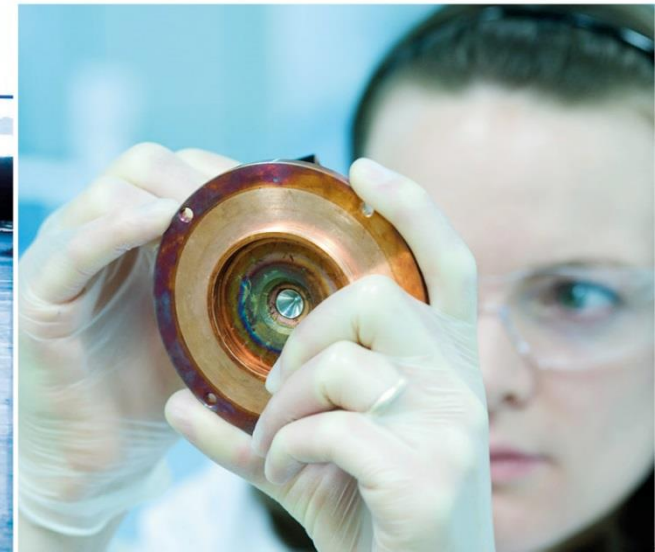


## Prosjekt Karmøy, prøve D: LFH0.5

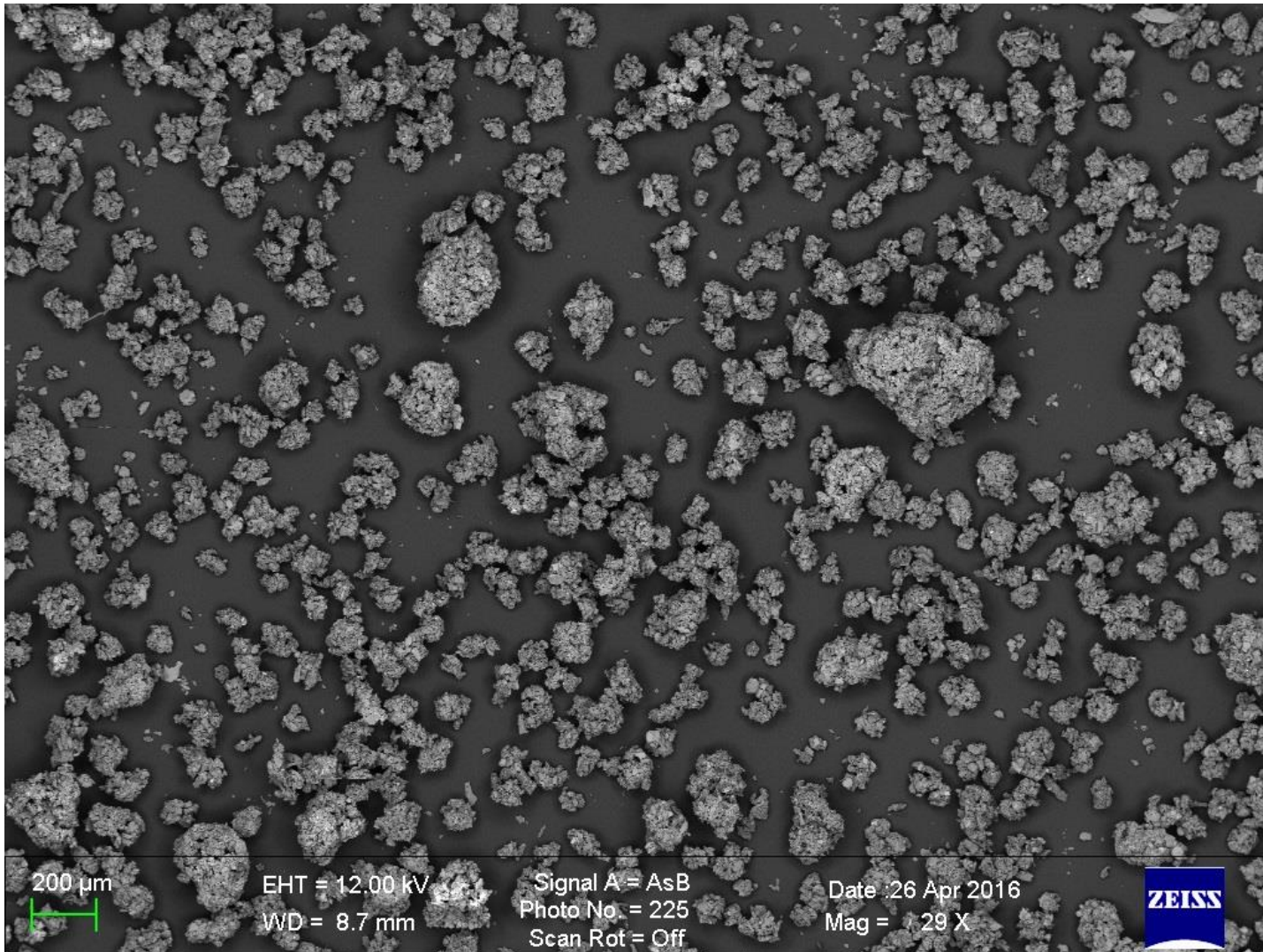
LFH0.5

Lydfelle høyre 0,5m fra grunn

SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 26.05.2016

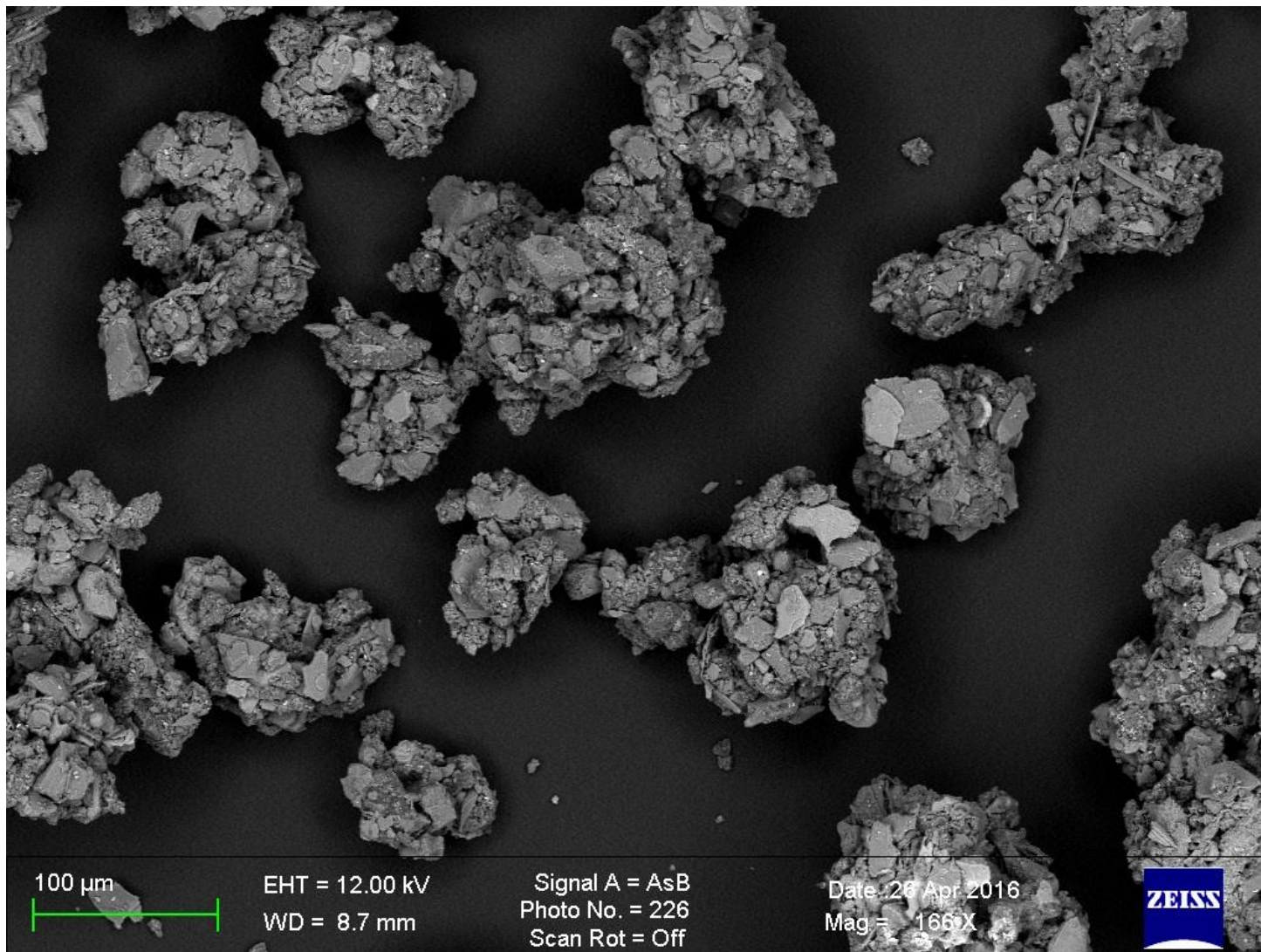


## PROSJEKT KARMØY, PRØVE D



SEM. Oversiktsbilde  
(dryssprøve).

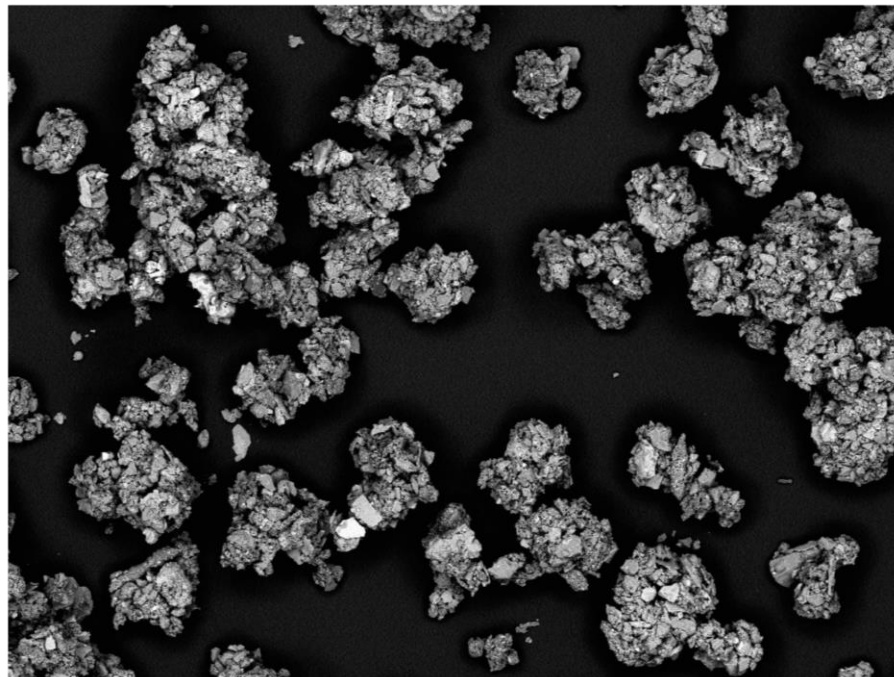
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE D



Typiske agglomerater i mottatt prøve.

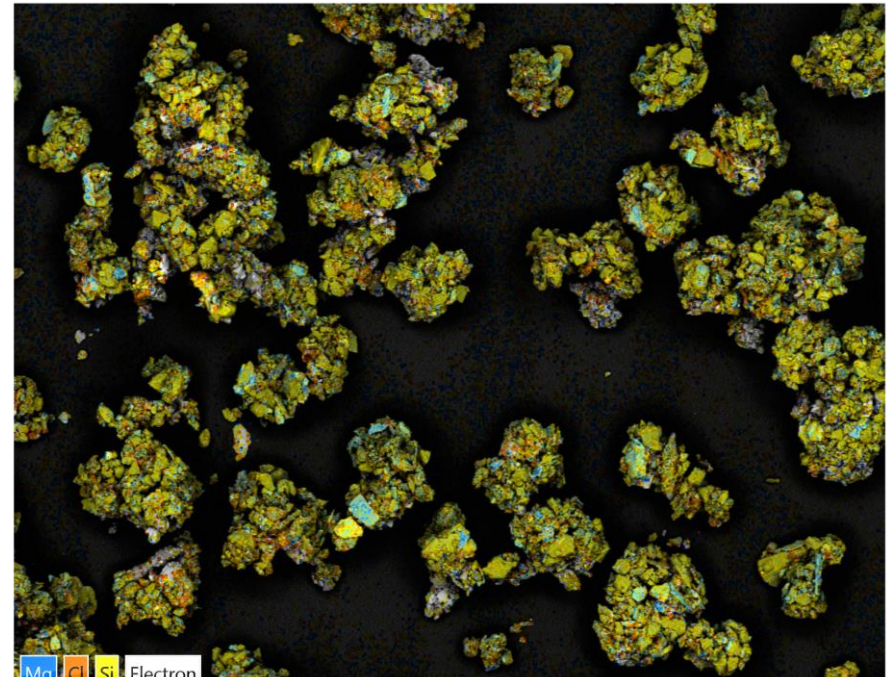
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

Electron Image 39



250µm

EDS Layered Image 9



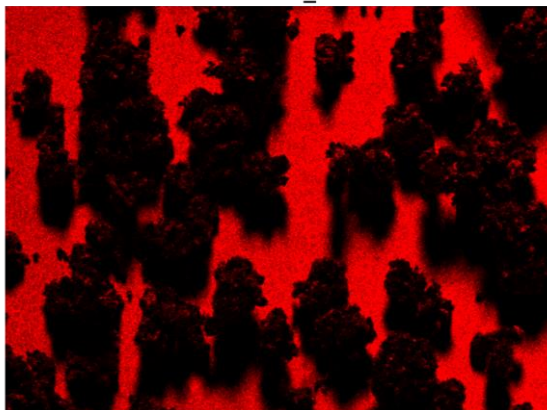
250µm

Mapping over en samling med agglomerater. Mg, Cl og Si er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.



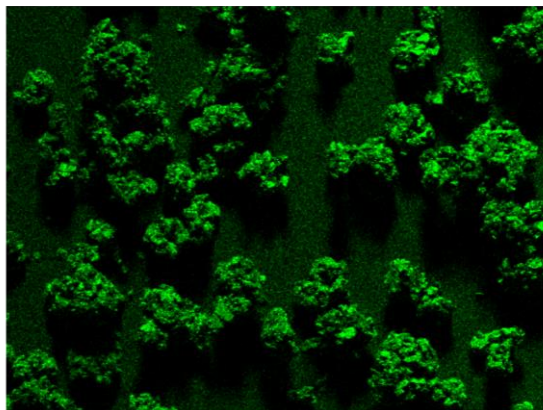
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

C K $\alpha$ 1\_2



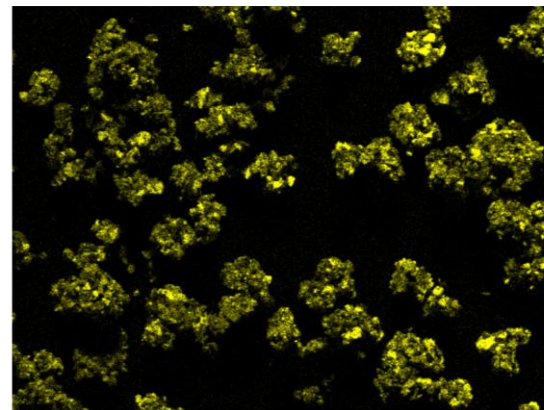
250 $\mu$ m

O K $\alpha$ 1



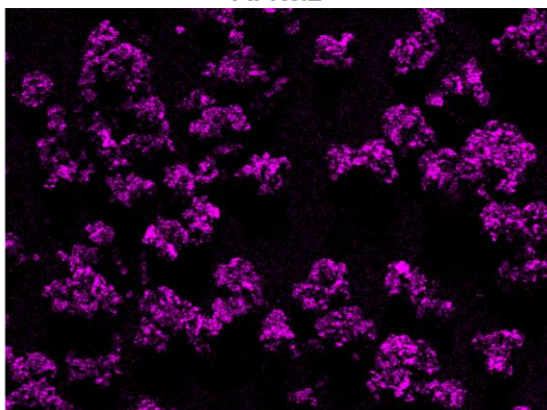
250 $\mu$ m

Si K $\alpha$ 1



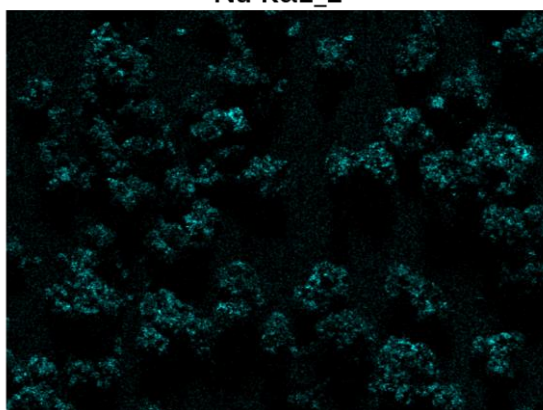
250 $\mu$ m

Al K $\alpha$ 1



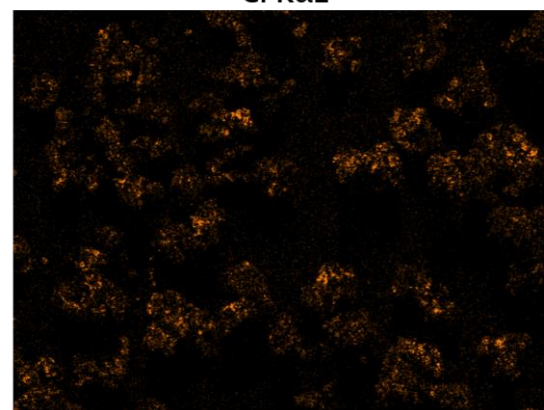
250 $\mu$ m

Na K $\alpha$ 1\_2



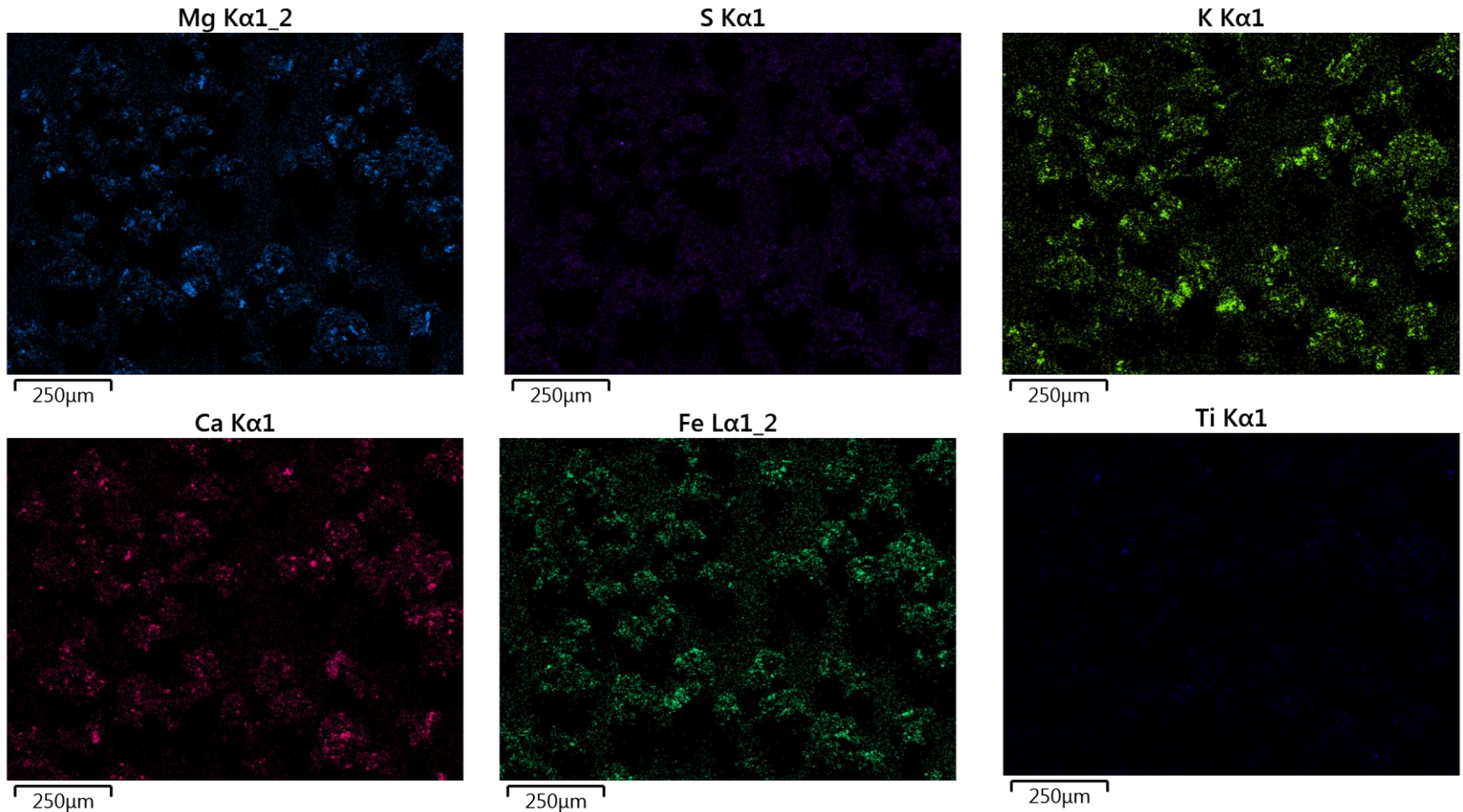
250 $\mu$ m

Cl K $\alpha$ 1



250 $\mu$ m

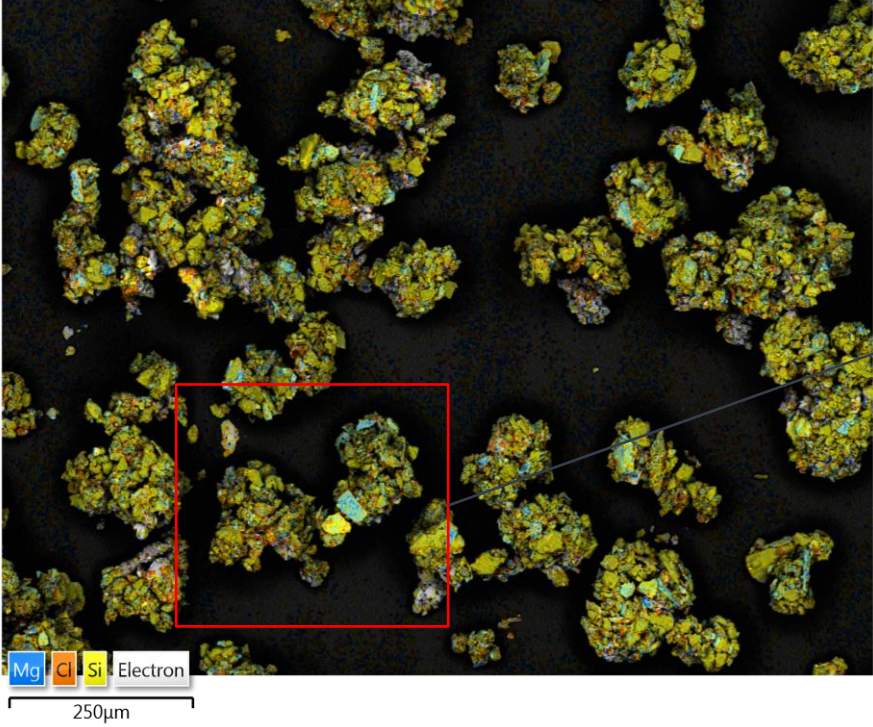
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D



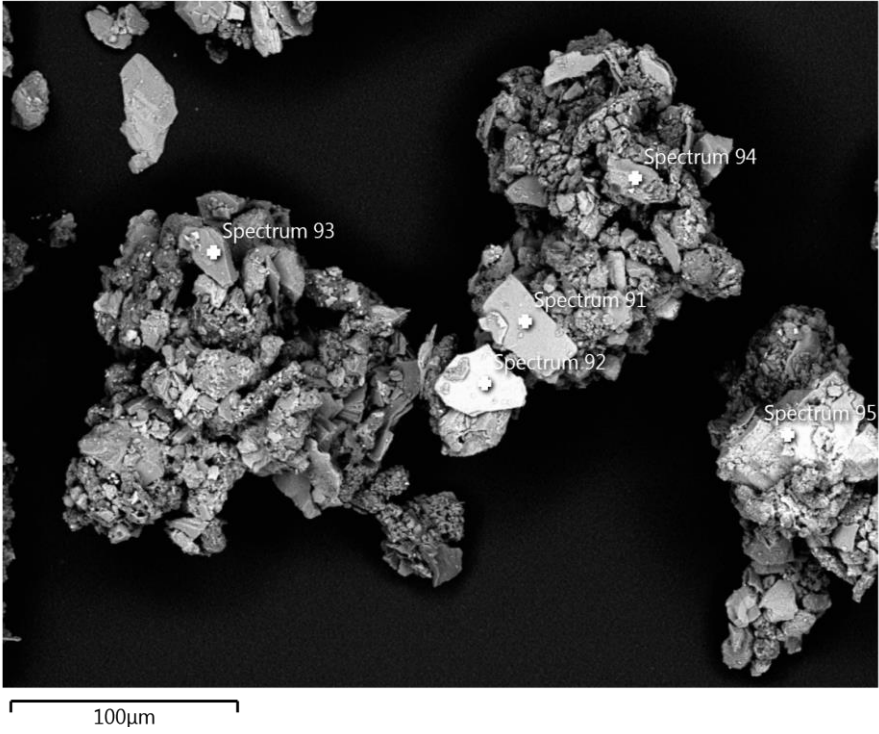
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

EDS Layered Image 9



Electron Image 40

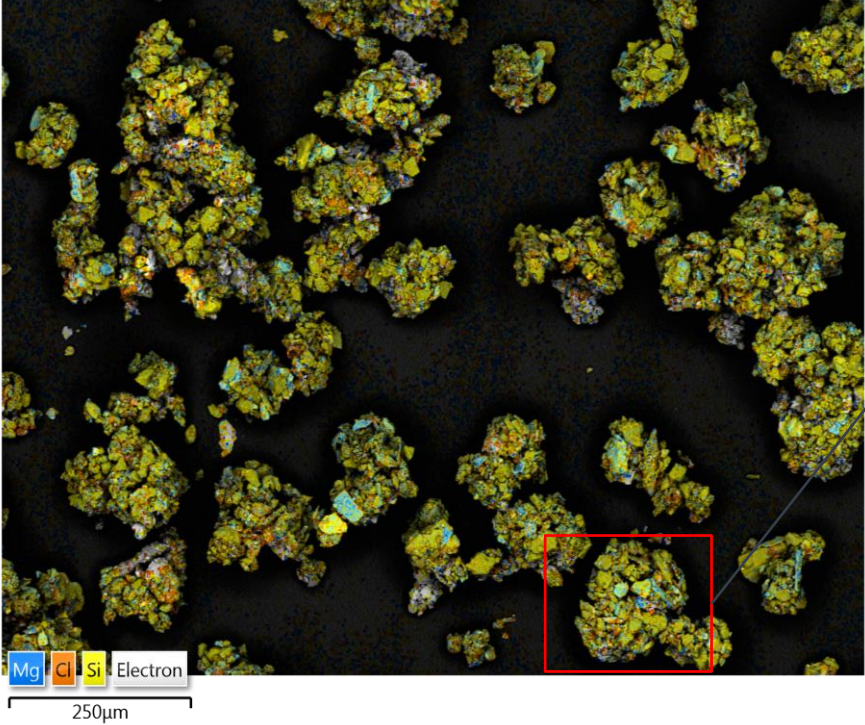


Result Type	Weight %
-------------	----------

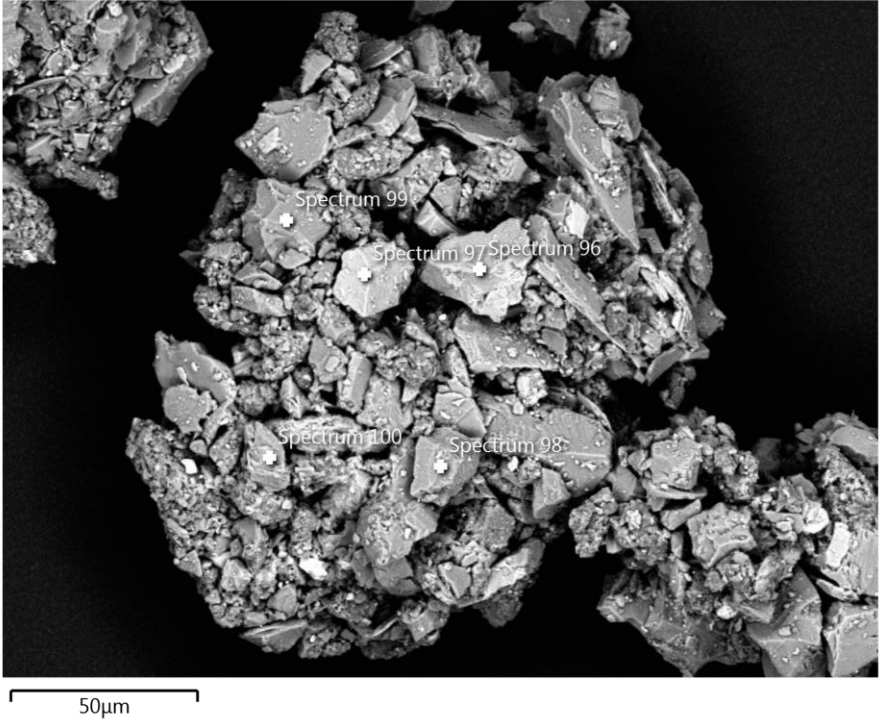
Spectrum Label	Spectrum 91	Spectrum 92	Spectrum 93	Spectrum 94	Spectrum 95
C				38.50	
O	51.01	36.50	58.92	38.16	27.52
Na	0.71	0.66		1.38	0.74
Mg	6.26	0.47		0.60	
Al	7.73	9.04		6.94	11.93
Si	15.90	17.30	41.08	8.35	38.98
S				0.34	
Cl	0.35	0.99		0.99	
K	6.28	8.26		2.53	20.83
Ti	1.11	1.53		0.19	
Fe	10.66	25.25		2.00	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

EDS Layered Image 9



Electron Image 41

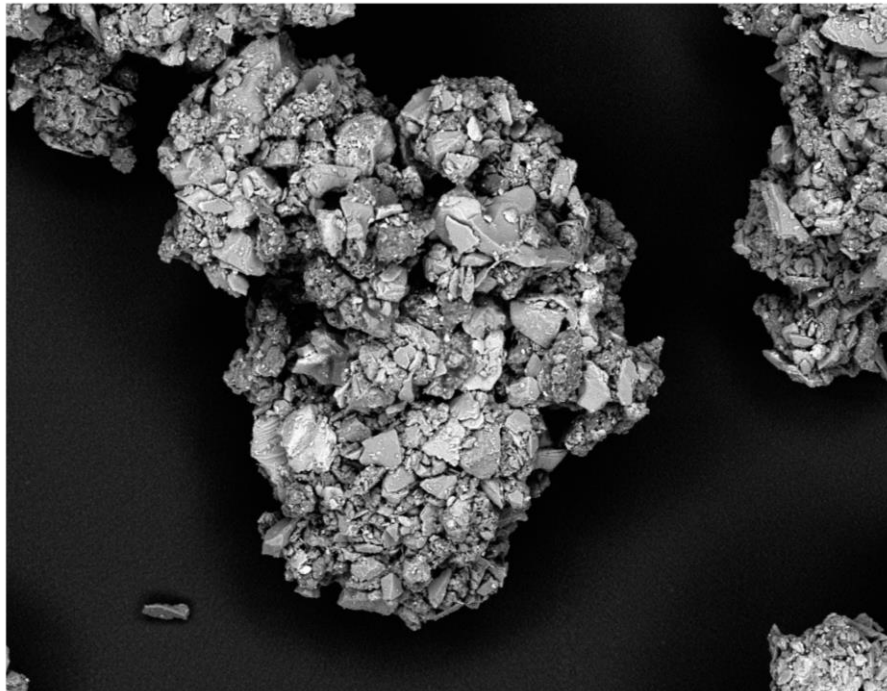


Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 96	Spectrum 97	Spectrum 98	Spectrum 99	Spectrum 100
C	48.70				
O	30.34	39.50	53.67	60.54	36.28
Na	1.99	6.71	6.94	1.12	6.66
Mg		4.10			
Al	4.04	6.87	10.81	0.42	14.82
Si	6.10	18.91	25.71	36.81	38.44
S	0.38	0.30			
Cl	1.66	5.08	0.24	1.10	
K	0.16	0.43	0.50		
Ca	4.16	6.67	2.12		3.79
Fe	2.47	11.43			
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

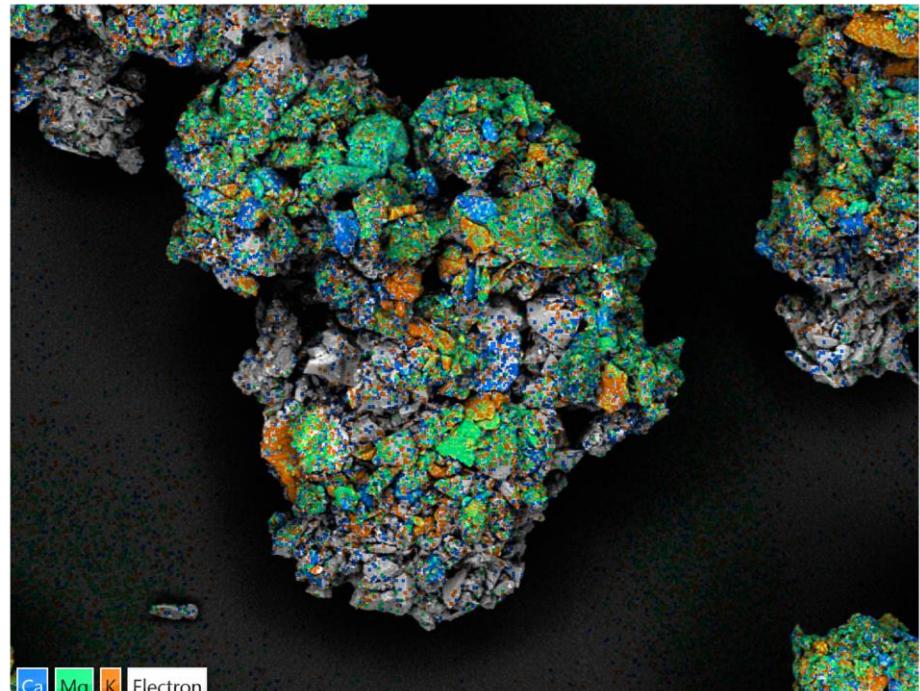
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

Electron Image 42



250µm

EDS Layered Image 10

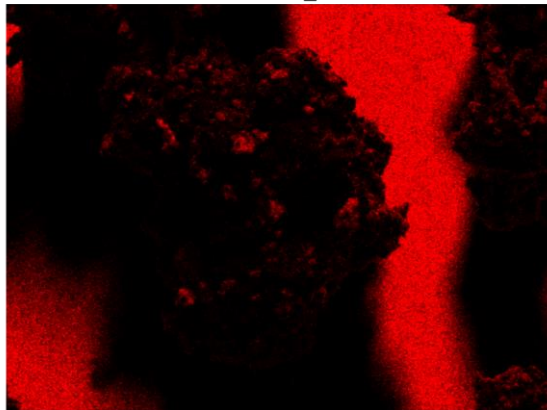


250µm

Mapping over et agglomerat. Ca, Mg og K er tilfeldig utvalgt. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

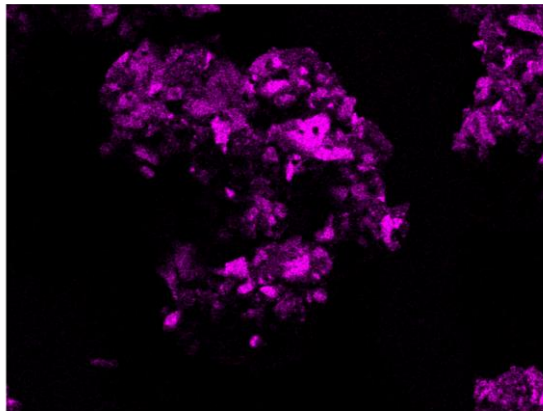
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

C K $\alpha$ 1\_2



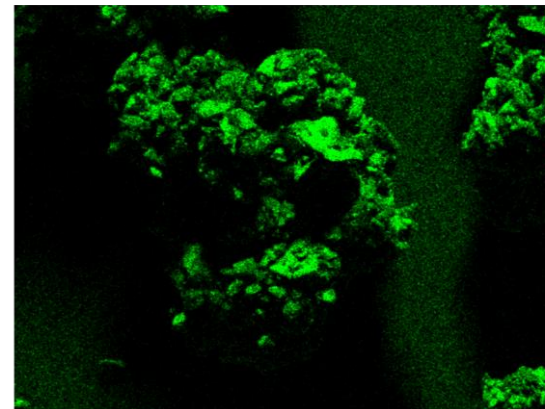
250 $\mu$ m

Si K $\alpha$ 1



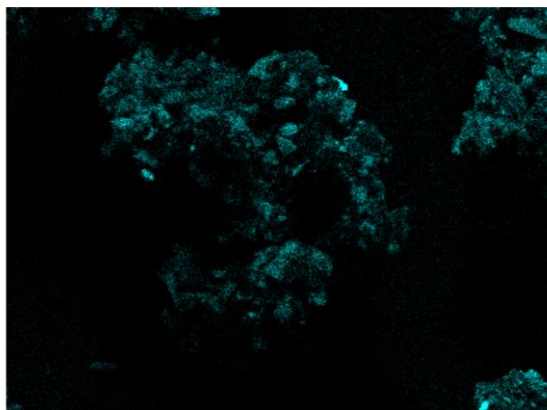
250 $\mu$ m

O K $\alpha$ 1



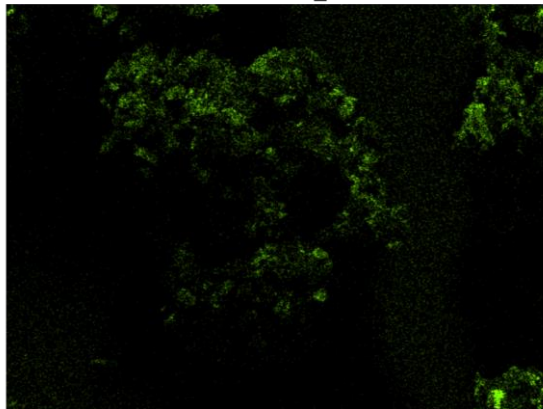
250 $\mu$ m

Al K $\alpha$ 1



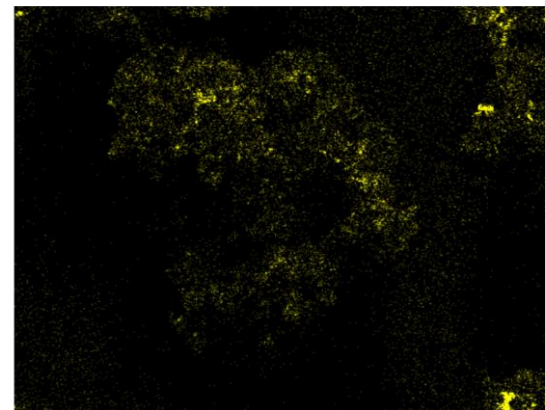
250 $\mu$ m

Na K $\alpha$ 1\_2



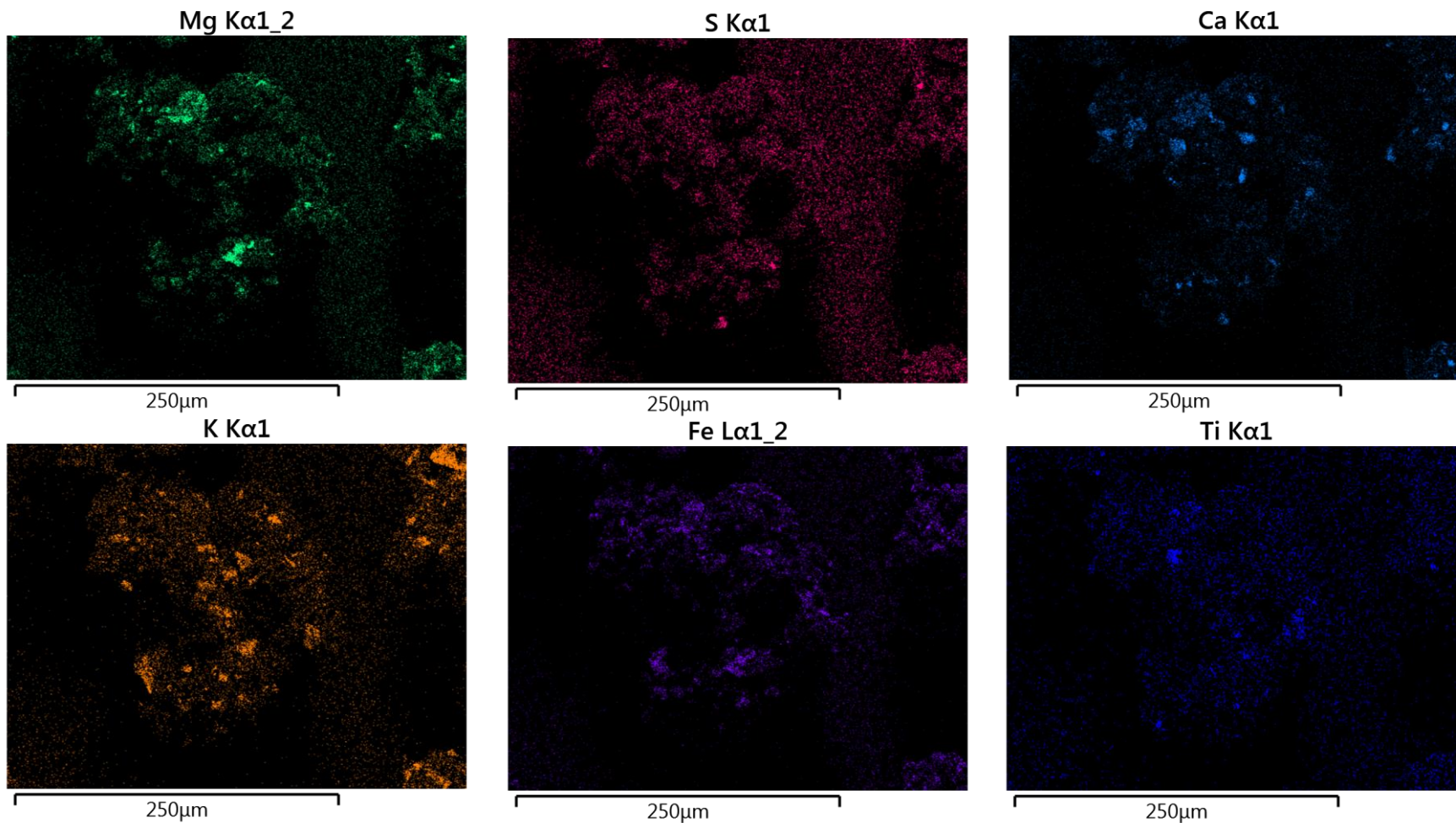
250 $\mu$ m

Cl K $\alpha$ 1



250 $\mu$ m

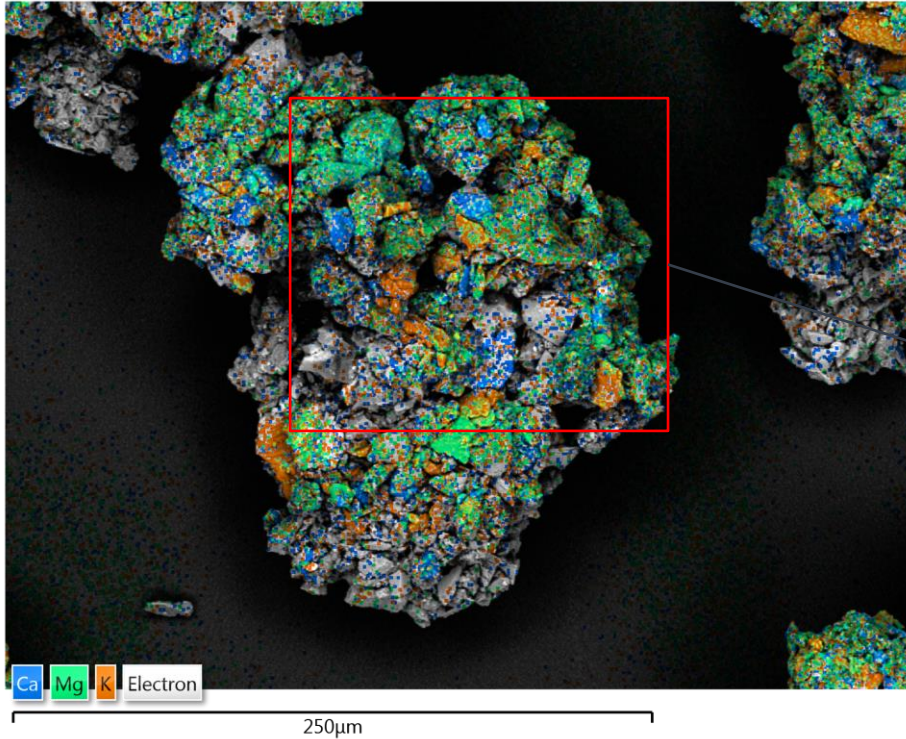
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D



Ovenfor er alle hovedelementene i agglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne kan forstyrre litt.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

EDS Layered Image 10



Electron Image 43



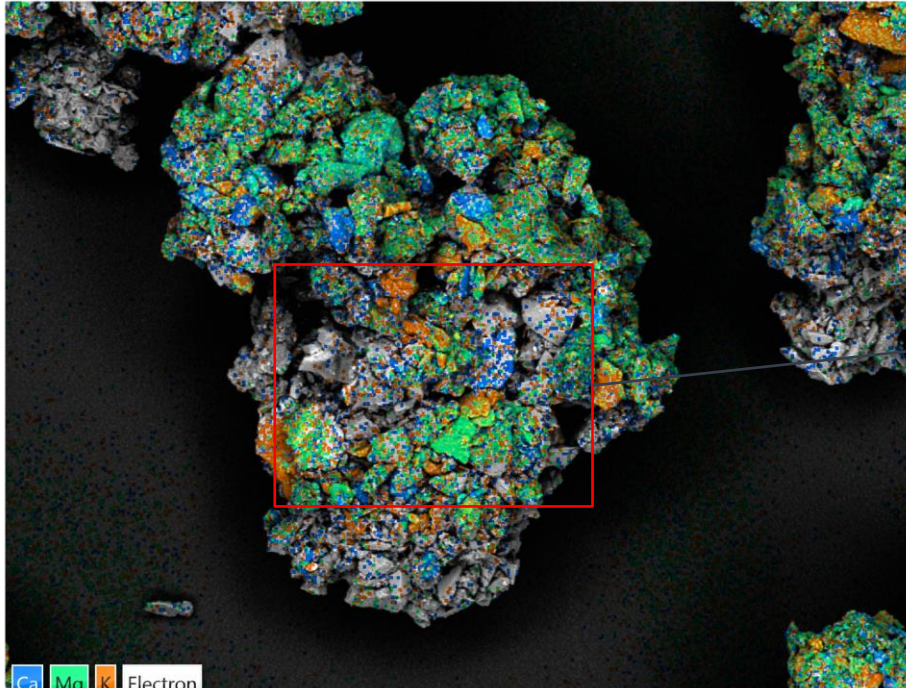
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 101	Spectrum 102	Spectrum 103	Spectrum 104	Spectrum 105	Spectrum 106	Spectrum 107
C			67.98				
O	63.40	34.71	22.58	59.25	28.55	57.29	48.50
Na	0.45	0.34	1.04		0.98	8.07	
Mg		2.02	0.49		0.22		
Al	0.33	15.78	1.20		3.25	9.24	
Si	34.80	28.94	2.80	40.75	16.51	24.62	51.50
S			0.85				
Cl	0.37	0.51	0.76		0.67		
K		13.67	0.20		0.26		
Ca			1.11		24.76	0.78	
Ti			0.13		21.31		
Fe	0.64	4.04	0.87		3.49		
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



# PROSJEKT KARMØY, PRØVE D

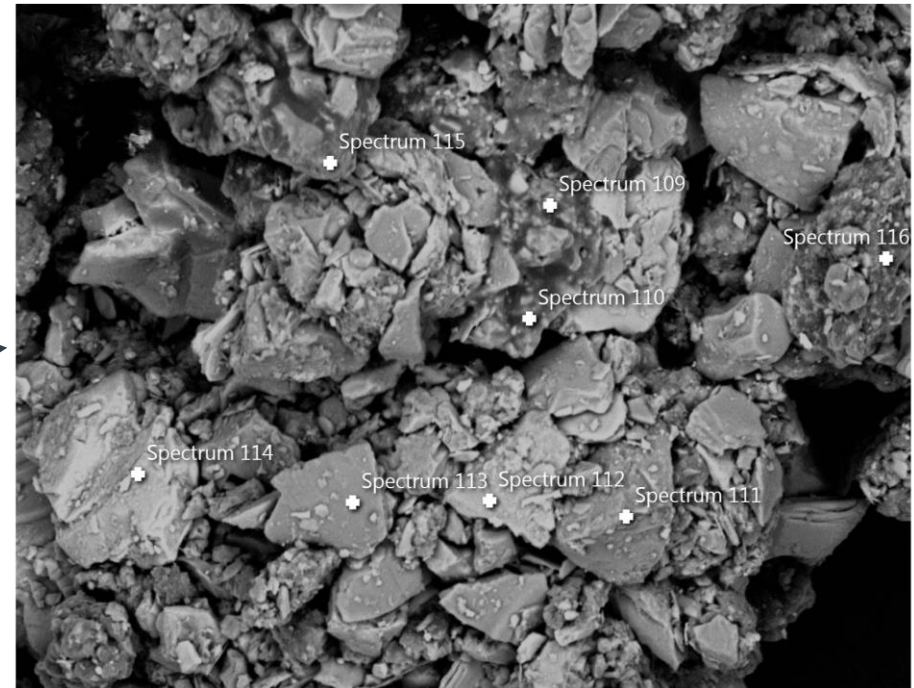
EDS Layered Image 10



250µm

Ca Mg K Electron

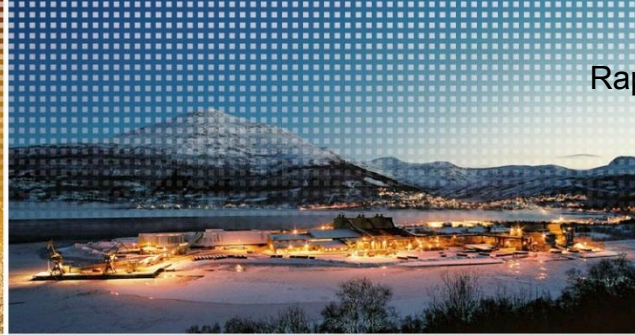
Electron Image 44



25µm

Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 109	Spectrum 110	Spectrum 111	Spectrum 112	Spectrum 113	Spectrum 114	Spectrum 115	Spectrum 116
C	56.84	77.45	34.32				58.94	59.12
O	22.47	9.64	42.58	52.34	45.20	35.15	10.52	24.65
Na	2.17	1.21	1.00	0.37		1.09	3.00	1.82
Mg	0.35	0.30	0.15	10.21		0.90	1.14	0.55
Al	3.15	1.05	0.38	9.40		3.09	2.50	2.32
Si	9.43	3.24	19.77	12.59	54.80	18.64	6.54	5.29
S	1.27	1.64	0.20					1.95
Cl	0.66	1.52	1.04			0.52	7.51	1.60
K	0.34	0.13				1.78	2.30	0.65
Ca	0.94	1.93	0.16					0.75
Ti		1.04					0.51	0.27
Mn						1.37		
Fe	2.38	0.84	0.41	15.08		37.46	5.10	2.05
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



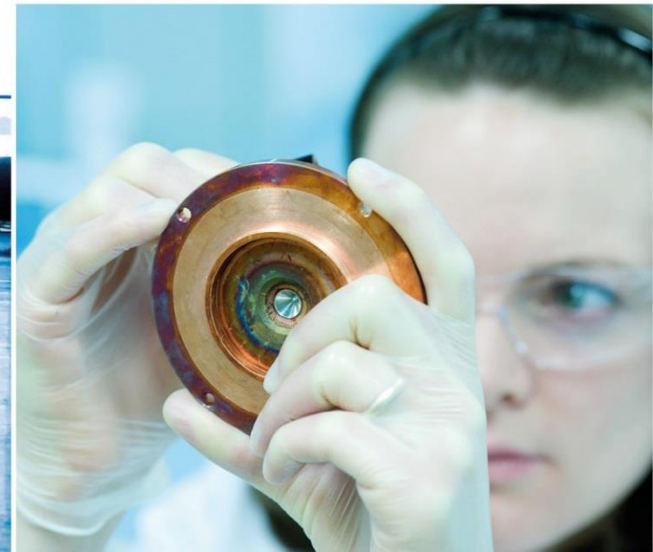
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 62



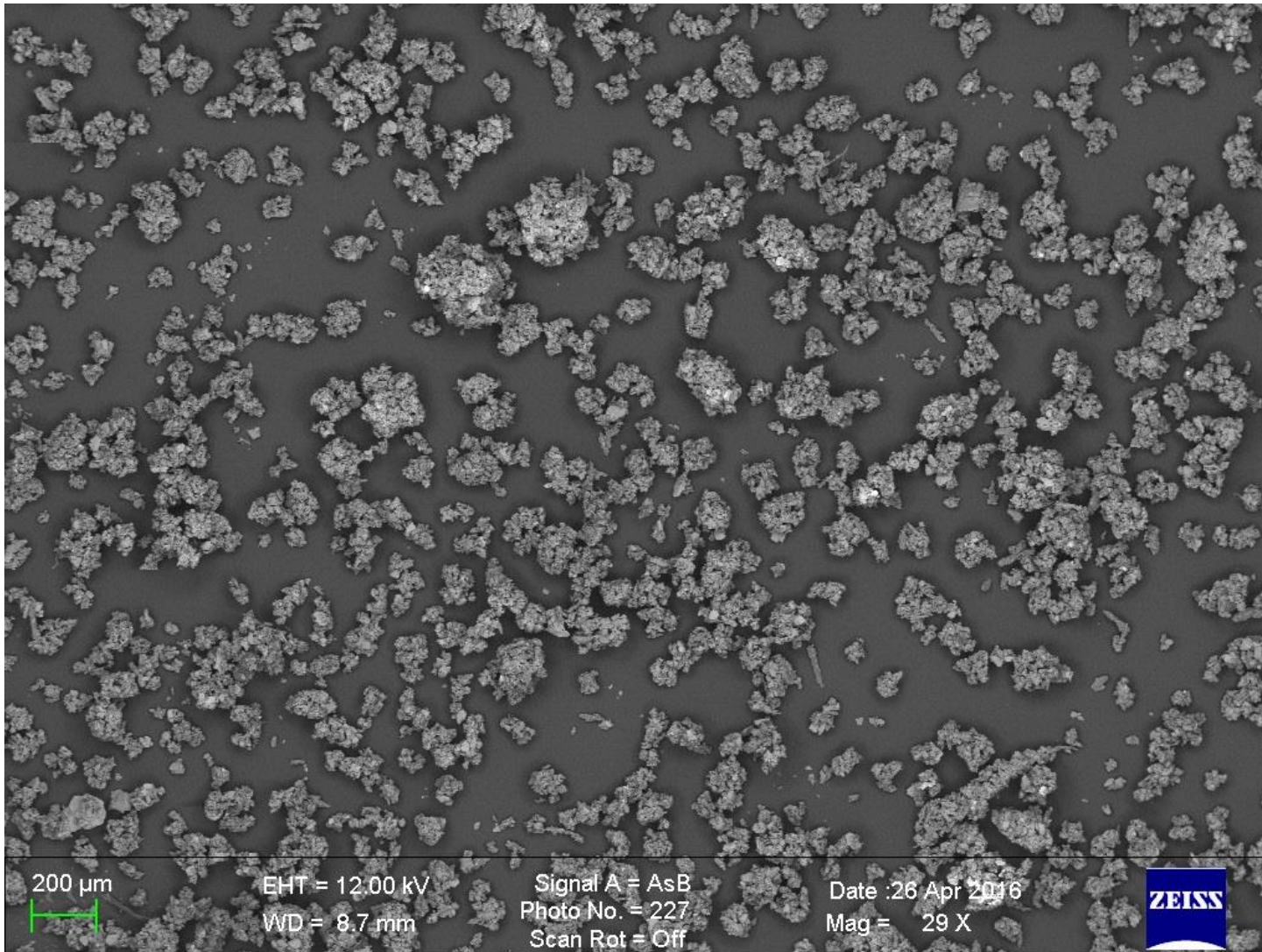
## Prosjekt Karmøy, prøve E: LFH1.5

LFH1.5	Lydfelle høyre 1,5 m fra grunn
--------	--------------------------------

SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 26.05.2016

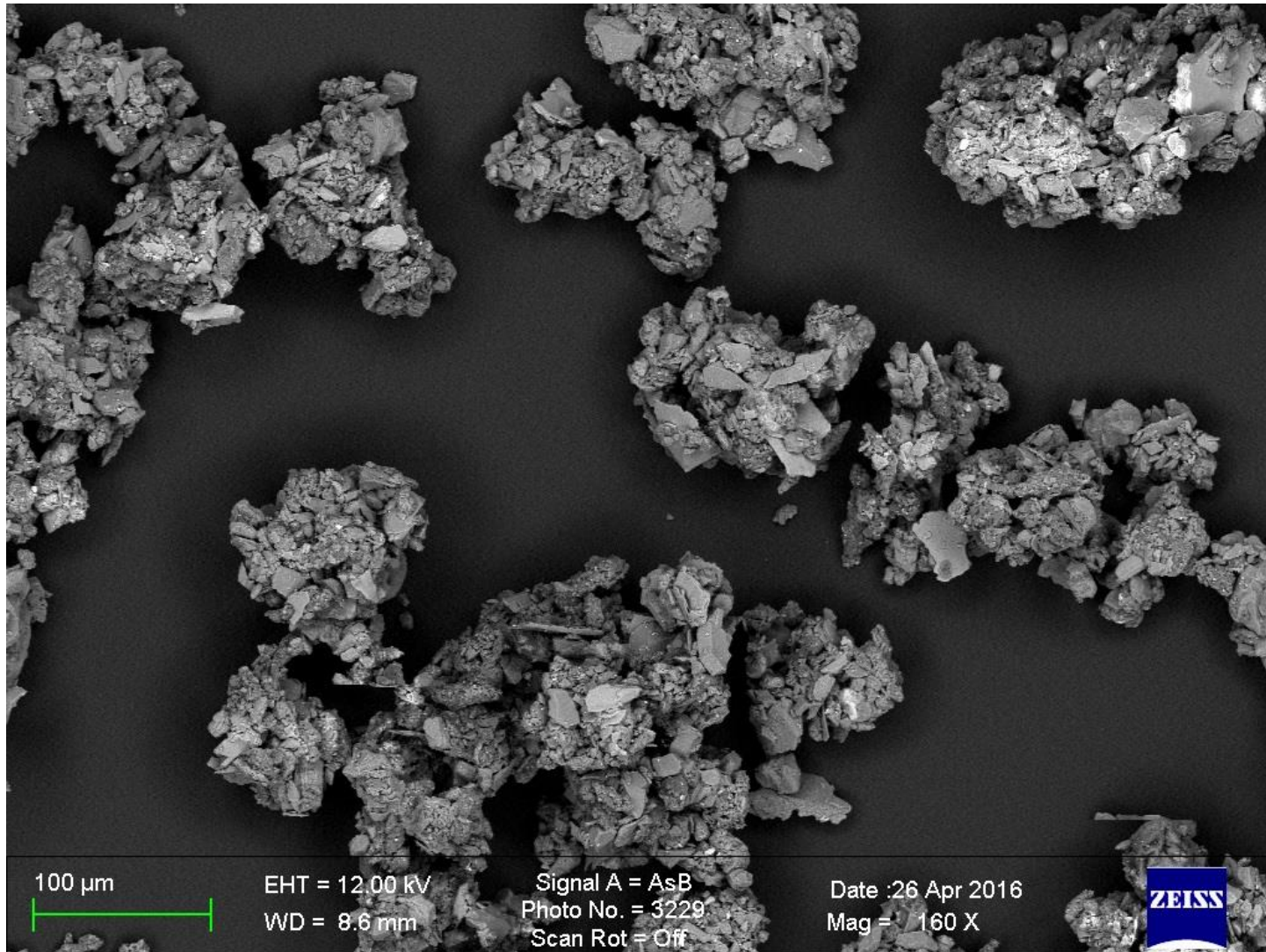


## PROSJEKT KARMØY, PRØVE E



SEM. Oversiktsbilde  
(dryssprøve).

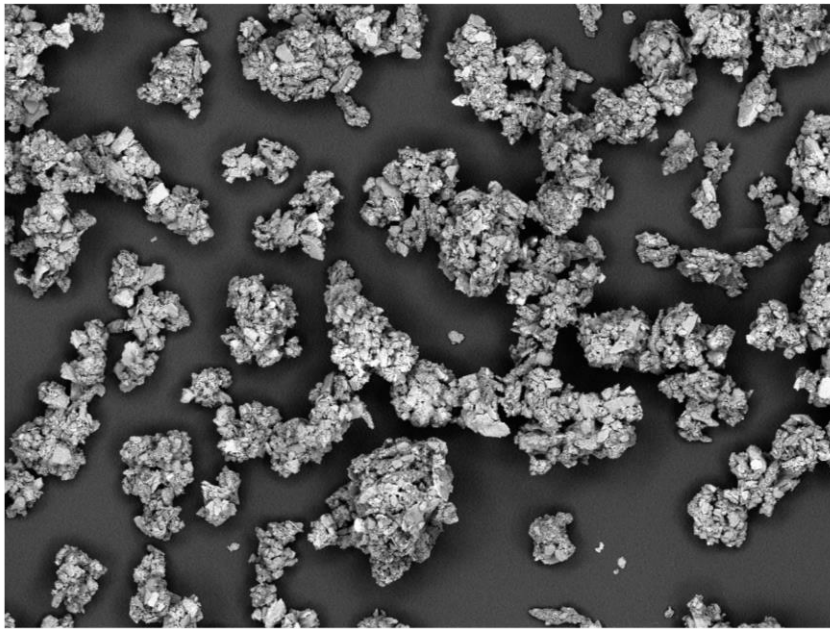
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE E



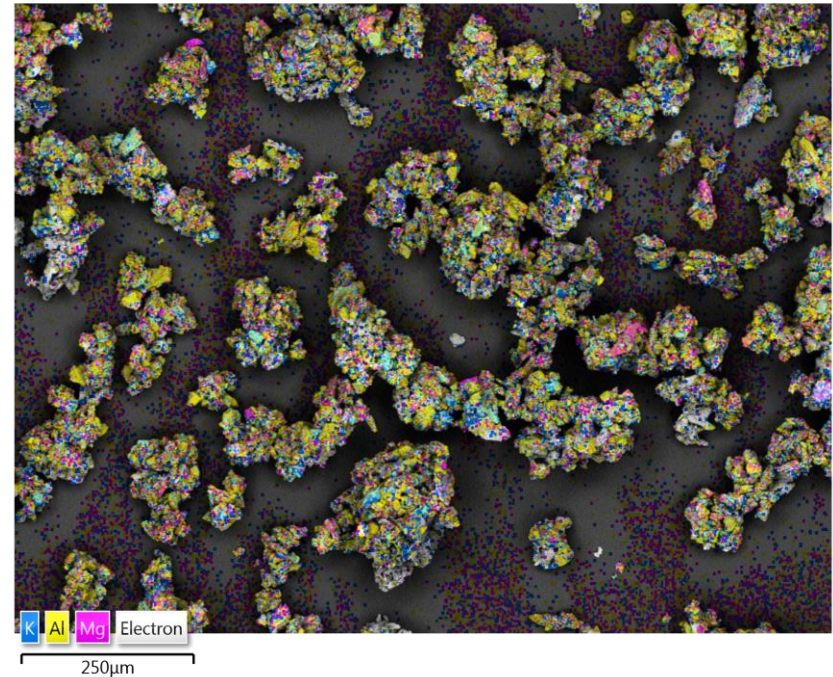
Typiske agglomerater i mottatt prøve.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

Electron Image 45



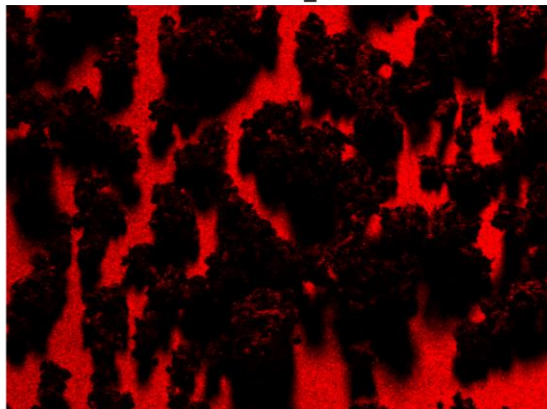
EDS Layered Image 11



Mapping over en samling med agglomerater. K, Al og Mg er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

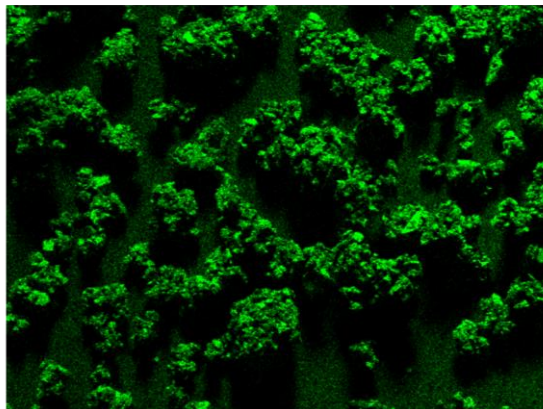
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

C K $\alpha$ 1\_2



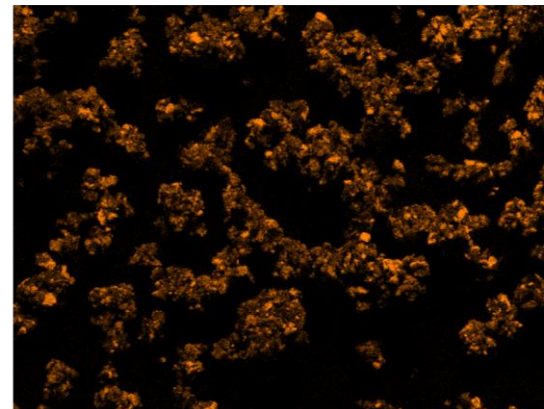
250 $\mu$ m

O K $\alpha$ 1



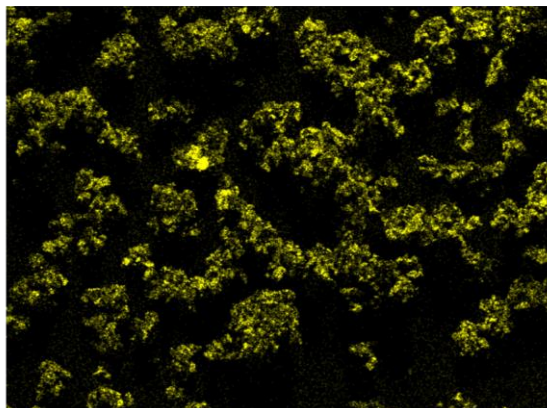
250 $\mu$ m

Si K $\alpha$ 1



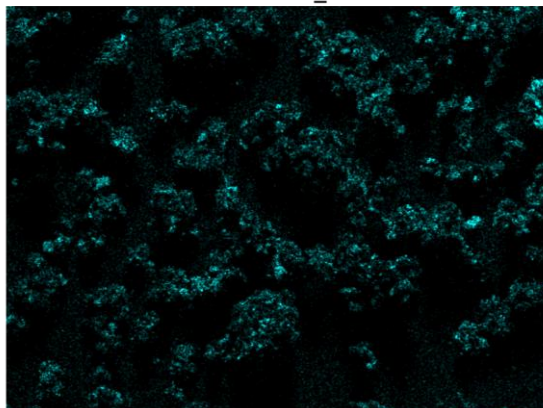
250 $\mu$ m

Al K $\alpha$ 1



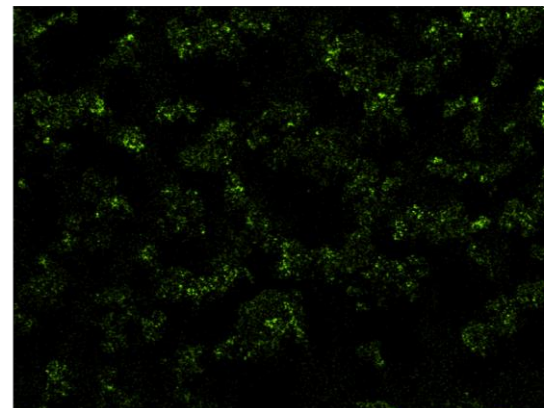
250 $\mu$ m

Na K $\alpha$ 1\_2



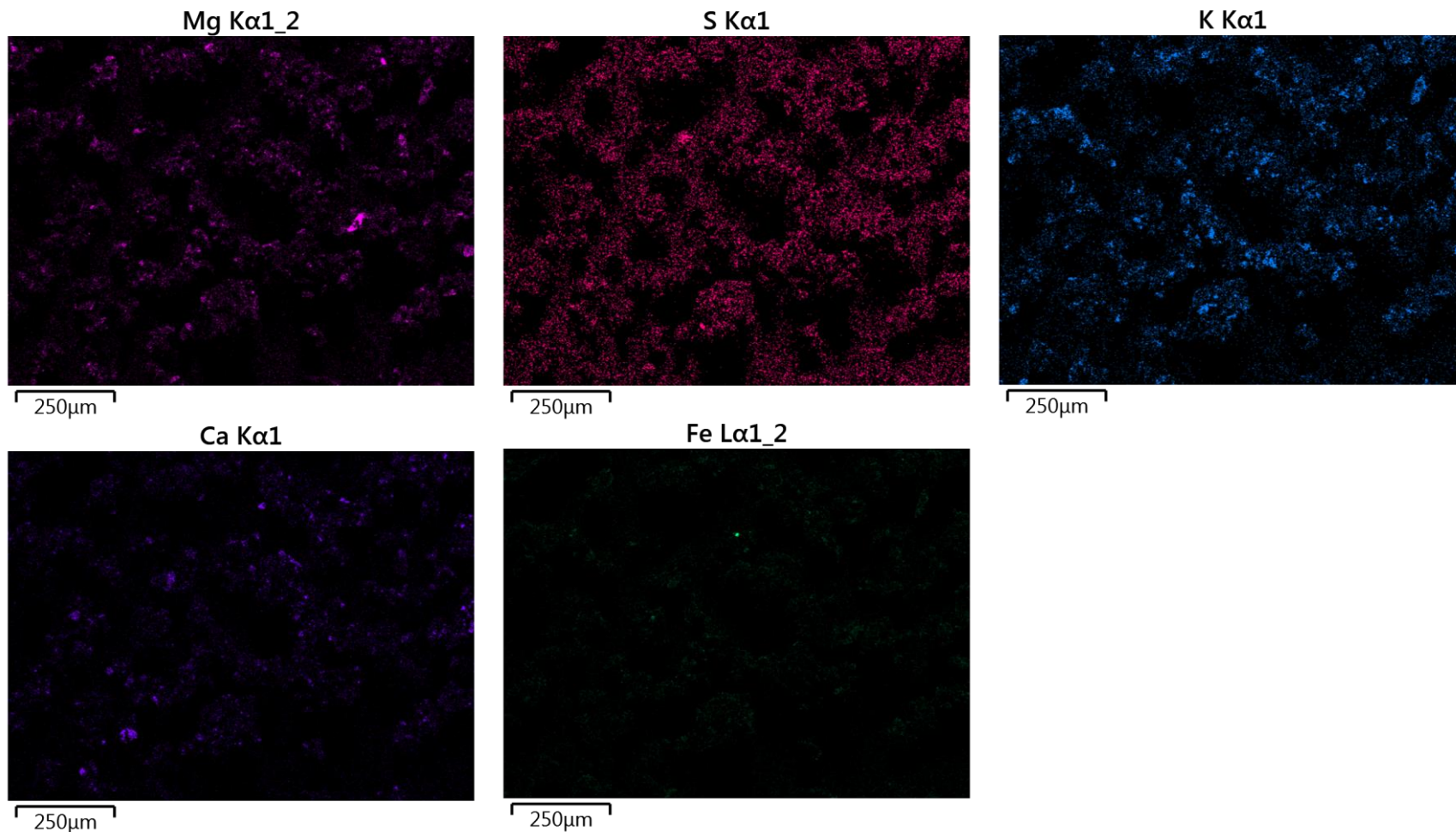
250 $\mu$ m

Cl K $\alpha$ 1



250 $\mu$ m

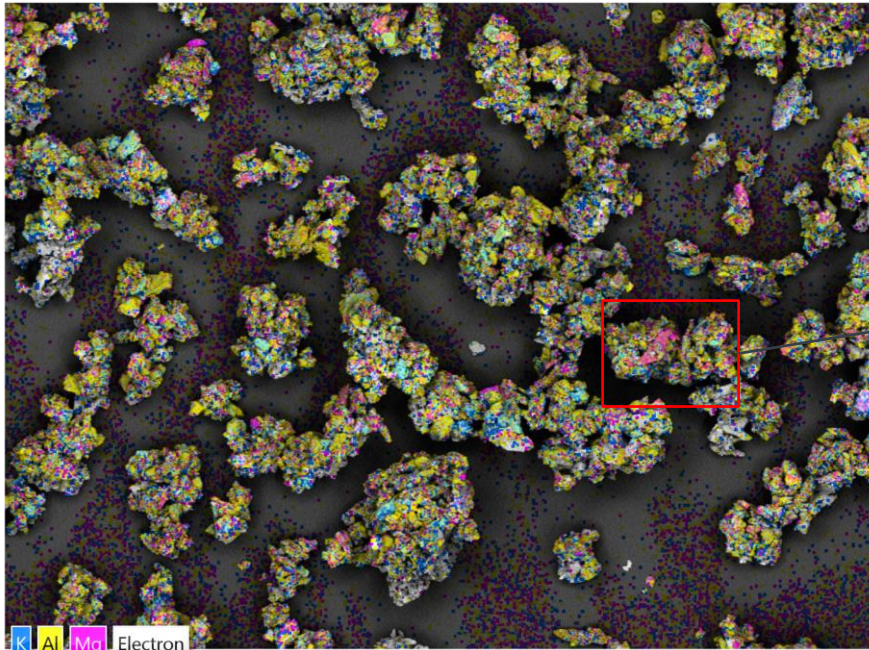
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E



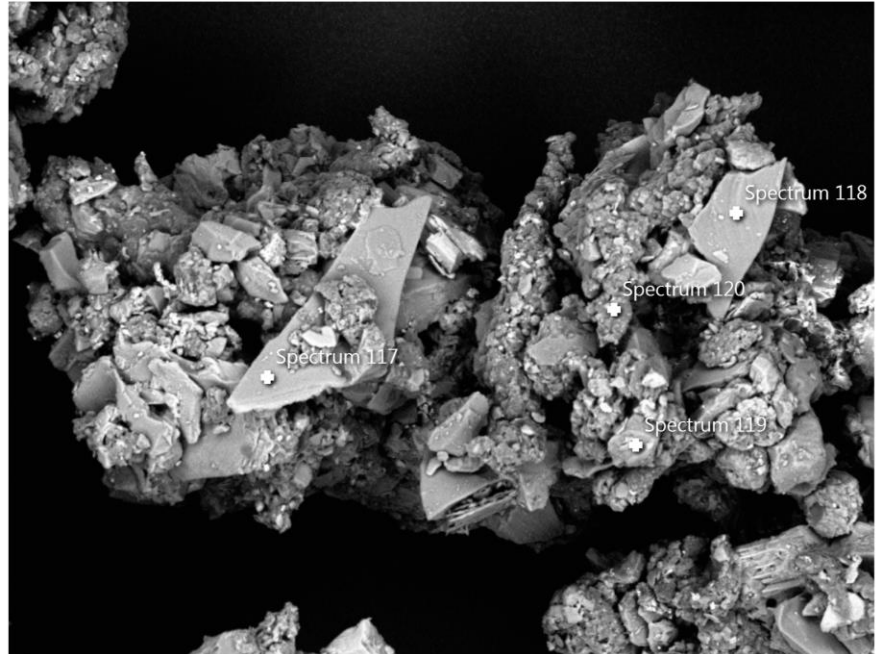
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

EDS Layered Image 11



Electron Image 46



K Al Mg Electron  
250µm

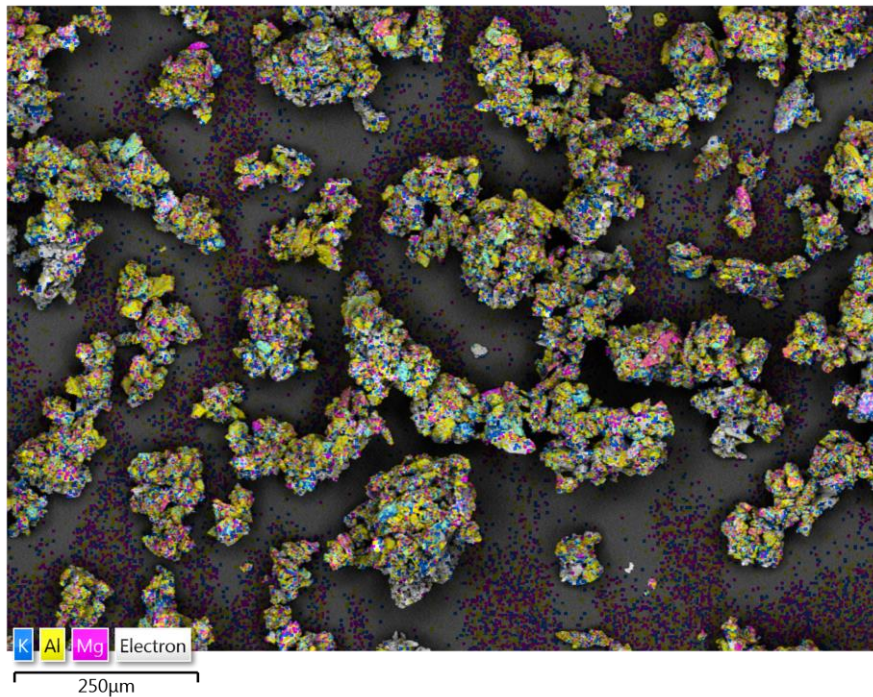
50um  
Result Type Weight %

Spectrum Label	Spectrum 117	Spectrum 118	Spectrum 119	Spectrum 120
C			30.59	51.51
O	57.41	51.01	33.81	22.81
Na			4.31	3.22
Mg	13.14			0.23
Al	10.44		7.82	4.77
Si	10.88	48.99	20.44	11.57
P				0.72
S				0.37
Cl				0.93
K				0.17
Ca			1.74	2.85
Fe	8.13		1.29	0.85
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

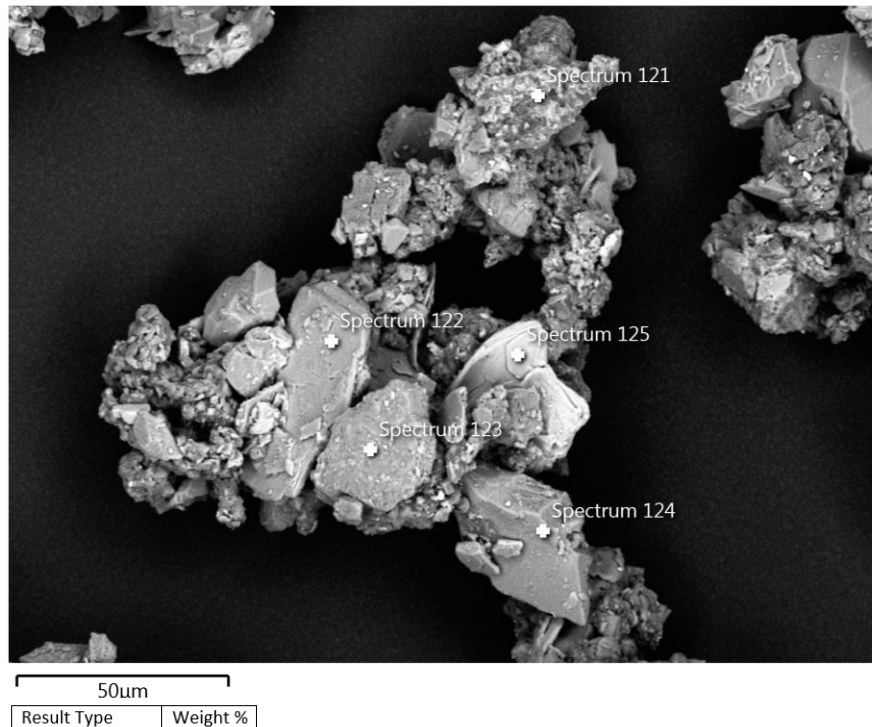


# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

EDS Layered Image 11



Electron Image 47

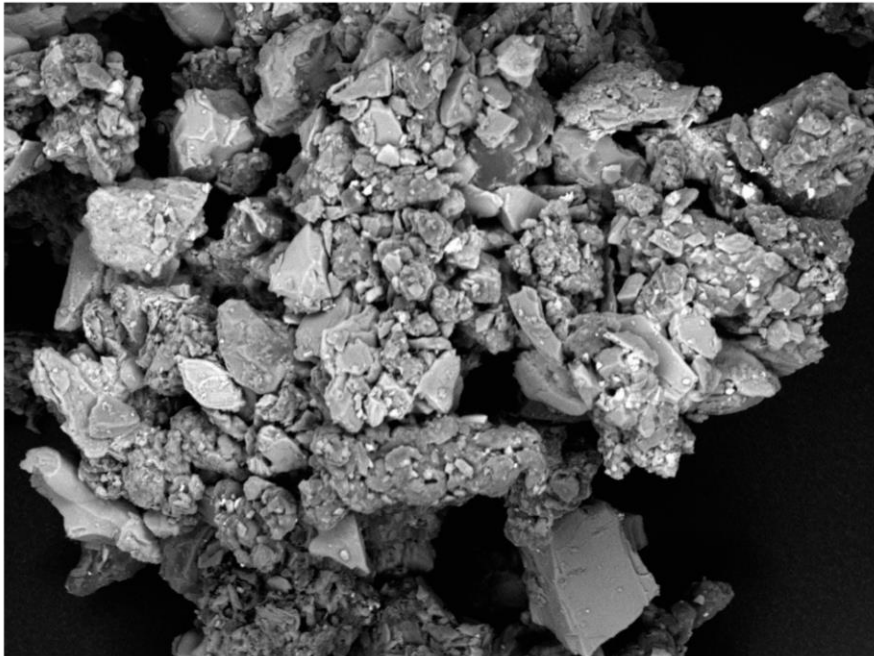


Spectrum Label	Spectrum 121	Spectrum 122	Spectrum 123	Spectrum 124	Spectrum 125
C	42.85				
O	15.89	53.18	29.50	34.80	27.39
F			4.37		
Na	9.91	0.40	13.85	0.65	0.73
Mg	0.81		0.30		4.13
Al	3.84	14.72	26.25	0.57	7.63
Si	8.72	16.36	5.00	63.38	16.93
S	1.57		0.51		
Cl	10.05	0.25	17.11	0.60	0.36
K	0.75		1.51		9.79
Ca	1.71	13.12	0.76		
Ti					1.27
Fe	3.90	1.98	0.84		30.30
W					1.46
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

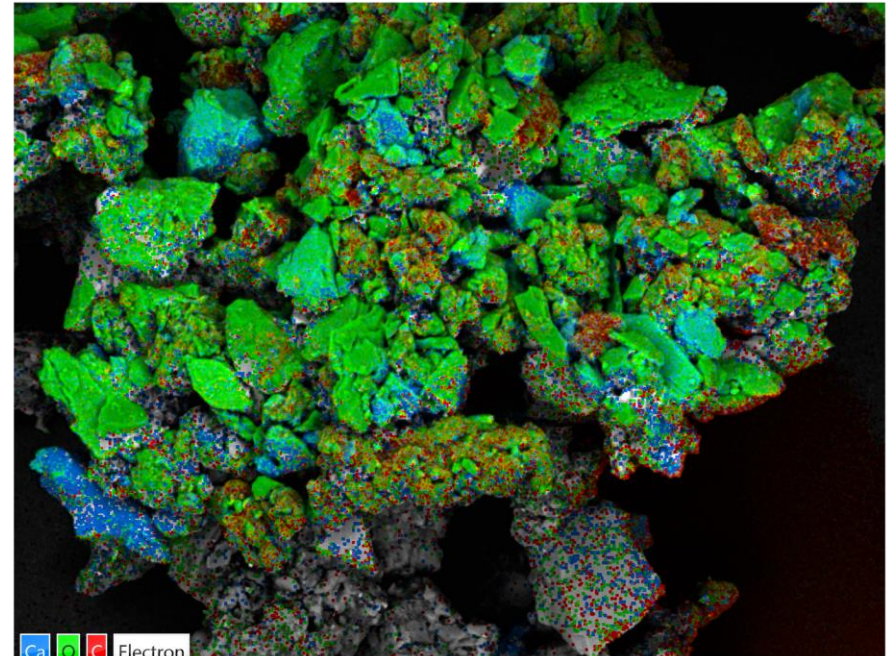
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

---

Electron Image 48



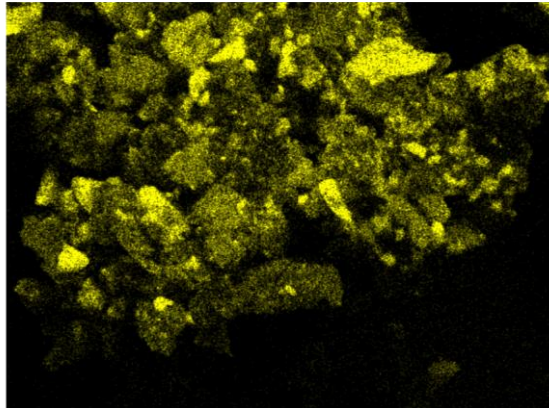
EDS Layered Image 12



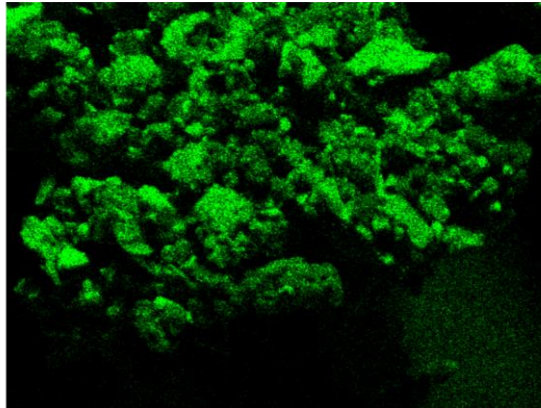
Mapping over et agglomerat. Ca, O og C er tilfeldig utvalgt. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

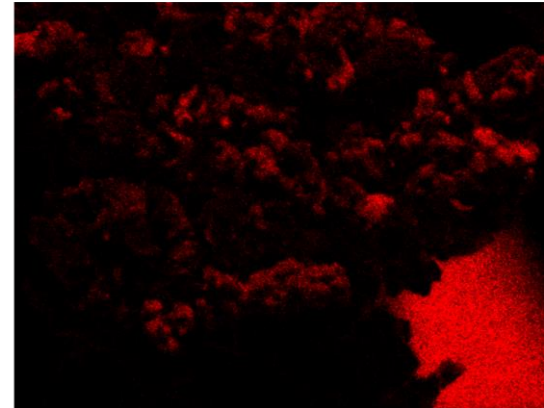
Si K $\alpha$ 1



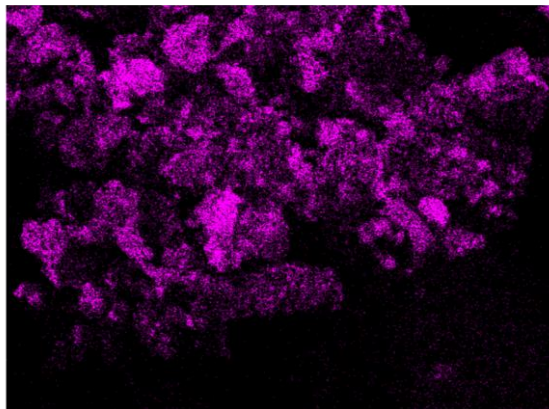
O K $\alpha$ 1



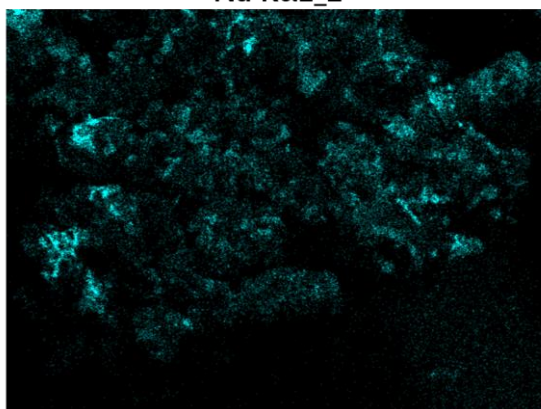
C K $\alpha$ 1\_2



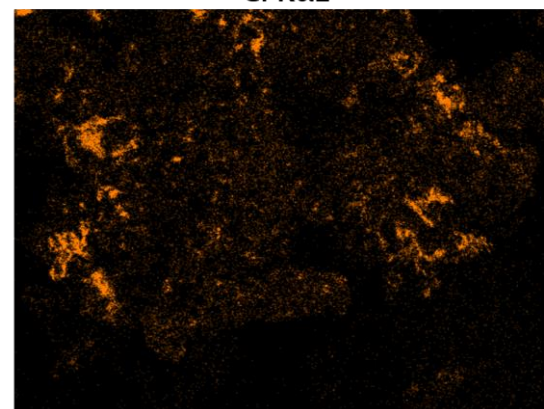
Al K $\alpha$ 1



Na K $\alpha$ 1\_2

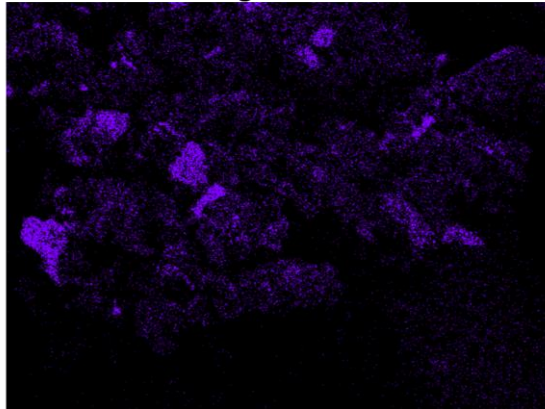


Cl K $\alpha$ 1

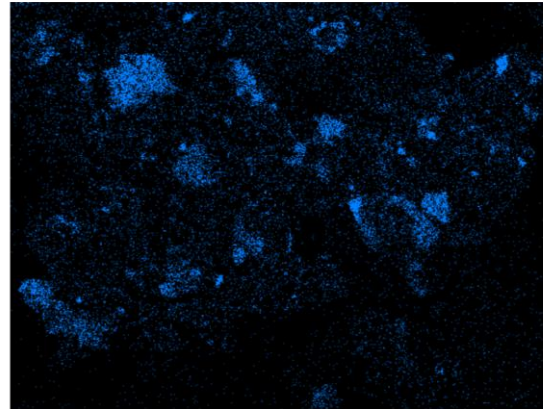


# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

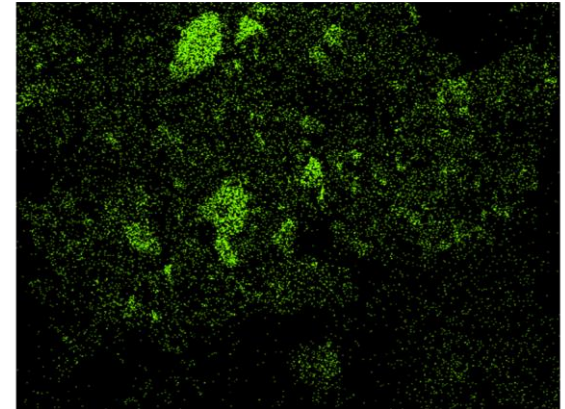
Mg K $\alpha$ 1\_2



Ca K $\alpha$ 1



K K $\alpha$ 1

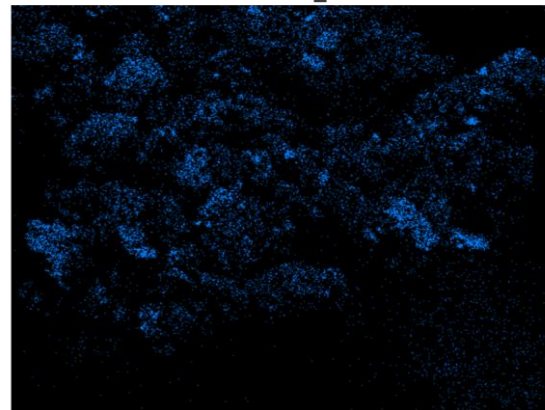


50 $\mu$ m

50 $\mu$ m

50 $\mu$ m

Fe L $\alpha$ 1\_2

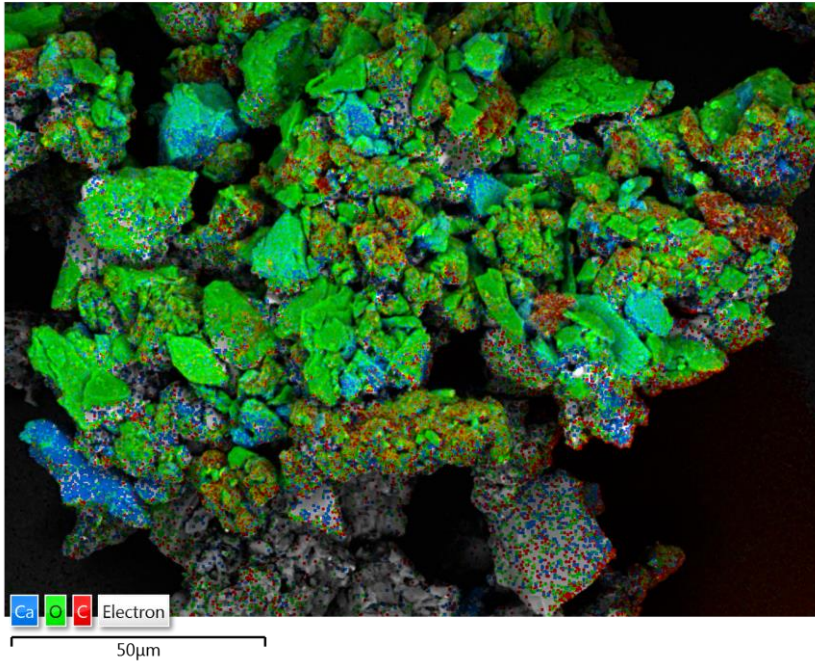


50 $\mu$ m

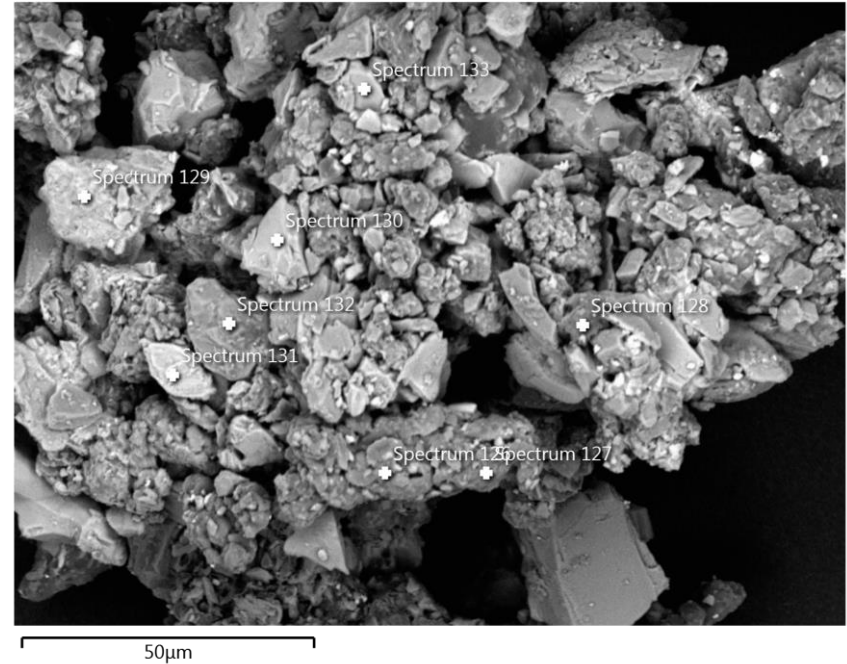
Ovenfor er alle hovedelementene i aglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne kan forstyrre litt.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE E

EDS Layered Image 12

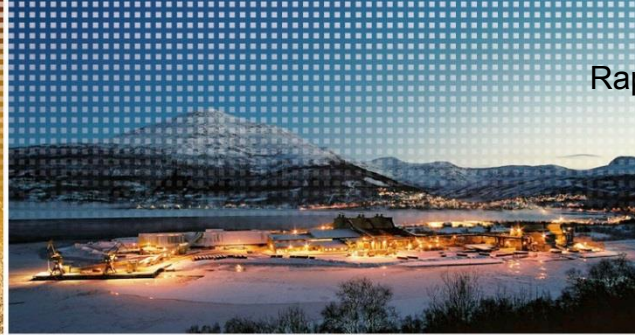


Electron Image 49



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 126	Spectrum 127	Spectrum 128	Spectrum 129	Spectrum 130	Spectrum 131	Spectrum 132	Spectrum 133
C	55.70	57.95	70.41				38.50	
N			0.24					
O	16.03	22.53	15.27	22.13	53.70	35.59	35.81	27.35
Na	1.39	1.83	3.26	23.74	1.18	0.71	0.64	0.38
Mg	0.68	0.71	0.10	2.73	6.29	0.53	0.37	
Al	4.06	2.12	0.09	3.93	4.60	9.84	1.55	17.19
Si	11.45	7.69	0.30	7.02	18.45	17.73	20.89	21.58
P			1.08	0.95				
S	1.27	1.19	1.65	0.93			0.31	0.34
Cl	2.16	2.08	3.06	28.48	0.25		0.28	0.31
K	3.18	0.40	0.13	0.30	0.36	8.41	0.41	
Ca	0.87	1.32	2.61	1.75	6.08		0.18	24.81
<b>Ti</b>						1.68		
Fe	3.22	2.18		8.02	9.10	25.51	1.06	8.04
Zn			1.80					
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



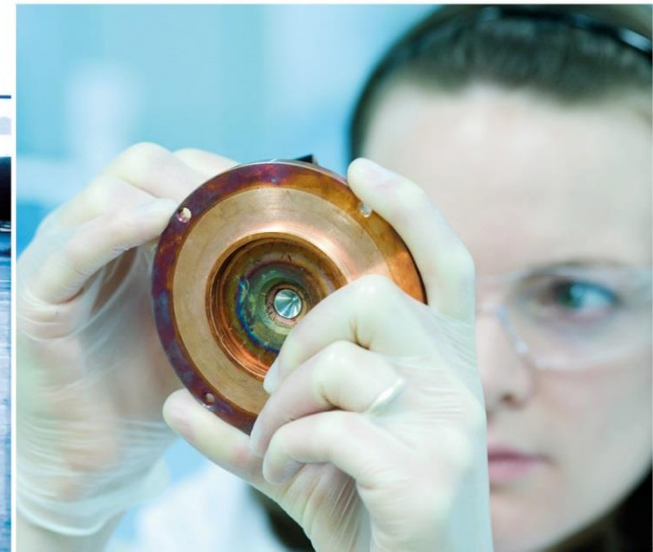
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 74



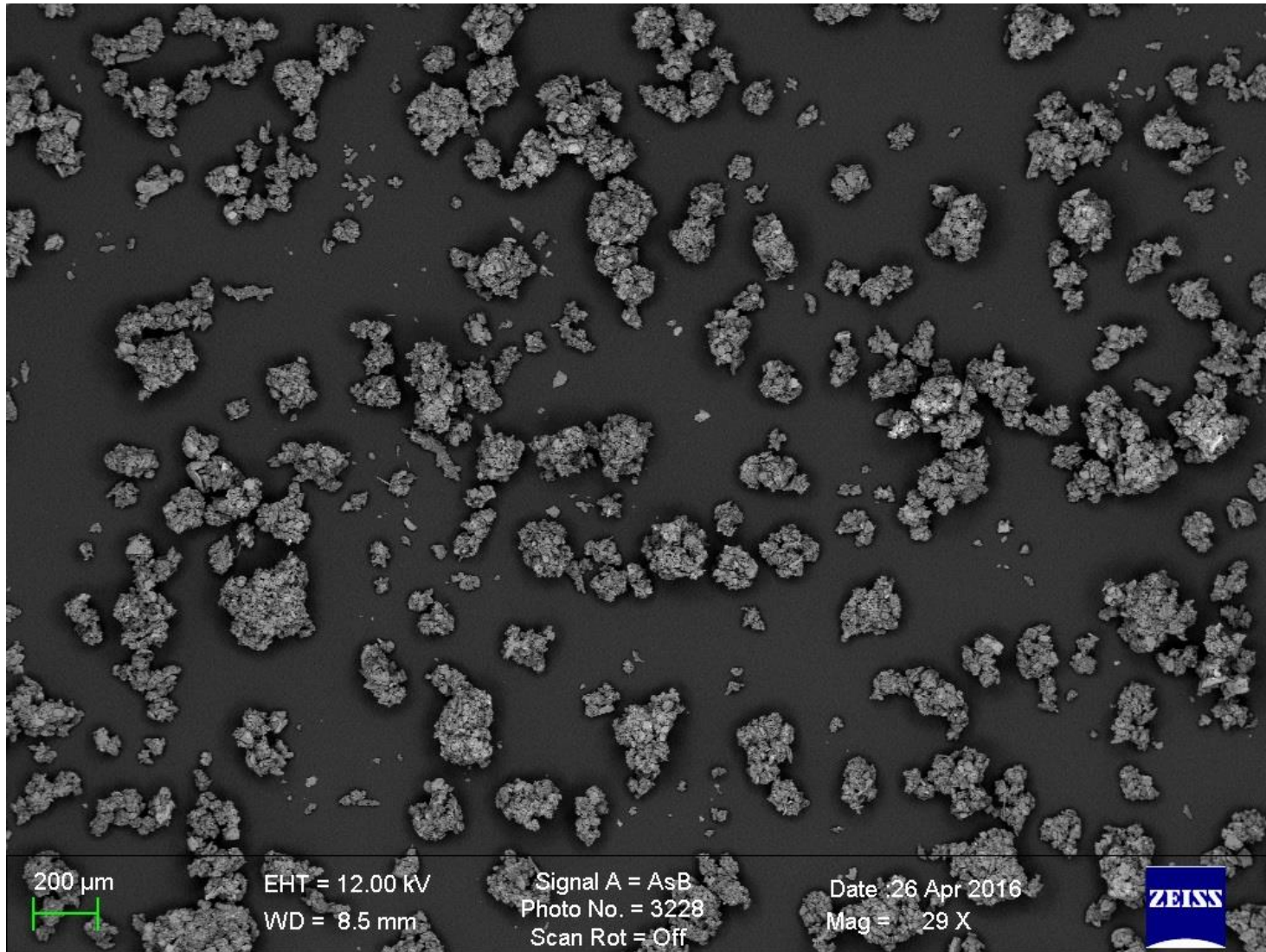
## Prosjekt Karmøy, prøve F: LFV2.5

LFV2.5	Lydfelle venstre 2,5 m fra grunn
--------	----------------------------------

SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 26.05.2016

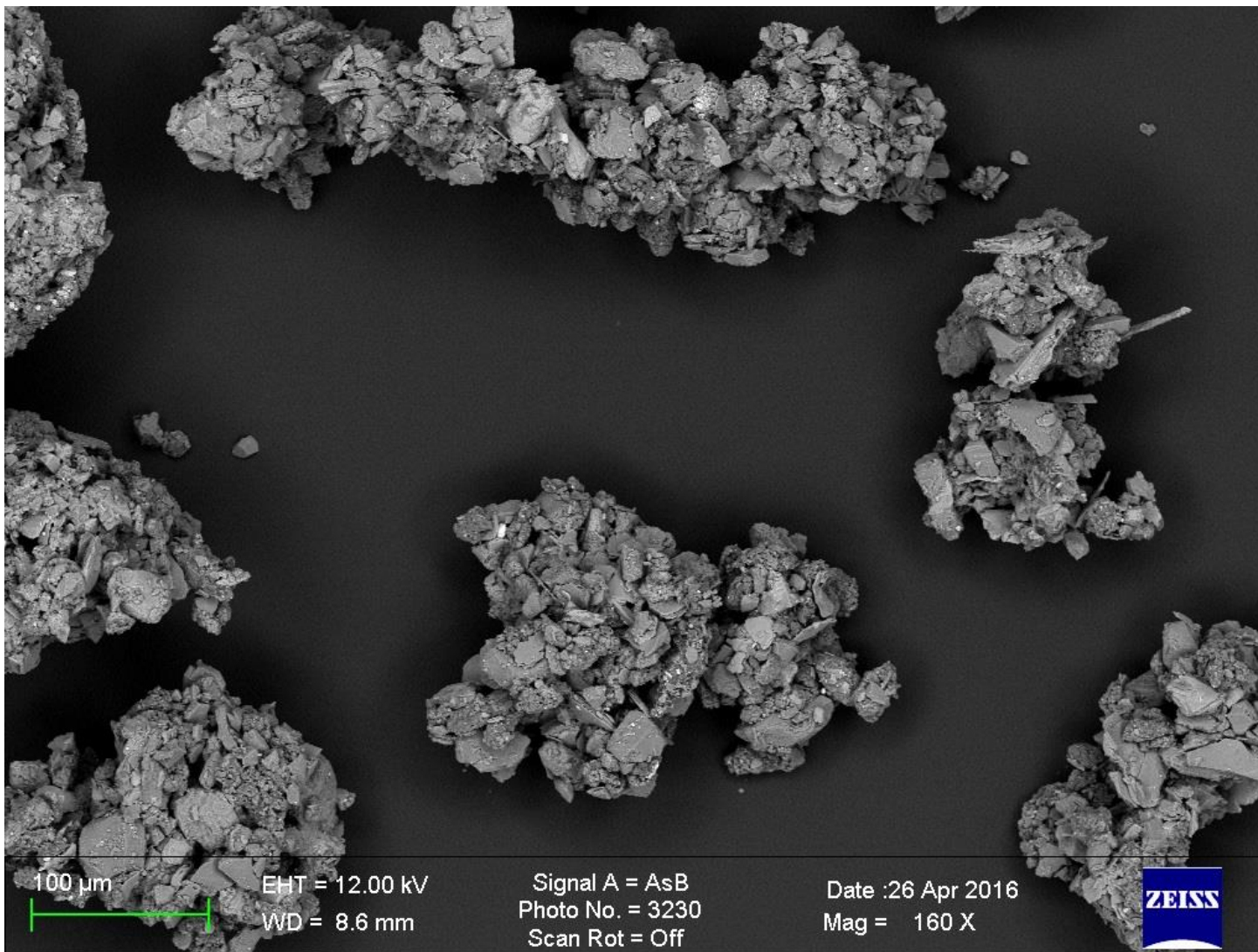


## PROSJEKT KARMØY, PRØVE F



SEM. Oversiktsbilde  
(dryssprøve).

## PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

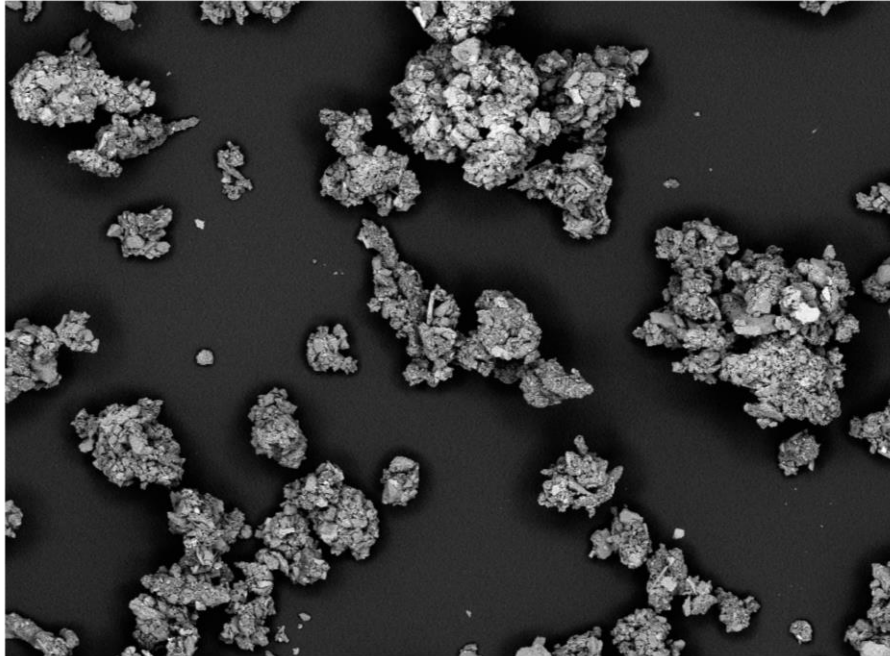


Typiske agglomerater i mottatt prøve.



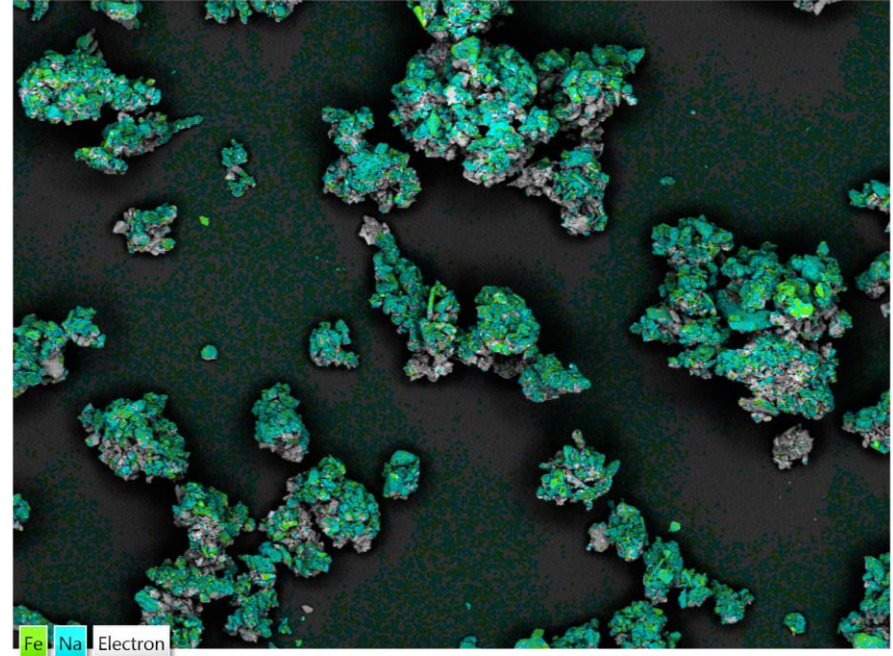
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

Electron Image 50



500µm

EDS Layered Image 13

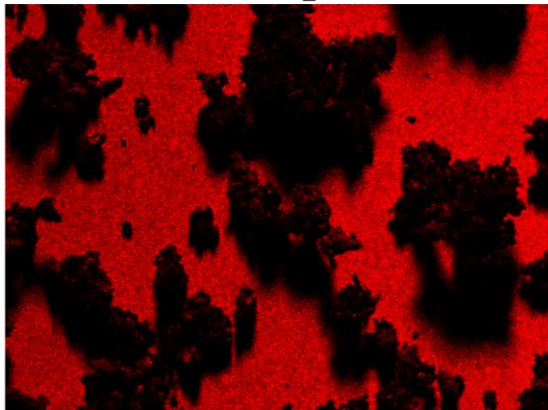


500µm

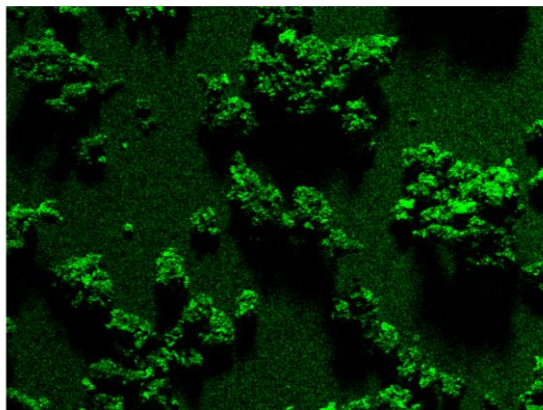
Mapping over en samling med agglomerater. Fe og Na er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

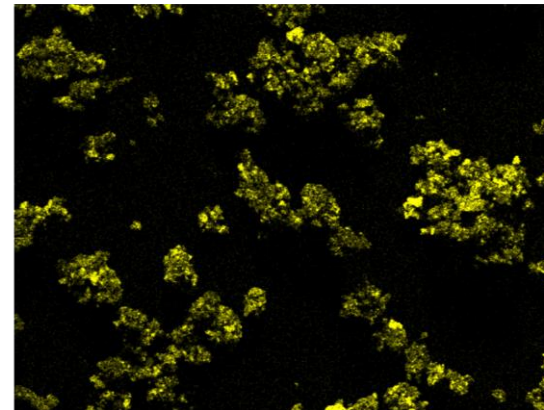
C K $\alpha$ 1\_2



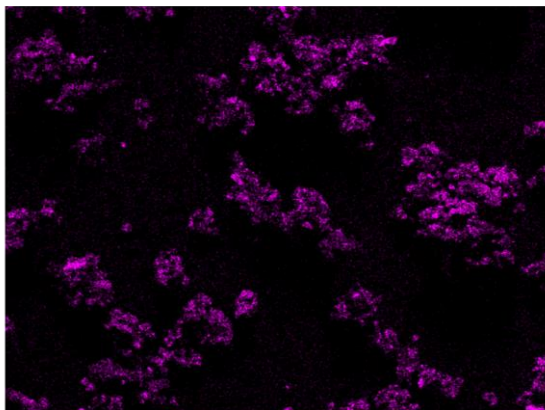
O K $\alpha$ 1



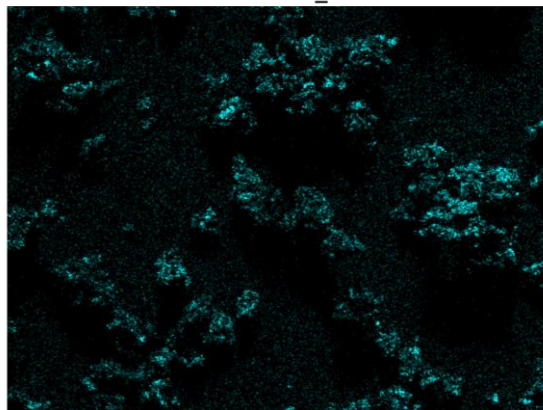
Si K $\alpha$ 1



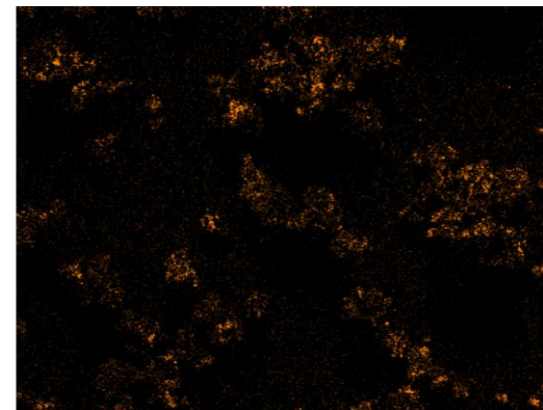
Al K $\alpha$ 1



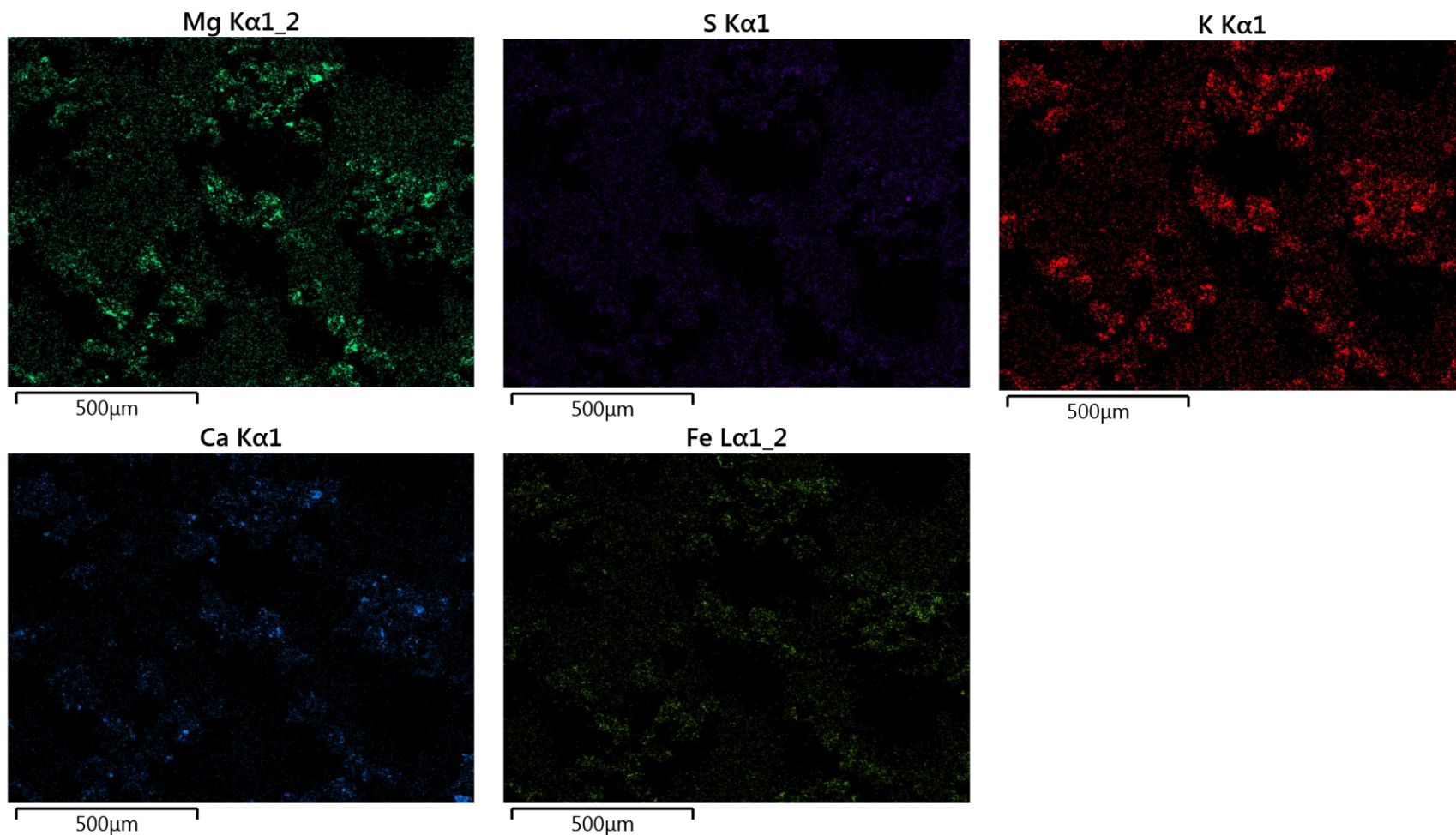
Na K $\alpha$ 1\_2



Cl K $\alpha$ 1



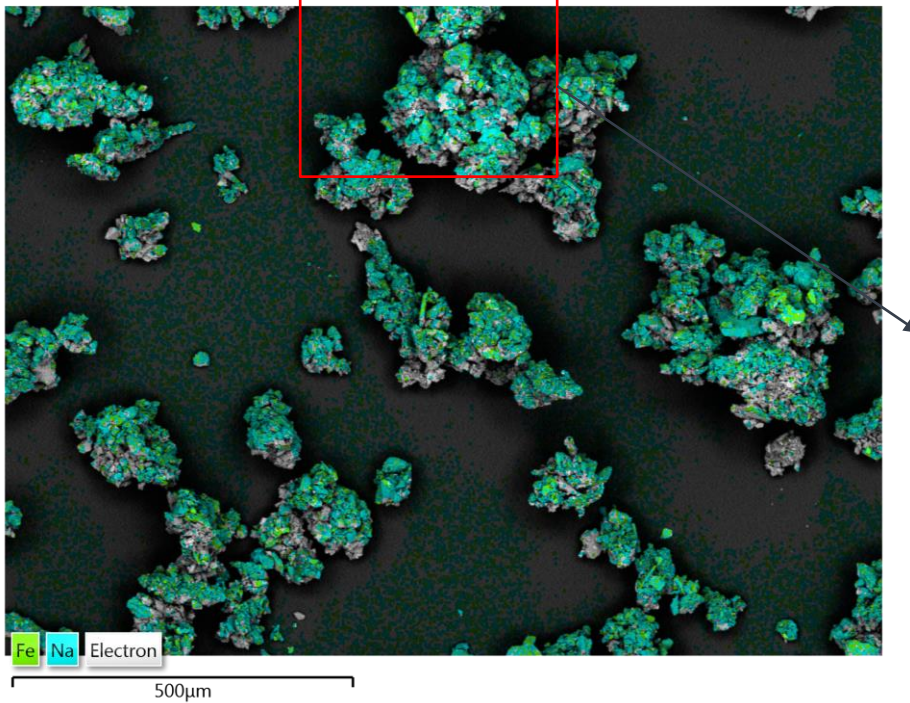
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F



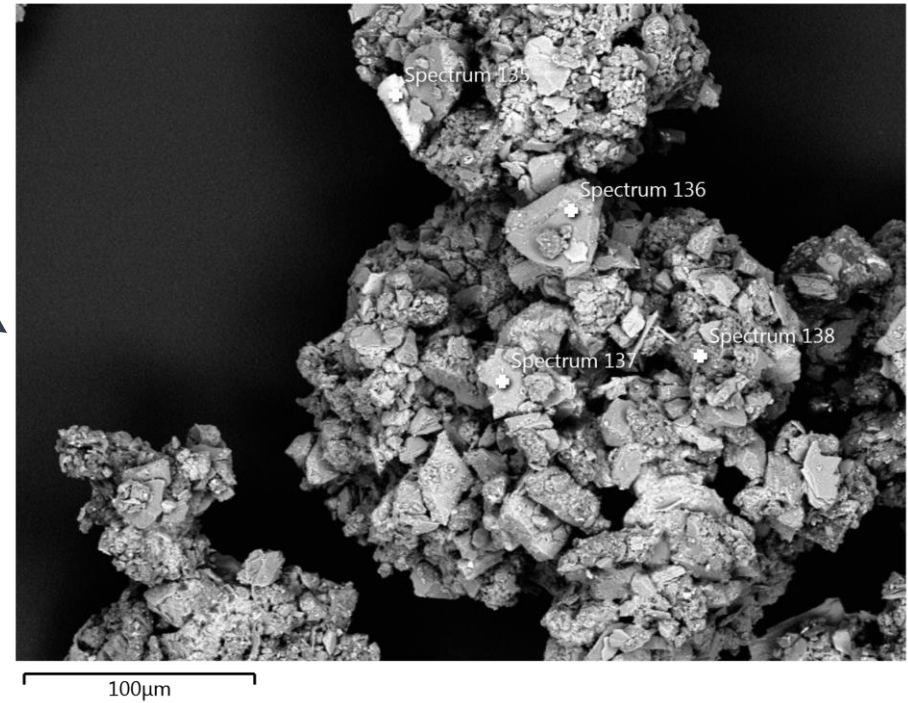
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

EDS Layered Image 13



Electron Image 51

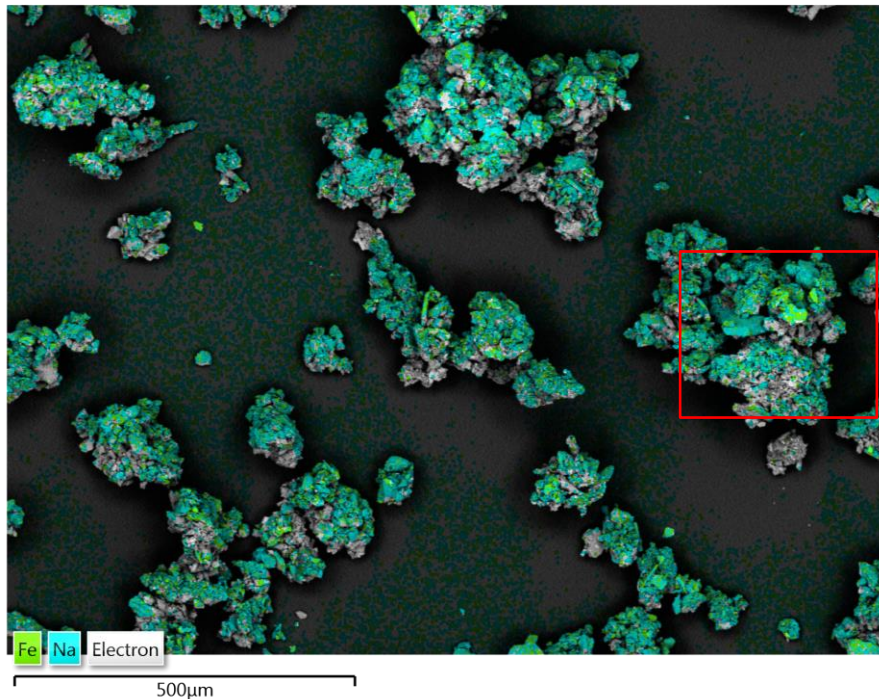


Result Type	Weight %
-------------	----------

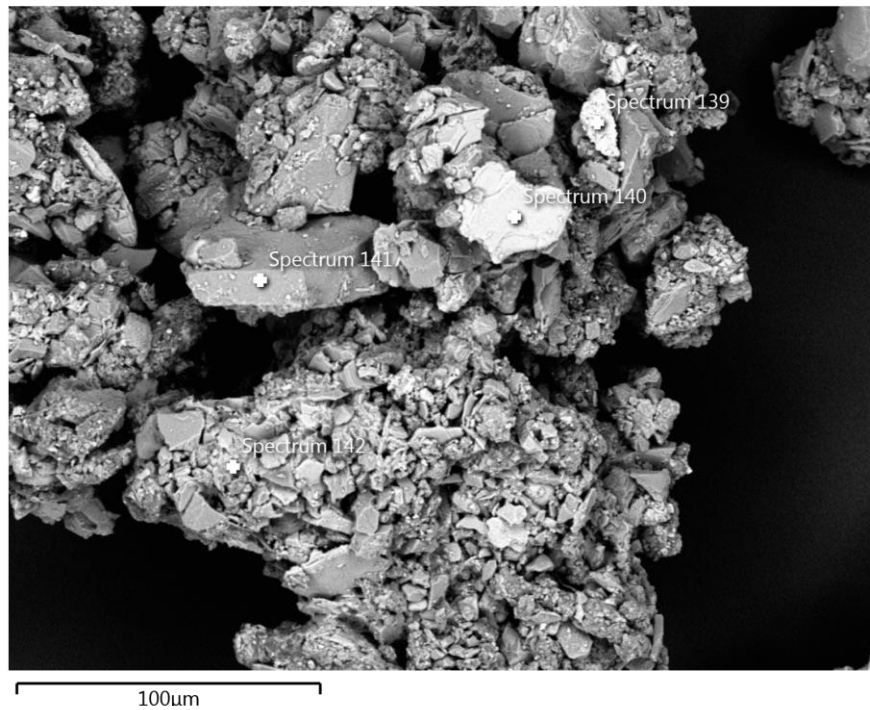
Spectrum Label	Spectrum 135	Spectrum 136	Spectrum 137	Spectrum 138
C				40.80
O	36.28	59.44	15.04	12.48
Na	1.43	0.51	0.63	5.99
Mg				0.79
Al	0.76	0.87	16.21	3.25
Si	1.96	37.98	20.86	16.32
S				2.14
Cl	0.96	0.64	1.22	11.46
K	0.20	0.55	34.83	0.74
Ca	0.19			2.29
Fe	58.21		11.22	3.75
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

EDS Layered Image 13



Electron Image 52



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 139	Spectrum 140	Spectrum 141	Spectrum 142
C				34.83
O	24.92	38.57	50.29	43.88
Na	3.41	0.71	9.39	1.13
Mg		4.26		0.54
Al		8.40	10.19	1.17
Si	1.42	17.47	28.87	14.96
S	0.56			0.71
Cl	4.13	0.52	0.93	0.66
K		7.77		0.62
Ca	1.20		0.33	0.67
Ti		0.68		
Mn	0.76			
Fe	63.61	20.81		0.84
Mo		0.80		
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

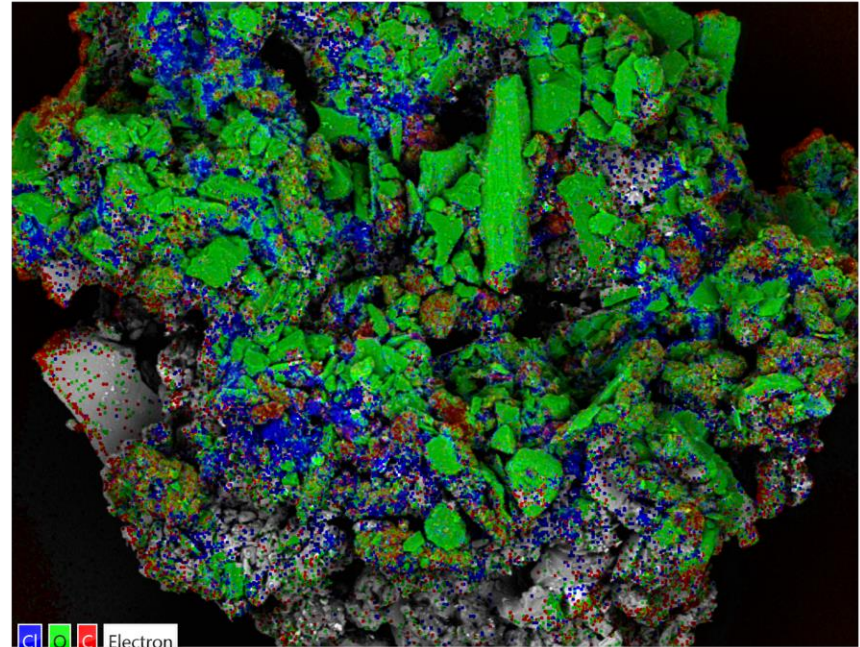
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

Electron Image 53



100µm

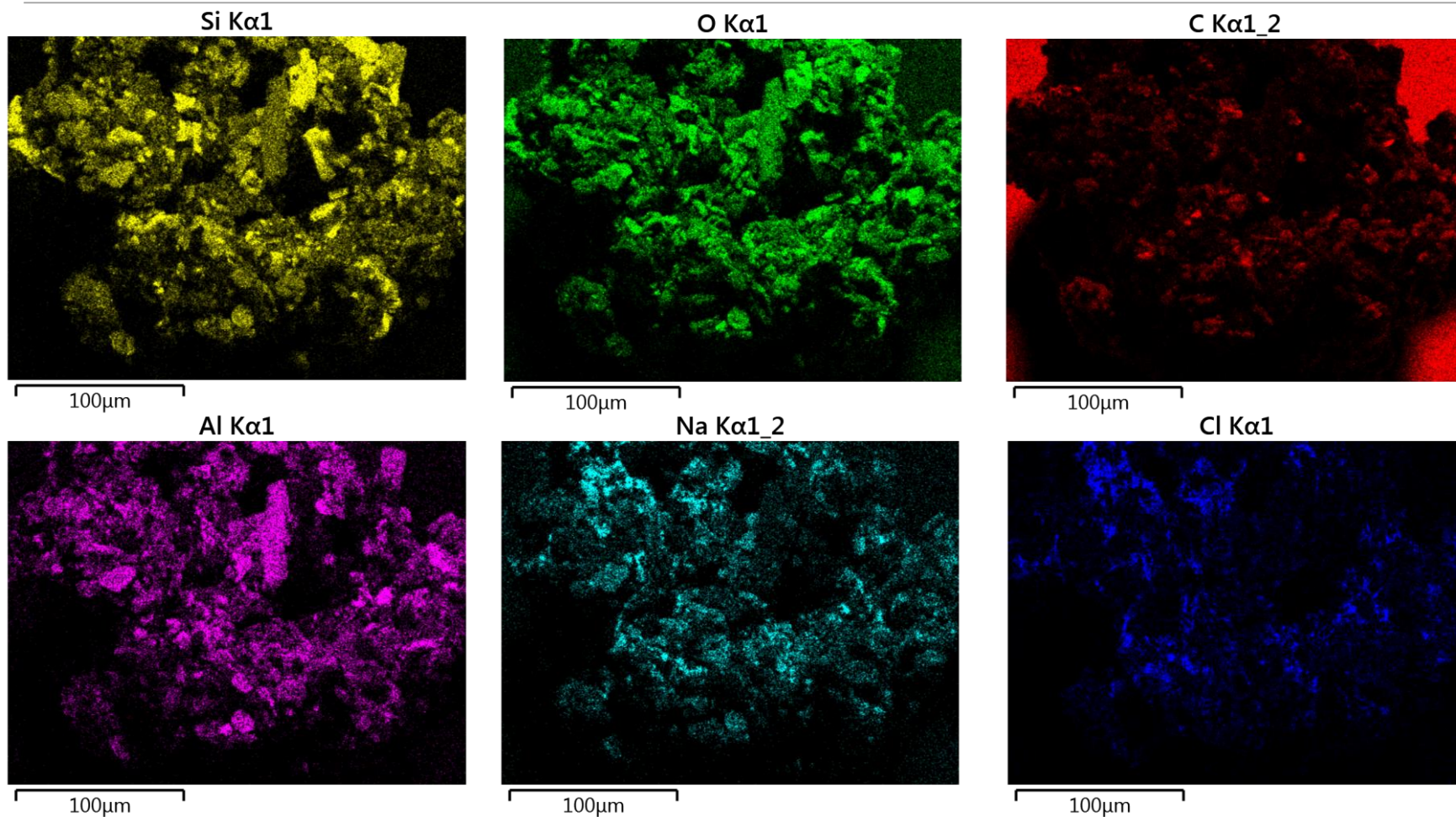
EDS Layered Image 14



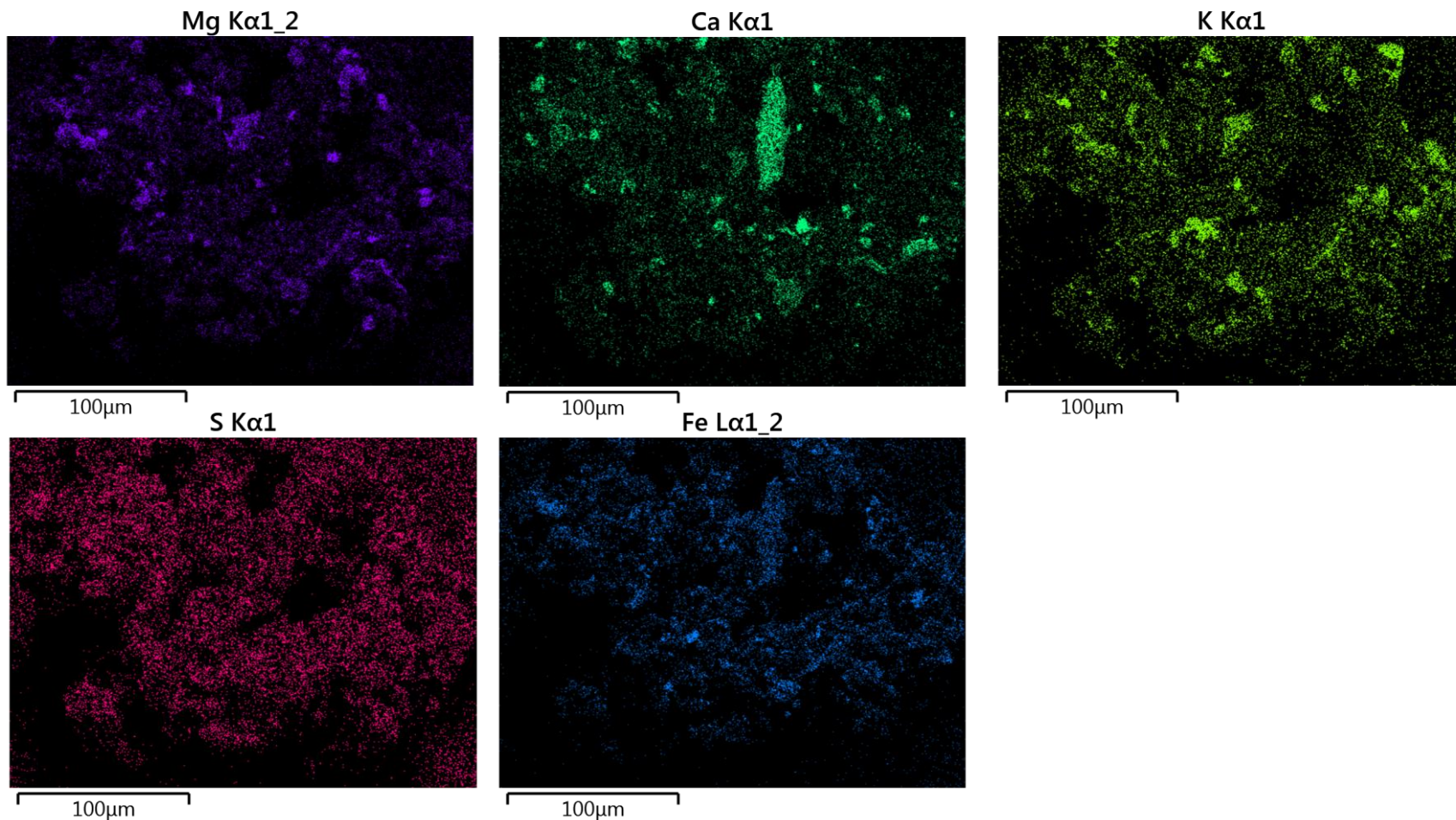
100µm

Mapping over et agglomerat. Cl, O og C er tilfeldig utvalgt. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F



# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

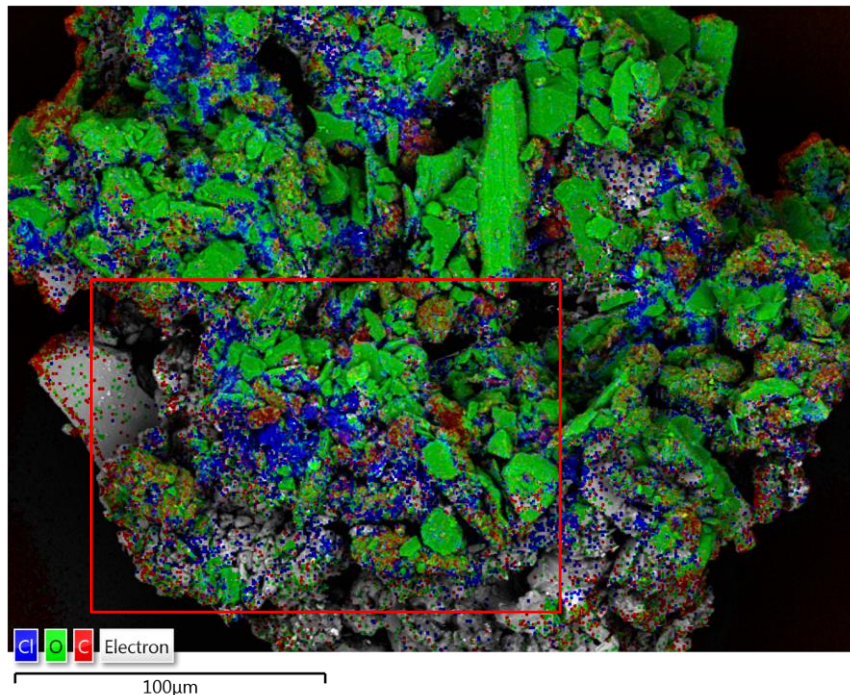


Ovenfor er alle hovedelementene i agglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne kan forstyrre litt.

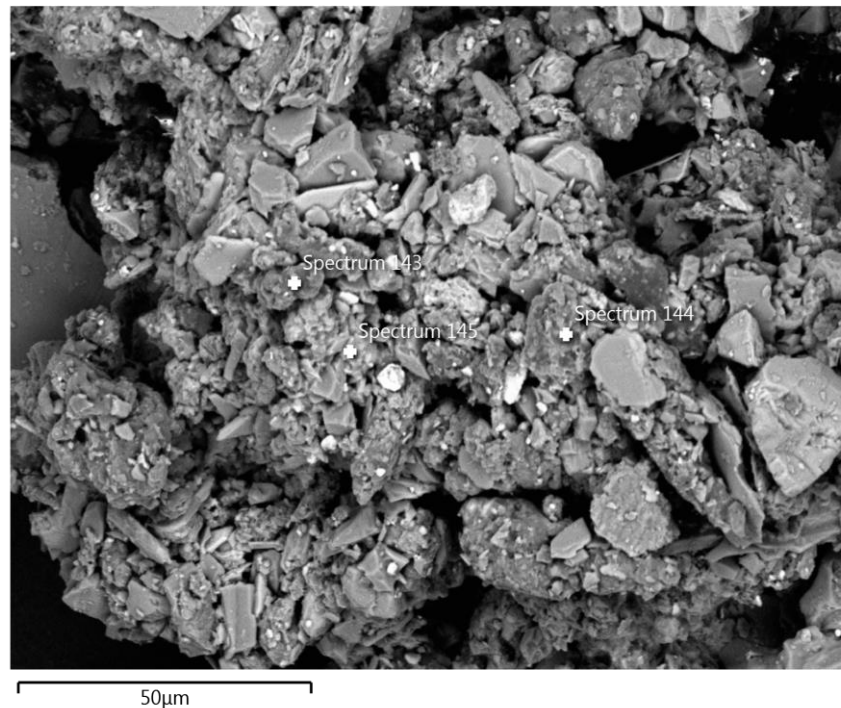


# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

EDS Layered Image 14



Electron Image 54

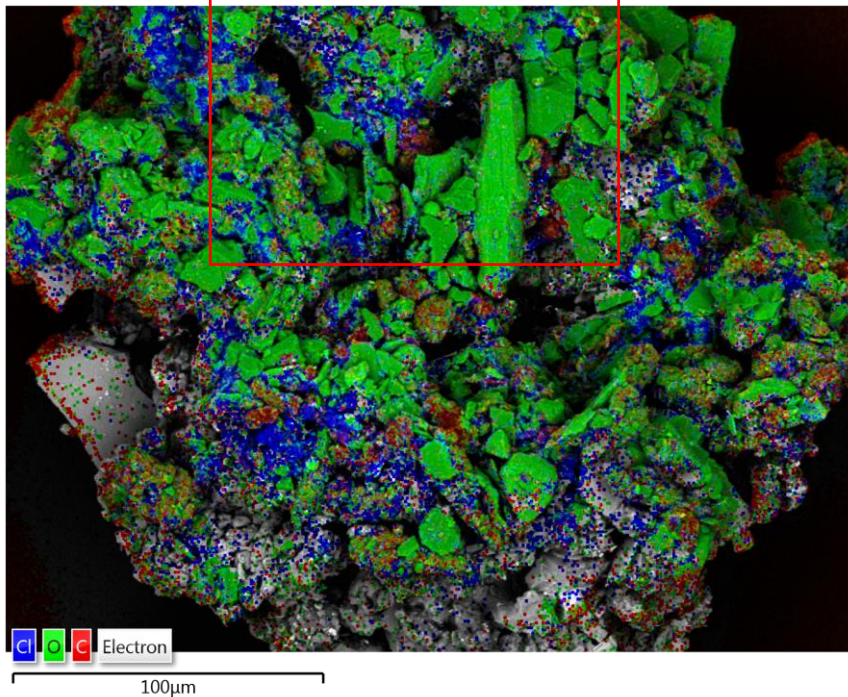


Result Type	Weight %
-------------	----------

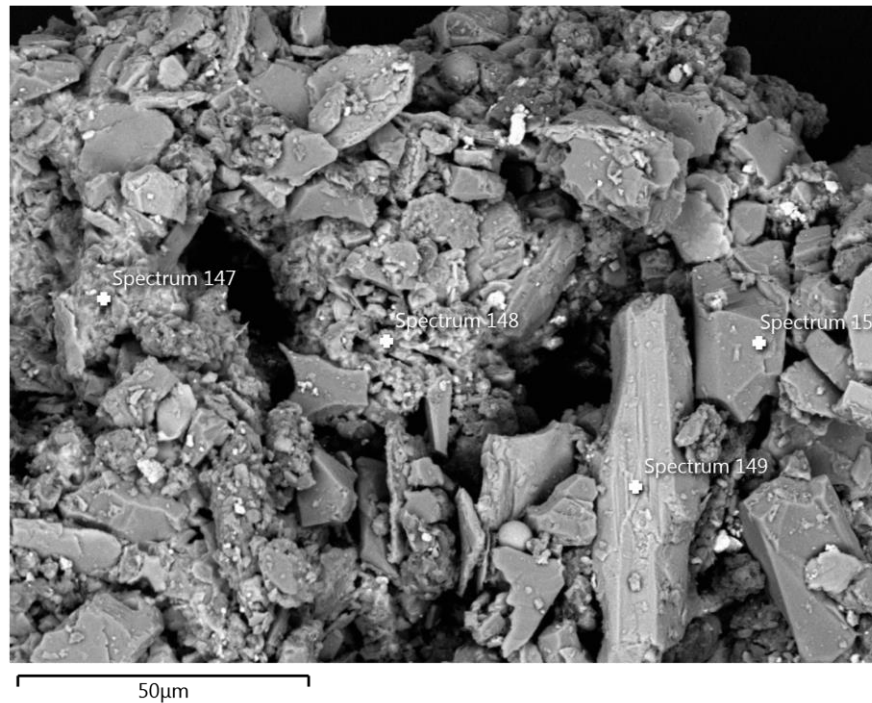
Spectrum Label	Spectrum 143	Spectrum 144	Spectrum 145
C	81.86	33.22	
O	14.06	22.76	11.76
Na	0.58	2.00	13.21
Mg	0.22	0.33	0.37
Al	0.39	6.96	2.74
Si	0.67	20.27	9.38
S	0.80	1.18	1.39
Cl	0.51	2.94	52.46
K	0.14	9.60	1.86
Ca	0.34		4.19
Fe	0.41	0.75	2.64
Total	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE F

EDS Layered Image 14

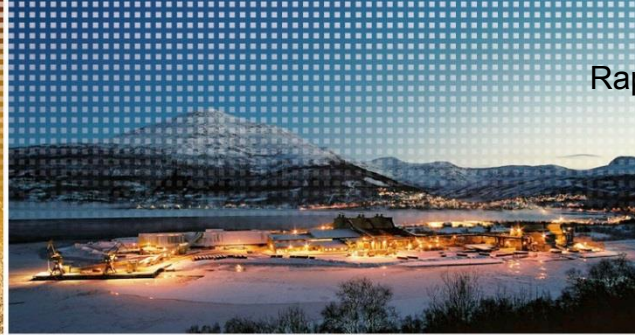


Electron Image 55



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 147	Spectrum 148	Spectrum 149	Spectrum 150
C	31.70	49.81		
O	34.73	24.61	50.94	53.80
Na	3.75	5.57	1.37	0.25
Mg	1.57	1.29		
Al	5.33	2.86	11.62	
Si	12.02	5.56	15.63	45.95
P	0.31			
S	1.71	1.10		
Cl	1.64	4.44	0.86	
K	1.28	0.84		
Ca	2.33	0.78	12.68	
Fe	3.64	3.14	6.92	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00



Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 87

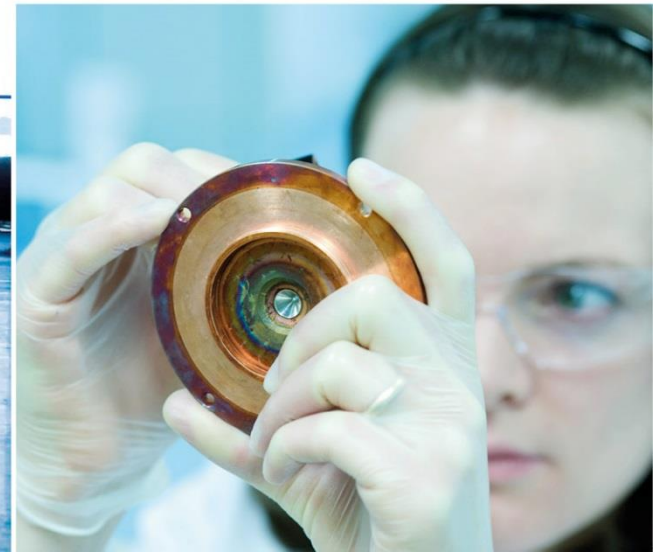


## Prosjekt Karmøy, prøve G: LFH2.5

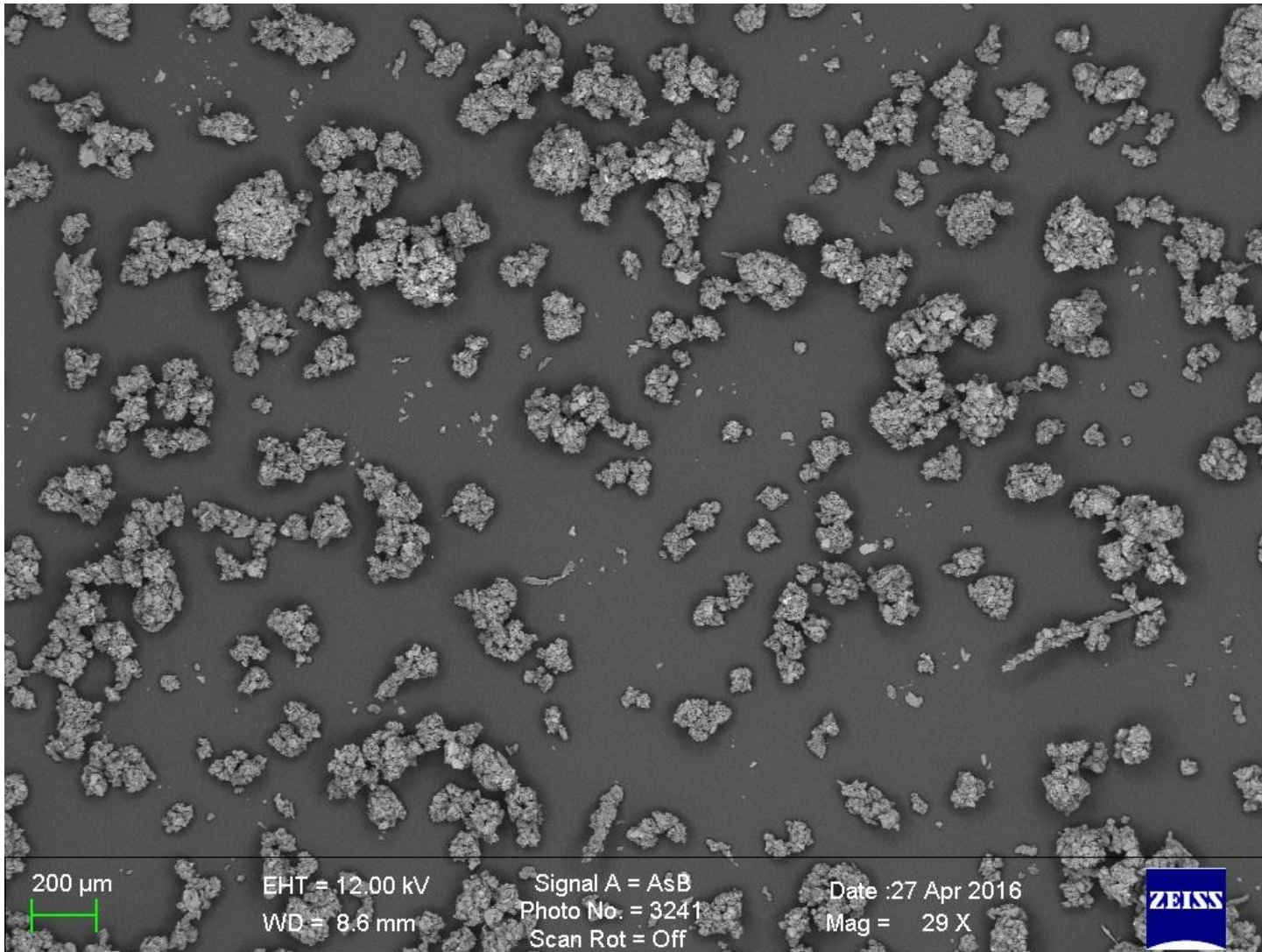
LFH2.5

Lydfelle høyre 2,5 m fra grunn

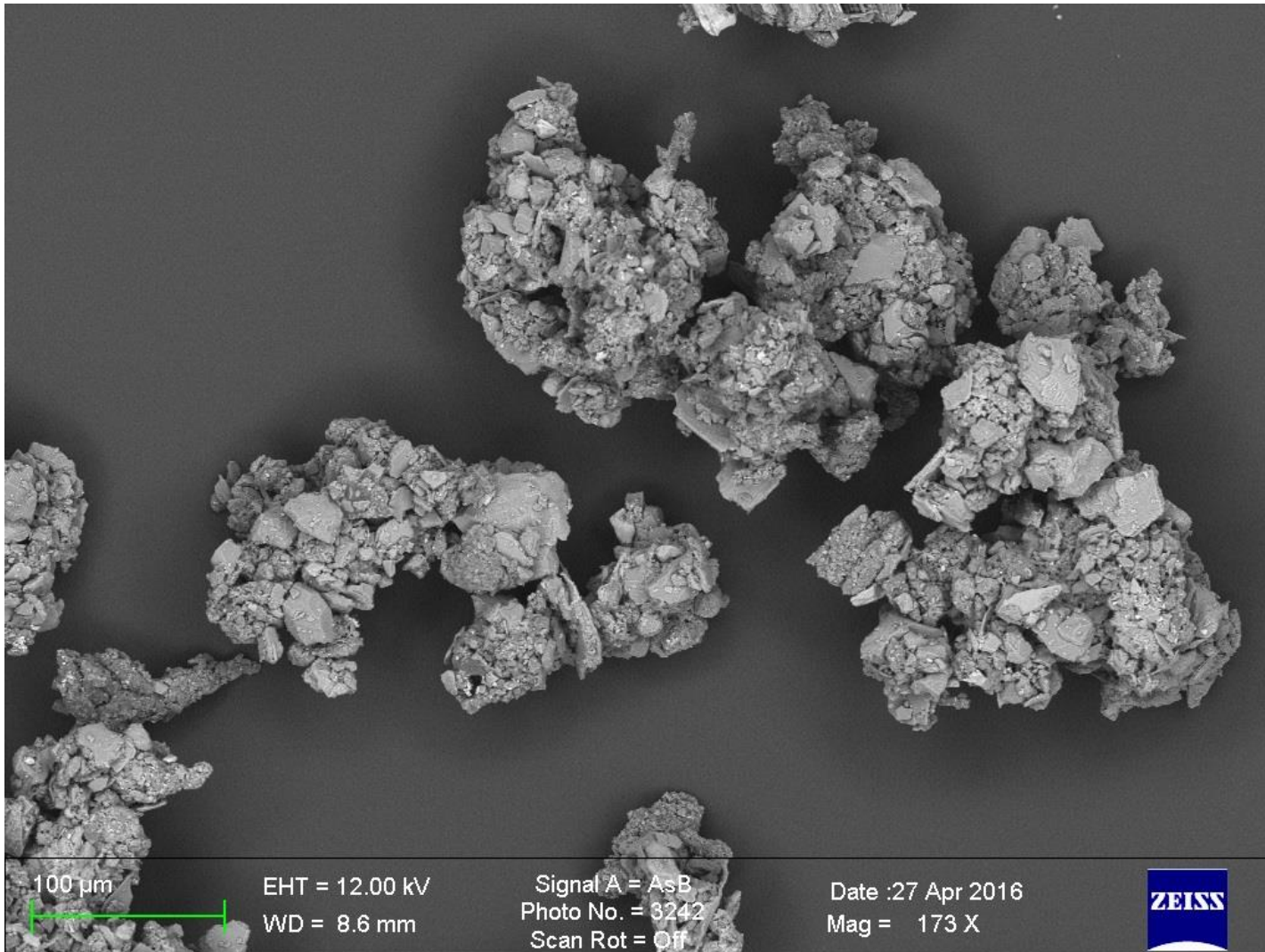
SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 25.05.2016



## PROSJEKT KARMØY, PRØVE G



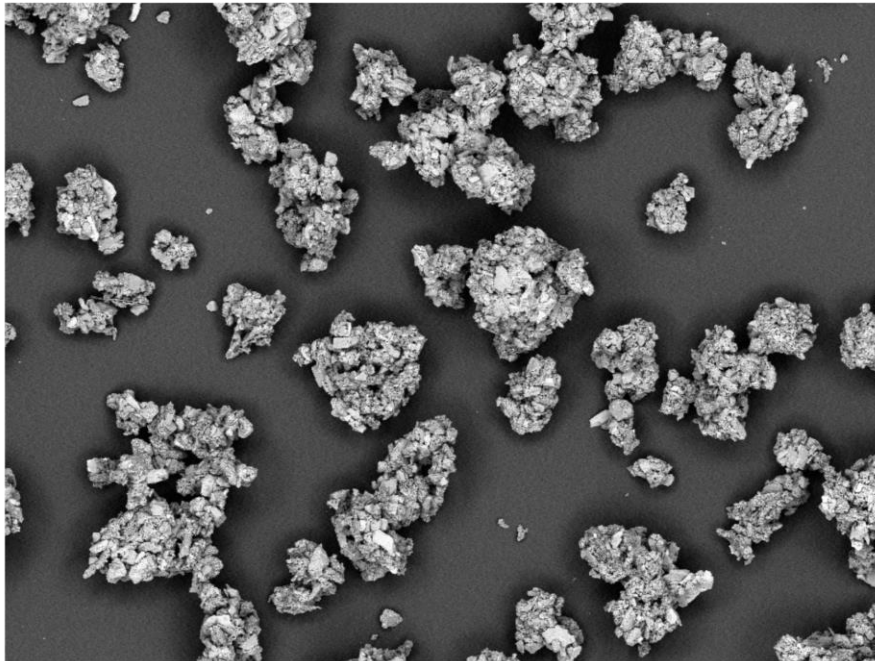
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE G



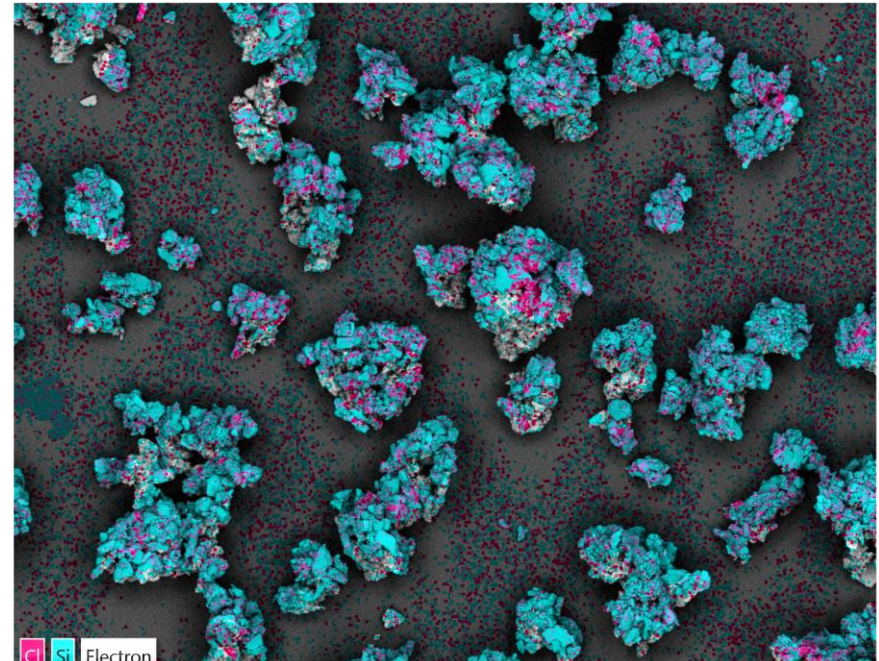
Typiske agglomerater i mottatt prøve.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

Electron Image 56



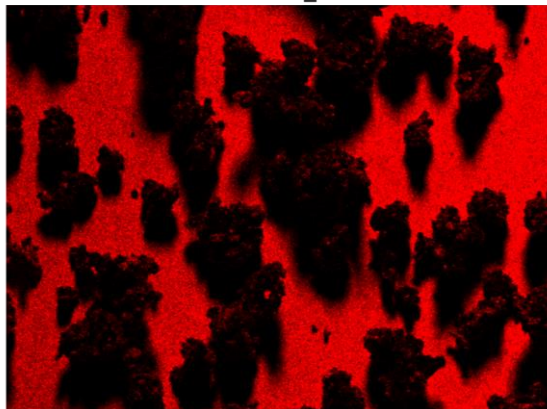
EDS Layered Image 15



Mapping over en samling med agglomerater. Cl og Si er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

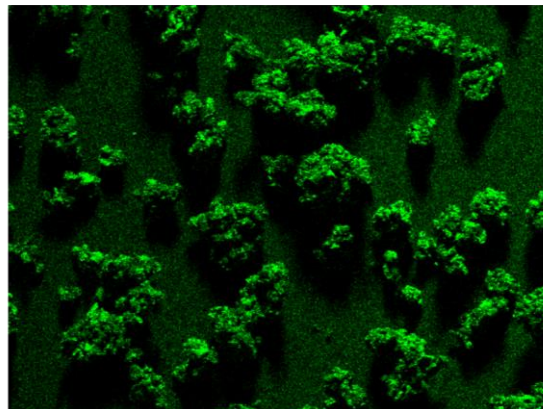
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

C K $\alpha$ 1\_2



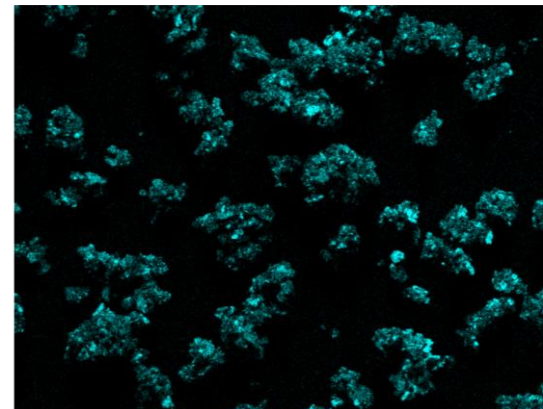
500 $\mu$ m

O K $\alpha$ 1



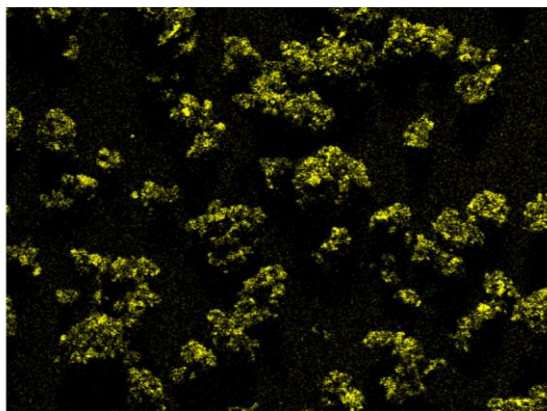
500 $\mu$ m

Si K $\alpha$ 1



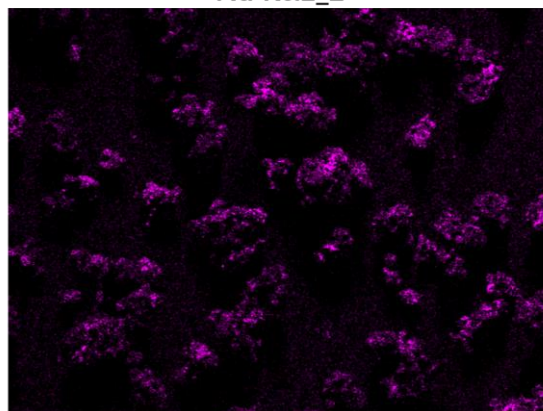
500 $\mu$ m

Al K $\alpha$ 1



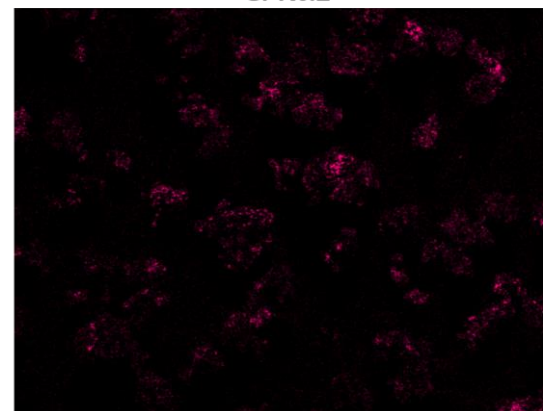
500 $\mu$ m

Na K $\alpha$ 1\_2



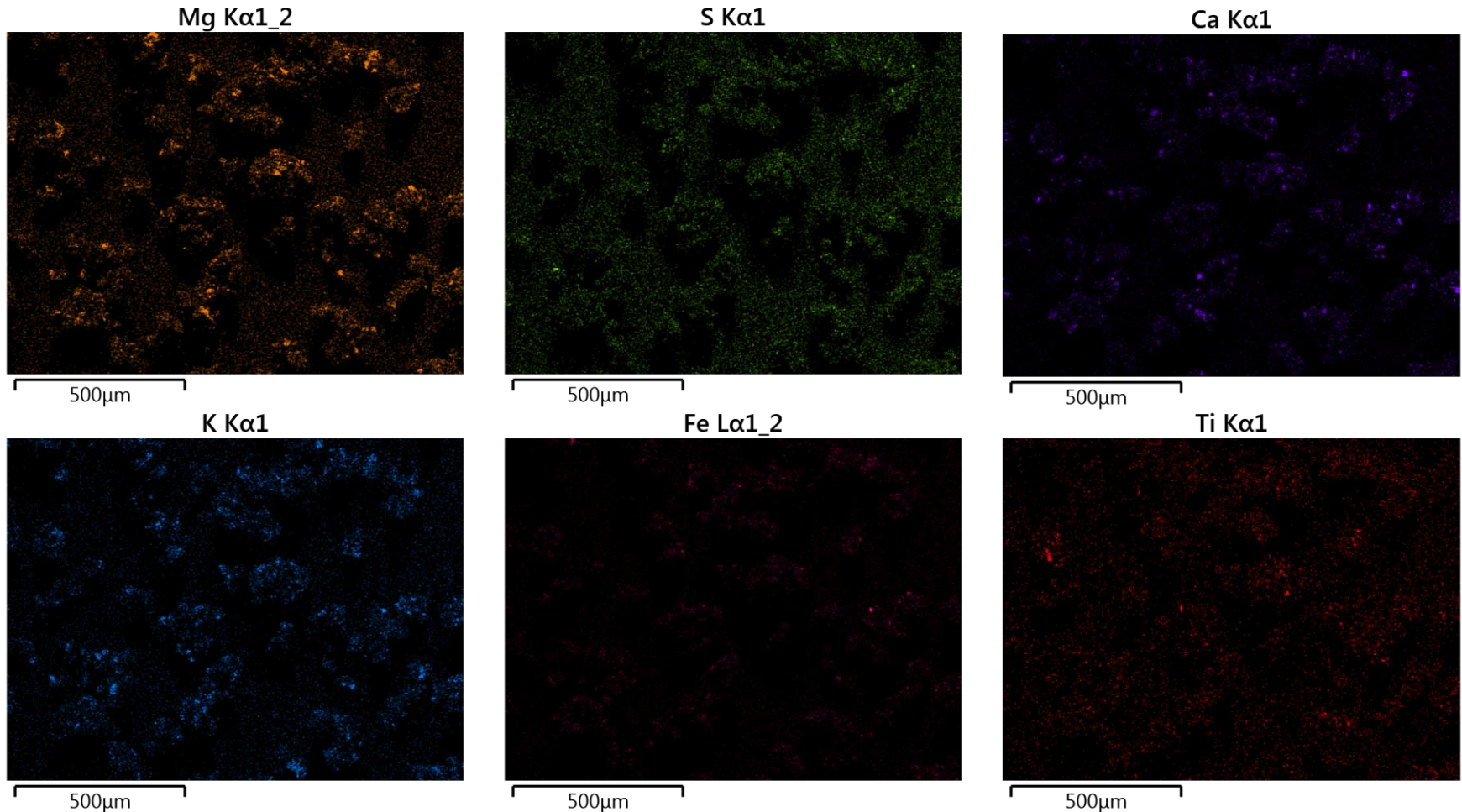
500 $\mu$ m

Cl K $\alpha$ 1



500 $\mu$ m

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

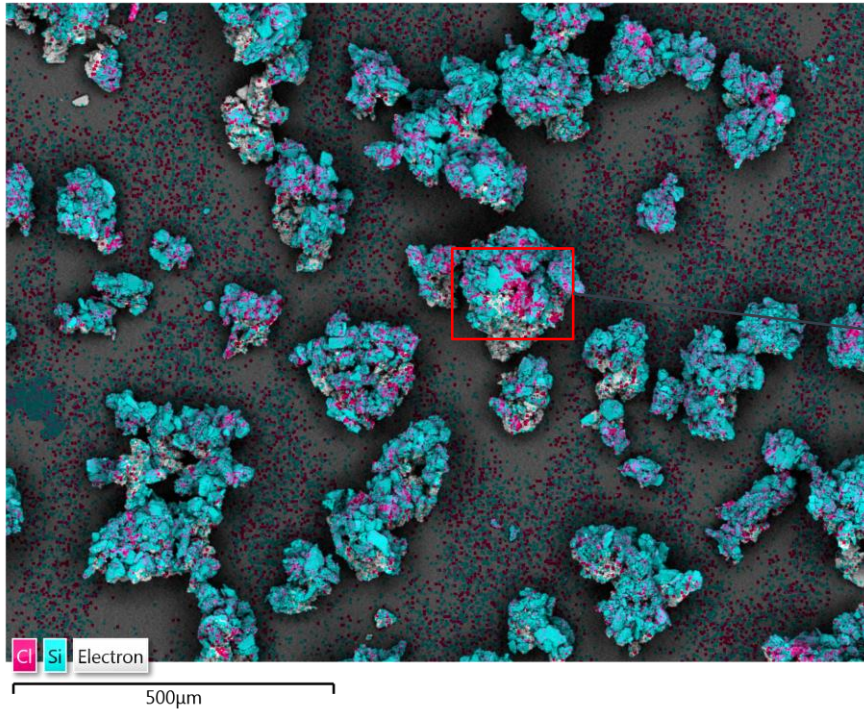


Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

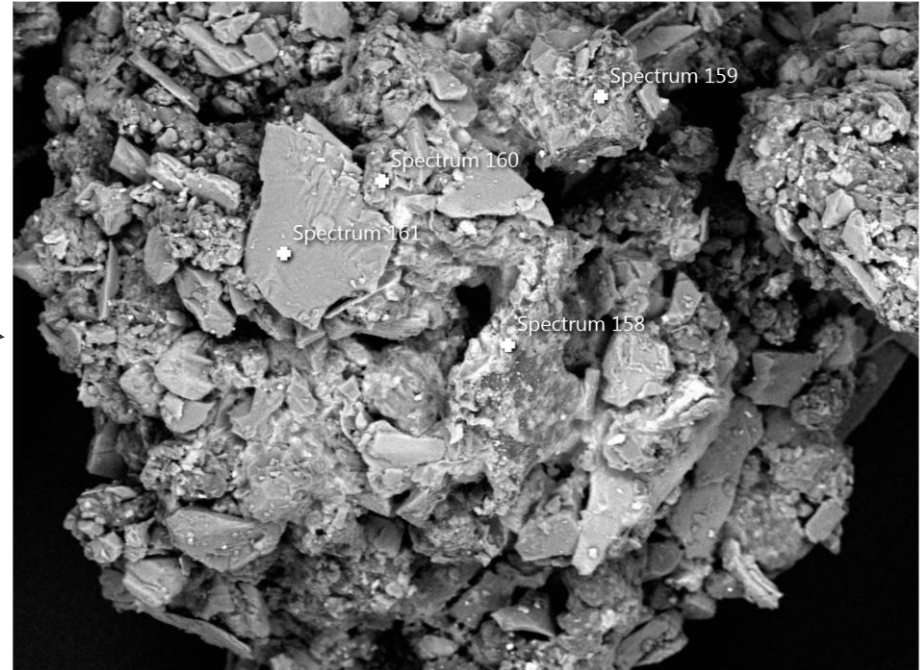


# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

EDS Layered Image 15



Electron Image 58

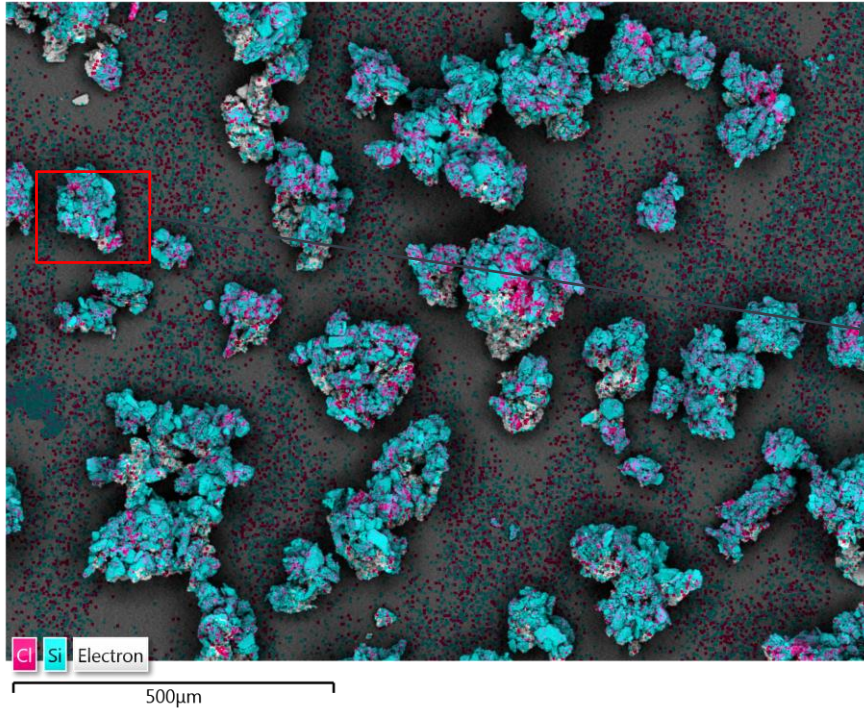


Result Type	Weight %
-------------	----------

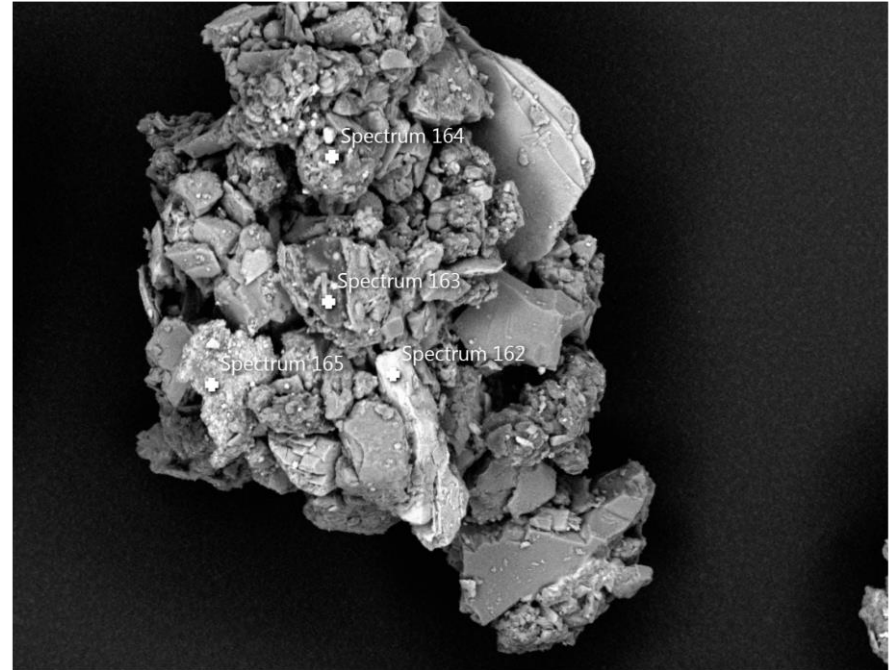
Spectrum Label	Spectrum 158	Spectrum 159	Spectrum 160	Spectrum 161
C		37.54	45.04	
O	22.93	44.29	10.90	45.93
Na	8.08	0.38	13.65	6.07
Mg	0.94	6.65	0.61	
Al	0.91	0.24	1.26	13.62
Si	2.33	0.30	2.84	29.74
S	5.41			
Cl	16.83	0.24	20.29	
K	1.23	0.16	0.71	
Ca	7.15	8.46	1.07	4.63
Ti		1.75		
Fe	34.18		0.55	
Mo			3.07	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

EDS Layered Image 15



Electron Image 59

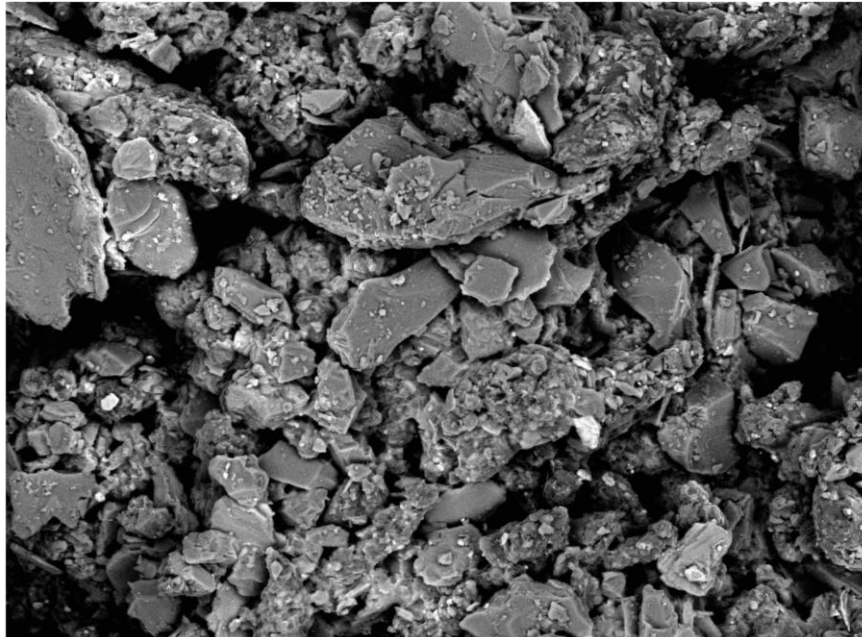


Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 162	Spectrum 163	Spectrum 164	Spectrum 165
C		75.59	43.75	
O	47.16	15.03	28.39	9.67
Na		0.27	7.12	2.06
Mg		0.82	0.53	0.56
Al		1.27	3.19	2.01
Si	0.52	2.53	7.56	9.12
S		1.50	0.49	
Cl	0.22	0.28	5.69	6.37
K		0.88	1.14	1.39
Ca		0.20	0.36	2.35
Ti	23.53		0.12	
Mn	1.45			
Fe	27.13	1.62	1.64	66.48
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

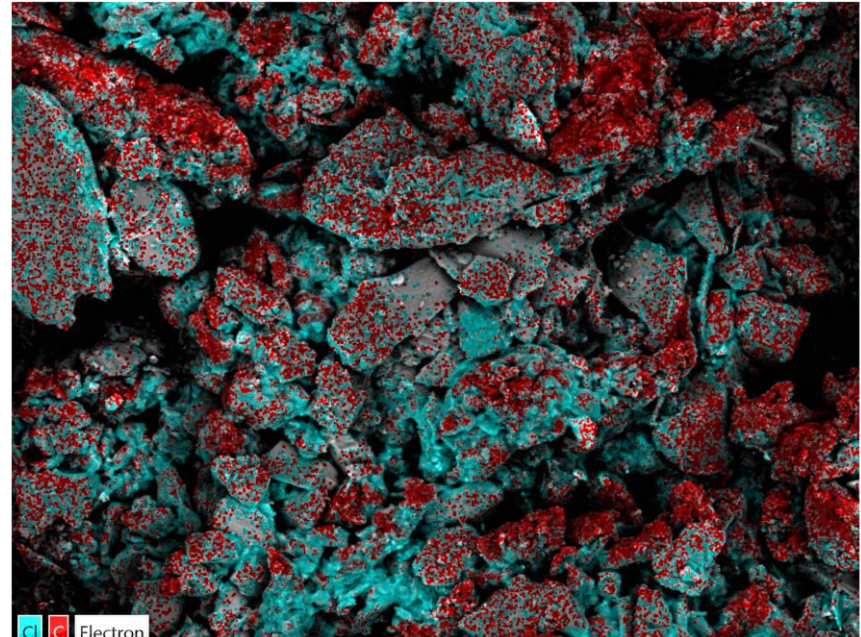
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

Electron Image 60



100µm

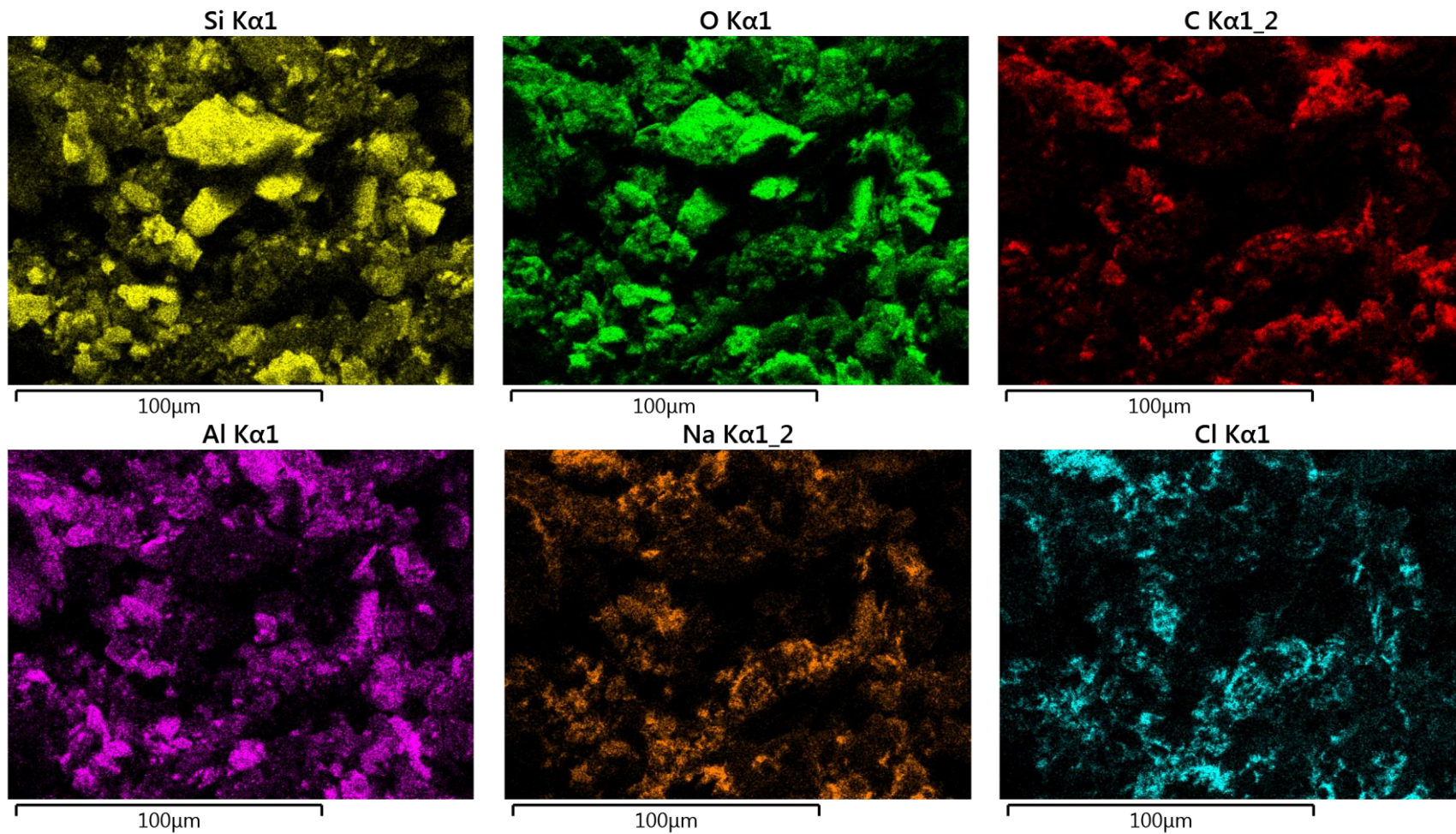
EDS Layered Image 16



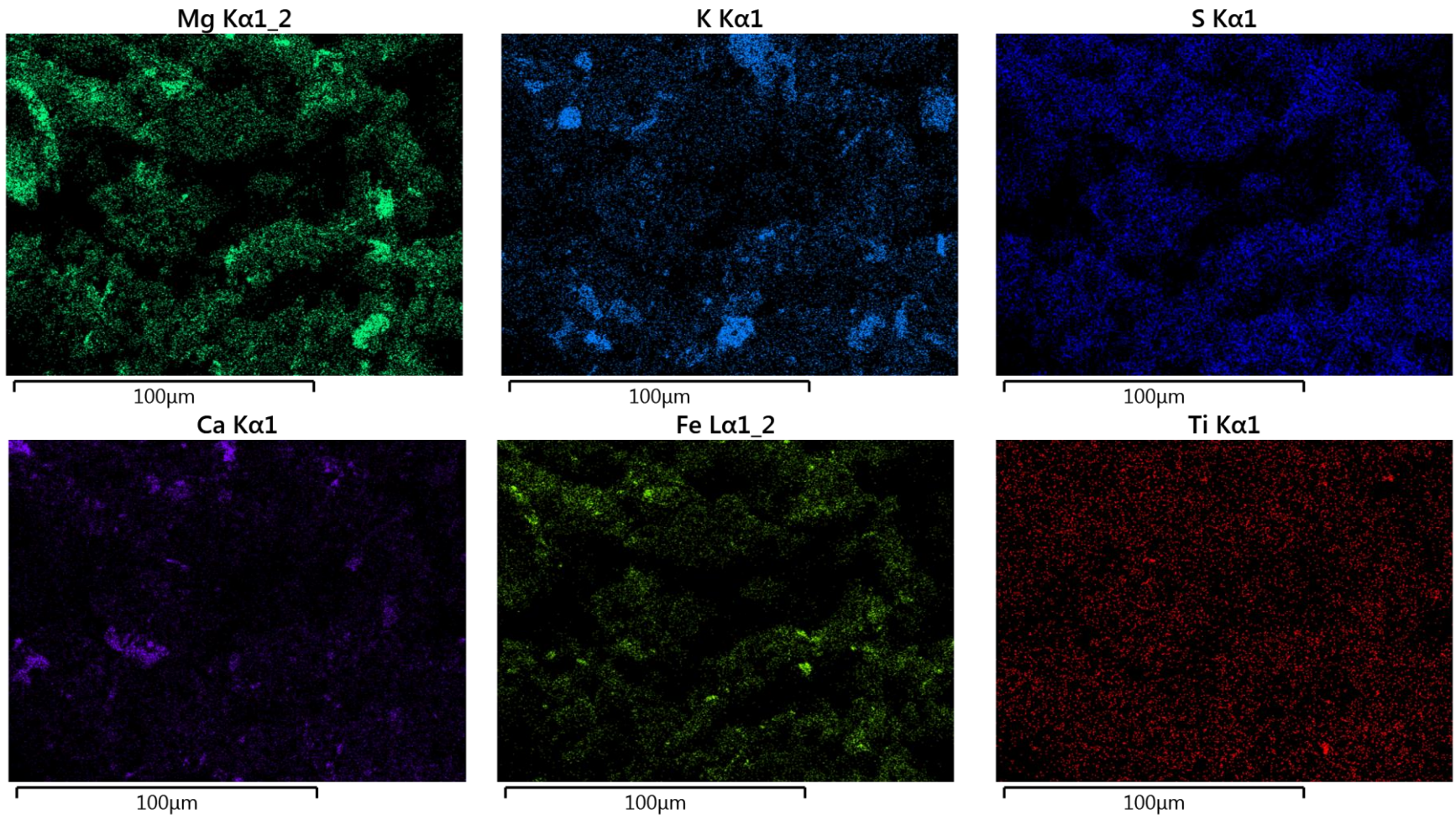
100µm

Mapping over et agglomerat. Cl og C er tilfeldig utvalgt. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G



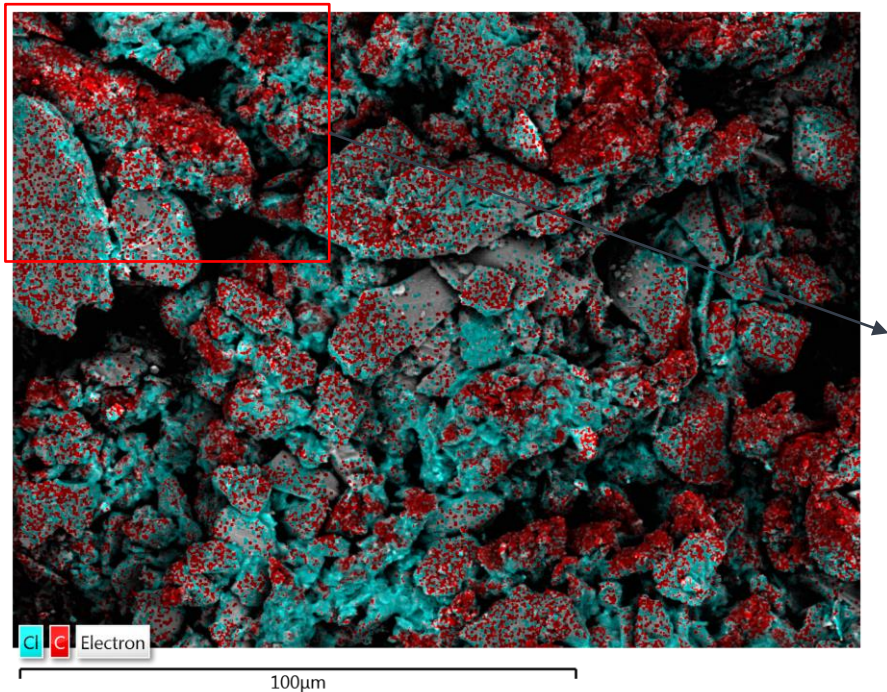
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE G



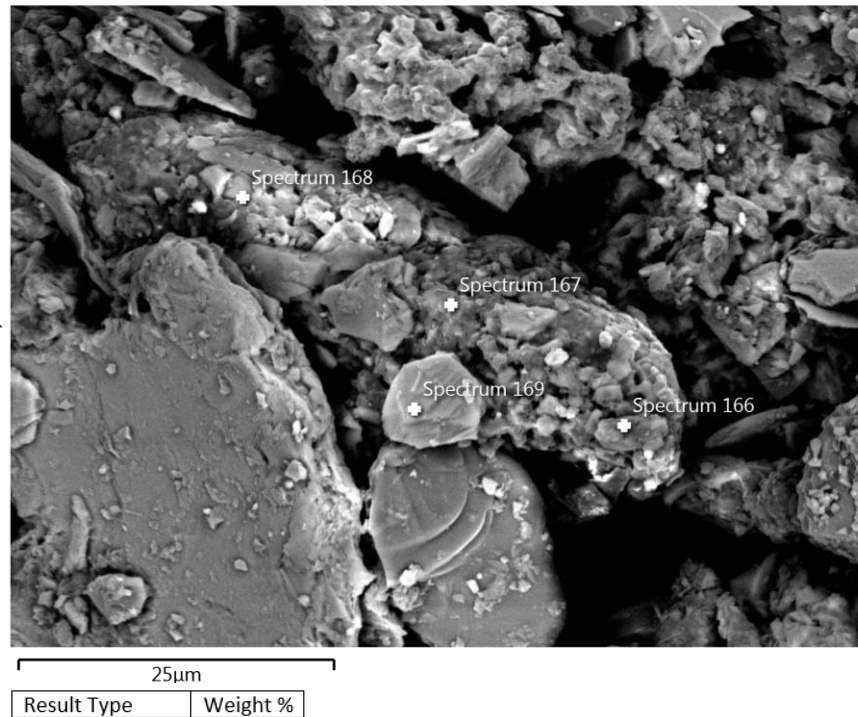
Ovenfor er alle hovedelementene i agglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne kan forstyrre litt.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

EDS Layered Image 16



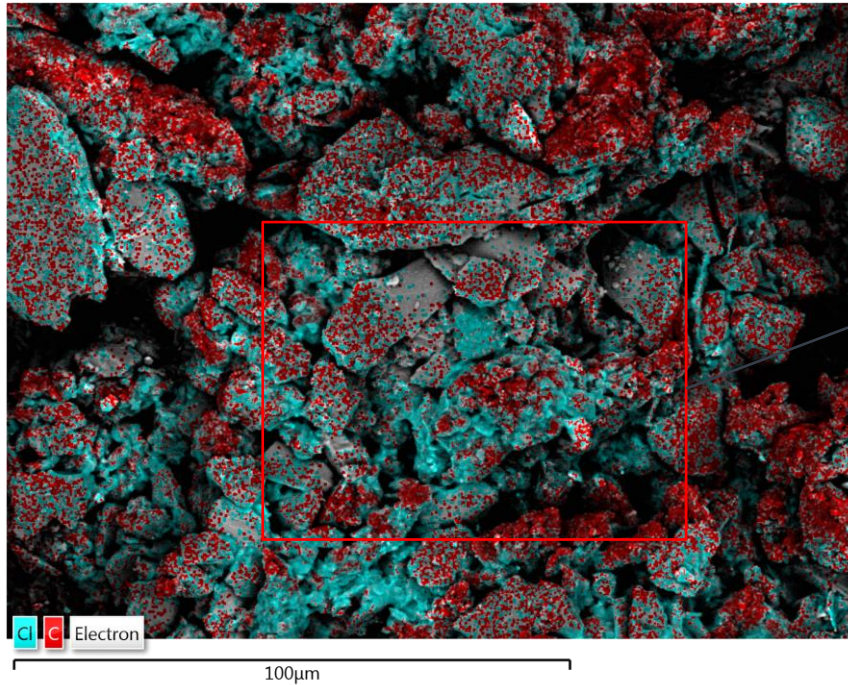
Electron Image 61



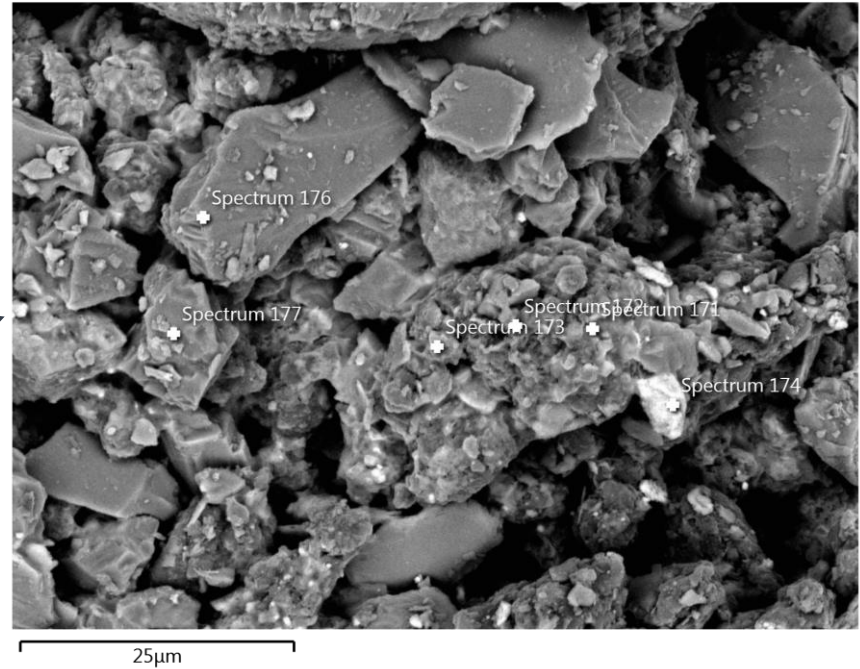
Spectrum Label	Spectrum 166	Spectrum 167	Spectrum 168	Spectrum 169
C	47.52	29.69	34.61	
O	34.24	37.03	37.58	54.79
Na	1.91	4.34	1.33	0.38
Mg	0.68	3.43	1.46	
Al	3.93	4.96	5.23	8.81
Si	7.75	8.25	8.84	25.57
S	0.39			
Cl	0.74	5.84	0.61	
K	1.26	1.88	2.55	10.46
Ca	0.28			
Ti		0.37		
Fe	1.29	4.22	7.79	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

EDS Layered Image 16



Electron Image 62

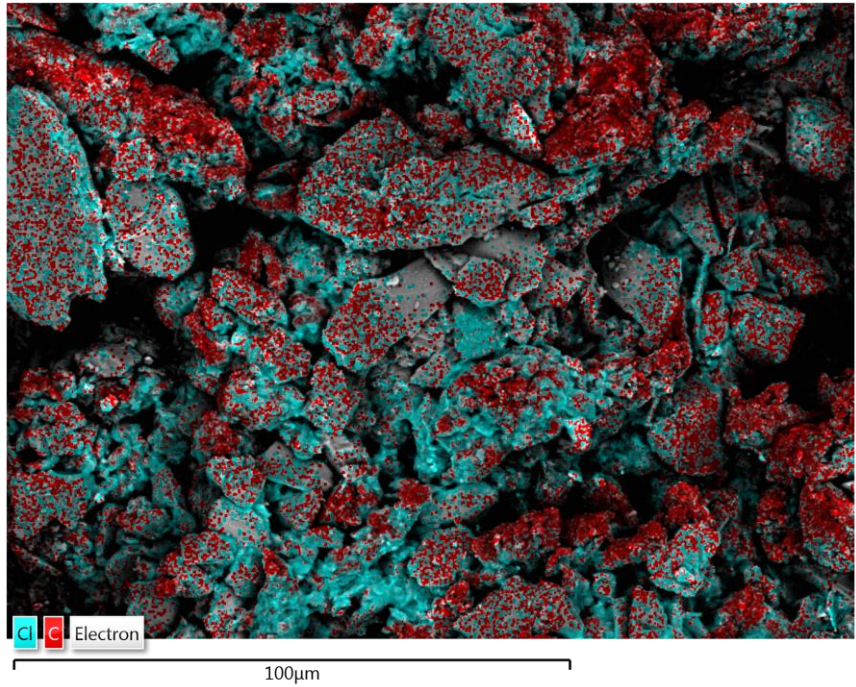


Result Type	Weight %
-------------	----------

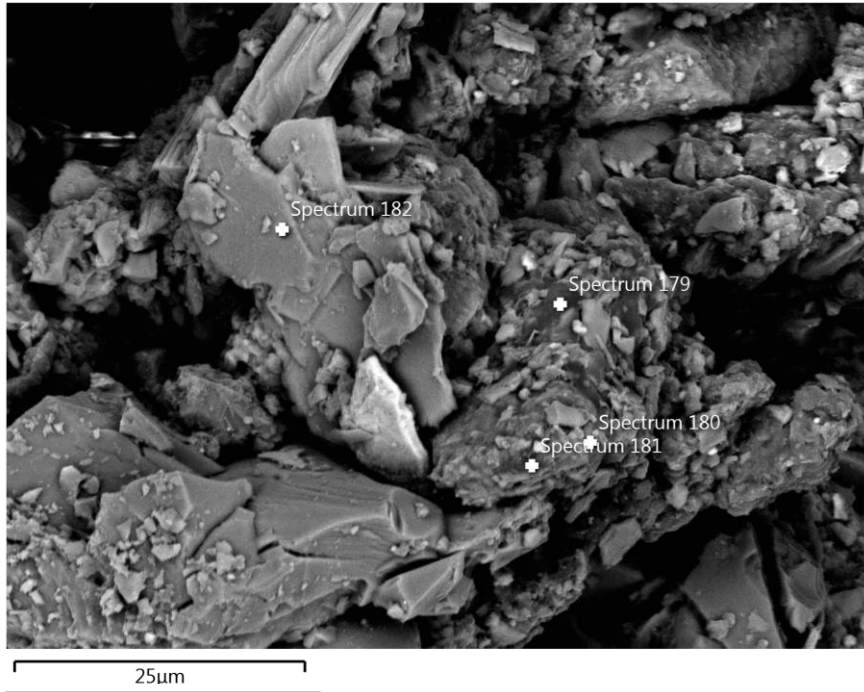
Spectrum Label	Spectrum 171	Spectrum 172	Spectrum 173	Spectrum 174	Spectrum 176	Spectrum 177
C		45.91	33.20			
O	50.26	28.59	37.62	32.33	57.29	49.03
Na	2.68	1.52	5.26		0.32	1.20
Mg		1.10	0.60			0.25
Al	0.29	2.32	4.92	0.57	0.30	0.43
Si	41.95	5.35	13.12	2.49	42.09	45.84
S		0.58	0.99			
Cl	4.57	0.80	1.76			1.21
K	0.25	0.74	0.43			0.23
Ca		0.62	1.14	0.50		0.35
<u>Mn</u>				0.95		
Fe		12.48	0.97	63.17		1.46
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE G

EDS Layered Image 16



Electron Image 63

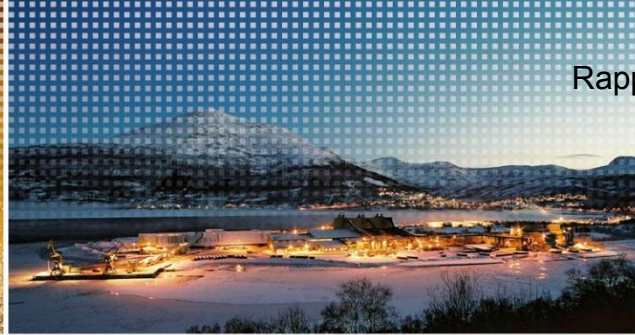


Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 179	Spectrum 180	Spectrum 181	Spectrum 182
C	81.81	41.27	70.44	
O	12.74	32.95	12.74	37.85
Na	0.32	1.99	1.50	0.90
Mg	0.32	1.50	0.33	0.70
Al	0.74	4.59	3.07	18.93
Si	1.28	7.78	7.17	26.35
S	1.46	0.59	2.41	
Cl	0.31	1.97	0.53	0.62
K	0.18	2.56		10.89
Ca	0.24		0.55	
Fe	0.60	4.80	1.25	3.77
Total	100.00	100.00	100.00	100.00







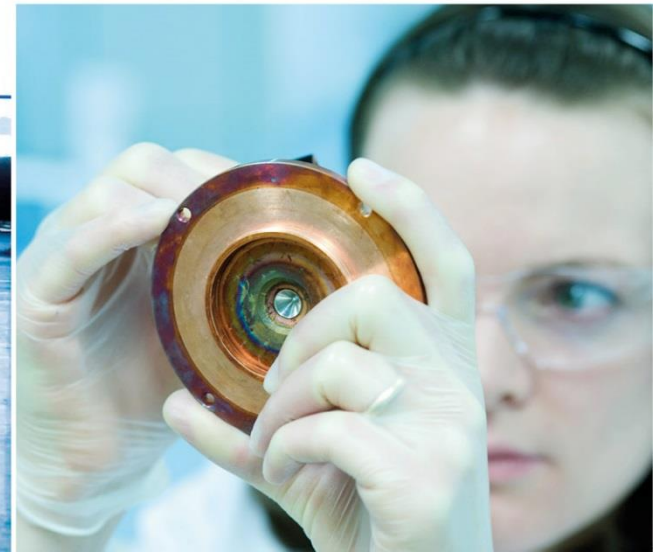
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 101



## Prosjekt Karmøy, prøve H: LFH3.5

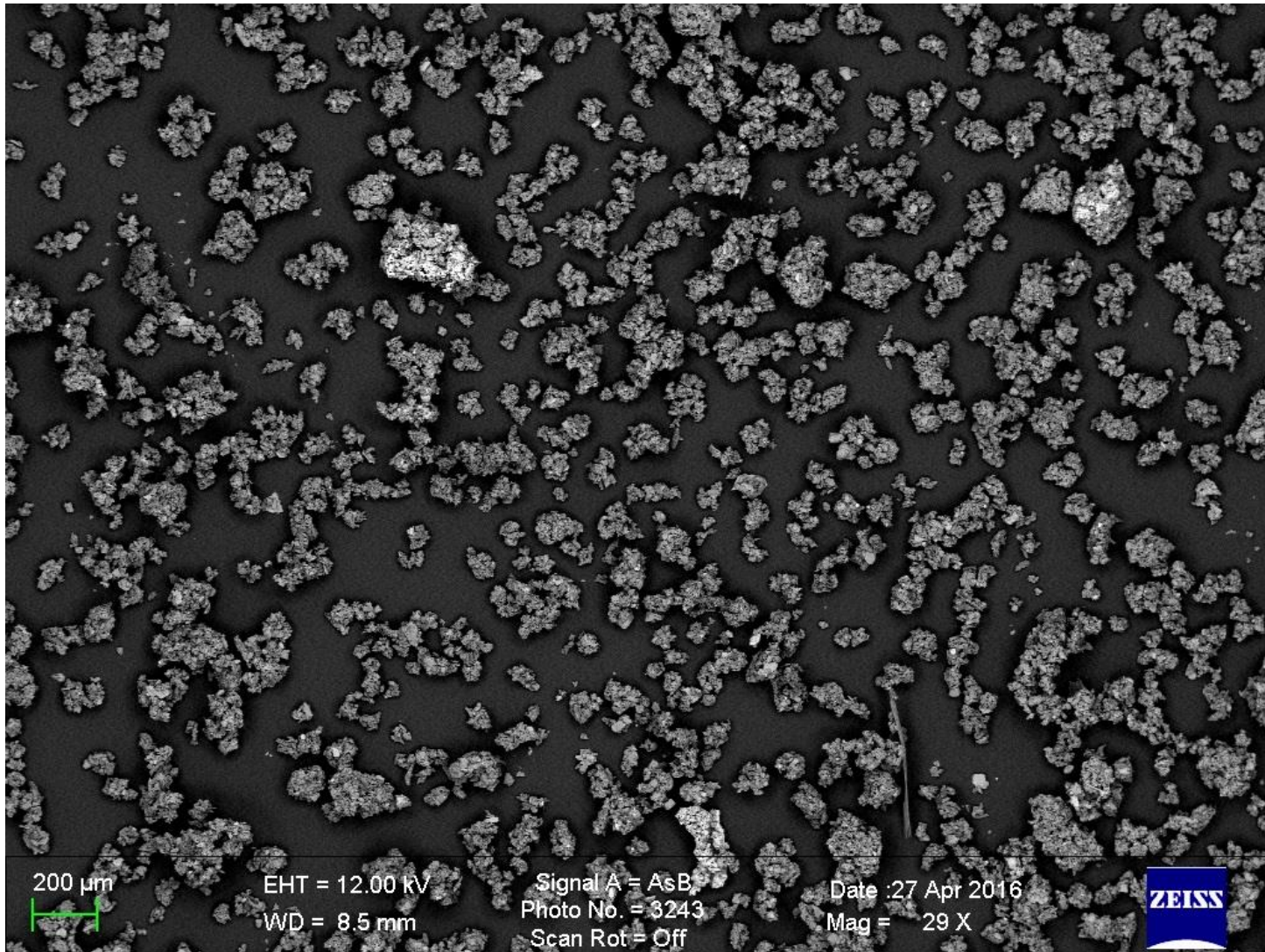
LFH3.5	Lydfelle høyre 3,5 m fra grunn
--------	--------------------------------

SEM-analyser, vår ref.- M216-115  
Anders H. Amundsen, 25.05.2016

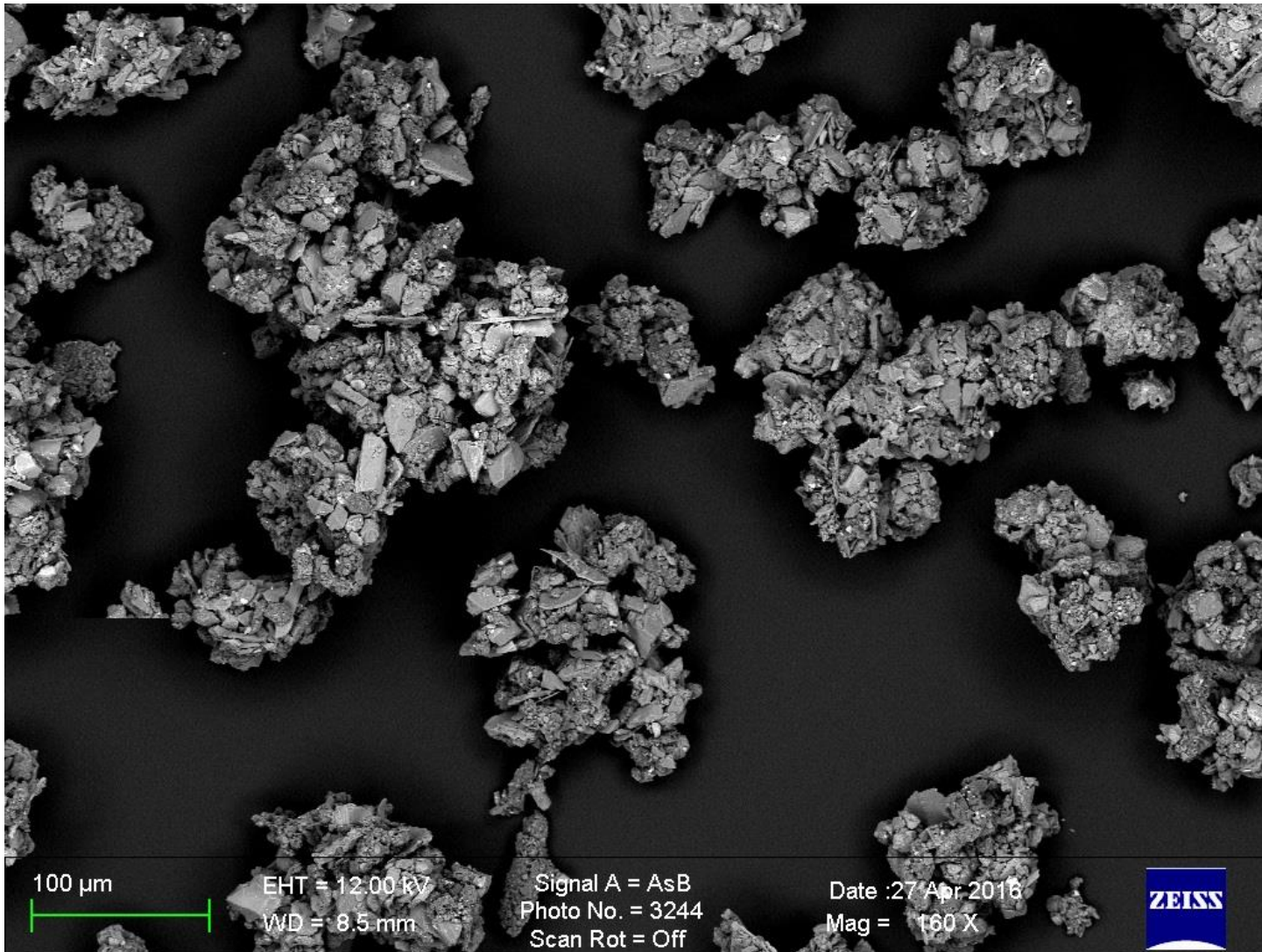


## PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

SEM. Oversiktsbilde  
(dryssprøve).



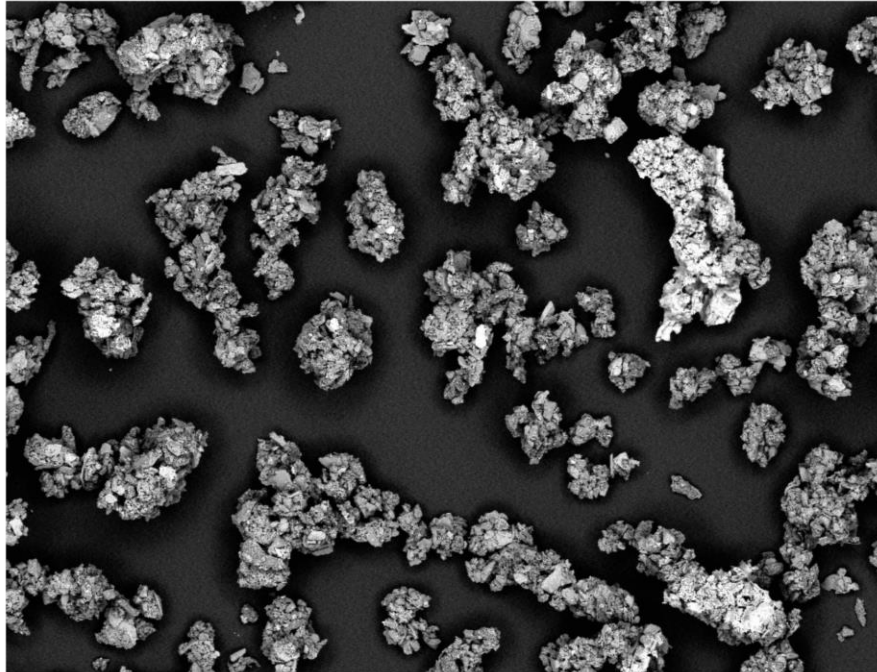
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE H



Typiske agglomerater i mottatt prøve.

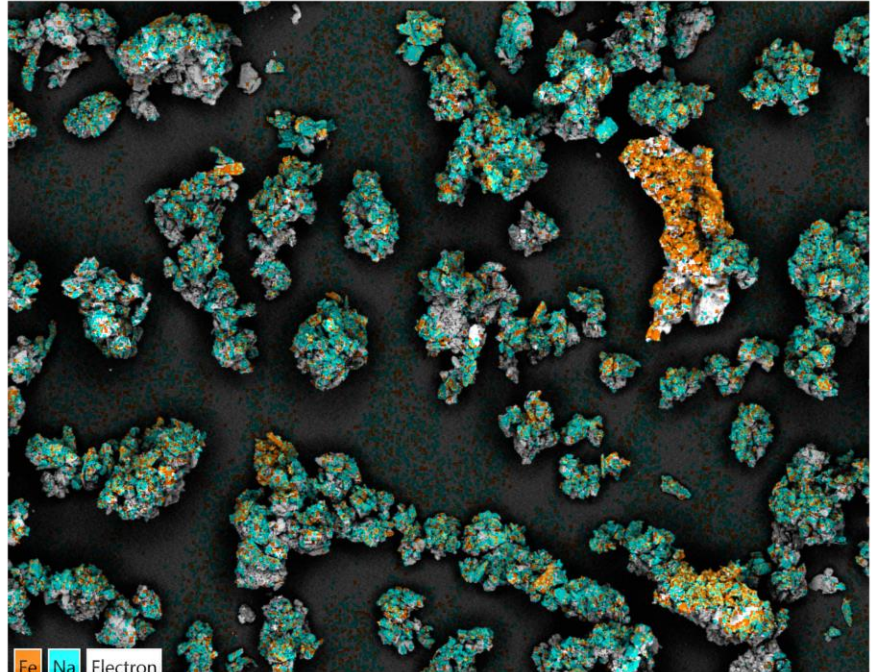
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

Electron Image 64



250µm

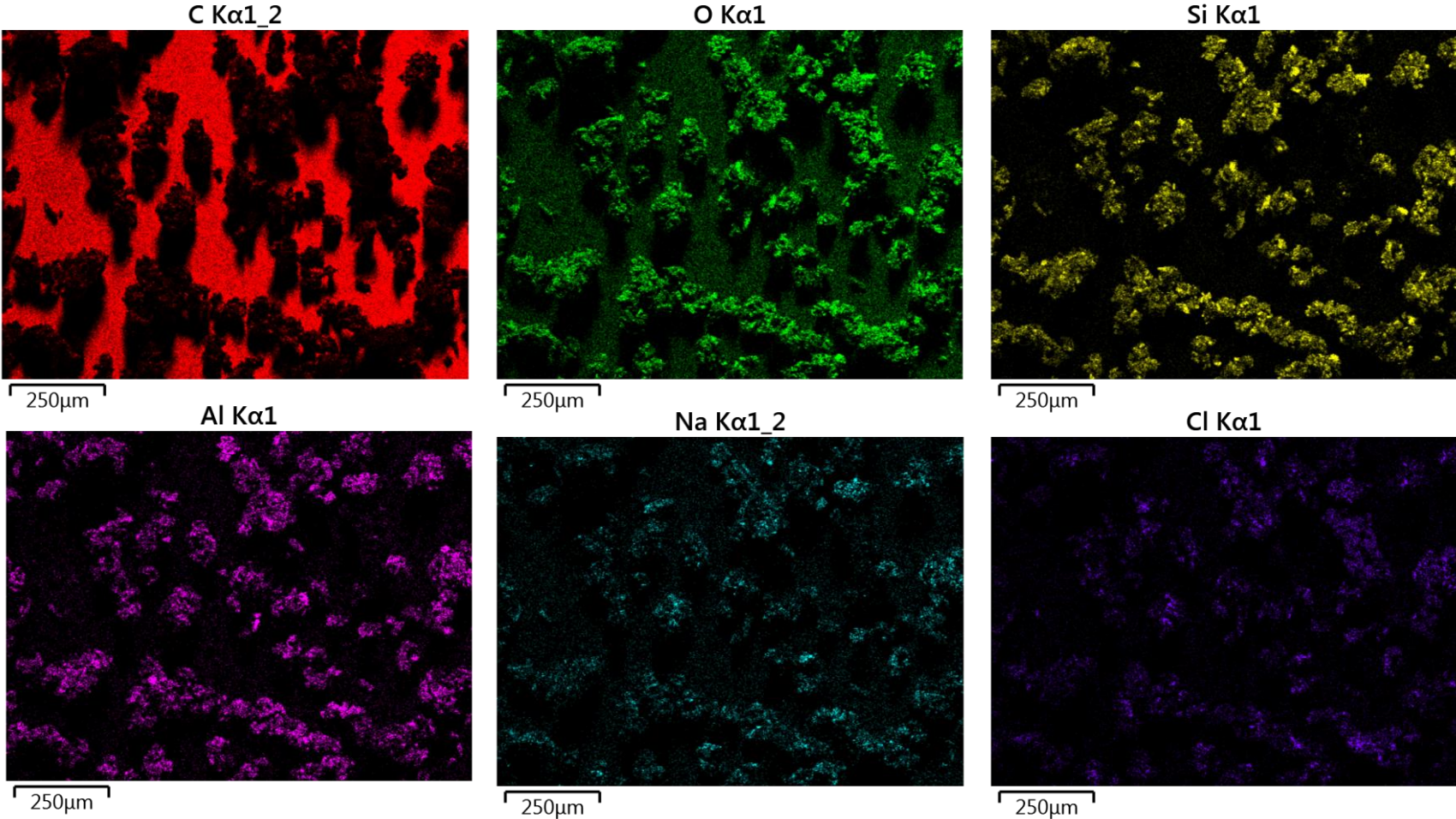
EDS Layered Image 17



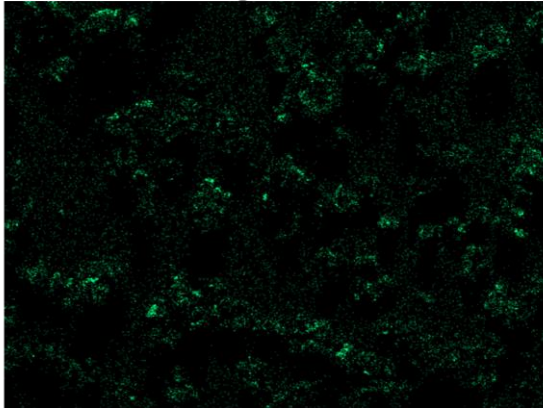
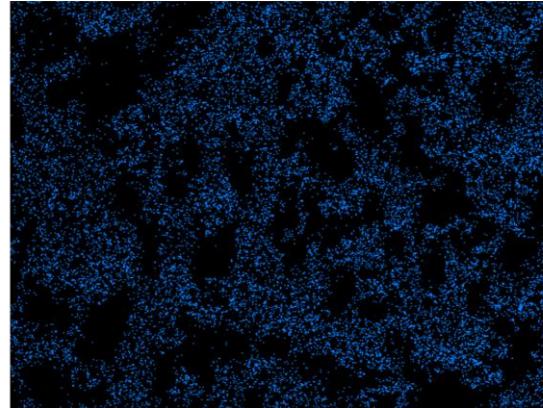
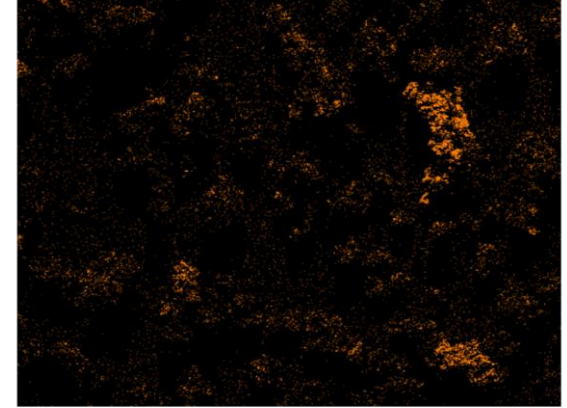
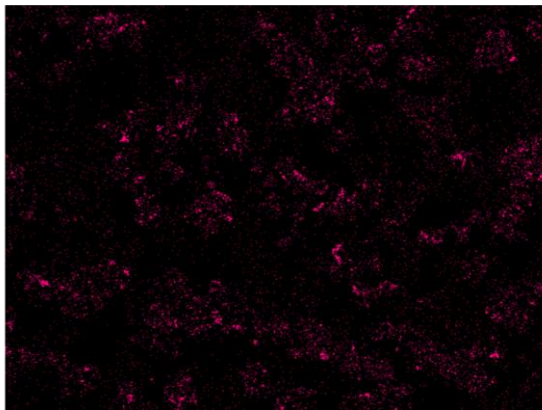
250µm

Mapping over en samling med agglomerater. Fe og Na er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H



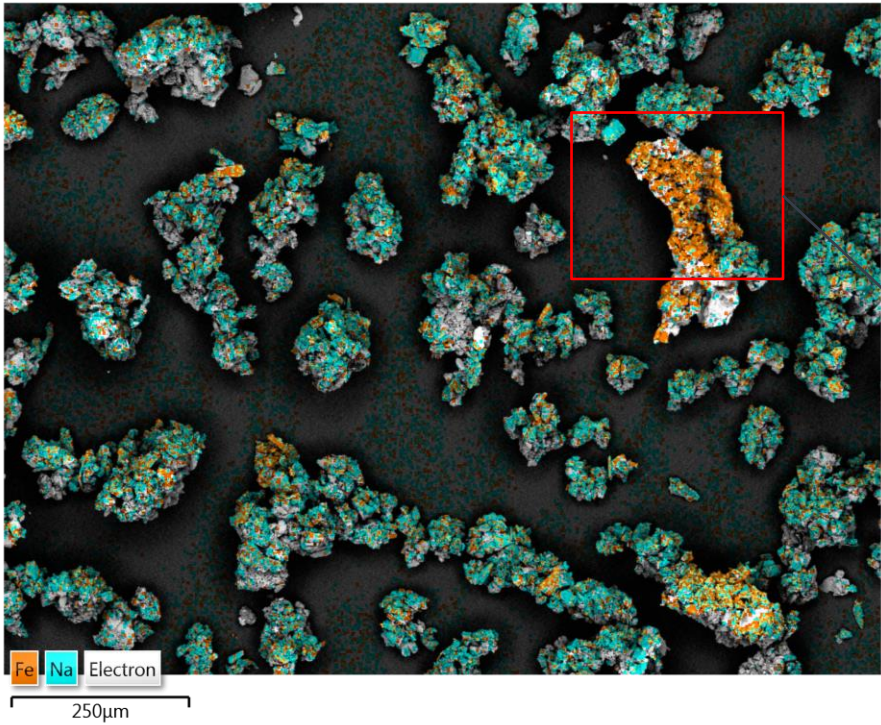
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

Mg  $K\alpha_{1,2}$ S  $K\alpha_1$ Fe  $L\alpha_{1,2}$ Ca  $K\alpha_1$ 

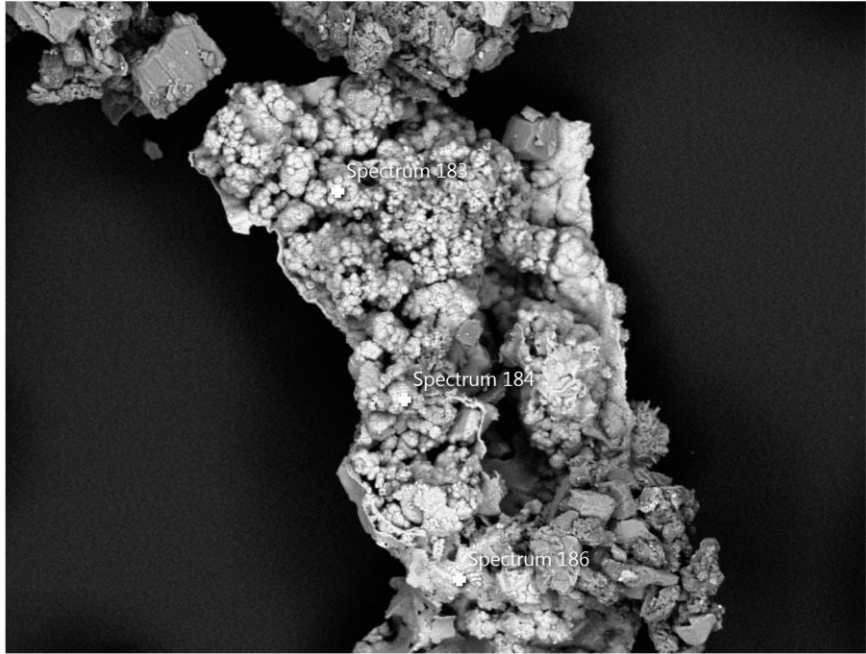
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

EDS Layered Image 17



Electron Image 65

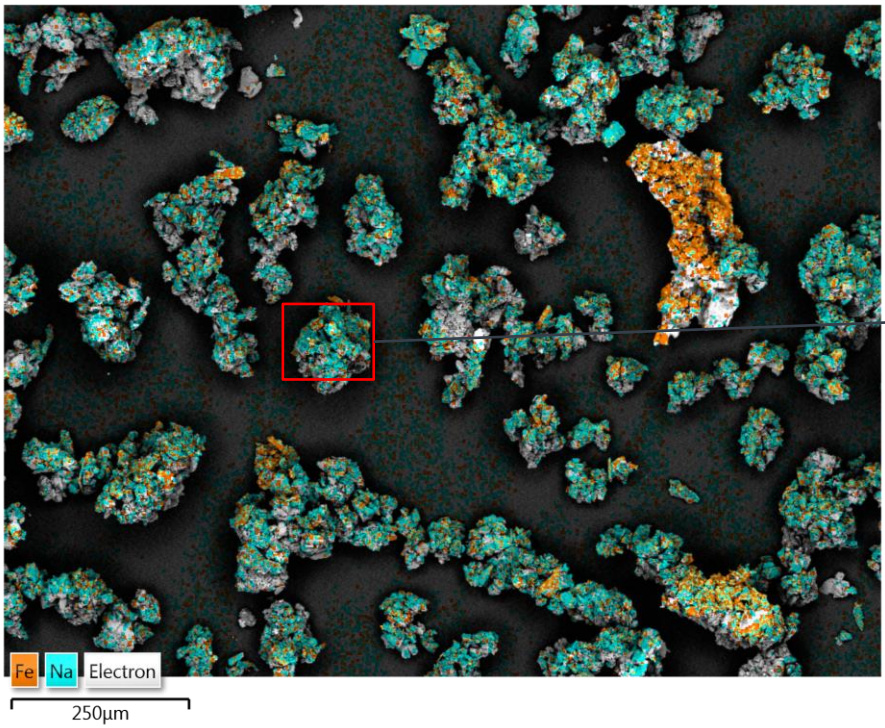


Result Type	Weight %
-------------	----------

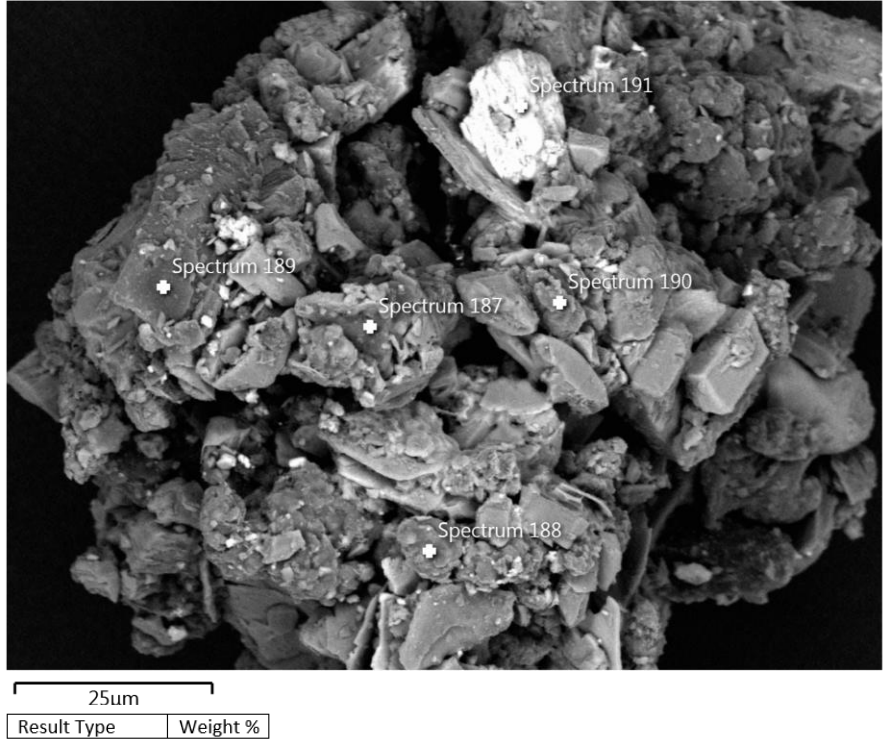
Spectrum Label	Spectrum 183	Spectrum 184	Spectrum 186
O	10.72	33.41	39.39
Si		0.58	
S			0.21
Cl	6.01	6.26	5.81
Fe	83.26	59.75	54.59
Total	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

EDS Layered Image 17



Electron Image 66

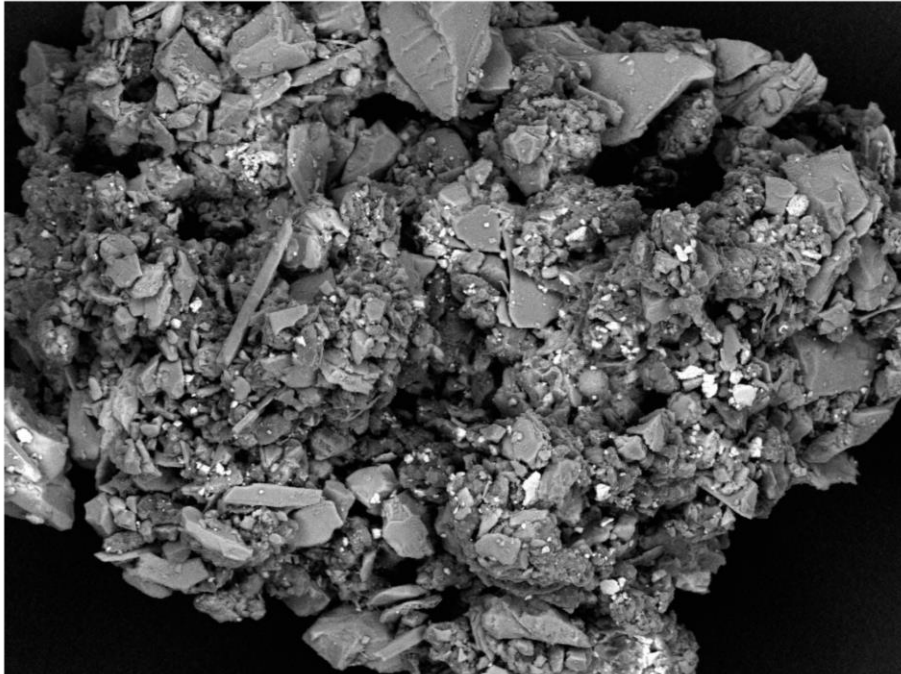


	Result Type	Weight %			
Spectrum Label	Spectrum 187	Spectrum 188	Spectrum 189	Spectrum 190	Spectrum 191
C		54.61	75.24	53.78	
O	12.08	28.42	18.74	23.25	38.91
Na	1.20	1.95	2.00	1.71	0.56
Mg	4.29	0.33	0.17	0.99	0.27
Al	8.84	1.22	0.15	3.19	1.22
Si	34.92	9.25	0.10	9.34	14.28
S	6.33	0.92	0.29	1.27	
Cl	2.72	1.44	1.98	1.49	0.51
K	5.01	0.34		0.89	
Ca	10.27	0.44	1.33	0.66	0.36
Fe	14.34	1.09		3.42	2.18
Zr					40.39
Hf					1.31
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



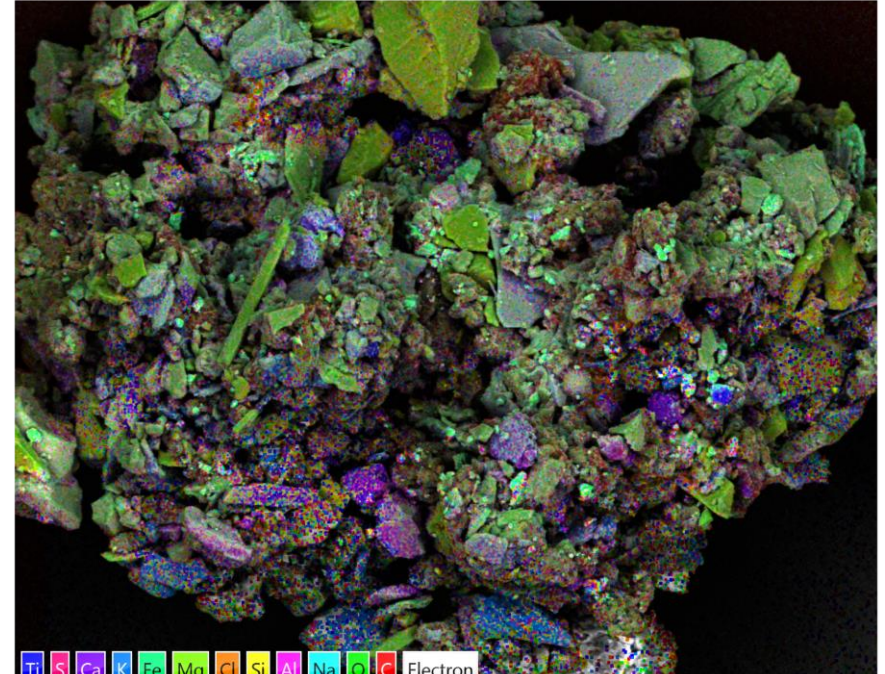
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

Electron Image 67



100µm

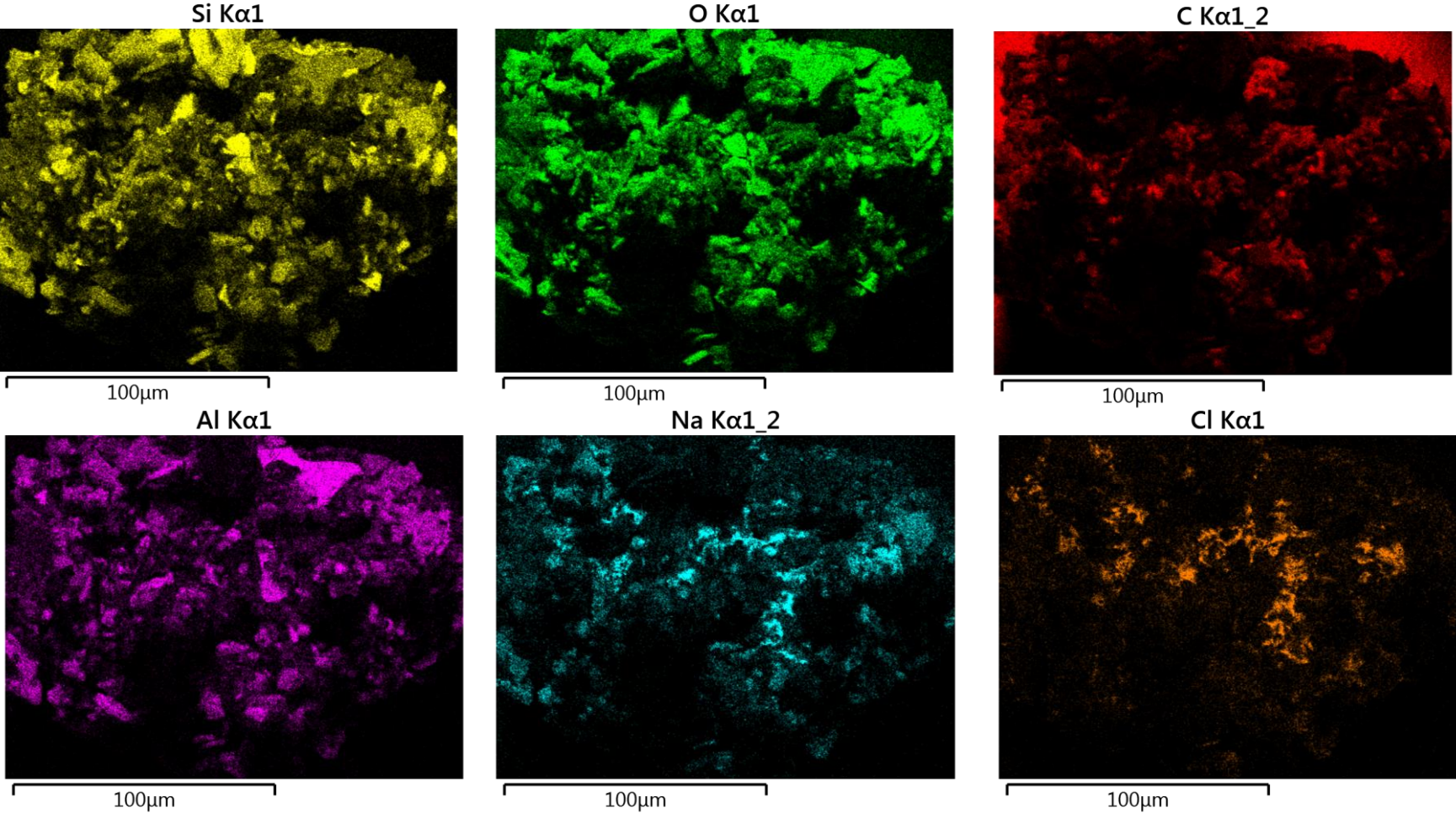
EDS Layered Image 18



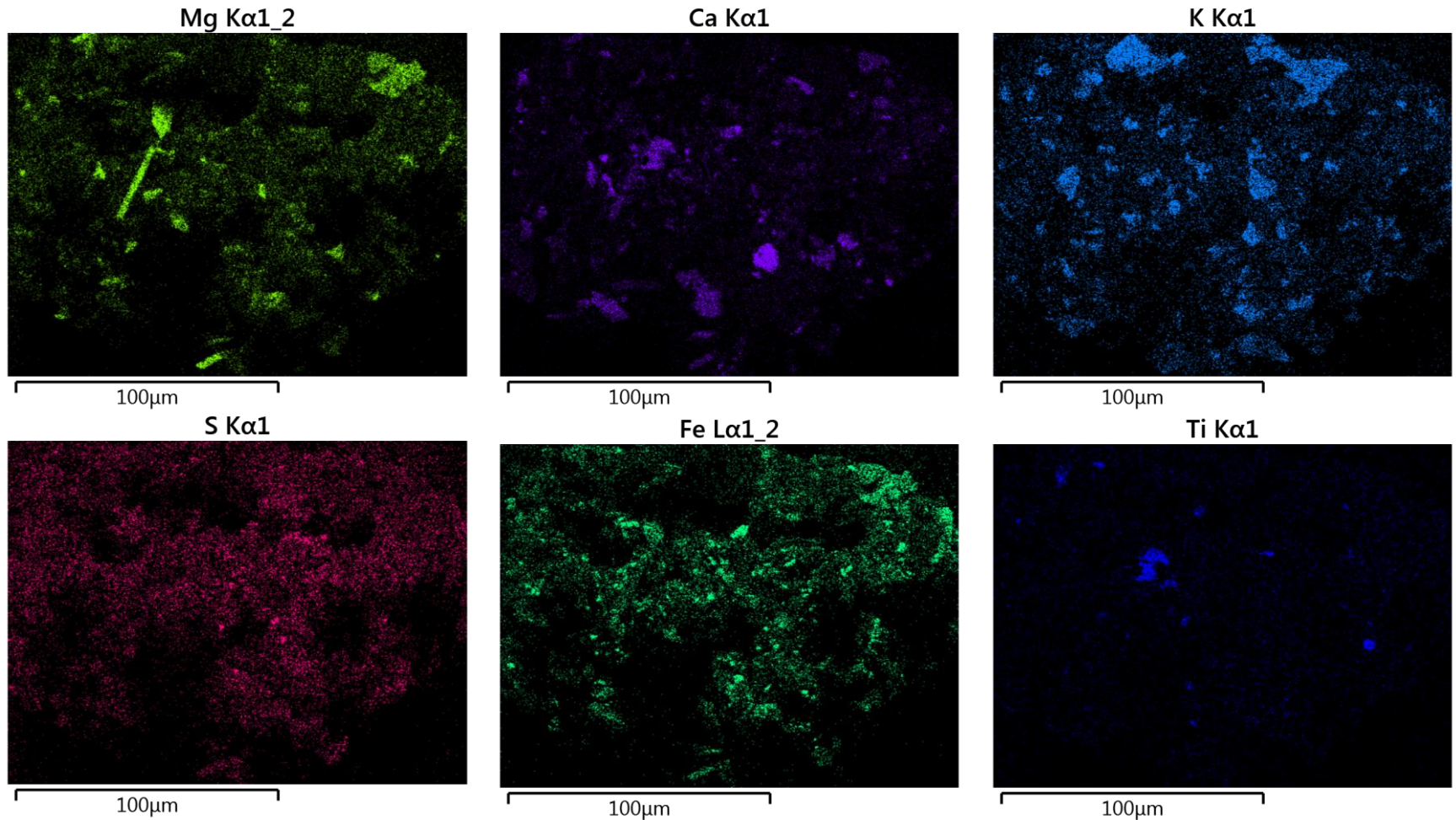
100µm

Mapping over et agglomerat. Alle elementene (og fargene) er tatt med her. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H



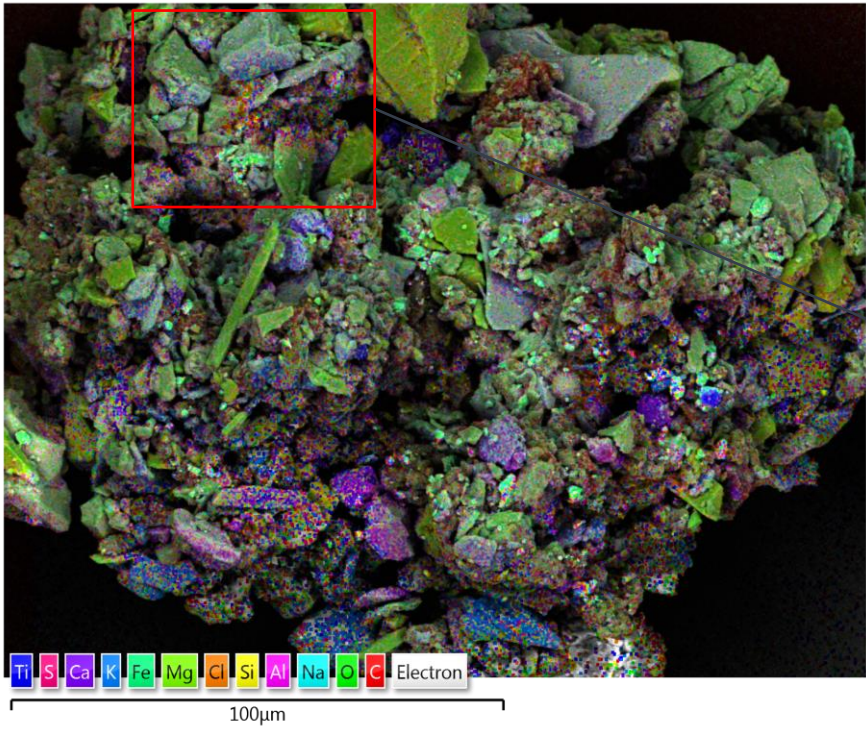
## PROSJEKT KARMØY, PRØVE H



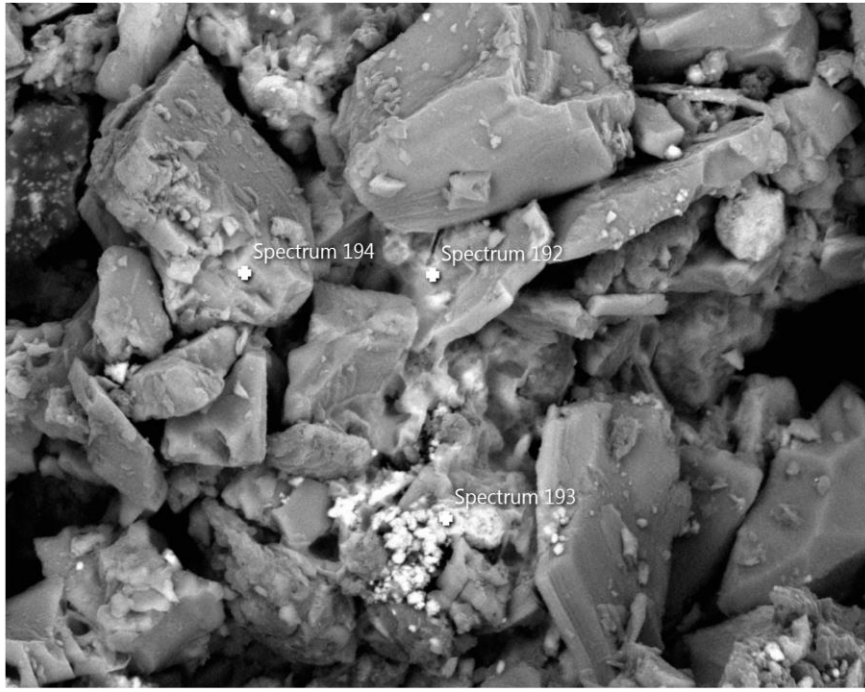
Ovenfor er alle hovedelementene i agglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie.konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne kan forstyrre litt.

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

EDS Layered Image 18



Electron Image 68

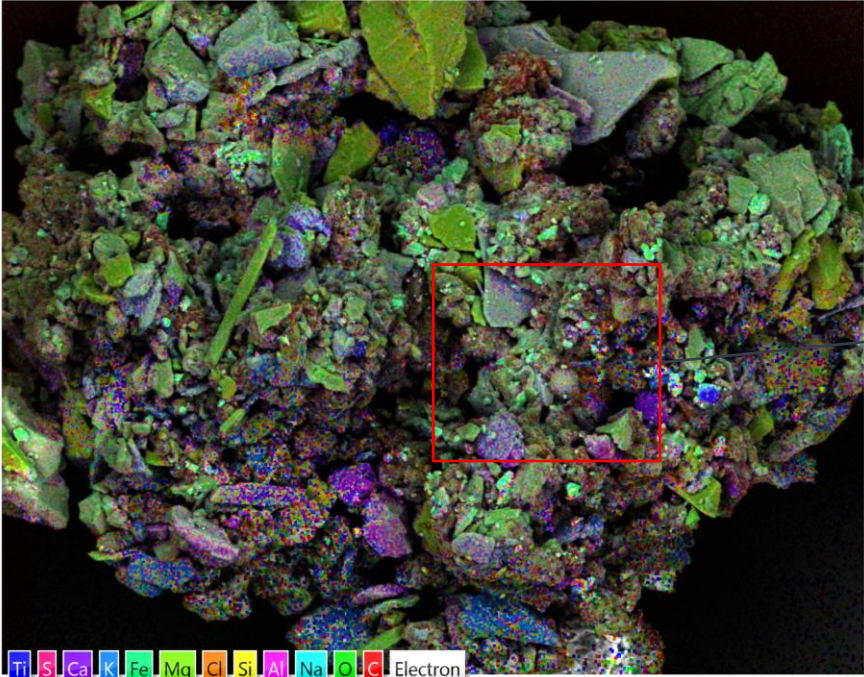


Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 192	Spectrum 193	Spectrum 194
C	29.06	21.00	
O	19.19	36.67	46.58
Na	1.44	1.25	1.06
Mg	0.29	0.54	
Al	2.04	0.59	9.60
Si	6.21	1.76	28.34
S	0.44	0.50	
Cl	30.66	1.16	0.52
K	1.43	0.09	12.11
Ca	2.49	0.85	
Mn		0.37	
Fe	6.75	35.22	0.78
Pd			1.00
Total	100.00	100.00	100.00

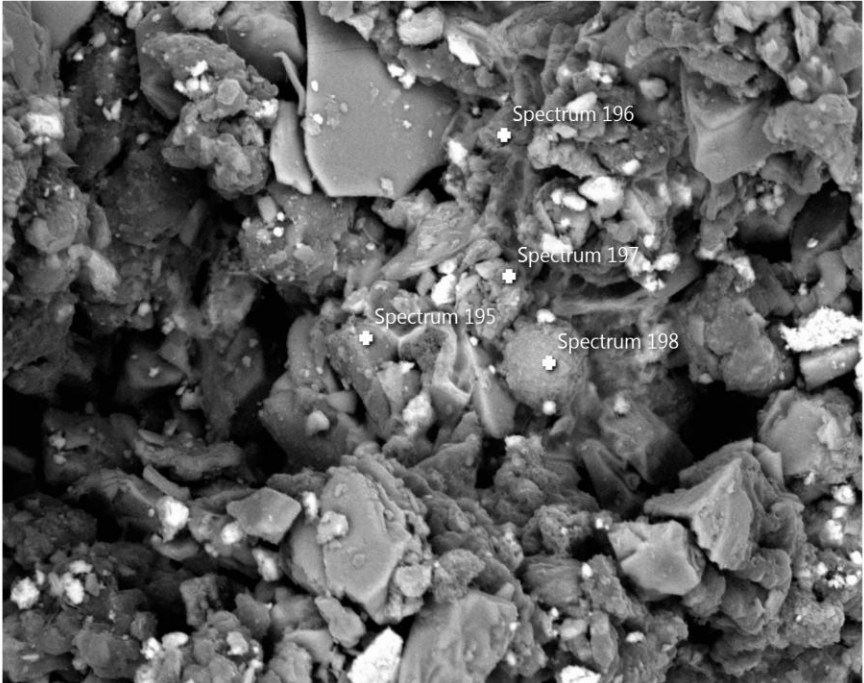
# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

EDS Layered Image 18



100µm

Electron Image 69



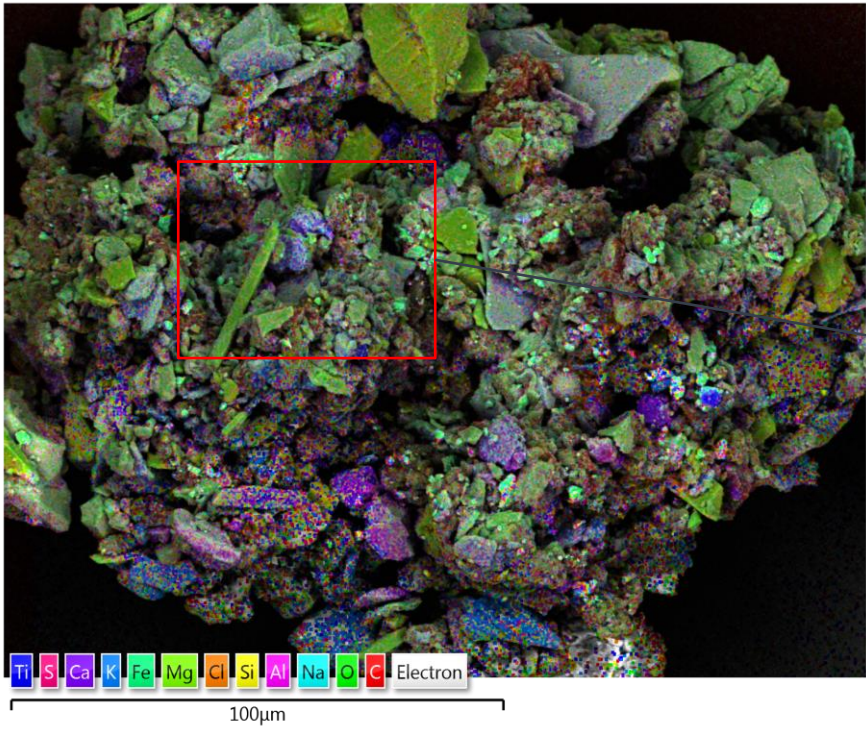
10µm

Result Type	Weight %
-------------	----------

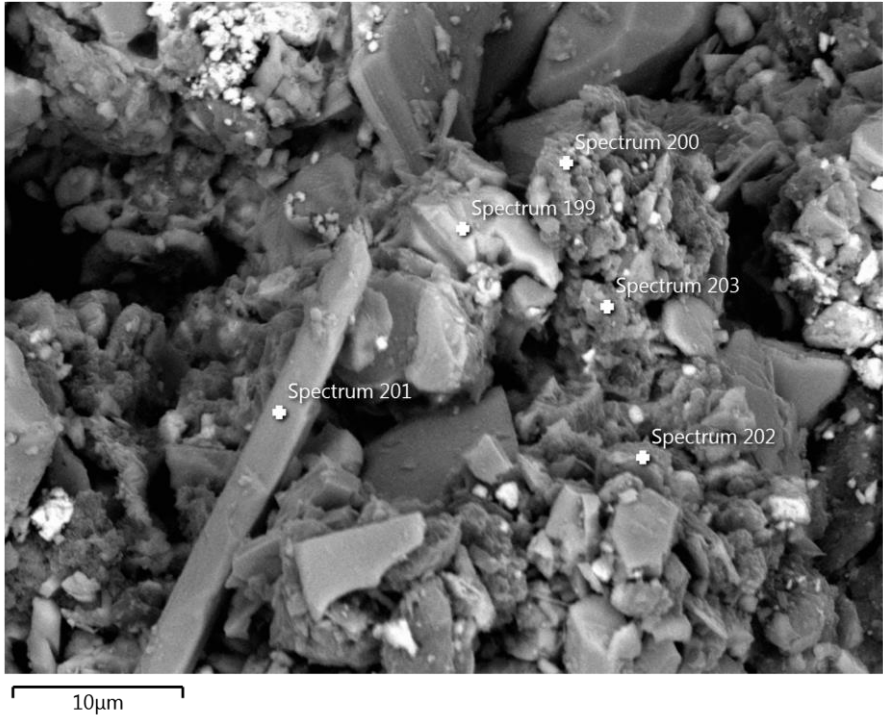
Spectrum Label	Spectrum 195	Spectrum 196	Spectrum 197	Spectrum 198
C	33.68	36.05	49.06	
O	42.45	34.87	23.21	52.68
Na	2.41	3.17	5.30	1.52
Mg	0.51	0.96	1.01	1.25
Al	3.03	8.04	1.82	13.59
Si	12.87	7.26	5.16	20.27
S	0.33	0.78	1.54	1.16
Cl	1.74	2.58	7.74	0.86
K	1.01	0.72	0.65	2.04
Ca	0.65	2.19	2.70	2.24
Ti	0.14			
Fe	1.17	3.38	1.81	4.39
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, PRØVE H

EDS Layered Image 18

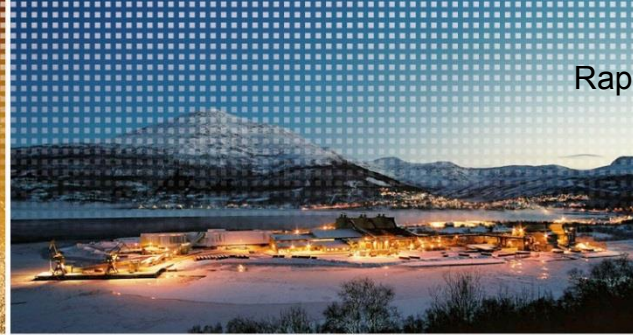


Electron Image 70



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 199	Spectrum 200	Spectrum 201	Spectrum 202	Spectrum 203
C		55.50		53.09	49.90
O	53.39	27.85	49.31	31.28	20.70
Na	0.38	1.12	0.24	1.22	2.76
Mg	0.29	0.44	10.40	0.41	1.04
Al	0.76	2.37	0.40	1.21	2.76
Si	12.28	7.49	24.58	8.95	7.82
S		0.44		0.76	1.32
Cl	0.38	0.89		0.86	3.92
K		2.10		0.22	0.92
Ca	14.89	0.35	8.15	0.64	3.33
Ti	17.01				0.63
Fe	0.62	1.45	6.92	1.36	4.89
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



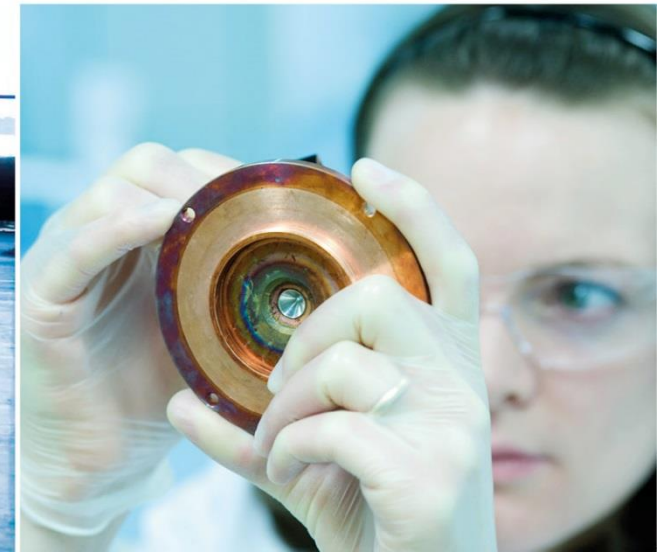
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 115



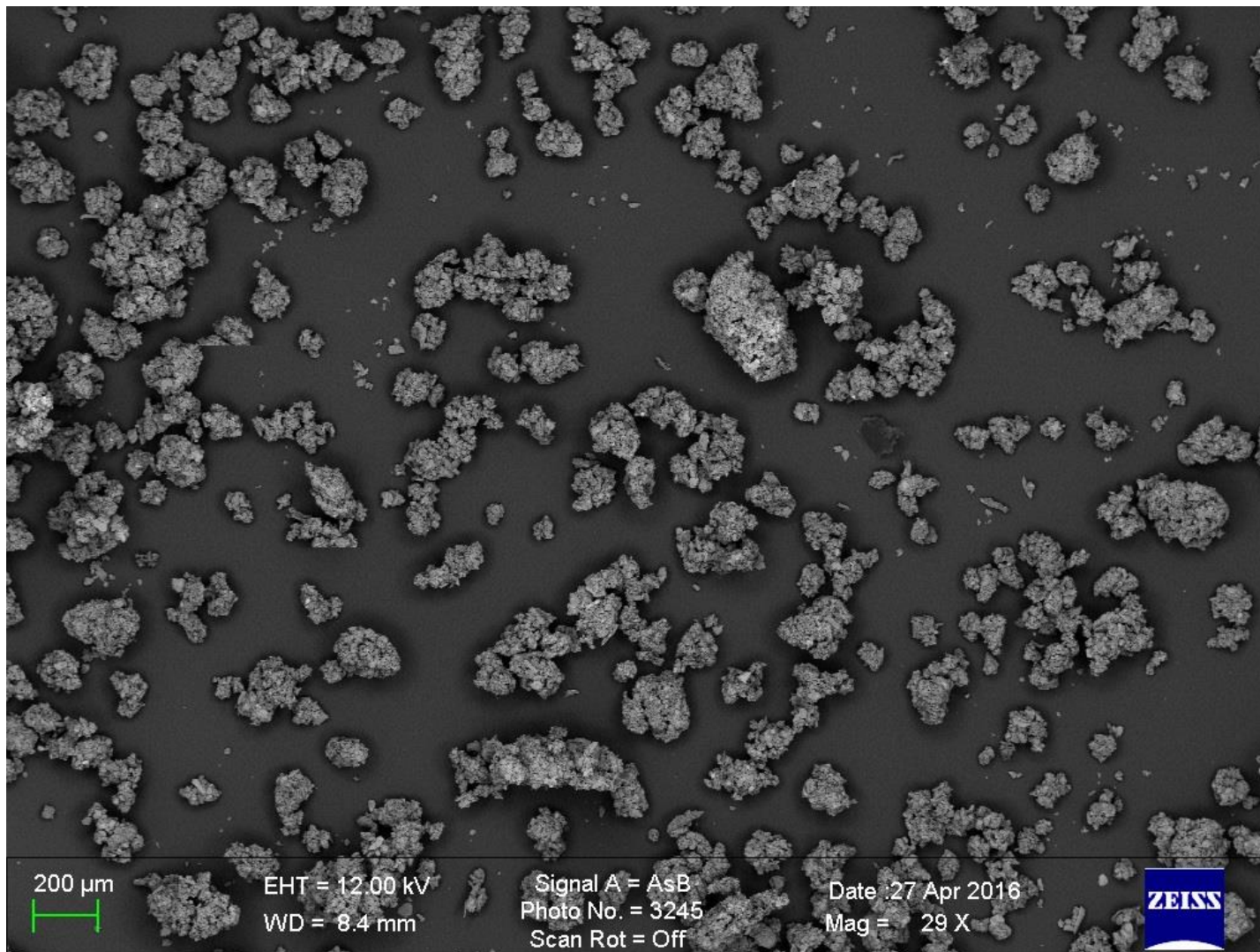
## Prosjekt Karmøy, Sample I: LFV4.5

LFV4.5	Lydfelle venstre 4,5 m fra grunn
--------	----------------------------------

SEM-analyser, vår ref. M216-115  
Anders H. Amundsen, 24.05.2016



# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I



SEM. Oversiktsbilde  
(Dryssprøve).

200 µm



EHT = 12.00 kV

WD = 8.4 mm

Signal A = AsB  
Photo No. = 3245  
Scan Rot = Off

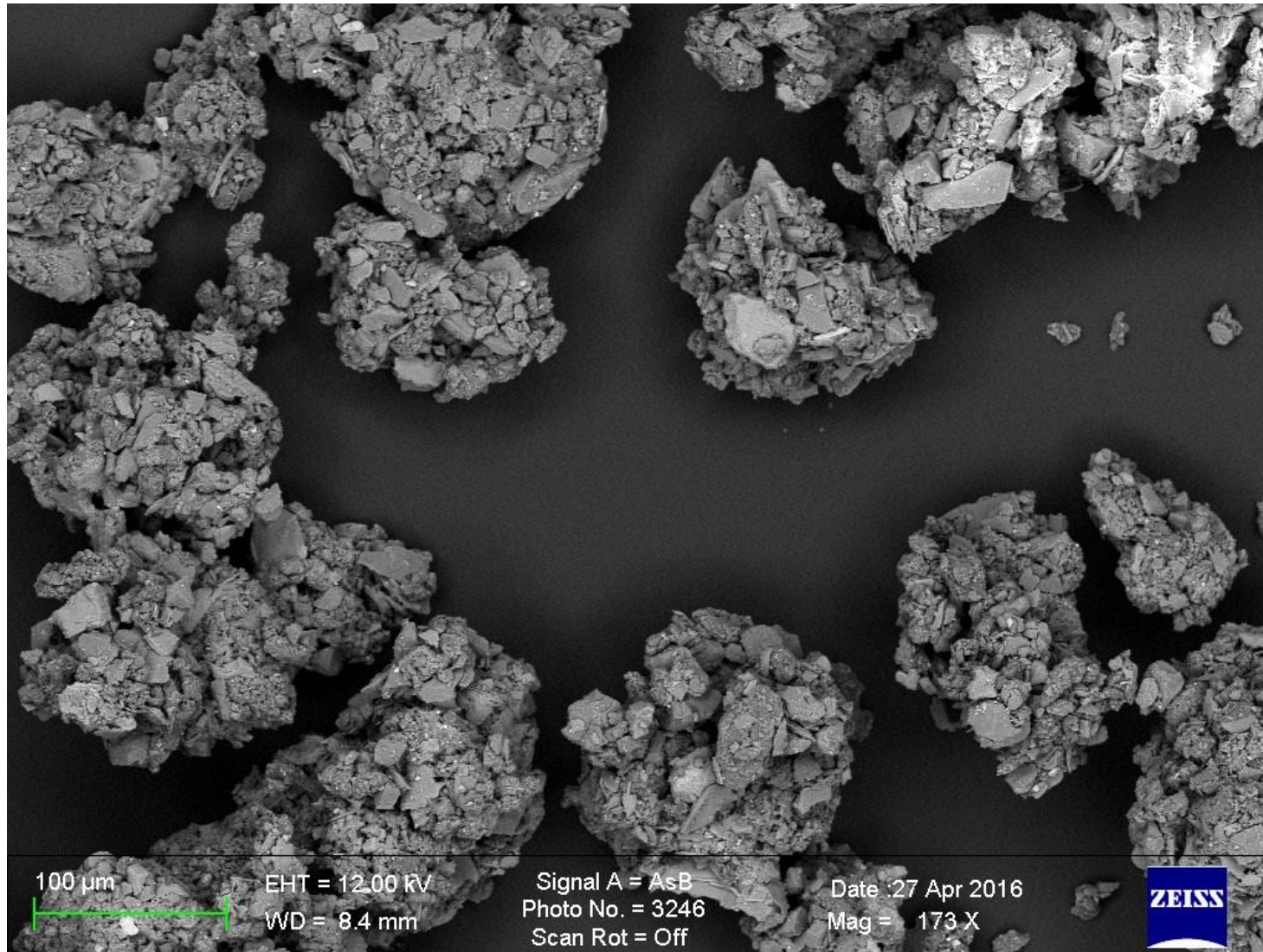
Date : 27 Apr 2016

Mag = 29 X





## PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I



Typiske agglomerater i mottatt prøve

100 µm

EHT = 12.00 kV

WD = 8.4 mm

Signal A = AsB  
Photo No. = 3246  
Scan Rot = Off

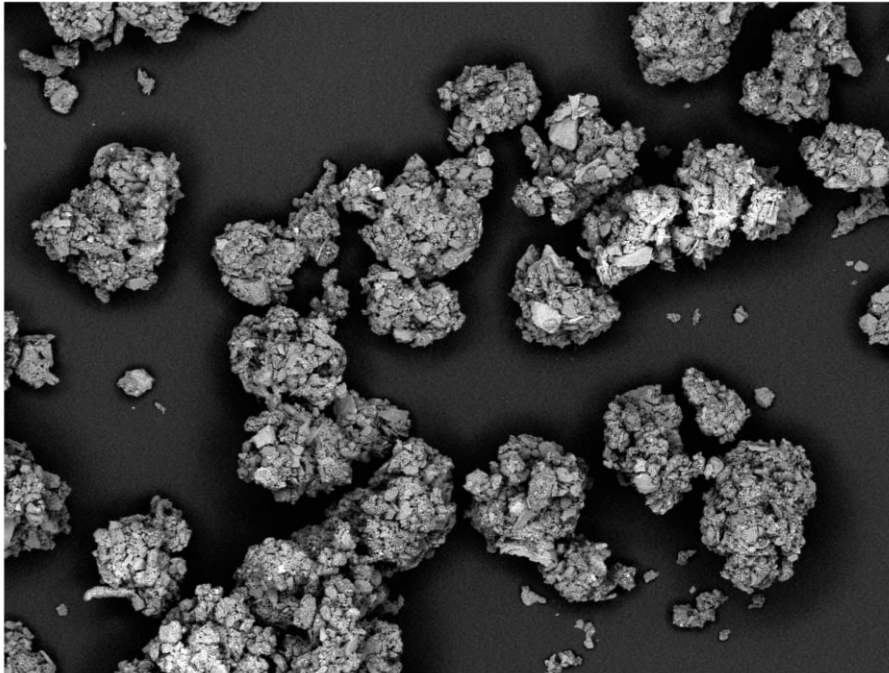
Date :27 Apr 2016

Mag = 173 X

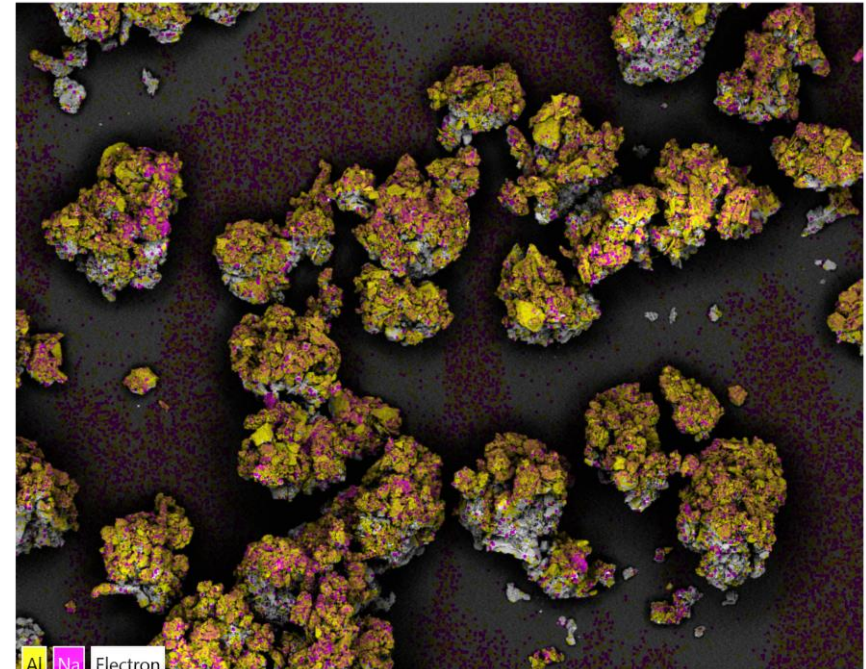


# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

Electron Image 71



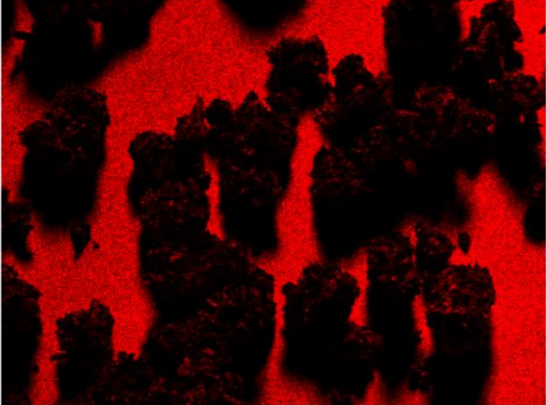
EDS Layered Image 19



Mapping over en samling med agglomerater. Al og Na er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

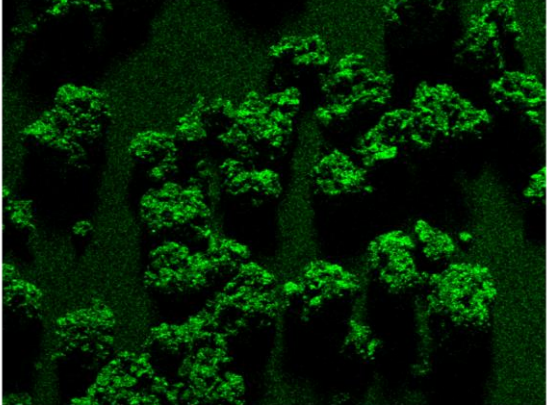
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

C K $\alpha$ 1\_2



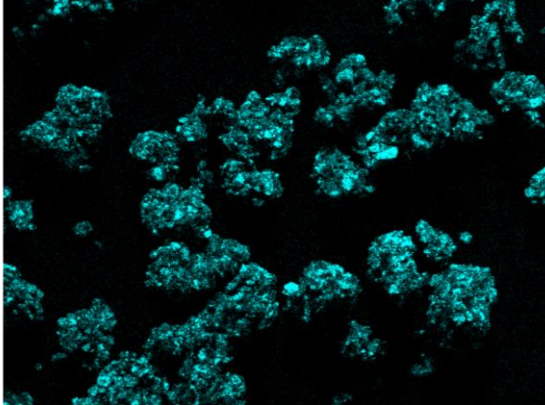
250 $\mu$ m

O K $\alpha$ 1



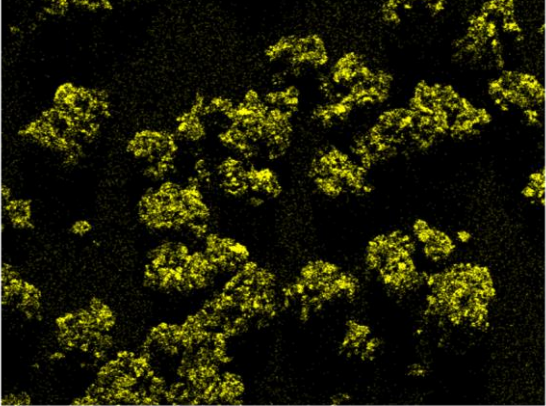
250 $\mu$ m

Si K $\alpha$ 1



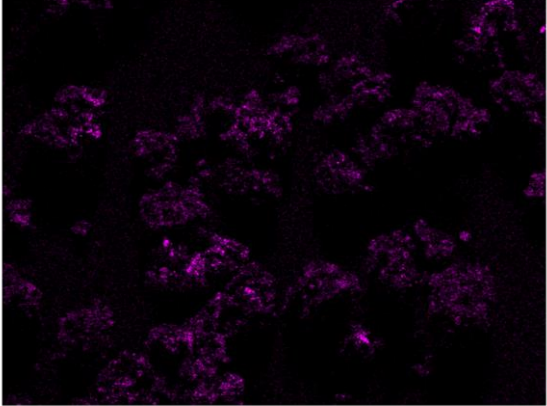
250 $\mu$ m

Al K $\alpha$ 1



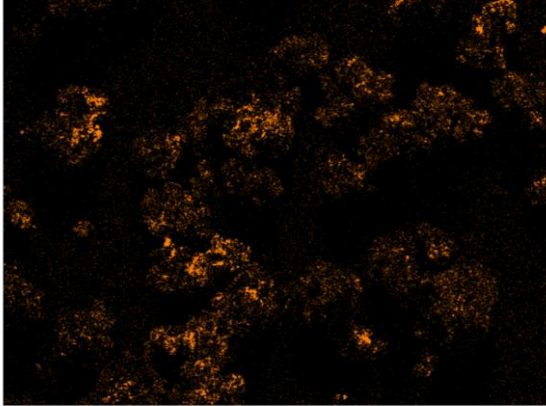
250 $\mu$ m

Na K $\alpha$ 1\_2



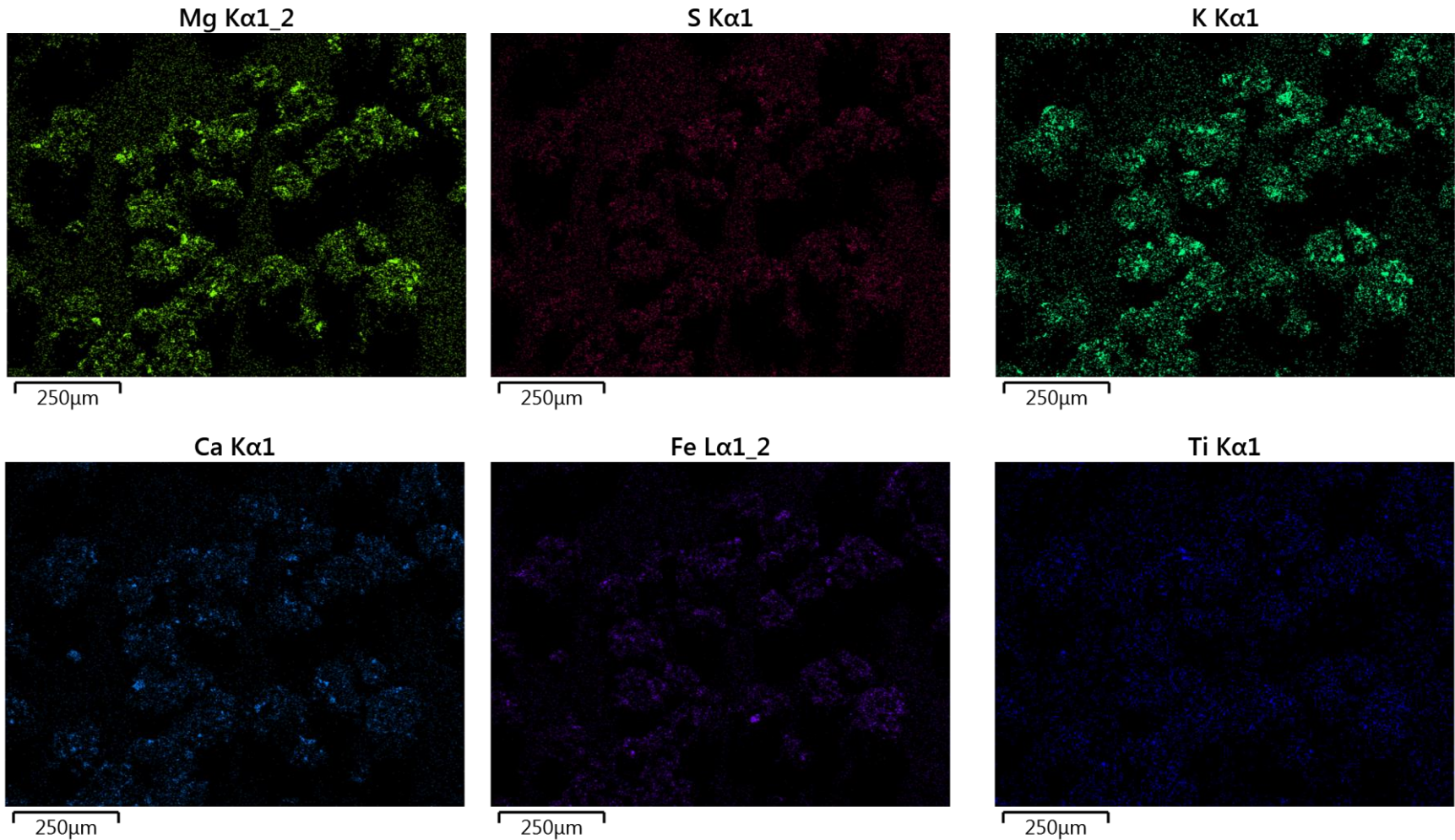
250 $\mu$ m

Cl K $\alpha$ 1



250 $\mu$ m

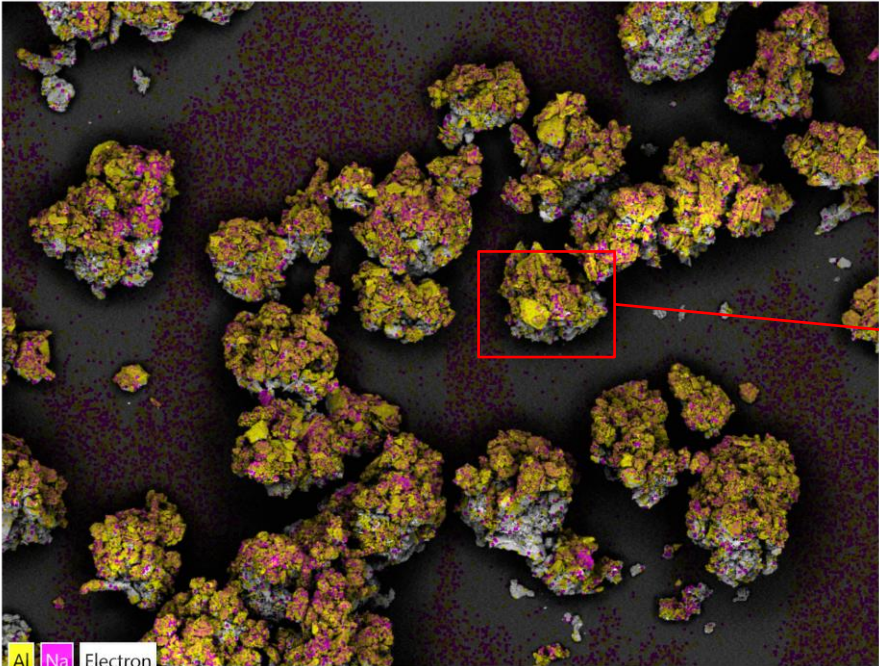
## PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I



Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie. konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

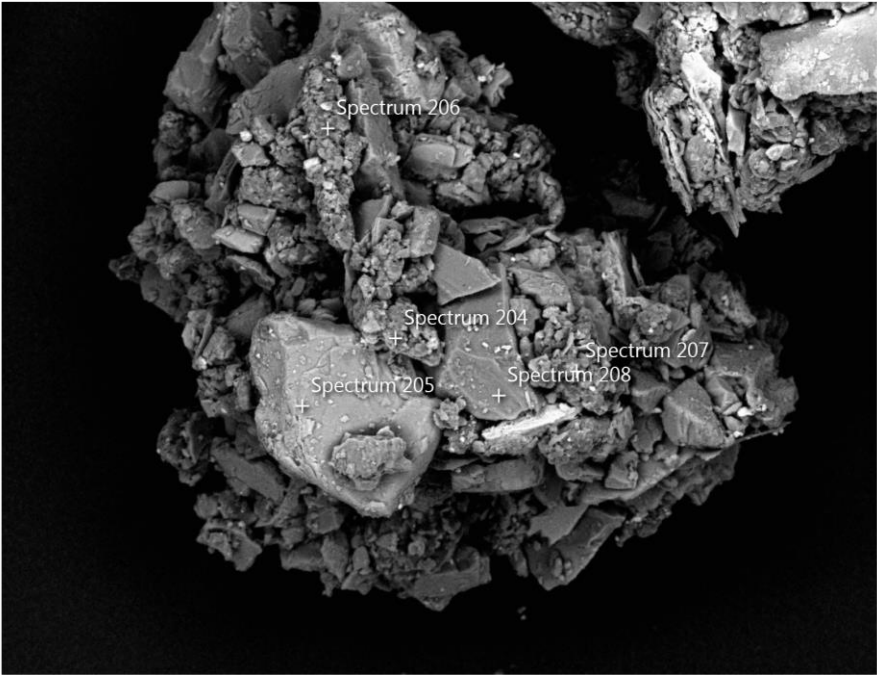
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

EDS Layered Image 19



Al Na Electron  
250µm

Electron Image 72

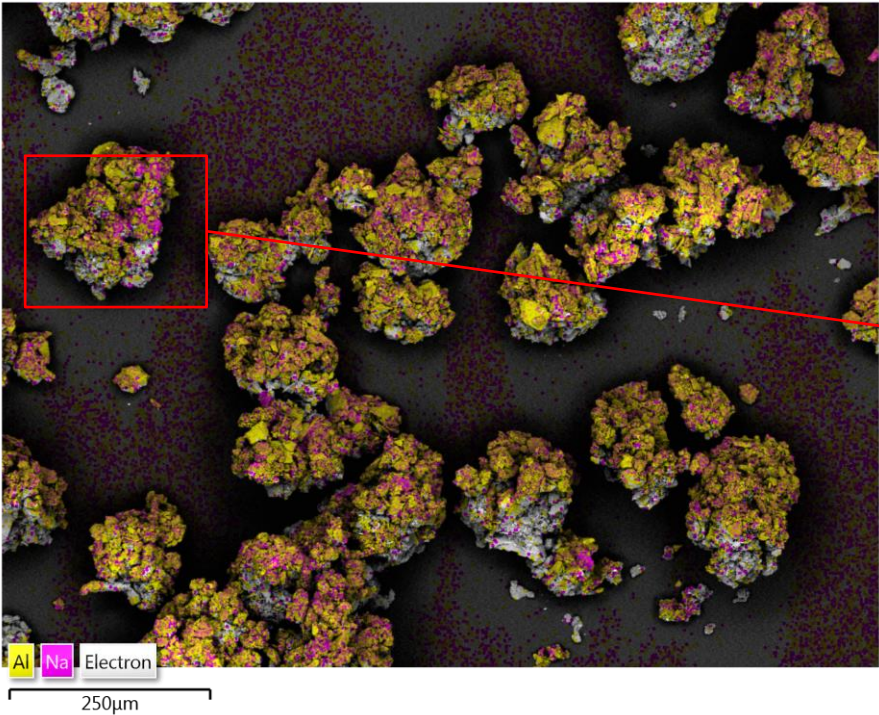


50µm  
Result Type Weight %

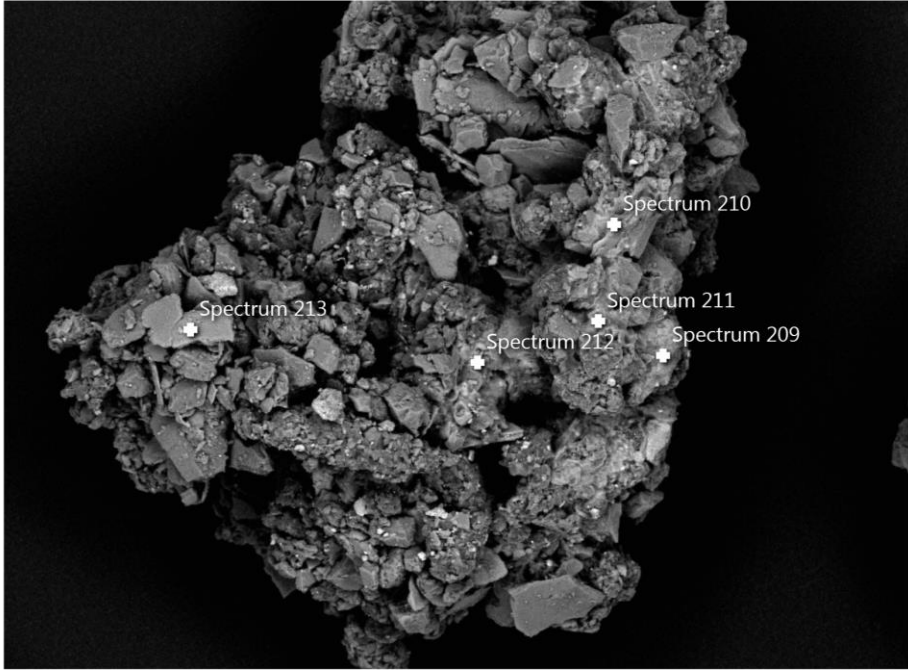
Spectrum Label	Spectrum 204	Spectrum 205	Spectrum 206	Spectrum 207	Spectrum 208
C	40.70		49.61		
O	15.56	29.22	32.84	24.73	54.18
Na	5.38	9.22	1.20	4.04	0.49
Mg	0.61	3.47	0.62	1.57	
Al	5.32	8.53	2.26	11.18	0.29
Si	15.85	15.34	10.16	27.40	43.33
S	1.01	0.26	0.41	3.17	
Cl	9.92	11.69	0.44	8.18	0.91
K	1.67	6.76	0.46	3.02	
Ca	0.80		0.22	7.58	
Ti		1.04			
Fe	3.18	14.46	1.77	9.13	0.79
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

EDS Layered Image 19



Electron Image 73

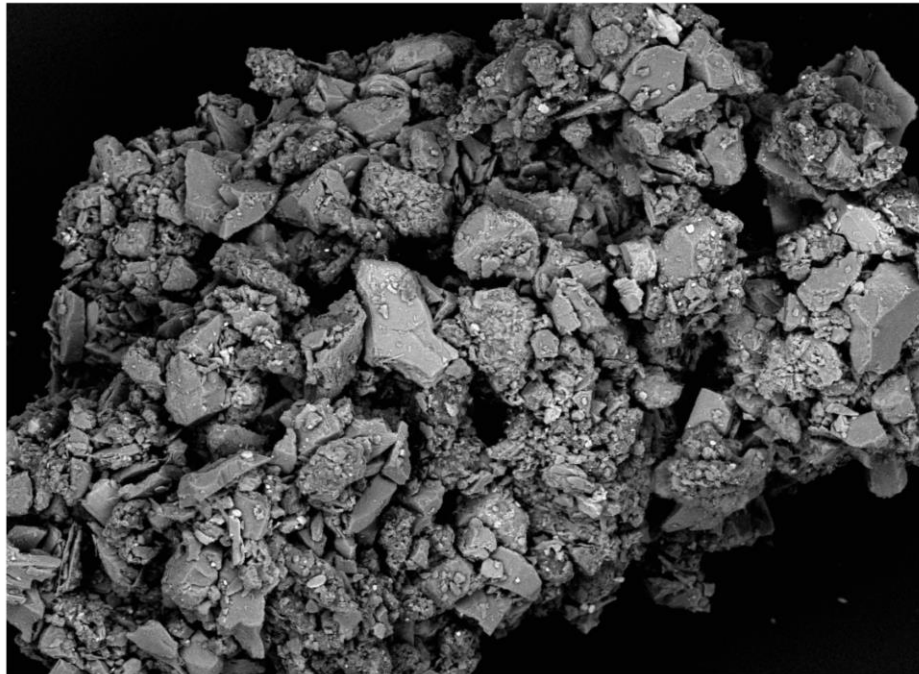


Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 209	Spectrum 210	Spectrum 211	Spectrum 212	Spectrum 213
C		23.28	25.18		
O	33.26	36.52	46.56	12.23	51.08
Na	22.83	10.72	5.47	18.30	
Mg		1.58	0.19	0.59	8.75
Al	4.87	2.86	4.96	1.38	10.43
Si	14.11	8.13	13.55	6.27	11.76
S		0.79	0.35		
Cl	24.18	12.19	2.25	56.49	0.52
K		0.54	0.15	0.73	
Ca	0.28	0.88	0.71	1.07	
Fe	0.47	2.50	0.62	2.94	17.47
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

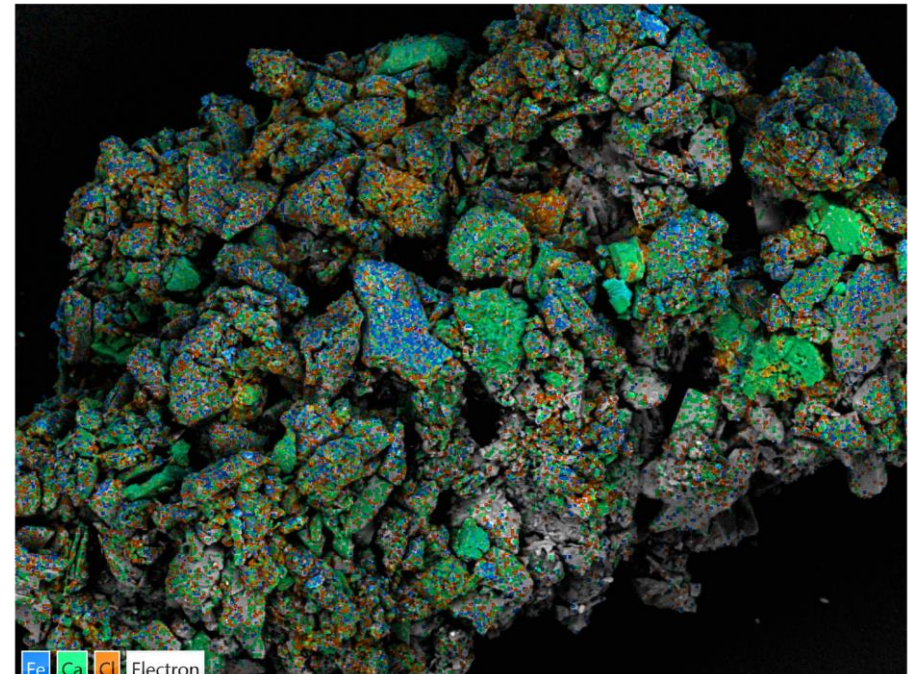
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

Electron Image 74



100µm

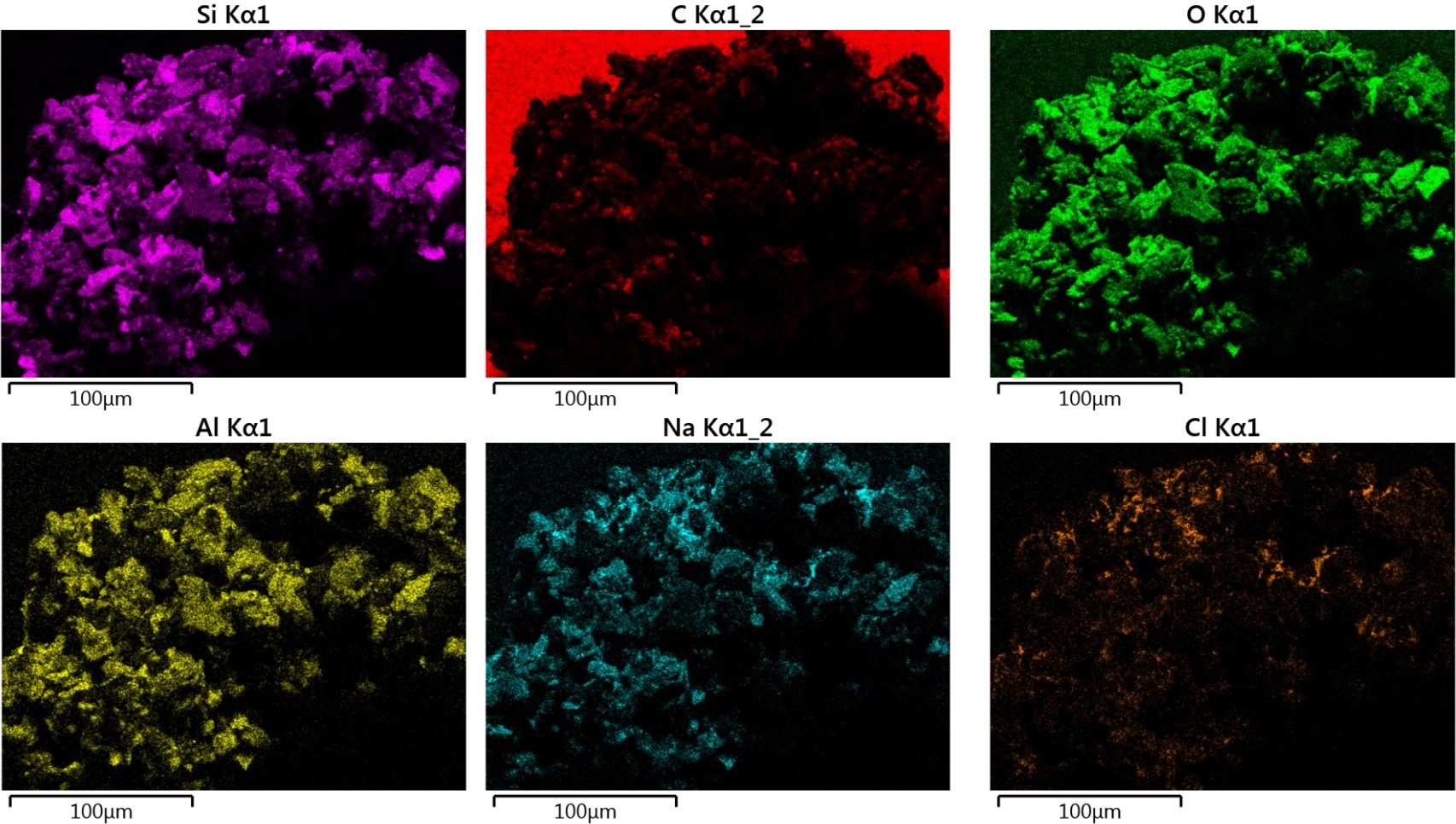
EDS Layered Image 20



100µm

Mapping over et agglomerat. Fe, Ca og Cl er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

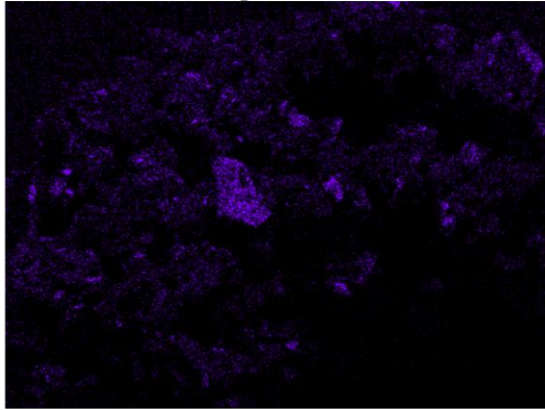




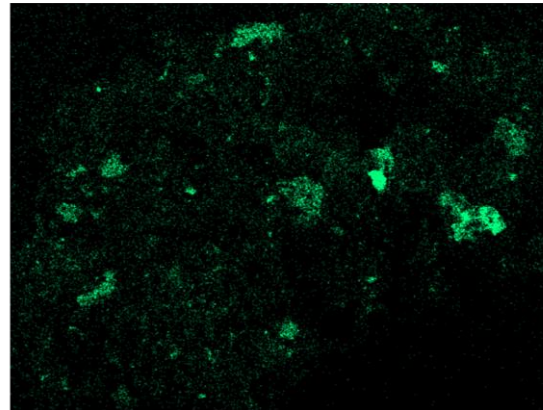
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

---

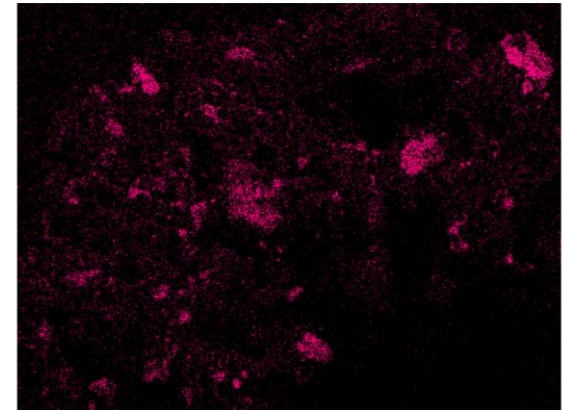
Mg K $\alpha$ 1\_2



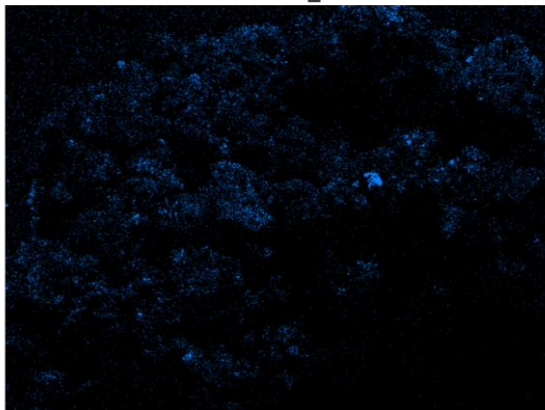
Ca K $\alpha$ 1



K K $\alpha$ 1



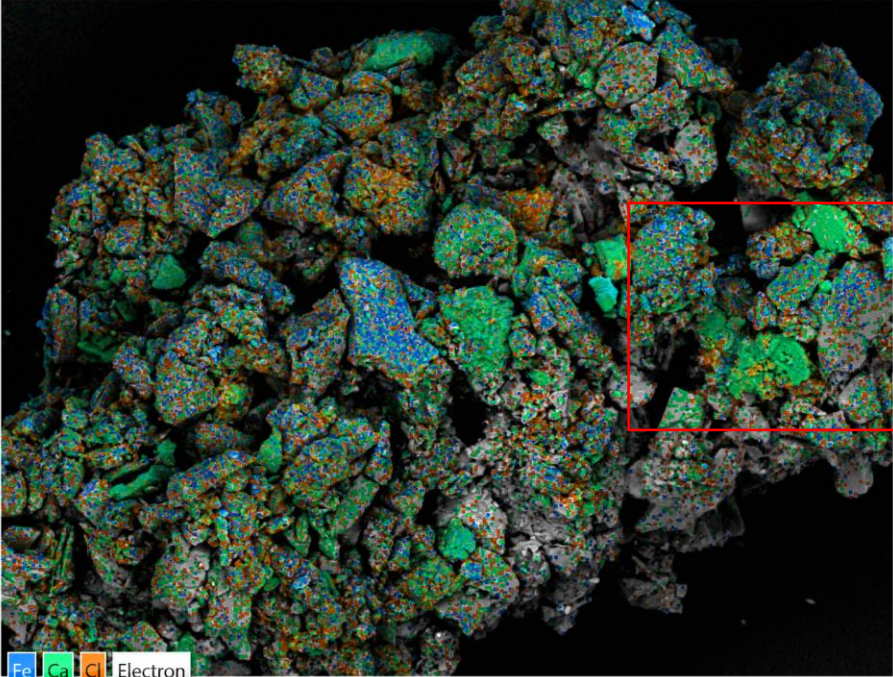
Fe L $\alpha$ 1\_2



Ovenfor er hovedelementene i aglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie. konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne forstyrrer.

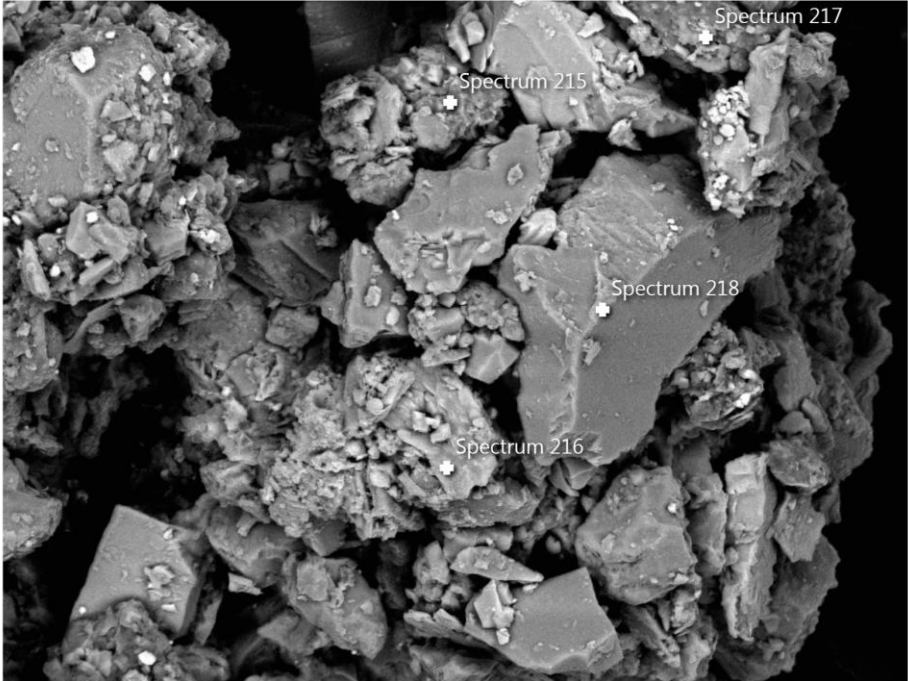
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

EDS Layered Image 20



100µm

Electron Image 75

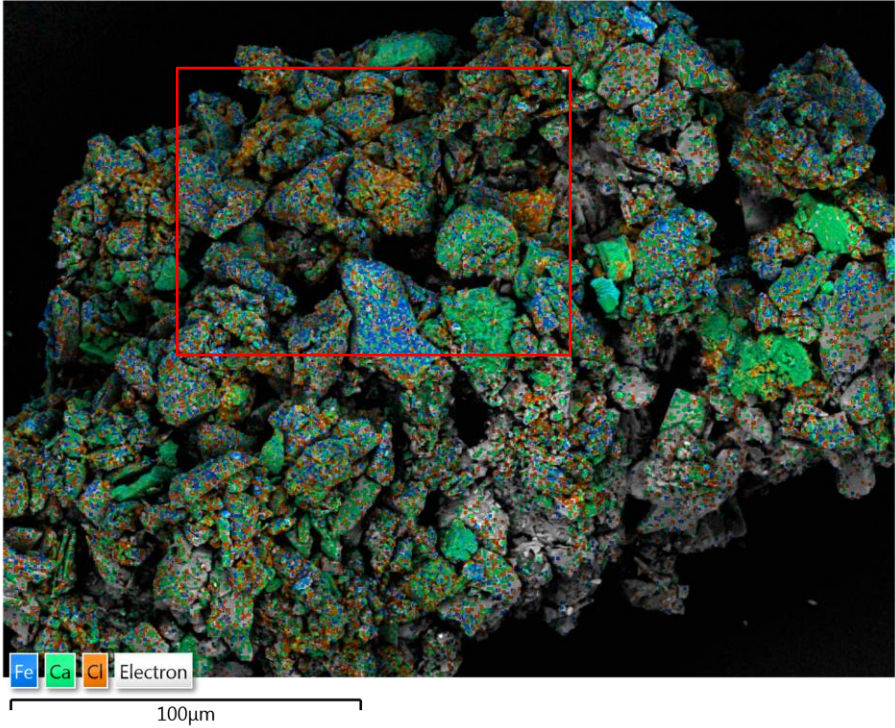


25µm

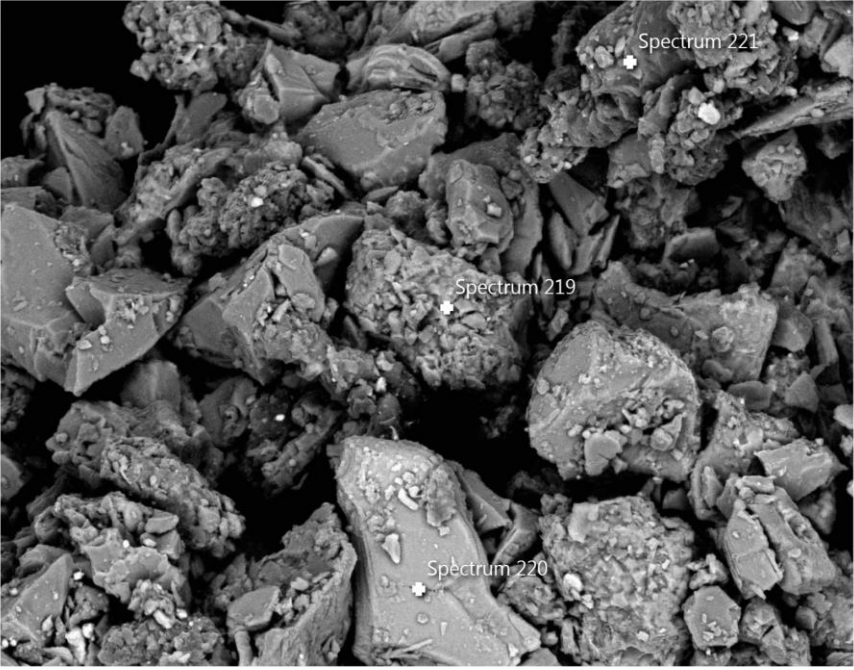
Spectrum Label	Spectrum 215	Spectrum 216	Spectrum 217	Spectrum 218
C		21.80	44.51	34.14
O	25.48	50.24	14.98	40.46
Na	6.06	0.43	4.06	1.24
Mg	0.75	0.21	1.73	0.78
Al	9.48	0.18	5.30	1.34
Si	25.36	0.66	14.28	17.70
S	1.77	0.38	2.15	
Cl	14.83	0.16	5.75	1.29
K	2.68	0.17	1.50	
Ca	5.07	25.35	1.00	0.17
Fe	8.51	0.42	4.75	2.90
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE I

EDS Layered Image 20



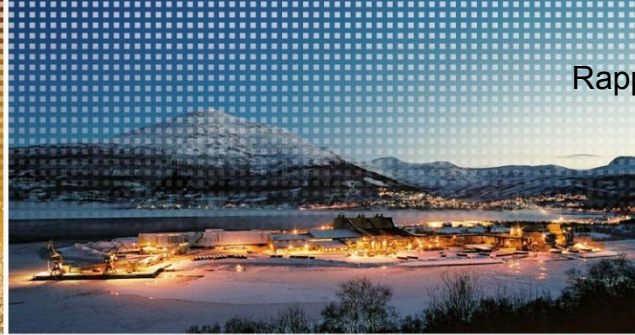
Electron Image 76



25µm

Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 219	Spectrum 220	Spectrum 221
C			44.09
O	27.79	44.71	23.90
Na	12.76	0.78	2.17
Mg	0.52	5.93	
Al	9.42	9.35	0.61
Si	27.47	16.93	23.99
S	1.40		2.23
Cl	16.43	0.70	2.49
K	0.74	6.61	
Ca	1.86		0.51
Ti		0.91	
Fe	1.61	14.09	
Total	100.00	100.00	100.00



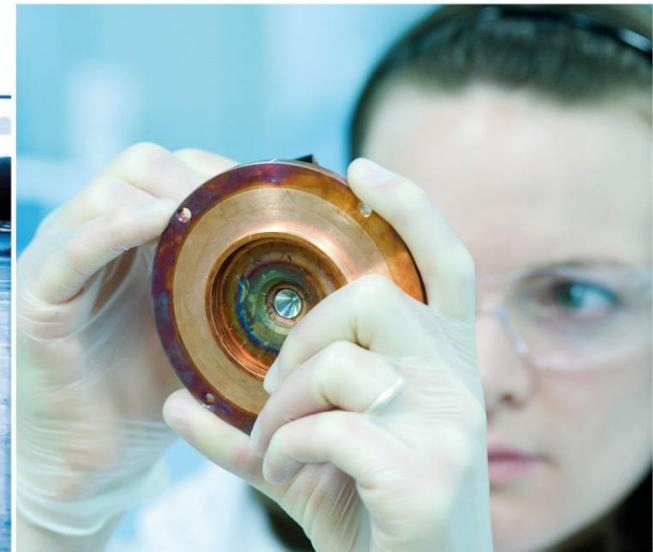
Rapport nr. 390: Vedlegg 4, side 128



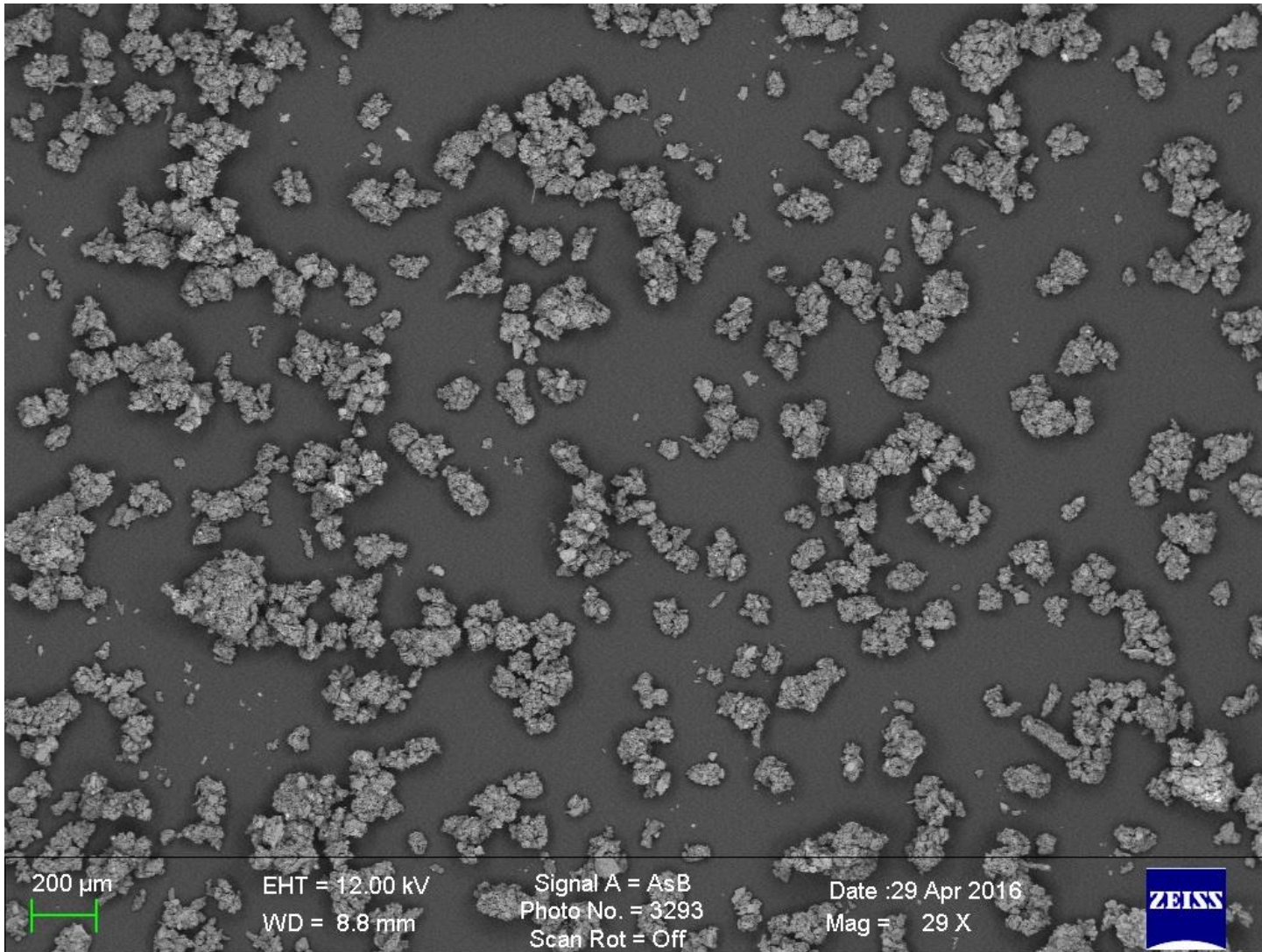
## Prosjekt Karmøy, Sample J: LFH4.5

LFH4.5	Lydfelle høyre 4,5 m
--------	----------------------

SEM-analyser, vår ref. M216-115  
Anders H. Amundsen, 23.05.2016

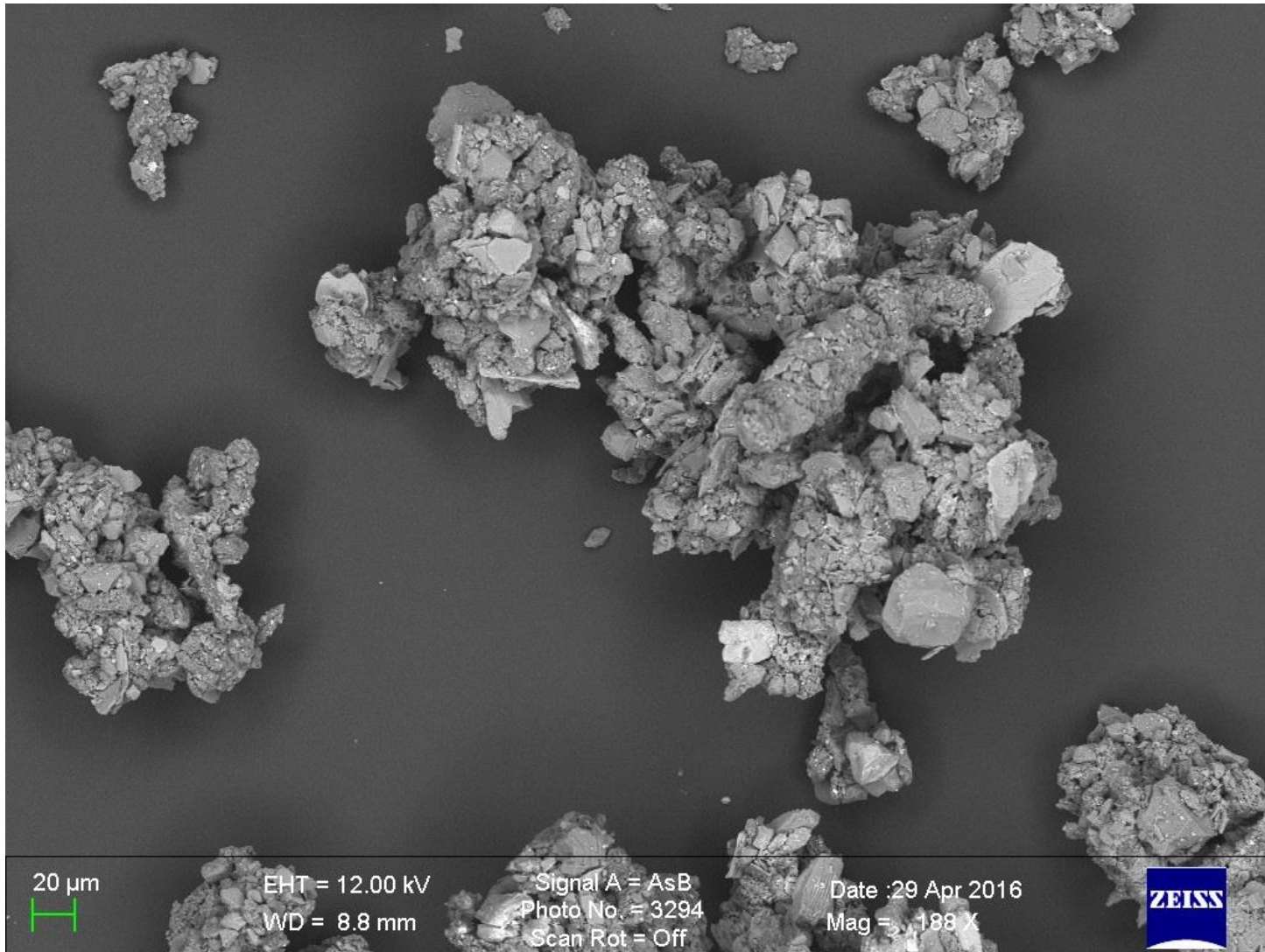


## PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J



SEM. Oversiktsbilde  
(Dryssprøve).

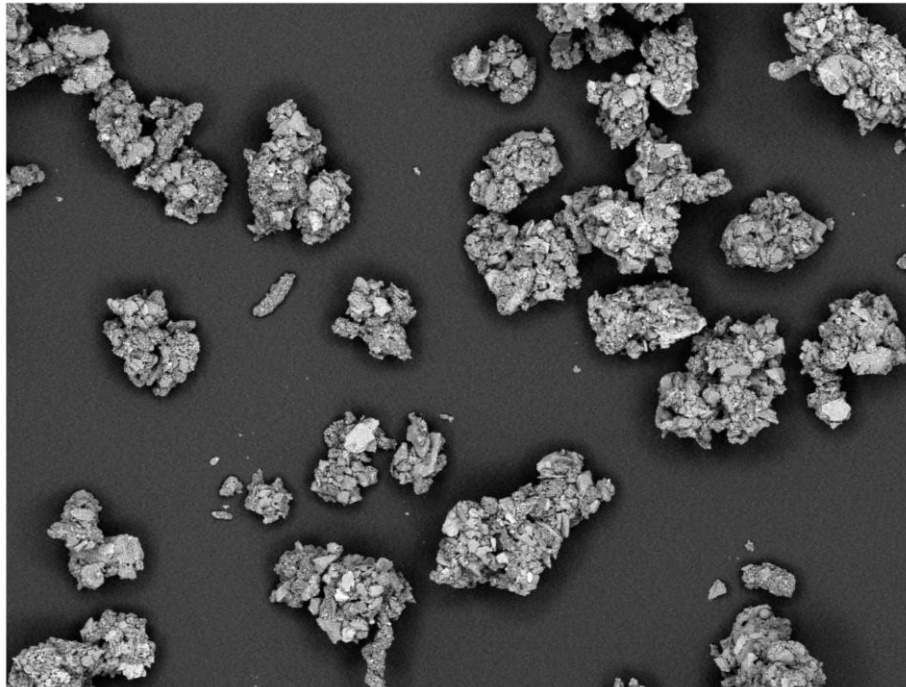
## PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J



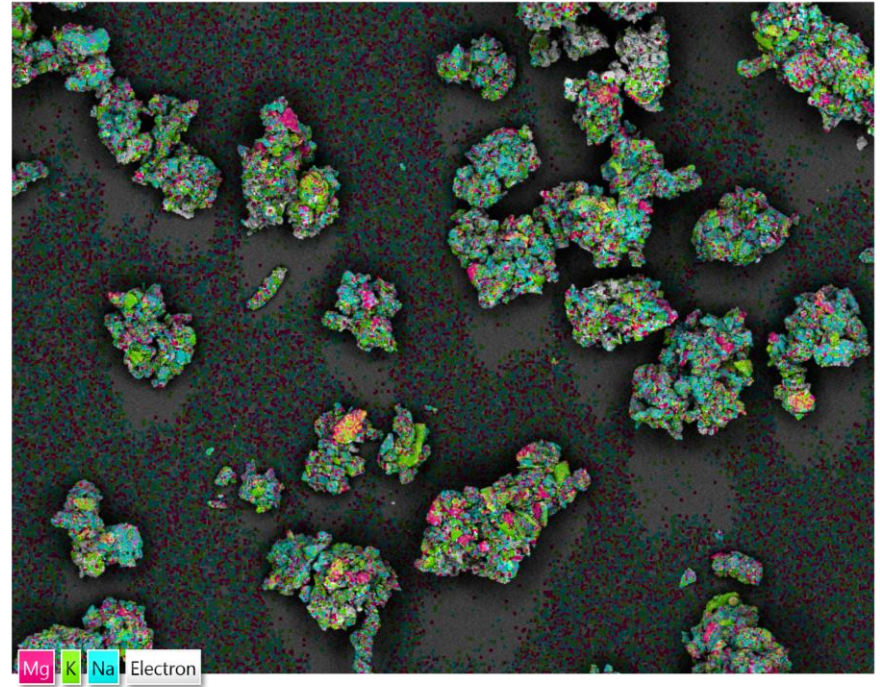
Typisk agglomerat i mottatt prøve

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

Electron Image 77

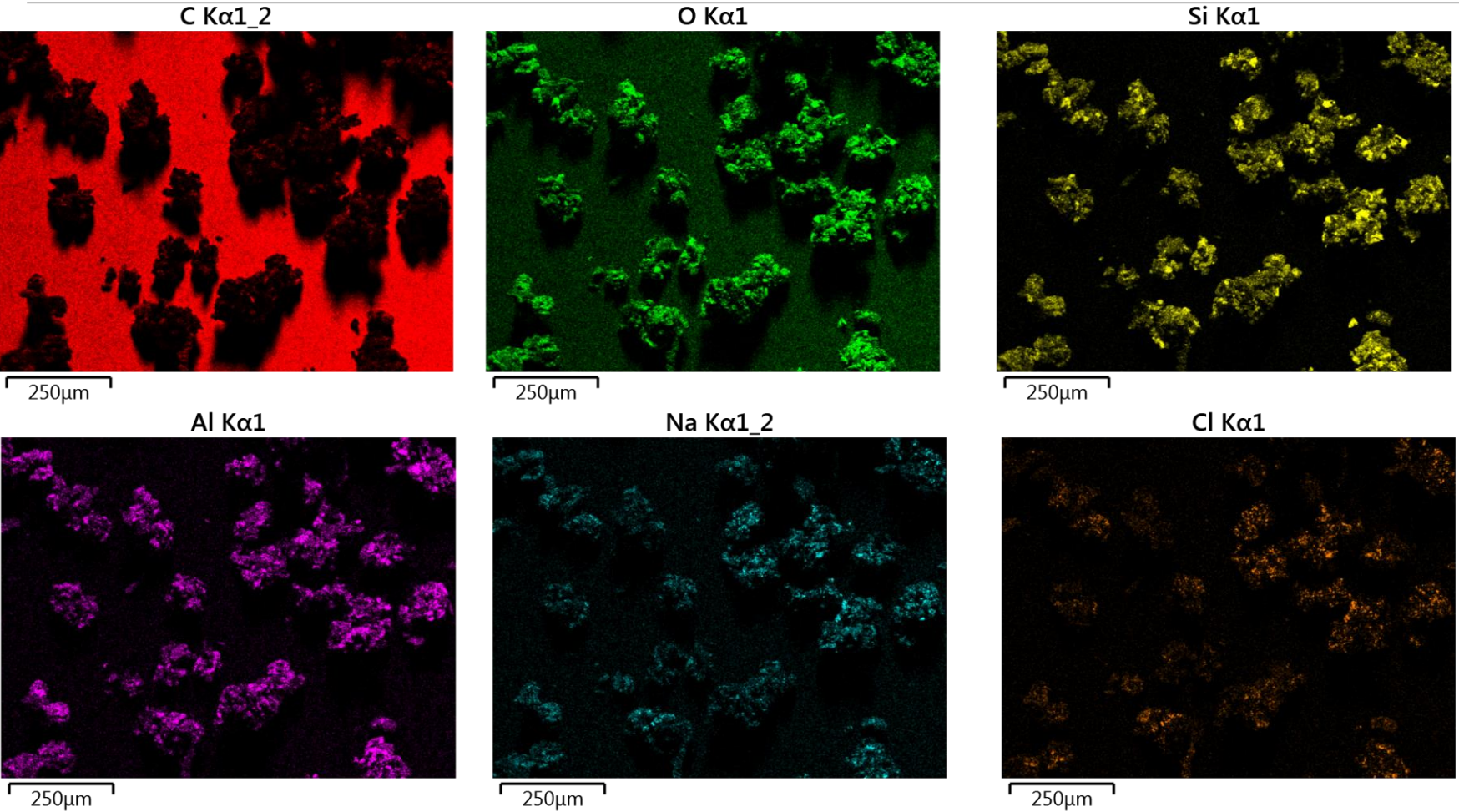


EDS Layered Image 21



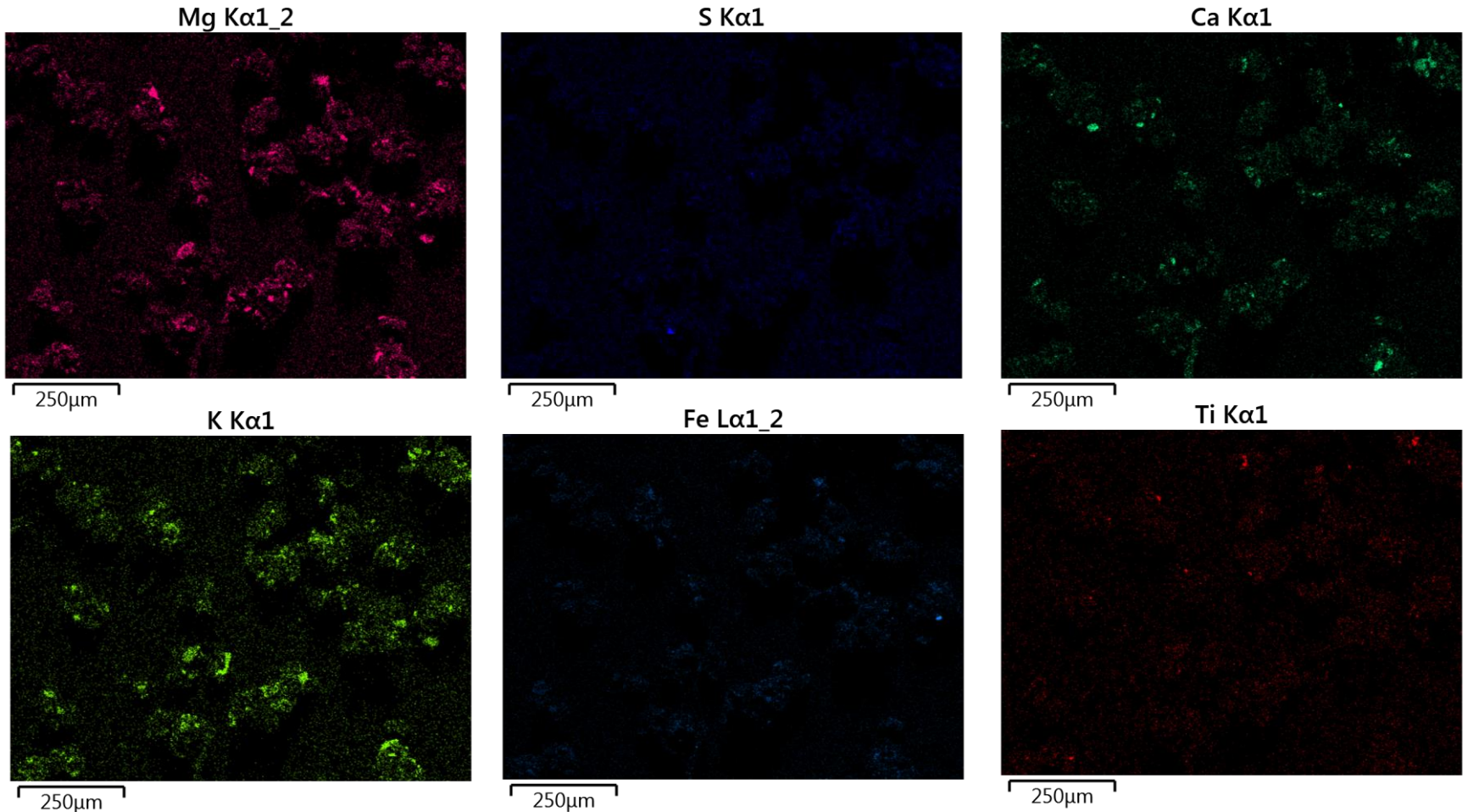
Mapping over en samling med agglomerater. Mg, K og Na er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J





# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J



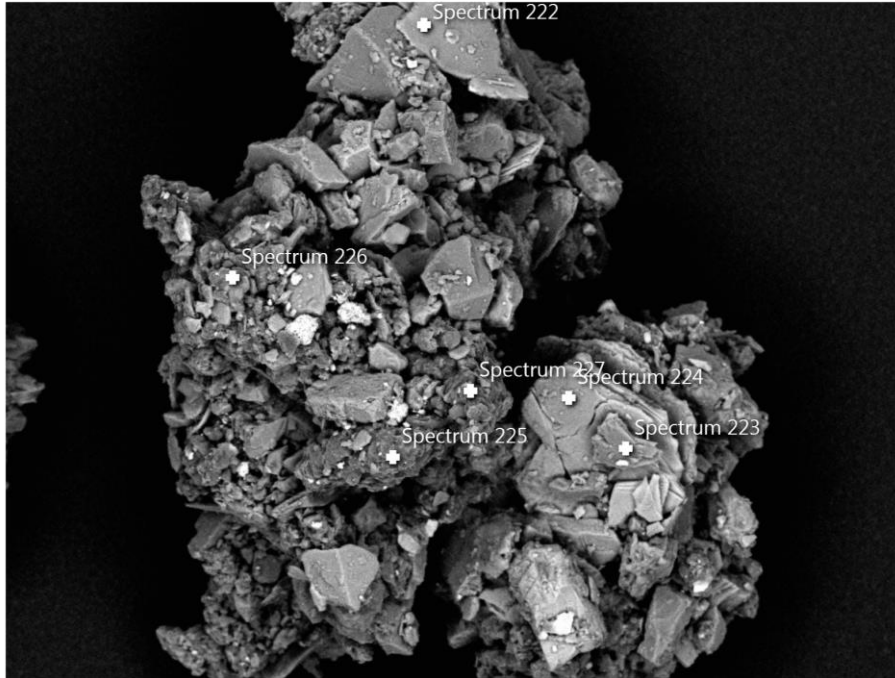
Ovenfor er alle hovedelementene i prøven mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie. konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet ikke kan regnes med her.

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

EDS Layered Image 21



Electron Image 78

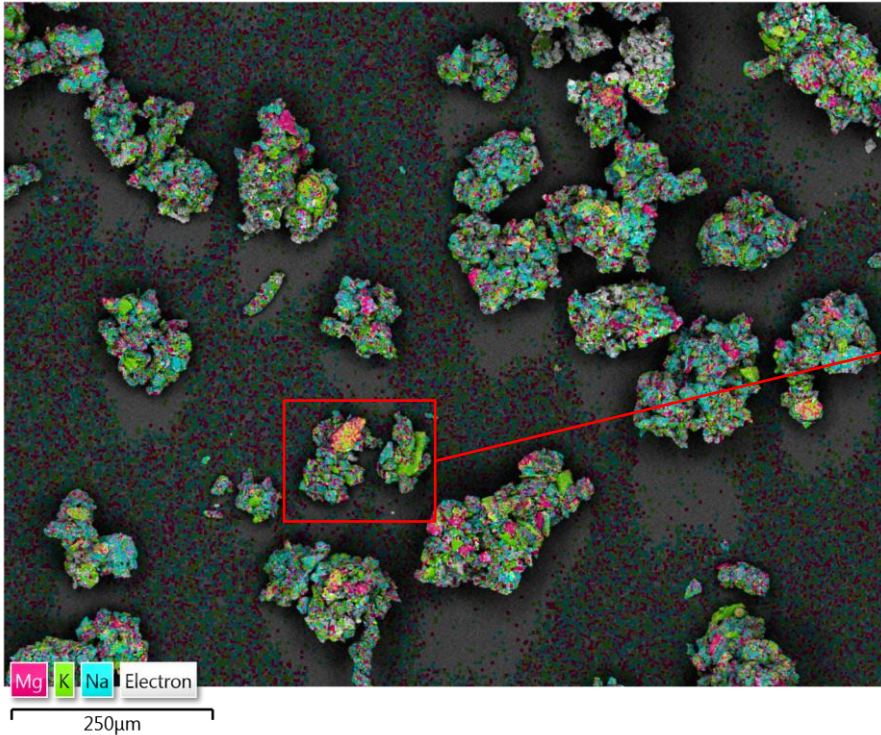


Result Type	Weight %
-------------	----------

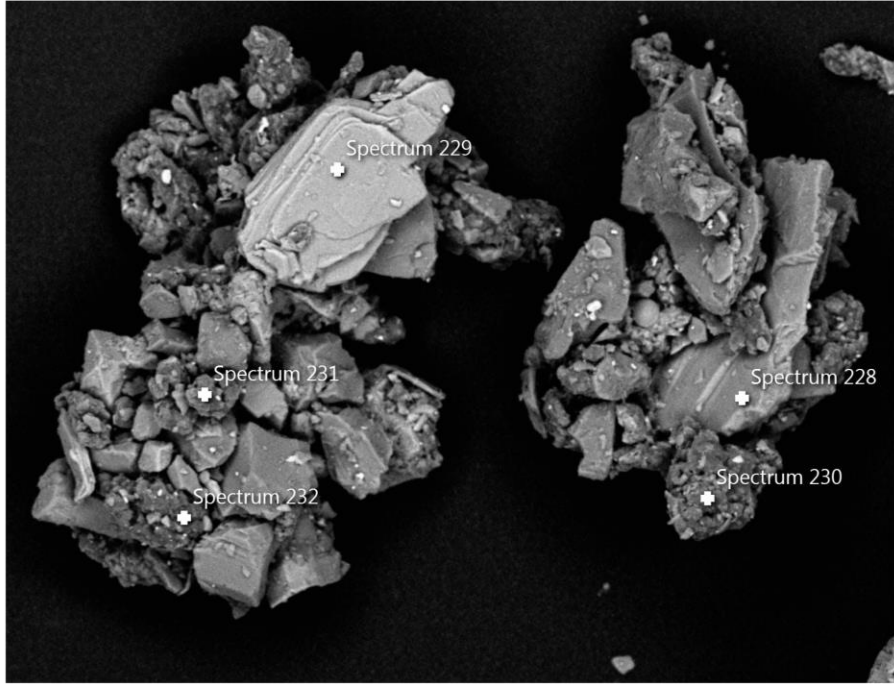
Spectrum Label	Spectrum 222	Spectrum 223	Spectrum 224	Spectrum 225	Spectrum 226	Spectrum 227
C				49.78	68.71	49.76
O	58.03	34.74	35.98	24.99	19.68	32.84
Na	1.07	0.22	0.90	2.06	1.47	1.52
Mg	8.02		2.12	0.49	0.74	1.06
Al	7.58		4.52	1.65	1.86	1.98
Si	9.33	65.05	22.57	15.11	4.04	7.83
S				1.37	0.84	0.61
Cl	0.85		0.84	1.77	0.70	1.35
K	0.15		7.94	0.38	0.36	0.39
Ca	5.27			0.97	0.45	0.34
Ti			1.45			
Fe	9.71		23.68	1.44	1.14	2.32
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

EDS Layered Image 21



Electron Image 79

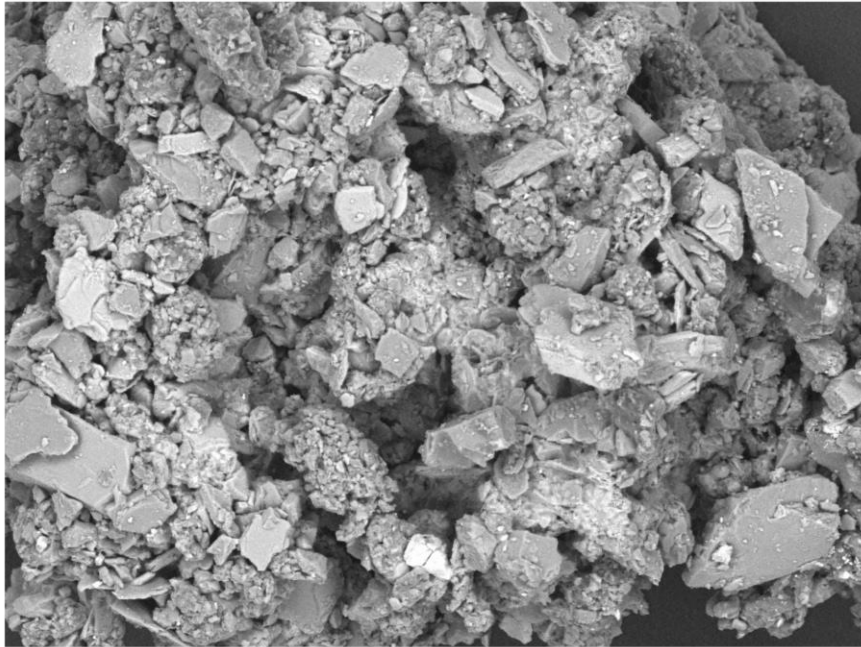


50µm  
Result Type    Weight %

Spectrum Label	Spectrum 228	Spectrum 229	Spectrum 230	Spectrum 231	Spectrum 232
C			54.81	60.73	71.54
O	56.71	33.99	29.23	24.32	15.59
Na	0.56	0.42	2.23	1.61	1.62
Mg		6.31	0.12	0.54	0.30
Al	8.40	8.50	1.30	1.45	1.19
Si	24.41	18.74	8.71	6.56	3.23
S			0.75	0.75	1.59
Cl	0.25	0.47	1.35	1.41	2.04
K	9.68	9.78	0.11	0.36	0.38
Ca			0.81	0.50	0.84
Ti		1.55			
Fe		20.23	0.58	1.26	1.67
Zn				0.52	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

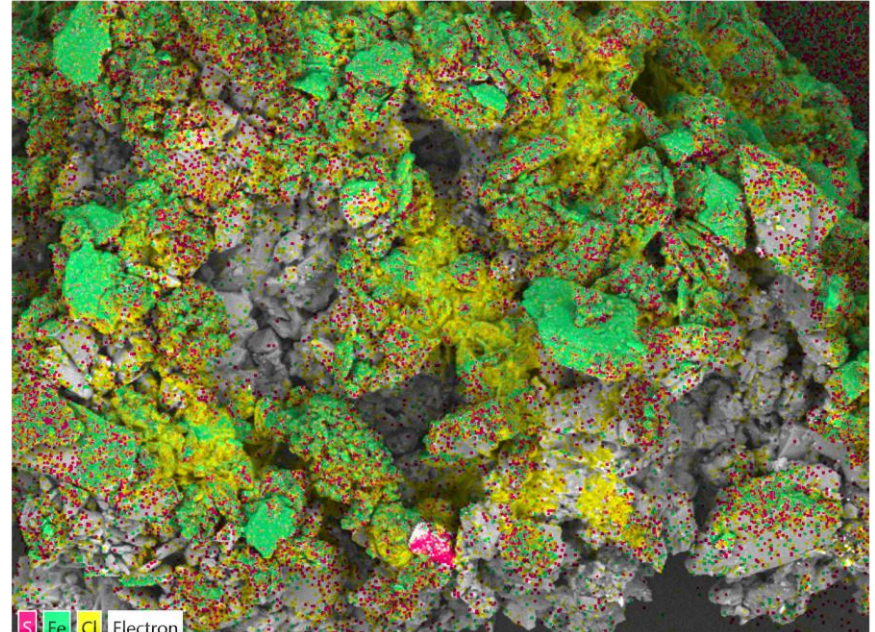
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

Electron Image 80



100µm

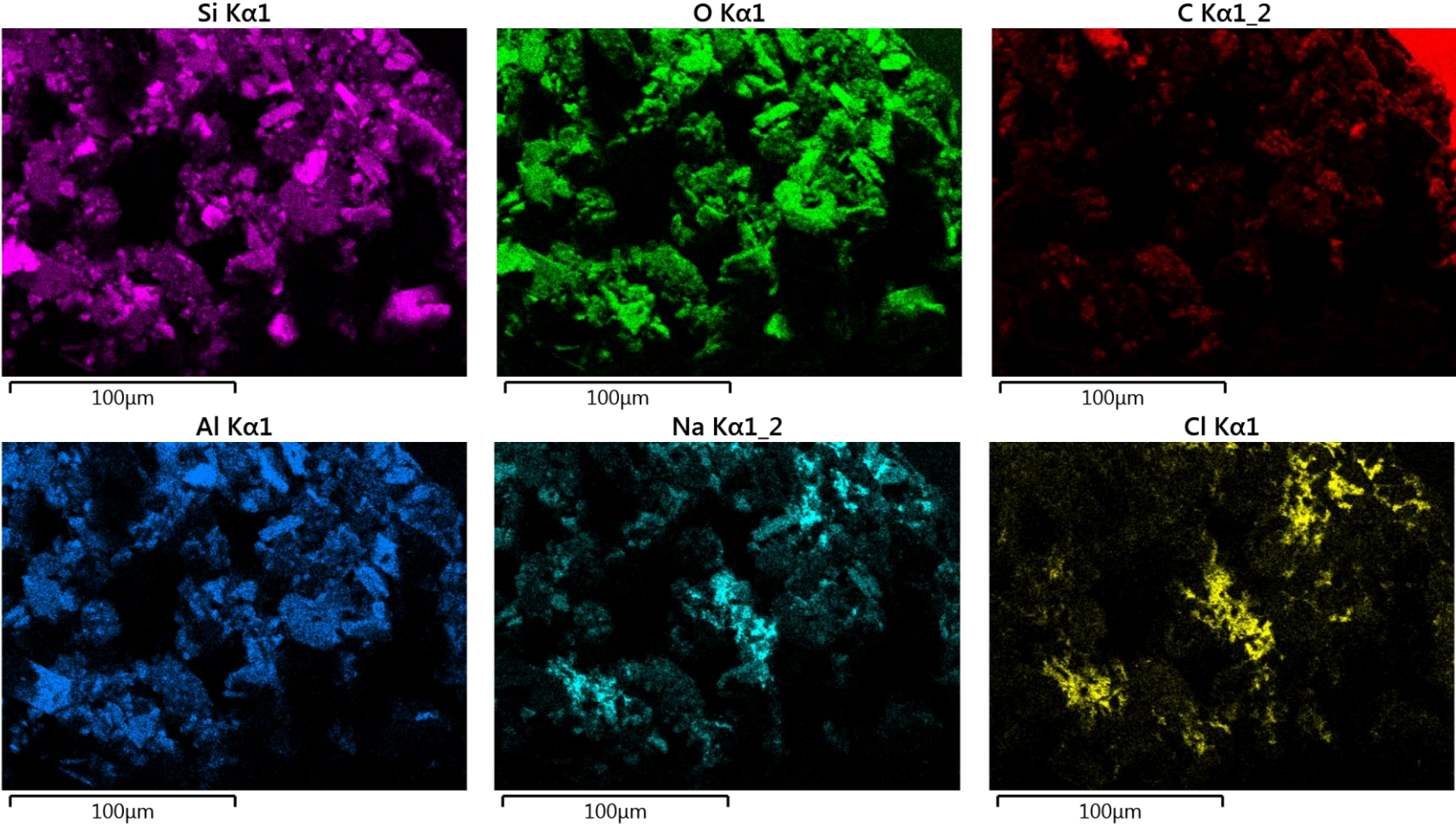
EDS Layered Image 22



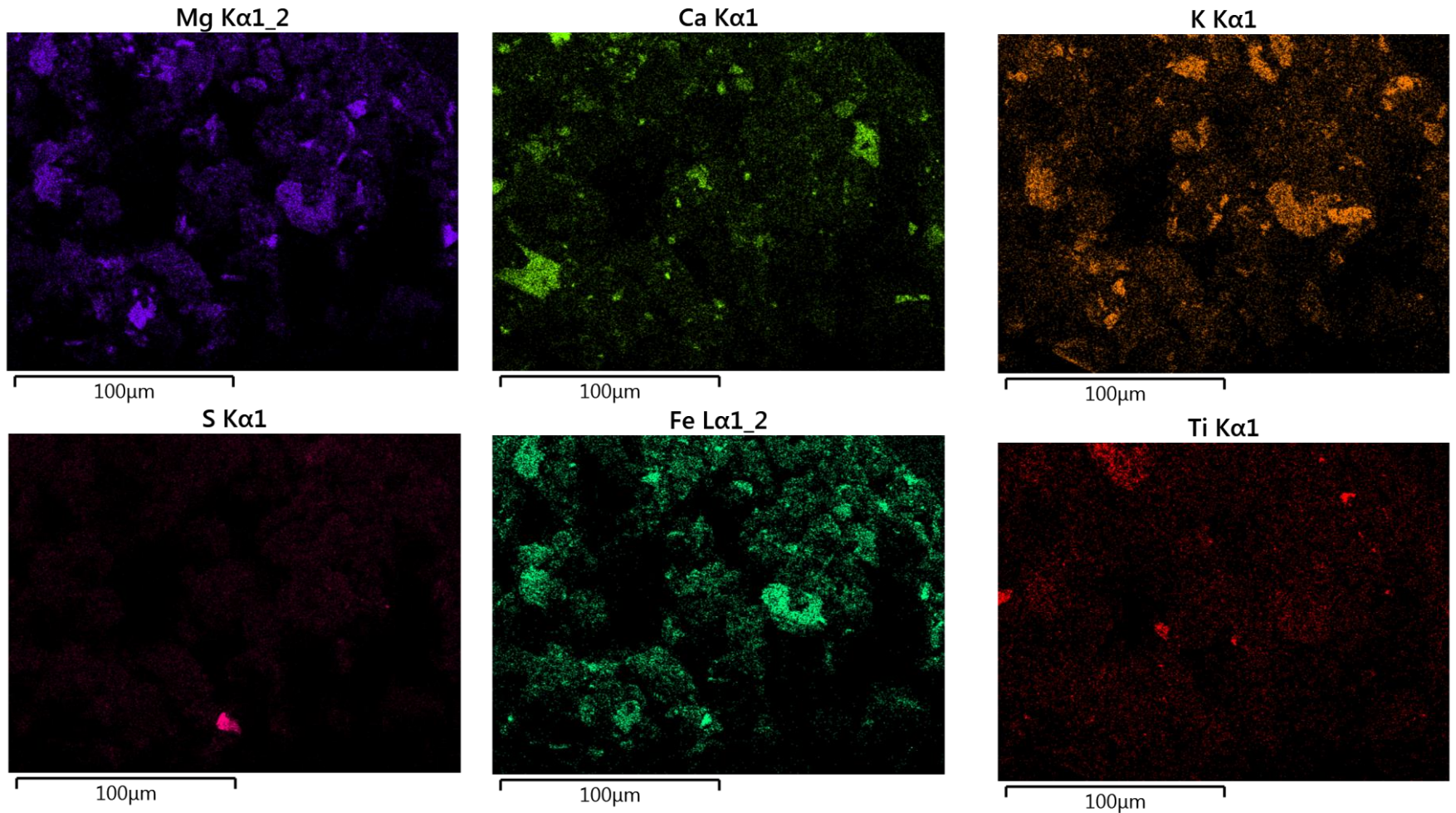
100µm

Mapping over et agglomerat. S, Fe og Cl er tilfeldige utvalgte elementer. Se alle enkeltmap på de to neste slidene.

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J



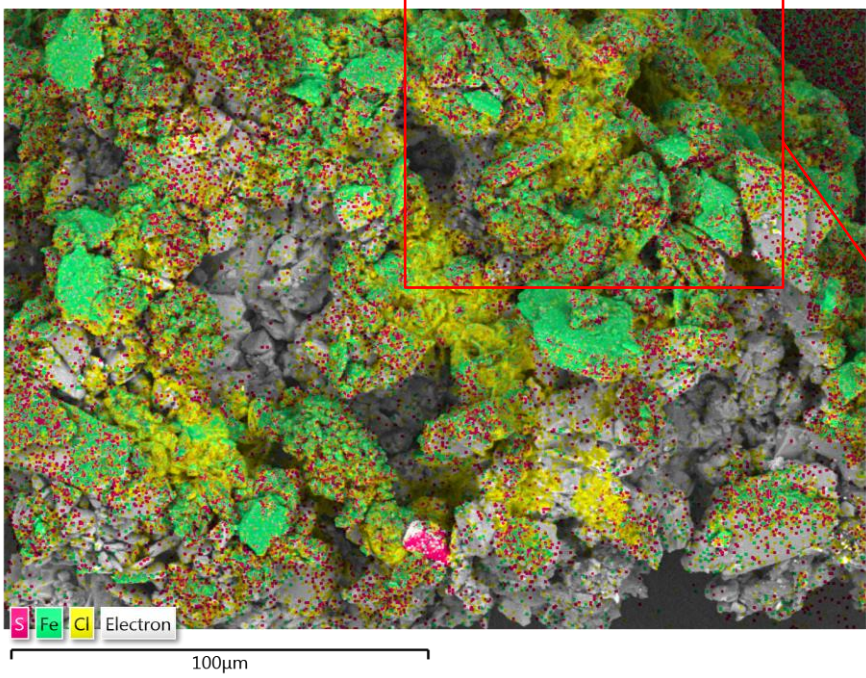
# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J



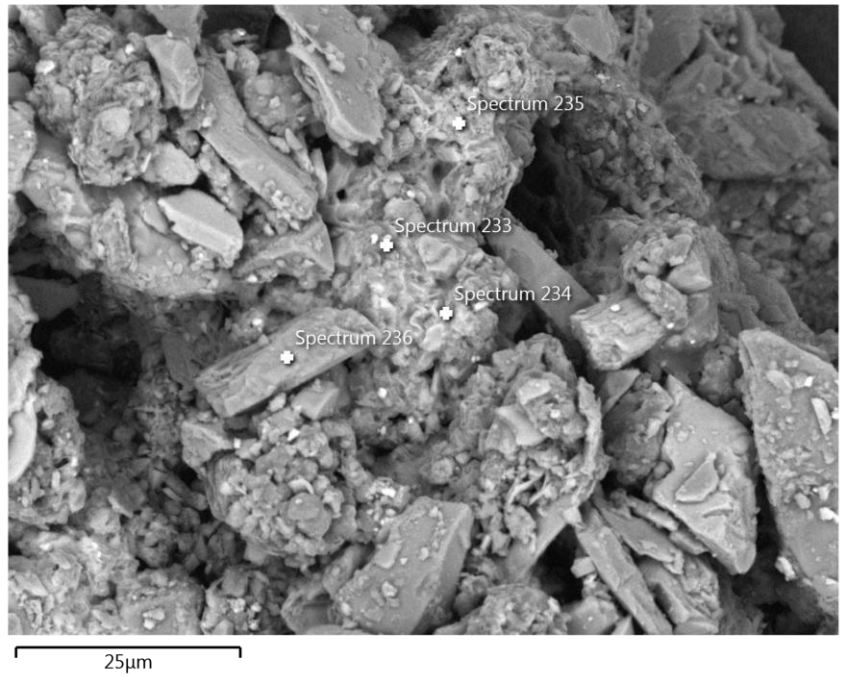
Ovenfor er hovedelementene i aglomeratet mappet. De er rangert etter intensitet i signalet (ie. konsentrasjon). Prøven er drysset på en prøveholder med karbontape, slik at karbonsignalet fra denne kan forstyrre litt

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

EDS Layered Image 22



Electron Image 81

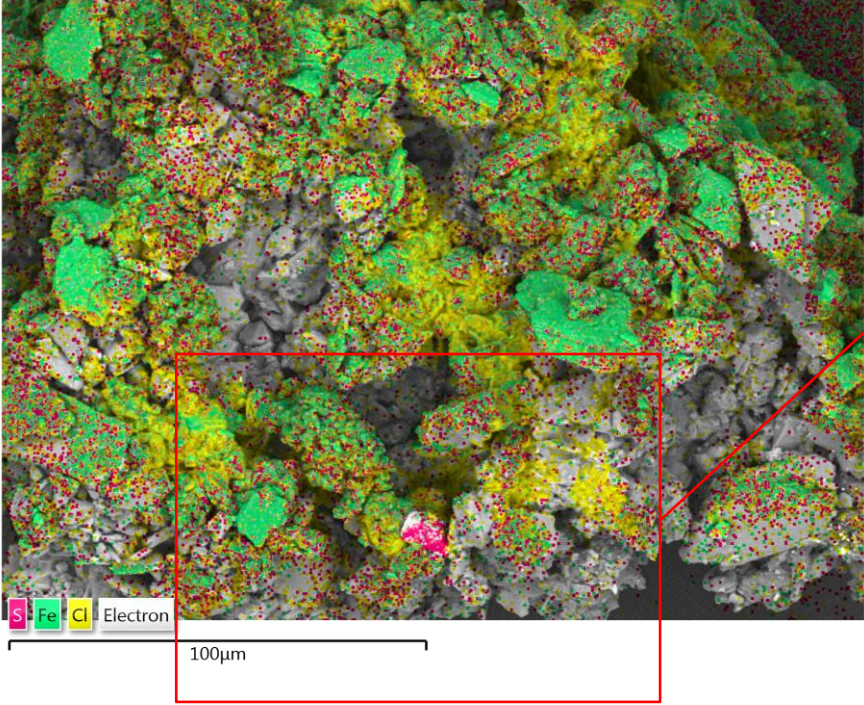


Result Type	Weight %
-------------	----------

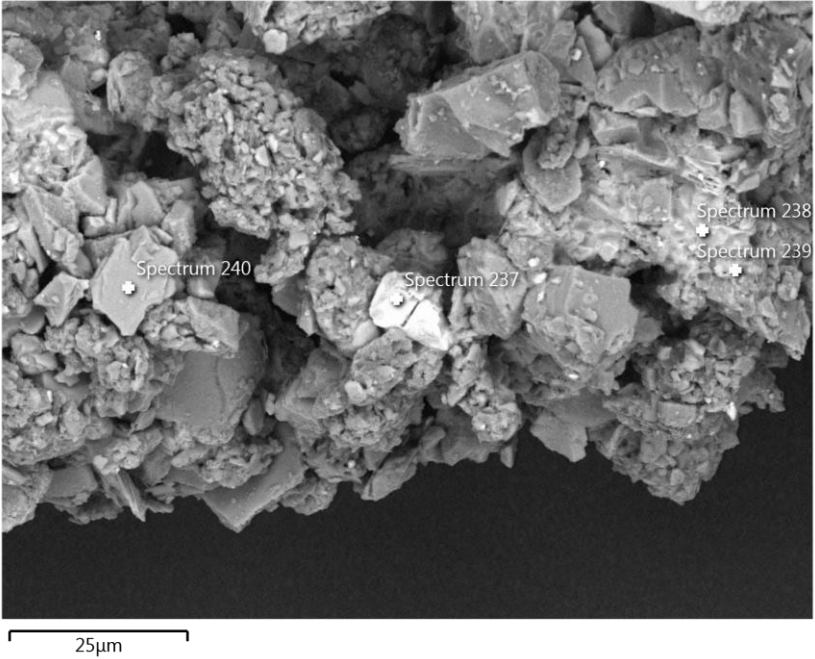
Spectrum Label	Spectrum 233	Spectrum 234	Spectrum 235	Spectrum 236
C	57.70	31.76		
O	26.68	7.39	54.43	56.72
Na	1.54	22.79	6.91	8.52
Mg	0.74	0.35	0.28	
Al	2.63	1.39	9.90	8.81
Si	5.48	2.71	24.44	25.31
S	0.81		0.70	
Cl	1.02	31.95	0.66	0.30
K	0.82	0.53	0.31	
Ca	0.66	0.30	2.38	0.35
Fe	1.92	0.83		
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

EDS Layered Image 22



Electron Image 82



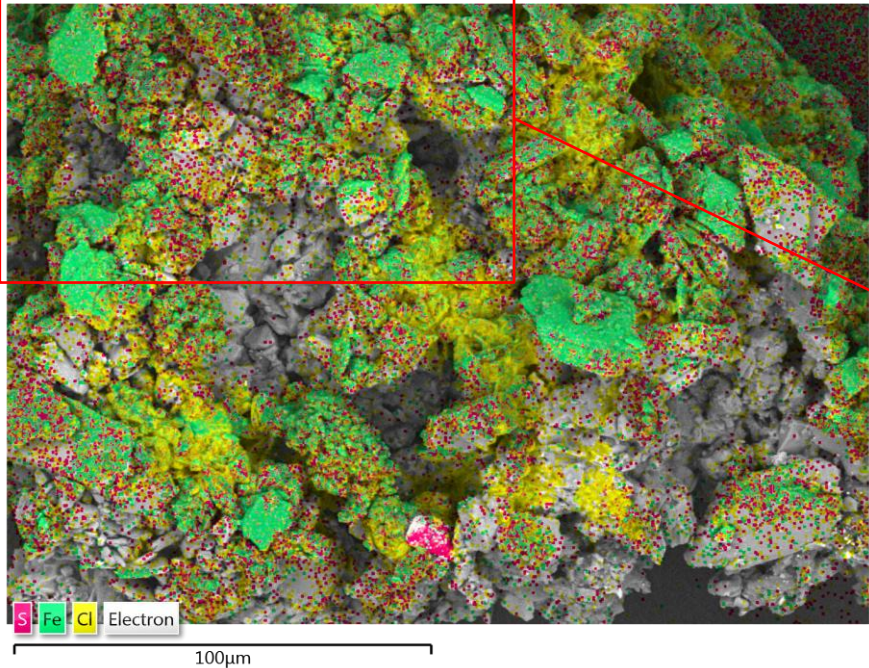
Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 237	Spectrum 238	Spectrum 239	Spectrum 240
O	1.80	16.74	20.88	48.99
Na	0.21	0.68	15.60	
Mg		0.22	0.36	9.16
Al	0.11	1.40	3.33	10.63
Si	0.57	8.61	9.52	11.99
S	33.45		0.98	
Cl		56.23	37.34	
K		10.22	8.52	
Ca		5.90	1.83	
Fe	63.87		1.62	19.24
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

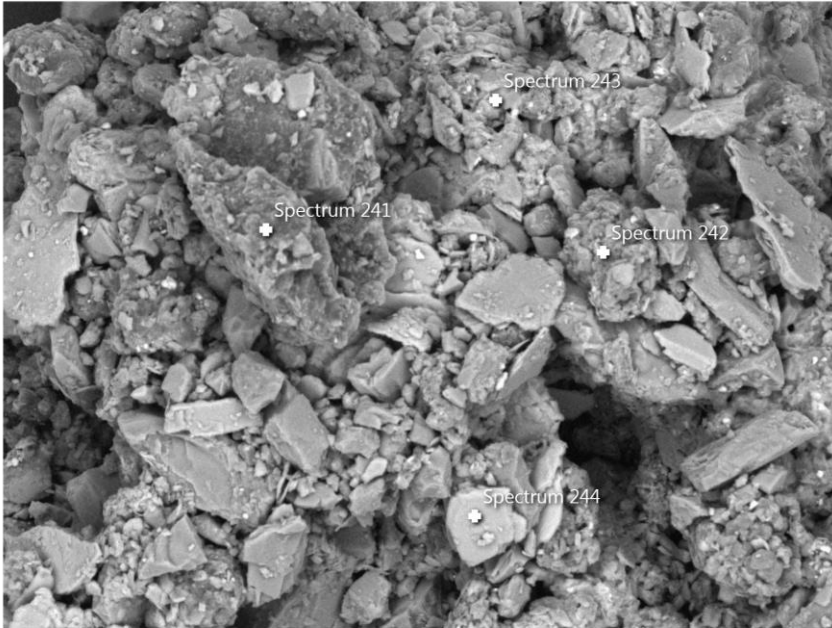


# PROSJEKT KARMØY, SAMPLE J

EDS Layered Image 22



Electron Image 83



Result Type	Weight %
-------------	----------

Spectrum Label	Spectrum 241	Spectrum 242	Spectrum 243	Spectrum 244
C	74.43	31.23		
O	18.29	38.79	27.03	22.57
Na	0.40	2.60	11.85	0.65
Mg	0.51	1.93		3.37
Al	0.15	5.87	11.52	8.89
Si	0.28	9.98	27.15	19.21
S	0.25	0.36		
Cl	0.46	1.19	17.05	0.41
K		1.02	0.61	10.91
Ca	0.80	2.42	3.77	
Ti	4.43	0.18		1.78
Fe		4.42	1.02	32.20
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

# SIKKERHETSDATBLAD

## Micro Ultra

### 1. Identifikasjon av stoffet / produktet og av selskapet / foretaket

Utgitt dato	12.04.2007
Revisjon	14.10.2008
Kjemikaliets navn	Micro Ultra
Formel	Formulert produkt.
Produktgruppe	Microemulsjon.
Kjemikaliets bruksområde	Avfetting-/rengjøringsmiddel.

#### Nedstrømsbruker

Firmanavn	Rengjøringsystemer AS
Postadresse	Postboks 2513
Postnr.	5058
Poststed	BERGEN
Land	NORGE
Telefon	55 38 94 00
Telefaks	55 38 94 01
E-post	olav@proff-senter.no
Nødtelefon	Giftinformasjon:22 59 13 00

### 2. Farlige egenskaper

Klassifisering	Xi; R38, R41 R52/53
Farebeskrivelse	Irriterer huden. Fare for alvorlig øyeskade. Skadelig for vannlevende organismer, kan forårsake uønskede langtidsvirkninger i vannmiljøet.

### 3. Sammensetning /opplysning om innholdsstoffer

Komponentnavn	Identifikasjon	Merking/klassifisering	Innhold
Etoksyliert fettalkohol	CAS-nr.: 68439-46-3	Xi; R41	10 - 30 %
2-(2-Butoksyetoksy)etanol	CAS-nr.: 112-34-5 EC-nr.: 203-961-6 Indeksnr.: 603-096-00-8	Xi; R36	5 - 10 %
Nafta (petroleum), hydrogenavsvovlet tung	CAS-nr.: 64742-82-1 EC-nr.: 265-185-4	Xn, N; R10, R51/53, R65, R66, R67	5 - 10 %
Aminetoxylat		Xn, N; R22, R38, R41, R50	5 - 10 %
Tetrakaliumpyrofosfat	CAS-nr.: 7320-34-5 EC-nr.: 230-785-7	Xi; R36	1 - 5 %
Kaliumhydroksid	CAS-nr.: 1310-58-3 EC-nr.: 215-181-3 Indeksnr.: 019-002-00-8	C; R22, R35	0 - 1 %
Kolonneforklaring	CAS-nr. = Chemical Abstracts Service; EU (Einecs- eller Elincsnr) = European inventory of Existing Commercial Chemical Substances; Ingrediensnavn = Navn iflg. stoffliste (stoffer som ikke står i stofflisten må oversettes hvis mulig). Innhold oppgitt i; %, %vkt/vkt, %vol/vkt, %vol/vol, mg/m3, ppb, ppm, vekt%, vol%		
FH/FB/FM	T+ = Meget giftig, T = Giftig, C = Etsende, Xn = Helseskadelig, Xi =		

	Irriterende, E = Eksplosiv, O = Oksiderende, F+ = Ekstremt brannfarlig, F = Meget brannfarlig, N = Miljøskadelig.
Komponentkommentarer	Inneholder 4,1% fosfat, som tilsvarer 0,8% fosfor. Største tillatte fosforinnhold for dette produktet er 2,5%. For R-setninger i klartekst, se pkt. 16. Flere komponenter inngår i produktet, men er ikke merkepliktige.

#### 4. Førstehjelpstiltak

Innånding	Vanlig førstehjelp, ro, varme og frisk luft. Kontakt lege hvis ikke alt ubehag gir seg.
Hudkontakt	Flytt den skadde fra forurensningskilden. Fjern tilsølte klær. Skyll huden grundig med vann. Kontakt lege hvis ikke alt ubehag gir seg.
Øyekontakt	Fjern event. kontaktlinser. Skyll øyeblikkelig øyet med vann i minst 15 min., også under øyelokkene. Kontakt lege hvis ubehaget vedvarer.
Svelging	FREMKALL IKKE BREKNING! Skyll nese, munn og svelg med vann. Drikk rikelig vann. Ikke gi noe å drikke hvis personen er bevisstløs. Kontakt lege.

#### 5. Tiltak ved brannslukning

Passende brannslukningsmiddel	Karbondioksid (CO <sub>2</sub> ), pulver, alkoholbestandig skum eller vann i spredt stråle.
Uegnet brannslukningsmiddel	Vannstråle.
Brann- og eksplosjonsfarer	Ikke brannfarlig. Inneholder organiske løsemidler som avgir brannfarlige damper ved oppvarming.
Personlig verneutstyr	Brannslukkere må benytte røykdykkerutstyr.
Annen informasjon	Hvis det er mulig uten risiko flyttes beholderen fra brannstedet. Flammeutsatte beholdere kjøles ned med vann.

#### 6. Tiltak ved utilsiktet utslipp

Sikkerhetstiltak for å beskytte personell	Benytt personlig verneutstyr som angitt i pkt. 8.
Sikkerhetstiltak for å beskytte ytre miljø	Stopp lekkasje hvis mulig uten risiko. Må ikke ledes ut i avløp, jord eller vannløp. Samle opp søl/spill i sand, jord eller annet egnet absorberende materiale. Spyl rent med store mengder vann.
Metoder til opprydding og rengjøring	Små mengder tørkes eller skylles bort med mye vann. Spill samles opp i tette beholdere og leveres til godkjent mottak for destruksjon. Større mengder suges opp med spesielt absorpsjonsmateriale, sand, jord, bark eller lignende.
Andre anvisninger	Ved spill som kan medføre risiko for miljøskade kontaktes ansvarshavende innen kommunen (brannvesen, politi, kommuneingeniør).

#### 7. Håndtering og lagring

Håndtering	Bruk personlig verneutstyr, se pkt. 8. Følg god kjemikaliehygiene.
Oppbevaring	Lagres kjølig og i godt lukket emballasje i godt ventilert rom.
Spesielle egenskaper og farer	Produktet har avfettende egenskaper.

#### 8. Eksponeringskontroll / personlig verneutstyr

##### Administrative normer

Komponentnavn	Identifikasjon	Enhet	Norm år
Nafta (petroleum), hydrogenavsvovlet tung	CAS-nr.: 64742-82-1 EC-nr.: 265-185-4	8 t.: 275 mg/m <sup>3</sup>	2003
Kaliumhydroksid	CAS-nr.: 1310-58-3 EC-nr.: 215-181-3 Indeksnr.: 019-002-00-8	8 t.: 2 mg/m <sup>3</sup> , T	2003

##### Eksponeringskontroll

Begrensning av eksponering på	Administrativ norm for eksponering skal overholdes og faren for innånding av
-------------------------------	--

arbeidsplassen	damp og sprøytetåke skal gjøres minst mulig. Bruk personlig verneutstyr, som er CE-merket. All håndtering skal foregå på godt ventilert sted. Hygieniske forhold: Vask hendene før spising, drikking, røyking og toalettbesøk. Mulighet for øyeskylling og nøddusj skal finnes på arbeidsplassen.
Åndedrettsvern	Bruk egnet åndedrettsvern med kombinasjonsfilter, type A2/P2.
Håndvern	Anvend vernehansker av butylgummi, naturgummi, viton, PVC eller lignende. Gjennombruddstiden er ikke kjent. Det angitte hanskematerialet er foreslått etter en gjennomgang av enkeltstoffene i produktet og kjente hanskeguider. Benytt hansker som er CE-merket og i klasse 6: gjennomtrengningstid > 8 timer.
Øyevern	Bruk CE-godkjente vernebriller med sideskjold eller ansiktsskjerm.

## 9. Fysiske og kjemiske egenskaper

Tilstandsform	Væske
Lukt	Karakteristisk
Farge	Svakt farget.
Løselighetsbeskrivelse	Emulgerbar i vann
Relativ tetthet	Verdi: ~ 980 kg/m <sup>3</sup>
Smeltepunkt/smeltepunktintervall	Verdi: ~ 0 °C
Kokepunkt/ kokepunktintervall	Verdi: ~ 100 °C
pH (handelsvare)	Verdi: ~ 13
Flammepunkt	Verdi: > 65 °C
	Kommentarer: (Open Cup)

## 10. Stabilitet og reaktivitet

Stabilitet	Produktet er stabilt ved anbefalt lagring og bruk. Dersom produktet fryser, tin opp og rør om i fatet.
------------	--

## 11 Toksikologisk informasjon

### Toksikologiske data fra komponenter

Komponent	Aminetoxylat
LD50 oral	Verdi: > 300 mg/kg
	Forsøksdyreart: Rotte

### Øvrige helsefareopplysninger

Innånding	Innånding av damp eller aerosol kan medføre irritasjon i luftveiene. Innånding av høye konsentrasjoner kan medføre uvelhet og tretthet.
Hudkontakt	Langvarig og gjentatt kontakt med kjemikaliet kan gi: Avfetting, uttørring og oppsprekking av huden. Hudirritasjon.
Øyekontakt	Fare for alvorlig øyeskade.
Svelging	Kan gi illebefinnende, brekninger, diarè og åndenød. Lungebetennelse kan inntreffe etter noen timer og opp til et døgn, hvis produktet ved svelging er dratt ned i luftveiene.
Kroniske effekter	Gjentatt eksponering kan påvirke det sentrale nervesystemet og gi varig skade (løsemiddelskade).

## 12. Miljøopplysninger

### Toksikologiske data fra komponenter

Komponent	Aminetoxylat
Akutt akvatisk, alge	Verdi: < 1 mg/l
	Testmetode: EC50
	Art: Alge

	<b>Varighet:</b> 72t
Akutt akvatisk, Daphnia	<b>Verdi:</b> < 1 mg/l <b>Testmetode:</b> EC50 <b>Art:</b> Daphnia <b>Varighet:</b> 48t
Akvatisk kommentarer	Aminetoxylat anses å være giftig for vannlevende organismer.
12 Persistens og nedbrytbarhet	Lett biologisk nedbrytbart.
Biologisk oksygenforbruk (BOD)	<b>Verdi:</b> > 60% <b>Testperiode:</b> 28 døgn <b>Testmetode:</b> Closed Bottle Test (OECD 301D)
Bioakkumulering	Ikke forventet på grunn av lav Log Pow verdi.
<b>Øvrige miljøopplysninger</b>	
Mobilitet	Produktet emulgeres / blandes med vann.
Persistens og nedbrytbarhet	Produktet inneholder kun lett biologisk nedbrytbare stoffer. Dette/de tensidet(ene) som inngår i denne blandingen oppfyller kriteriene for biologisk nedbrytning i EU regulativ nr. 648/2004 som omhandler vaske- og rengjøringsmidler.
Bioakkumulasjonspotensial	Produktet vurderes ikke å bioakkumulere i vannmiljø.
Miljøopplysninger, konklusjon	Produktet vurderes biologisk nedbrytbart. Utslipp til miljøet bør unngås. Kun større konsentrerte utslipp vurderes å kunne medføre risiko for akvatiske organismer.

### 13 Fjerning av kjemikalieavfall

Avfallskode EAL	07 06 04 andre organiske løsemidler, vaskevæsker og utgangsvæske
NORSAS	7133
Produktet er klassifisert som farlig avfall	Ja
Egnede metoder til fjerning av kjemikaliet	Absorber i vermikulitt eller tørr sand for senere deponering på godkjent fyllplass for spesialavfall.
Annen informasjon	EAL-koden er veiledende. Bruker må selv angi riktig EAL-kode hvis bruksområdet avviker.

### 14. Transportinformasjon

Farlig gods ADR	<b>Status:</b> Nei
Farlig gods RID	<b>Status:</b> Nei
Farlig gods IMDG	<b>Status:</b> Nei
	<b>Marin forurensning:</b> Nei
Farlig gods ICAO/IATA	<b>Status:</b> Nei

### 15. Opplysninger om lover og forskrifter

#### Faresymbol



Sammensetning på merkeetiketten	Etoksyliert fettalkohol: 10 - 30 %, 2-(2-Butoksyetoksy)etanol: 5 - 10 %, Nafta (petroleum), hydrogenavsvovlet tung: 5 - 10 %, Aminetoxylat: 5 - 10 %, Tetrakaliumpyrofosfat: 1 - 5 %, Kaliumhydroksid: 0 - 1 %
R-setninger	R38 Irriterer huden R41 Fare for alvorlig øyeskade. R52/53 Skadelig for vannlevende organismer: kan forårsake uønskede langtidsvirkninger i vannmiljøet.
S-setninger	S2 Oppbevares utilgjengelig for barn. S23 Unngå innånding av

	gass/røyk/damp/sprøytetåke. S26 Får man stoffet i øynene; skylle straks grundig med store mengder vann og kontakt lege. S28 Får man stoff på huden, vask straks med store mengder vann. S37/39 Bruk egnede vernehansker og vernebriller/ansiktsskjerm. S46 Ved svelging, kontakt lege omgående og vis denne beholderen eller etiketten.
Referanser (Lover/Forskrifter)	ADR/RID 2007. Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære (Arbeidstilsynet, best.nr. 361). Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften). 1.6 2004 nr. 930. Forskrift om klassifisering, merking m.v. av farlige kjemikalier. Fastsatt av Miljøverndepartementet og Arbeids- og administrasjonsdepartementet 16. juli 2002. Norsk stoffliste 2006.

## 16 Andre opplysninger

Liste over relevante R-setninger (i seksjon 2 og 3).	R10 Brannfarlig. R22 Farlig ved svelging. R35 Sterkt etsende. R36 Irriterer øynene. R38 Irriterer huden R41 Fare for alvorlig øyeskade. R50 Meget giftig for vannlevende organismer. R51/53 Giftig for vannlevende organismer: kan forårsake uønskede langtidsvirkninger i vannmiljøet R52/53 Skadelig for vannlevende organismer: kan forårsake uønskede langtidsvirkninger i vannmiljøet. R65 Farlig: kan forårsake lungeskade ved svelging. R66 Gjentatt eksponering kan gi tørr eller sprukket hud R67 Damp kan forårsake dødsighet og svimmelhet
Opplysninger som er nye, slettet eller revidert	REVISJONSOVERSIKT: ----- 01.07.2008: Endringer av sammensetning fører til endringer i pkt.: 1,2,3,8,9, 11,12,14,15 og 16. 14.10.2008: Generell oppdatering av datablad.
Ansvarlig for Sikkerhetsdatablad	Rengjøringsystemer AS



# SIKKERHETSDATABLAD

## Helse - Miljø – Sikkerhet

### TK 730 Clean Extra Kraftvask

Utskriftsdato: 20. august 2014

#### 1 Identifikasjon av kjemikaliet og ansvarlig firma

**NAVN:** TK 730Clean Extra Kraftvask.

Bruksområde: Grovvask.

Produktregisteret, P-nr:

**Leverandør:** Teknisk Kjemisk Produksjon AS

Adresse: Strandveien 6, 3050 Mjøndalen.

Telefon: 32 23 12 80

Telefax: 32 27 04 16

E-Post: post@tkproduksjon.no

Kontaktperson: Jan L. Kapstad

Nødtelefonnummer: Produktregisteret 22 05 48 80. Giftnormasjonssentralen: 22 59 13 00

#### 2 Opplysninger om kjemisk sammensetning

Stoff	CAS-nr.	EC-nr.	Vekt%	Fareklasse	R-setn.	Note
Natriummetasilikat 5-hydrat	10213-79-3	229-912-9	1-5	C	34, 37	
Natriumkarbonat	497-19-8	207-838-8	1-5	Xi	36	
Kaliumhydroksyd	1310-58-3	215-181-3	1-5	C	35	
Etoksyliert alkohol C9-c11	68439-46-3		1-5	Xn	22,41	
Alkylamine carboksyilat	94441-92-6	305-318-6	1-5	Xi	41	
C9-C11 pareth-8	68439-46-3		1-5	Xn	41,38,22	
D-Limonen	5989-27-5		0-1	Xi,N	10,38,43,50/53	

Anmerking: Se pkt. 16 for farebetegnelsen (R-setn.) som angitt ovenfor, hvis ikke angitt i pkt. 15.

Tegnforklaring: T+=meget giftig, T=giftig, C=etsende, Xn=helseskadelig, Xi=irriterende, H=ikke klassifiseringspliktig, E=eksplosiv, O=oksidierende, F+=ekstremt brannfarlig, F=meget brannfarlig, N=miljøskadelig, M=arvestofskadelig, A=allergifremkallende, K=kreftfremkallende, R=reproduksjonsskadelig, H=hudopptak

**Ingredienskommentar:** Alle opplysningene er for konsentrert produkt.

#### 3 Viktigste faremomenter



**Etsende** Farlig ved svelging. Irriterer øynene og huden. Fare for alvorlige øyeskader. Vurdert ikke merkepliktig med hensyn til miljø og brannfare.

#### 4 Førstehjelpstiltak

<b>Generelt:</b>	Kontakt lege ved ubehag, irritasjon eller andre vedvarende symptomer.
<b>Øyekontakt:</b>	Skyll med mye vann. Kontakt lege ved ubehag, irritasjon eller andre vedvarende symptomer.
<b>Hudkontakt:</b>	Fjern tilstøtt tøy. Vask med såpe og vann.
<b>Svelging:</b>	Skyll munnen godt. Drikk mye vann. Ikke fremkall brekning. Kontakt lege.
<b>Innånding:</b>	Sørg for rikelig med frisk luft. Kontakt lege.
<b>Medisinsk informasjon:</b>	Symptomatisk behandling

#### 5 Tiltak ved brannslukking:

<b>Brannslukningsmiddel:</b>	Pulver, skum, karbondioksid, vann. (Ta for øvrig hensyn til omkringliggende faktorer)
<b>Risiko:</b>	Produktet brenner ikke.
<b>Tiltak/verneutstyr:</b>	Fjern produktet fra brannstedet hvis mulig uten risiko. Bruk friskluftsmaske ved slukningsarbeid.

#### 6 Tiltak ved utilsiktet utslipp

<b>Sikkerhetstiltak (personer):</b>	Håndtering i henhold til pkt. 7. Bruk verneutstyr som beskrevet i pkt. 8
<b>Miljømessige (ytre miljø):</b>	Spyl med store mengder vann.
<b>Opprydding og rengjøring:</b>	Fei opp med egnet utstyr. Spyl med mye vann. For videre behandling se pkt. 13.

#### 7 Håndtering og oppbevaring



## SIKKERHETSDATABLAD

### Helse - Miljø – Sikkerhet

# TK 730 Clean Extra Kraftvask

**Håndtering:** Unngå kontakt med huden og øynene.  
**Oppbevaring:** Oppbevares kjølig men frostfritt i lukket originalemballasje. Utilgjengelig for barn.

#### 8 Eksponeringskontroll og personlig verneutstyr

Stoff	CAS-nr	EC-nr	Administrativ norm (mg/ m <sup>3</sup> )	ppm	Adm. år	Anmerkning
Forebyggende tiltak:			Sørg for tilgang til øyeskylleutstyr.			
Åndedrettsvern:			Ikke nødvendig ved normal bruk.			
Håndvern:			Ved fare for hudkontakt, bruk vernehansker av neopren, nitril, polyetylen, eller PVC. Ved langvarig eller gjentatt kontakt. Gjennomtrengningstiden må sjekkes med hanskeleverandøren. Gjennomtrengningstid > 8 timer.			
Øyevern:			Bruk øyebeskyttelse hvis kontakt er sannsynlig.			
Annet hudvern:			Bruk hensiktsmessige verneklær hvis hudkontakt er sannsynlig.			

#### 9 Fysiske og kjemiske egenskaper

Utseende/form:	Produktet er flytende
Lukt:	Svak.
pH:	Ca. 12,5
pH i 10% løsning:	Ca. 11
Kokepunkt:	100 °C
Tetthet:	1,04 Kg/dm <sup>3</sup>
Smeltepunkt:	0 °C
Viskositet:	Ca. 20 sec. DIN 4, 20°C.
Løselighet:	Løselig i vann.

#### 10 Stabilitet og reaktivitet

Stabilitet:	Stabil under normale forhold.
Forhold som skal unngås:	Ikke kjent.
Materialer som skal unngås:	Ikke kjent.
Farlige spaltningsprodukter:	Ved brann kan et utvikles CO og CO <sub>2</sub> og andre farlige gasser.

#### 11 Opplysninger om helsefare

Innånding:	Ved normal bruk vil innånding ikke være et problem. Innånding av sprøytetåke kan irritere luftveier/lunger.
Hudkontakt:	Langvarig og gjentatt eksponering kan virke uttørrende.
Øyekontakt:	Kan medføre irritasjon.
Svelging:	Kan medføre diare, kvalme og brekninger.
<b>Toksikologiske data</b>	
Ingen data funnet.	

Annen informasjon av betydning:

#### 12 Opplysninger om miljøfare

Økotoksisitet:	Produktet vil ikke bioakkumulere.
Mobilitet:	Produktet er flytende.
Nedbrytbarhet:	Biologisk nedbrytbarhet iflg. OECD 310c. BOD <sub>28</sub> : 75% Lettnedbrytbar.
Bioakkumulering:	Bioakkumulerer ikke i vannmiljø.

#### 13 Fjerning av kjemikalieavfall

Generelt:	Behandles i henhold til lokale eller statlige bestemmelser.
Avfallsgrupper (EAL-koder):	12 03 01 vandige rengjøringsmidler.
Avfallstoffsnummer (NORSAS):	7133 rengjøringsmidler.

#### 14 Opplysninger om transport

UN-nr:	
Fareseddel:	
Farenummer:	
Norsk navn (ADR):	
Proper shipping name:	
<b>Klassifisering</b>	
ADR: (vei)	Ikke farlig gods
RID: (jernbane)	Ikke farlig gods





# SIKKERHETS DATABLAD

## Helse - Miljø – Sikkerhet

### TK 730 Clean Extra Kraftvask

**IMDG:** (sjø) Ikke farlig gods

EmS:

Stowage category:

Marine pollutant:

**ICAO:** (fly) Ikke farlig gods

Special provisions:

Packing instructions for packing group:

	Packing Instructions	Max. Net. Qty
Passengers aircraft Cargo aircraft Limited quantity		

#### 15 Opplysninger om lover og forskrifter

**Faresymbol:**



Etsende

**Farebestemmende komponenter:** : Natriumcarbonat, Kaliumhydroksyd, Etoksyliert alkohol C9-C11, Alkylamincarboksyolat, Natriummetasilikat -5-hydrat, D-Limonen.

**R-setninger:** R22 Farlig ved svelging. R34 Etsende. R36/38 Irriterer øynene og huden. R41: Fare for alvorlige øyeskader.

**S-setninger:** S2 Oppbevares utilgjengelig for barn. S23 Unngå innånding av gass/røyk/damp/sprøytelåke.

S26 Får man stoffet i øynene; skyll straks grundig med store mengder vann og kontakt lege. S36 Bruk egnede verneklær.

**Referanser (Lover og forskrifter):** Forskrift om registrering, vurdering, godkjenning og begrensning av kjemikalier (REACH). Forskrift om liste over farlige stoffer (stoffliste). (Miljødepartementet). Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære 2007 (Arbeidstilsynet). Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter.

Vedlegg VI. Vaskemiddelforordningen.

Transportmerkingen er utført i henhold til bestemmelsene i ADR/RID/IMDG.

#### 16 Andre opplysninger

**Risikosekninger (fra punkt 2):** R22 Farlig ved svelging. R 36/38 Irriterer øynene og huden. R34 Etsende. R37 Irriterer luftveiene.

Opplysningene i dette Sikkerhetsdatabladet er i henhold til vår informasjon, og så vidt vi vet korrekt på den oppgitte dato for siste revisjon. De gitte opplysningene er ment å være retningsgivende for sikker håndtering, anvending, bearbeiding, lagring, transport, avhending og utslipp; de må ikke ansees å være en garanti eller kvalitetsspesifikasjon.

**Utarbeidet:** 22.09.2004.

**Revidert:** 02.03.2009.

# Brukerveiledning

## Produkttype:

Effektivt alkalisk vaskemiddel for vask av bygningsfasader og ellers alt som trenger effektiv rengjøring..

## Bruksområde:

TK 730 er spesielt egnet til vask av fasader før ny overflatebehandling..

## Bruksanvisning:

Påføres med lavtrykk . La virke noen minutter før rengjøring med vann. Bruk deretter helst høytrykk (forsiktig på tre-

Panel). Ev. børst veggen og spyl deretter

godt av med vannslange. Unngå konsentrert såpe på vinduer, og aluminium

som ikke er eloksert eller behandlet.

## Dosering:

Normalt anbefales blanding 1:10 med vann. Ved kraftig forurensning kan det være ønskelig med sterkere konsentrasjon,

ned mot 1:5 med vann.

## Egenskaper:

Oppløselighet:	Blandbar med vann.
Ph konsentrat:	ca. 12,5
Ph-verdi 10% løsn.:	ca. 11
Skumnivå:	Middels skummende

## Klassifisering:

Helsefare:	Etsende.
Miljøfare:	Ikke merkepliktig
Brannfare:	Ikke merkeplikt



Statens vegvesen  
Region vest  
Ressursavdelinga  
Askedalen 4 6863 LEIKANGER  
Tlf: (+47 915) 02030  
firmapost-vest@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram saman**