

# Renholdsforsøk 2017

Uttesting av ny spylebom i tunnel og gate i Kristiansund

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 536



**Tittel**

Renholdsforsøk 2017

**Undertittel**

Uttesting av ny spylebom i tunnel og gate i Kristiansund

**Forfatter**

Brynhild Snilsberg, Dagfin Gryteselv og Inga-Loise Sætermo Veivåg

**Avdeling**

Vegavdelingen

**Seksjon**

Drift, vedlikehold og vegteknologi

**Prosjektnummer**

604144

**Rapportnummer**

Nr. 536

**Prosjektleder**

Brynhild Snilsberg

**Godkjent av**

Øystein Larsen

**Emneord**

Drift, renhold, vasking, utstyr, spylebom, feiemaskin, tunnel, gate, vegstøv, svevestøv, PM10, dokumentasjon

**Sammendrag**

Renholdsforsøk ble utført i Kristiansund sommeren 2017 i tunnel (Freifjordtunnelen) og gate (Bentnesveien) i Møre og Romsdal. Hensikten med forsøkene var å teste ut en ny spylebom for rengjøring av vegkant og fortau i gate samt bankett i tunnel. Dette er en videreføring av forsøkene som ble gjennomført i 2015 og 2016 (Statens vegvesen rapport nr. 619 og 432).

**Title**

Road cleaning in tunnel and street, 2017

**Subtitle**

Testing of a cleaning unit with high pressure nozzles

**Author**

Brynhild Snilsberg, Dagfin Gryteselv and Inga-Loise Sætermo Veivåg

**Department**

Roads Department

**Section**

Operation, maintenance and road technology

**Project number**

604144

**Report number**

No. 536

**Project manager**

Brynhild Snilsberg

**Approved by**

Øystein Larsen

**Key words**

Maintenance, cleaning, equipment, high pressure nozzles, tunnel, street, road dust, PM10, documentation

**Summary**

To document methods and equipment for cleaning of tunnels and roads, field tests were performed using a cleaning unit with high pressure nozzles.

## Forord

Statens vegvesen har gjennomført uttesting av ulike typer maskiner for veg- og tunnelrenhold de senere årene. Gjennom forsøkene ser vi at vegstøvdepotet ikke er jevnt fordelt i vegbanen, og at det akkumuleres mest støv i vegkanten, lite i selve hjulsporene, en del mellom hjulspor, og mere i midten av veggen/mellom kjørefelt. Det er viktig at fokus rettes mot områdene der støvet akkumuleres. Dagens feiemaskiner har vansker med å komme inntil kantsteinen med kraftige spyle- og oppsug-/vakuumsystemer, og dermed blir det største støvdepotet (spesielt finstøvet med partikkelstørrelse mindre enn 0,180 mm) ofte liggende igjen etter rengjøring. Sidearealene er sjelden dimensjonert for tunge kjøretøy, slik at store feiemaskiner bør holde seg i kjørebanelen. Noen feiemaskiner begynner å få påmontert en spyleanretning som gjør støvet tilgjengelig og flytter det inn til feiebilen.

Mesta på Frei har anskaffet en ny feiebil, Val Air med rotorclean, der det midt på bilen er påmontert en spylebom. Spylebommen består av tre breistråledyser med en hurtigkobling som muliggjør en forlenging med 4 ekstra dyser. Trykk kan reguleres fra 0–300 bar. Det ble gjennomført forsøk 14.–15. juni 2017 i Kristiansund (Bentnesveien og Freifjordtunnelen) for å dokumentere effekt av denne spylebommen, med tanke på å forbedre renhold av vegens sideområder (inntil kantstein og på fortau/bankett) både i gate og i tunnel.

Dette har vært samarbeidsprosjekt mellom Mesta AS og Statens vegvesen. Vi ønsker å gi en stor takk til alle involverte som stilte opp for å delta i forsøket. Statens vegvesen har dekt de fleste kostnadene med forsøkene.

Brynhild Snilsberg, Dagfin Gryteselv og Inga-Loise Sætermo Veivåg

Trondheim, desember 2017

## Innhold

Forord.....	1
Innhold .....	2
Sammendrag .....	3
1. Innledning .....	6
2. Formål .....	8
2.1 Renhold i tunnel .....	8
2.2 Renhold av vegger og gater .....	9
3. Feiebil.....	10
3.1 Frontsystem .....	11
3.2 Midtsystem og spylebom.....	12
3.3 Baksystem .....	15
4. Forsøksfelt og vaskeprosedyrer .....	16
4.1 Gate .....	16
4.2 Tunnel.....	19
5. WDS III .....	21
5.1 Prøvetaking .....	22
Gate .....	22
Tunnel.....	24
5.2 Laboratorieanalyse .....	26
Forberedelser .....	26
Analyse .....	26
6. Resultater – renhet på vegbanen og sideareal .....	30
6.1 Gate .....	30
6.2 Tunnel.....	34
7. Konklusjon .....	40
Gate .....	40
Tunnel.....	40

## Sammendrag

Vegstøv er ikke jevnt fordelt i vegbanen. Det akkumuleres mest støv i vegkanten, lite i selve hjulsporene, en del mellom hjulspor og i midten av vegen/mellom kjørefelt. Det er viktig at renhold rettes mot områdene der støvet akkumuleres, og spesielt i vegkant er det utfordrende for feiemaskiner å rengjøre effektivt. Rapporten gir resultater fra uttesting av en ny spylebom i kombinasjon med sidedyser for å rengjøre fortau, banketter og området inntil kantstein/bankett. Hensikten er å løsrive og flytte støvet slik at det er tilgjengelig for oppsugingsystemet til feiemaskinen.

Testingen foregikk både i gate og i tunnel, der ett felt ble rengjort som referanse uten bruk av spylebom, men med sidedyse. Sidedysen spuler inn mot kantsteinen/banketten og dekker et horisontalt område i vegkanten på ca. 20–30 cm og vertikalt mot kantstein/bankett. Trykket kan justeres fra 0–300 bar, 130 bar ble valgt under forsøkene. I gate ble sidebommen brukt med forlenger (totalt 7 beistråledyser) for å rengjøre området på fortauet samt inntil og oppå kantsteinen ved et trykk på 70 bar. I tunnel ble sidebommen brukt uten forlenger (3 breistråledyser) for å rengjøre området på og inntil banketten ved et trykk på 70 og 130 bar. Arbeidshastighet under forsøkene var ca. 3 km/t som er normal fremdriftshastighet.

### Gate

Ved rengjøring uten bruk av spylebom og med høytrykksdysse inn mot kantsteinen, ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ) inntil kantsteinen redusert med 73 % etter vask. Støvmengden ble redusert med ca. 40 % i høyre hjulspor etter vask. Støvmengden på fortau er trolig på samme nivået før og etter vask siden spylebom ikke benyttes og høytrykksdysen ikke når inn på fortauet.

Ved rengjøring med bruk av spylebom (70 bar) og høytrykksdysse inn mot kantsteinen, ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ) inntil kantsteinen redusert med 89 % etter vask. Nedgangen i støvmengden etter vask på fortauet er ca. 65 %, og i høyre hjulspor ca. 19 %.

Reduksjonen i støvmengde er altså størst hvor spylebommen ble benyttet. Nedgangen i støvmengden inntil kantsteinen er 16 prosentpoeng større ved bruk av spylebom kontra uten. Reduksjonen er også stor på fortau ved bruk av spylebom, mens i høyre hjulspor er reduksjonen i støvmengde størst uten bruk av spylebom. Dette kan tyde på at spylebommen spuler partikler fra kant og inn mot høyre hjulspor.

Den totale støvmengden (partikler mindre enn 5 mm) viser samme fordeling i på tvers av vegbanen som for fine partikler (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ); størst støvmengde inntil kantstein, minst støvmengde i høyre hjulspor. Rengjøring med spylebom inntil kant fjerner større mengde partikler enn rengjøring inntil kant uten bruk av spylebom. Resultatene viser også at rengjøring i høyre hjulspor er mer effektivt uten bruk av spylebom, siden støvmengden øker i høyre hjulspor etter rengjøring med spylebom. Dette kan tyde på at spylebommen spuler partikler fra kant og inn mot høyre hjulspor.

Andelen av finstoff (partikler mindre enn 180 µm) er størst inntil kantsteinen der ca. 40–55 % av partiklene har en partikkelstørrelse under 180 µm før vask. På fortauet er andelen av partikler mindre enn 180 µm mellom 10–25 %. I høyre hjulspor er andelen av grove partikler dominerende, under 10 % av partiklene er mindre enn 180 µm, men andelen partikler mindre enn 180 µm øker etter vask.

Spylebommen har god effekt på å redusere mengden av partikler mindre enn 180 µm på fortau og inntil kantstein.

Andel mineralogisk materiale ligger på ca. 90 %. Andelen organisk materiale øker etter rengjøring på fortau og i høyre hjulspor. Inntil kantstein minker andel organisk materiale etter rengjøring.

## Tunnel

Rengjøring uten bruk av spylebom og med bruk av høytrykksdyse er i dette forsøket lite effektivt for å rengjøre inntil bankett (partikler mindre enn 180 µm), hvor nedgangen i partikler etter vask er på ca. 2 %. Reduksjonen i partikler i høyre hjulspor etter rengjøring er på ca. 20 %.

Ved rengjøring med bruk av spylebom med 70 bar trykk og med bruk av høytrykksdyse inn mot banketten ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180 µm) inntil bankett redusert med 40 %. Støvmengden i høyre hjulspor reduseres med ca. 65 %.

Ved rengjøring med bruk av spylebom med høyt trykk (130 bar) og med bruk av høytrykksdyse ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180 µm) inntil bankett redusert med 40 %, samme reduksjonen som ved 70 bar. Partikkelmengden øker med ca. 77 % i høyre hjulspor etter vask, noe som kan skyldes at høyt trykk på spylebommen kan flytte mer støv til det høyre hjulsporet.

Økning av trykket på spylebommen fører altså ikke til bedre rengjøring inntil bankett. 70 bar trykk på spylebommen fjerner støv inntil bankett like effektivt som spylebom med 130 bar trykk. I tillegg fører økt trykk på spylebommen til økt støvmengde i høyre hjulspor.

Måling av den totale støvmengden på vegbanen (partikler mindre enn 5 mm) viser at støvmengden inntil bankett øker og at støvmengden i høyre hjulspor minker med økende avstand fra tunnelmunningen inn i tunnelen. I tunnel er differansen mellom den totale støvmengden inntil bankett/kant og høyre hjulspor mindre enn differansen i gate. Differansen øker i takt med lengden inn i tunnel. Spylebom med 70 og 130 bar trykk har marginal effekt på å fjerne støv inntil bankett, den totale støvmengden reduseres med rundt 10% i begge feltene med bruk av spylebom inntil bankett. I høyre hjulspor fører rengjøring uten spylebom og med spylebom (70 bar) til reduksjon i den totale støvmengden, mens spylebom med høyt trykk (130 bar) fører til en økning i den totale støvmengden etter vask.

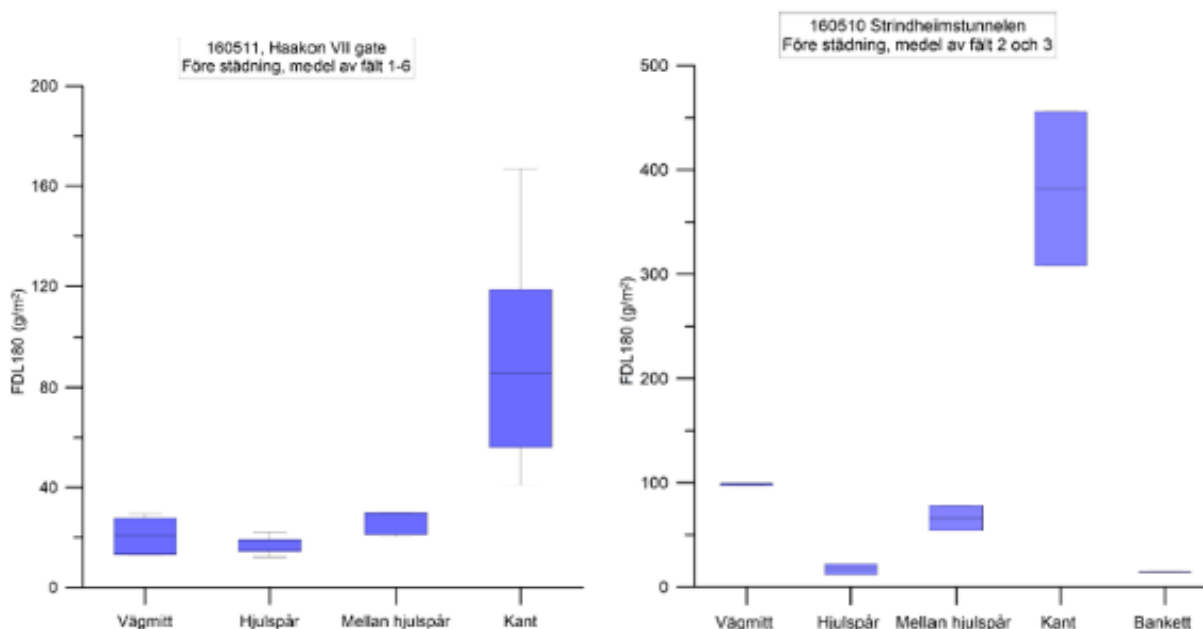
Det akkumuleres størst mengde finstoff (partikler mindre enn 180 µm) inntil bankett, der andel finstoff i prøvene er ca. 8–16 %, mens i høyre hjulspor er andelen ca. 4–7 %. Alle tre metodene for rengjøring reduserer andelen finstoff i prøvene, men bruk av spylebom med

70 bar trykk er den mest effektive metoden for å fjerne finstoff på vegen ut i fra de metodene som ble testet.

Andel mineralogisk materiale i prøvene fra tunnel ligger på ca. 90 %. Det er mer organisk materiale i prøver tatt i høyre hjulspor enn inntil bankett før rengjøring. Resultatene gir ikke noen klar trend hvordan fordelingen mellom organisk og mineralogisk materiale endrer seg før og etter vask.

## 1. Innledning

Vegstøv er ikke homogent fordelt i vegbanen. Som vist i Figur 1 akkumuleres mye av finstøvet (partikkelstørrelse < 0,180 mm) inntil kantsteinen, en del mellom hjulspor og i midten av vegen, og det er generelt lite støv i selve hjulsporene. Hvor mye som ligger på fortauet vet vi mindre om. I tunnelmiljø er støvmengden på vegbanen større enn i gatemiljø.



Figur 1: Vegstøvdepot i gate (venstre) og tunnel (høyre) i Trondheim før rengjøring (VTI rapport 953)<sup>1</sup>. Legg merke til ulik skala på y-aksen (g/m<sup>2</sup>)

I denne rapporten presenteres resultater fra forsøk i Kristiansund der det er testet ut en spylebom for å fjerne finstøvet fra vegkant/sideområde både i en gate (Bentnesveien) og i Freifjordtunnelen, og gjøre vegstøvet tilgjengelig for feiebilen sitt oppsugingsystem. Renhet på vegbanen før og etter rengjøring er målt med wet dust samplers, WDS III.

<sup>1</sup> [https://www.vti.se/sv/Publikationer/Publikation/utvardering-av-stadmaskiners-formaga-att-reducera-\\_1163217](https://www.vti.se/sv/Publikationer/Publikation/utvardering-av-stadmaskiners-formaga-att-reducera-_1163217)





Figur 2: Beliggenhet av gate- og tunnelforsøk

## 2. Formål

Formålet med forsøkene var å teste spylebom for å rengjøre inntil kantstein og på fortau/vegens sideområde i gate og inntil bankett og på bankett i tunnel, og dokumentere effekt på renhet.

### 2.1 Renhold i tunnel

Hensikten med renhold i tunnel er å redusere støvoppvirvling for å opprettholde god sikt og forlenge levetiden til tunnelen. Trafikksikkerhet, framkommelighet og levetid på utstyr m.m. i tunnelanlegg er svært viktig, og man ser at lager i vifter og pumper er utsatt for slitasje pga. svevestøv og små partikler i vann. I Statens vegvesen sin Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold står det:

*Tunnelrenhold skal bidra til positiv opplevelse for trafikantene gjennom å sikre en estetisk tiltalende og sikker tunnel, godt arbeidsmiljø for de som utfører arbeider 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 støvkonsentrasjon i tunnelluften*
- *Bidra til forlenget levetid for installasjoner og lave driftskostnader*

*ved å fjerne uønskede og fremmede gjenstander, materialer og belegg.*

I dagens driftskontrakter er kravet til tunnelvask at det skal bli «tilstrekkelig rent». Det er ingen konkrete krav til lyshet eller mengde støv som kan være igjen i vegbanen. Utfordring ligger i å dokumentere og sette krav til dette, og i disse forsøkene ble ulike metoder benyttet til dokumentasjon som for eksempel måling av lyshet i tunnelen, tekstur og støv på vegbanen og banketten.

I R610 skilles det mellom helvask, halvvaske og teknisk rengjøring:

*Renhold: Hel*

- *Rengjøring av kjørebane og skulder med oppsamling av masser*
- *Rengjøring av tak og vegger*
- *Rengjøring av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefeltsignaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmatur/kabelbru, buffere, ventilatorer*
- *Tømming av sandfang (se også kap. 2.8 Avvannings- og dreneringssystem)*
- *Rengjøring av kjørebane og skulder*

*Renhold: Halv*

- *Rengjøring av kjørebane og skulder med oppsamling av masser*
- *Rengjøring av vegger*

- Rengjøring av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefeltsignaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmatur/kabelbru, buffere
- Rengjøring av kjørebane og skulder
- Vegg regnes opp til høyde 3,5 meter der skillet mellom vegg og tak er uklart

#### Renhold: Teknisk

- Rengjøring av sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning, kjørefeltsignaler, nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmatur/kabelbru, buffere
- Rengjøring av kjørebane og skulder

## 2.2 Renhold av veger og gater

Hensikten med renhold av veger og gater er å fjerne skitt og smuss for hovedsakelig å sikre god luftkvalitet i byer og tettsteder. I Statens vegvesen sin Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold står det:

*Renhold skal sikre vegbanens funksjon (friksjon, vannavrenning, synlighet), miljøforhold (luftkvalitet), universell utforming og estetikk ved fjerning av uønskede og fremmede gjenstander, materialer og belegg.*

*Renhold skal utføres uten at det medfører støvplage for omgivelsene.*

I dagens driftskontrakter i by settes det i noen tilfeller krav til type utstyr (type børster, mengde vann, vanntrykk, spyledyser, nedre funksjonstemperatur) som skal brukes til renhold, men ikke krav til resultat på vegbanen. Flere av de største byene i Norge har dårlig lokal luftkvalitet forårsaket av vegtrafikk, spesielt partikulært materiale (PM). Hovedkildene til PM10 forurensning i byer er slitasje av vegdekket, eksos, vedfyring og byggevirksomhet. Fra 2016 er Forurensningsforskriften for PM10 og PM2,5, og i 2018 vil det bli vurdert om verdier for 2020 skal innføres. Dette vil øke krav til effekt av rengjøring og støvdemping.

	Før	2016	2020?
<b>PM10</b>	<p>Årsmiddel-konsentrasjon: maksimalt 40 µg/m<sup>3</sup></p> <p>Døgnmiddel-konsentrasjon: 50 µg/m<sup>3</sup> med maksimalt 35 tillatte overskridelser</p>	<p>Årsmiddel-konsentrasjon: maksimalt 25 µg/m<sup>3</sup></p> <p>Døgnmiddel-konsentrasjon: 50 µg/m<sup>3</sup> med maksimalt 30 tillatte overskridelser</p>	<p>Årsmiddel-konsentrasjon: maksimalt 22 µg/m<sup>3</sup></p> <p>Døgnmiddel-konsentrasjon: 50 µg/m<sup>3</sup> med maksimalt 15 tillatte overskridelser</p>
<b>PM2,5</b>	<p>Årsmiddel-konsentrasjon: maksimalt 25 µg/m<sup>3</sup> (blir gjeldende i 2015)</p>	<p>Årsmiddel-konsentrasjon: maksimalt 15 µg/m<sup>3</sup></p>	<p>Årsmiddel-konsentrasjon: maksimalt 12 µg/m<sup>3</sup></p>

Figur 3: Krav til PM10 og PM2,5. Verdier for 2020 vil bli vurdert i 2018

### 3. Feiebil

I dette kapitlet beskrives den nye feiebil med spylebom og rotorclean-system som ble brukt under forsøkene.



Figur 4: ValAir feiebil (Foto: Brynhild Snilsberg)

Feiebilens merke er ValAir BalHydro 15 rotorclean med motor Euro VI med hydrostatisk fremdrift og maksimum arbeidshastighet på 15 km/t. Styringssystemet er vist i Figur 5.



Figur 5: Styringssystem (Foto: Brynhild Snilsberg)

### 3.1 Frontsystem

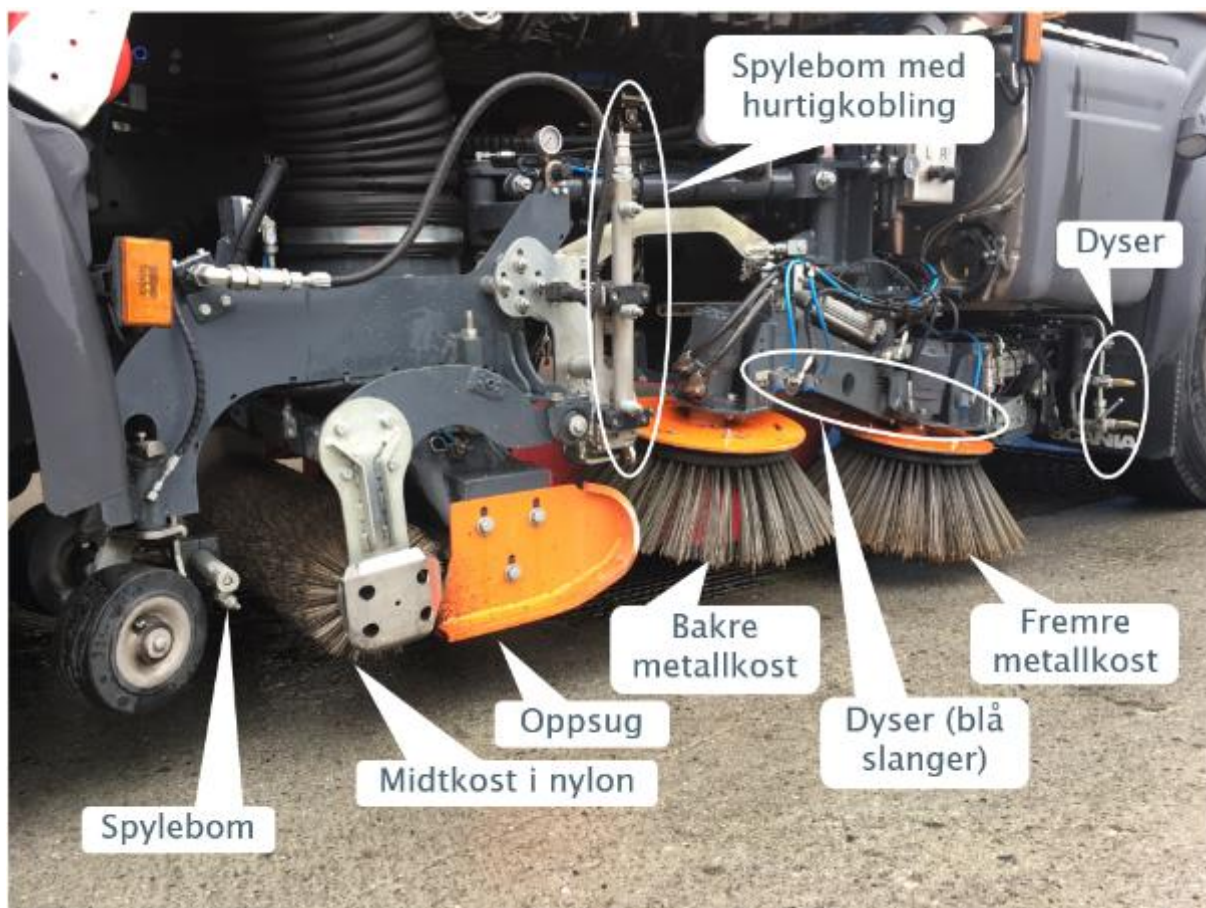
Foran på bilen er det montert en 2,5 meter bred horisontal spylebom med 7 høytrykksdyser og 4 lavtrykksdyser. Vinkelen på bommen kan endres. Trykket på høytrykksdysene kan justeres 0–300 bar.



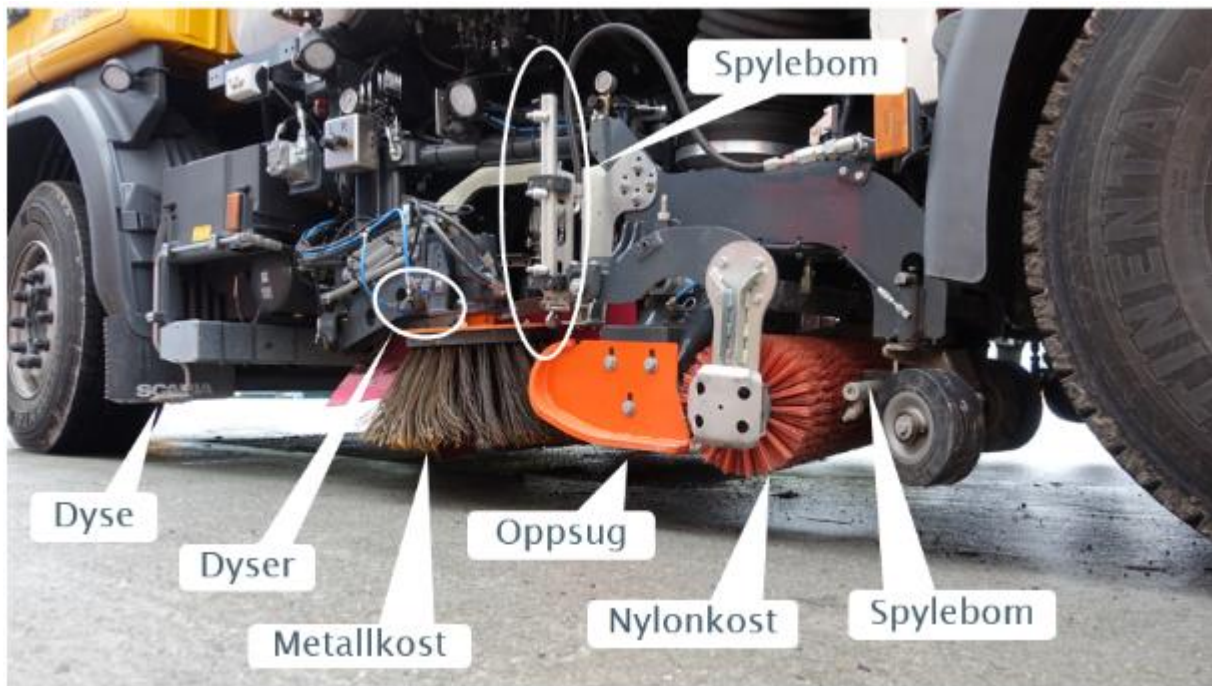
Figur 6: Spylebom foran på bilen (Foto: Brynhild Snilsberg og Dagfin Gryteselv)

### 3.2 Midtsystem og spylebom

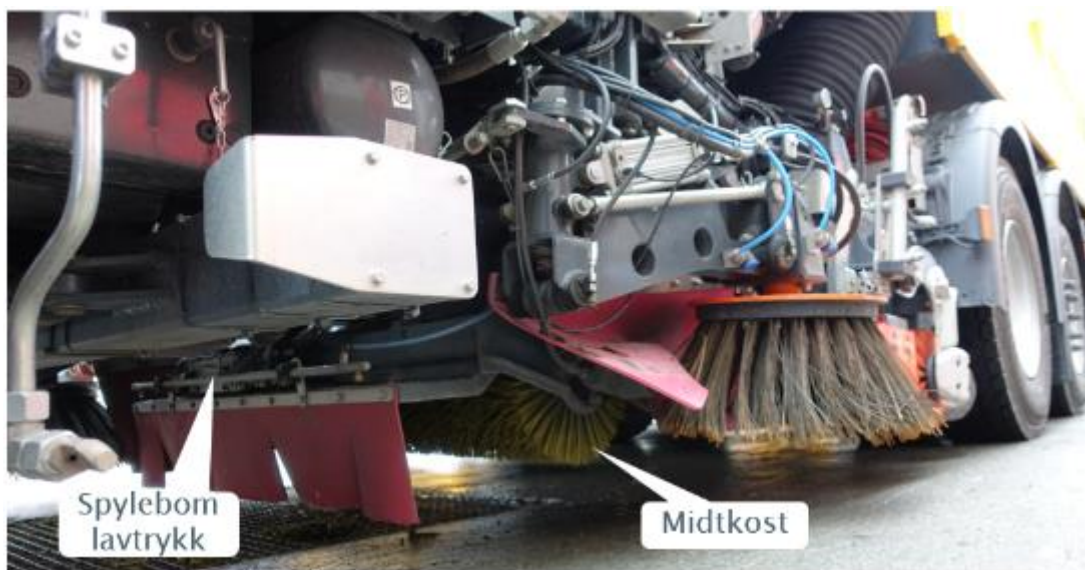
Feiesystemet midt på bilen er vist i Figur 7, Figur 8, Figur 9 og Figur 10. Systemene er litt forskjellige på høyre og venstre side av feiebilen. De sirkulære metallkostene er 0,6 m i diameter. Den fremste metallkosten på høyre side er regulerbar med teleskop inntil 1,7 m, mens de bakre metallkostene har tilnærmet fast stilling. Alle kan tiltes, og har lavtrykksdyser for spyling av vann (blå slanger på figurene) for hindre oppvirvling av støv. Oppsugene på hver side er 0,6 m brede, og den 0,6 m brede nylonkosten bak børster støv inn mot oppsuget. Bak nylonkostene er det en 0,6 m bred spylebom 0–300 bar. Det er også en midtkost i nylon (1,4 m bred) under feiebilen som feier område mellom nylonkostene på høyre og venstre side av feiebilen, som er regulerbar mot høyre eller venstre samt vinkel. Bak denne midtkosten i nylon er det montert en spylebom 0–300 bar. Det er ikke noe oppsug bak denne. Foran metallkostene er det to bredstråledyser på høyre side og en på venstre side av feiebilen for å spyle inn mot kantsteinen 0–300 bar. Metalldyser og oppsug kan reguleres 0–300 bar.



Figur 7: Feiesystem på høyre side av bilen (Foto: Brynhild Snilsberg)



*Figur 8: Feiesystem på venstre side av bilen (Foto: Dagfin Gryteselv)*



*Figur 9: Midtkost i nylon med spylebom (Foto: Dagfin Gryteselv)*

På venstre og høyre side av feiebilen er det en spylebom med 3 høytrykksdyser som kan spyle i vertikal posisjon eller vinkles nedover mot bakken. Spylebommen på høyre side har en hurtigkobling slik at det kan kobles på en forlenger med 4 ekstra høytrykksdyser. Det er breistråledyser og det er viktig at de vinkles slik at vannstrålene ikke treffer hverandre for maksimal effekt.



*Figur 10: Spylebom med 7 høytrykksdyser (3 faste og 4 ekstra på en forlenger) på høyre side av feiebilen (Foto: Brynhild Snilsberg og Dagfin Gryteselv)*



### 3.3 Baksystem

Bak på feiebilen er det montert et rotorclean-system som består av seks rotor og bredsuget. Bak bredsuget er det en spylebom med 16 bredstråledyser, og på siden av bredsuget er det montert sidedyser (2 bredstråledyser på hver side). Spylebommen kan ikke brukes samtidig som de roterende spyledysene. Alle dyser kan justeres 0–300 bar. Rotordysene bruker vanligvis 120–130 bar på sommeren, og 150 bar på vinteren, eventuelt 200 bar når det er veldig mye fastgrodd støv. Bredsuget kan også reguleres 0–300 bar, det er vanlig å bruke 60–70 bar.



Figur 11: Rotorclean-system (Foto: Brynhild Snilsberg)

## 4. Forsøksfelt og vaskeprosedyrer

I dette kapitlet beskrives forsøksfelt og vaskeprosedyrer for gate i Kristiansund og Freifjordtunnelen.

### 4.1 Gate

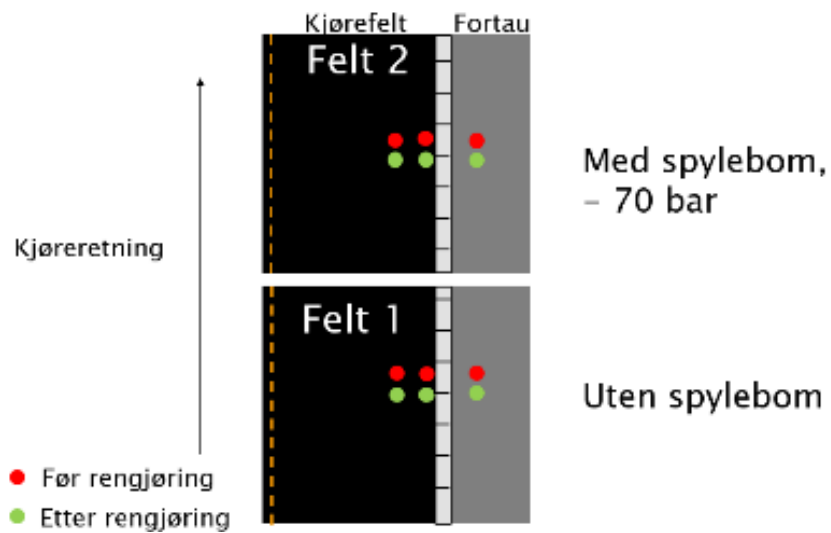
Det ble valgt to forsøksfelt à 150 m i en gate i Kristiansund (Bentnesveien), se Figur 12. Gaten hadde ikke vært rengjort på tre år, så det var mye vegstøv spesielt langs kantsteinen. Det ble derfor grovt rengjort inntil kantsteinen for å fjerne mye av det akkumulerte vegstøvet, se Figur 13. Gaten hadde to kjørefelt med fortau på begge sider. Felt 1 ble rengjort på tradisjonelt vis med første et drag med midtsystemet på feiebilen (metallkoster, nylonkoster og oppsug), deretter rotorclean med sidedyse. I felt 2 ble spylebommen brukt på drag 1 sammen med midtsystemet på feiebilen (metallkoster, nylonkoster, og oppsug), og rotorclean med sidedyse på drag 2. Bredsuget hadde et oppsug på 60–70 bar. Tabell 1 viser vaskeprosedyrene i de to forsøksfeltene.

På felt 1 ble WDS måling på fortau kun gjort etter rengjøring pga at det ikke ble benyttet spylebom og det kan antas at støvmengden på fortauet er lik både før og etter rengjøring. Det ble gjort WDS måling før og etter rengjøring inntil kantsteinen og i høyre hjulspor på felt 1.

På felt 2 ble WDS måling gjort før og etter rengjøring på fortauet, inntil kantsteinen og i høyre hjulspor.

*Tabell 1: Vaskeprosedyre gate i Kristiansund*

Felt	Vaskeprosedyre i to trinn	Trykk dyser	Fremdrift
1	Overfart 1: Midtsystem: Sidekoster, midtkost og oppsug	–	3 km/t
	Overfart 2: Baksystem: Rotorclean med sidedyse på bredsuget	130 bar	3 km/t
2	Overfart 1: Midtsystem: Spylebom, sidekoster, midtkost og oppsug	70 bar	3 km/t
	Overfart 2: Baksystem: Rotorclean med sidedyse på bredsuget	130 bar	3 km/t



Figur 12: Forsøksfelt og WDS måling i gate i Kristiansund



Figur 13: Pga. mye vegstøv langs kantsteinen før rengjøring ble det i alle felt kjørt et drag med koster og oppsug før forsøkene startet i gate (Foto: Brynhild Snilsberg)



*Figur 14: Drag 1, felt 2: Spylebom, koster og oppsug i gate (Foto: Brynhild Snilsberg)*

Spylebommen skulle spyle på skrå fremover mot oppsug og koster i midtsystemet, men den la seg bakover slik at grove partikler ble blåst ut til siden på fortauet og vann med finstoff rant tilbake mot kantsteinen.



*Figur 15: Drag 2, felt 1 og 2: Rotorclean og spyledyse mot kantstein i gate (Foto: Dagfin Gryteselv)*

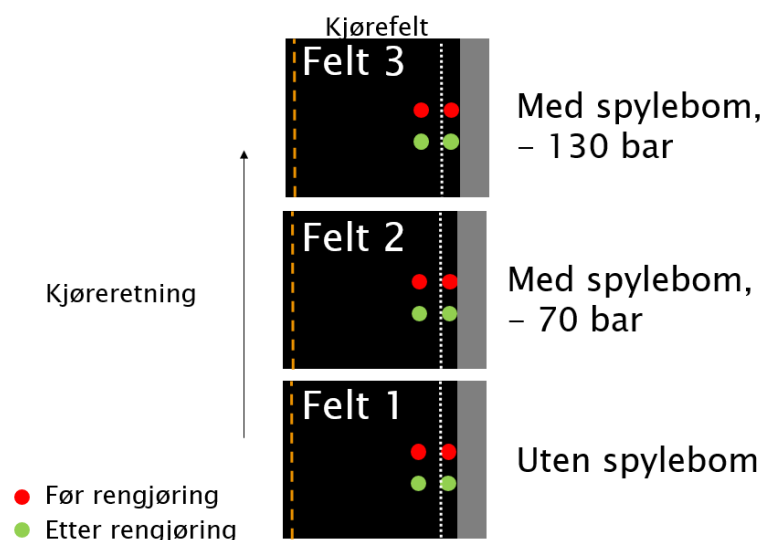
## 4.2 Tunnel

Det ble valgt tre forsøksfelt à 150 m i Freifjordtunnelen, se Figur 16. Tunnelen ble sist rengjort 30. mai. Tunnelen har tre kjørefelt (der ett var krabbefelt) med smal betongbankett på begge sider i forsøksområdet. Felt 1 ble rengjort på tradisjonelt vis med først et drag med midtsystemet på feiebilen (metallkoster, nylonkoster og oppsug), deretter rotorclean med sidedyse. I felt 2 ble spylebommen med lavt trykk brukt på drag 1 sammen med midtsystemet på feiebilen (metallkoster, nylonkoster, og oppsug), og rotorclean med sidedyse på drag 2. I felt 3 ble spylebommen med høyt trykk brukt på drag 1 sammen med midtsystemet på feiebilen (metallkoster, nylonkoster, og oppsug), og rotorclean med sidedyse på drag 2. Bredsuget hadde et oppsug på 60–70 bar. Tabell 2 viser vaskeprosedyrene i de tre forsøksfeltene.

WDS måling ble gjort før og etter rengjøring inntil banketten og i høyre hjulspor.

Tabell 2: Vaskeprosedyre Freifjordtunnelen

Felt	Vaskeprosedyre i to trinn	Trykk dyser	Fremdrift
1	Overfart 1: Midtsystem: Høyre sidekoster, midtkost og oppsug	–	3 km/t
	Overfart 2: Baksystem: Rotorclean med sidedyse på bredsuget	130 bar	3 km/t
2	Overfart 1: Midtsystem: Vasking med spylebom (lavt trykk), koster og oppsug	70 bar	3 km/t
	Overfart 2: Baksystem: Rotorclean med sidedyse på bredsuget	130 bar	3 km/t
3	Overfart 1: Midtsystem: Vasking med spylebom (høyt trykk), koster og oppsug	130 bar	3 km/t
	Overfart 2: Baksystem: Rotorclean med sidedyse på bredsuget	130 bar	3 km/t



Figur 16: Forsøksfelt og WDS måling Freifjordtunnelen



*Figur 17: Drag 1, felt 1. Vasking med koster og oppsug i Freifjordtunnelen (Foto: Dagfin Gryteselv)*



*Figur 18: Drag 1, felt 2 og 3. Vasking med spylebom, koster og oppsug i Freifjordtunnelen (Foto: Dagfin Gryteselv)*

## 5. WDS III

For å dokumentere hvor effektiv spylebommen var på å rengjøre sideområde av vegen ble WDS III benyttet for å måle renhet på vegen før og etter rengjøring.

Renhet på vegbanen ble målt med Wet Dust Sampler (WDS III). WDS III er utviklet av Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) i Sverige, og er en oppgradert versjon av prøvetakeren som ble brukt på renholdsforsøkene i 2016. Statens vegvesen har anskaffet dette utstyret, og gjennomførte prøvetakingen selv.

WDS III er en høytrykksvasker med vakuumpumpe, som tar prøver av støv som ligger på vegoverflaten med partikkelstørrelse mindre enn 5 mm. Vasking og prøvetakingstiden blir styrt av en digital styringsenhet for å gjøre prøvetaking så repeterbar som mulig. En viss mengde destillert vann blir spylt ut under høyt trykk og sugd opp i en prøveflaske som kan analyseres videre (f.eks. med tanke på støvmengde, partikkelstørrelsesfordeling og andel uorganisk materiale). Det ble brukt 340 ml destillert vann per «skudd».



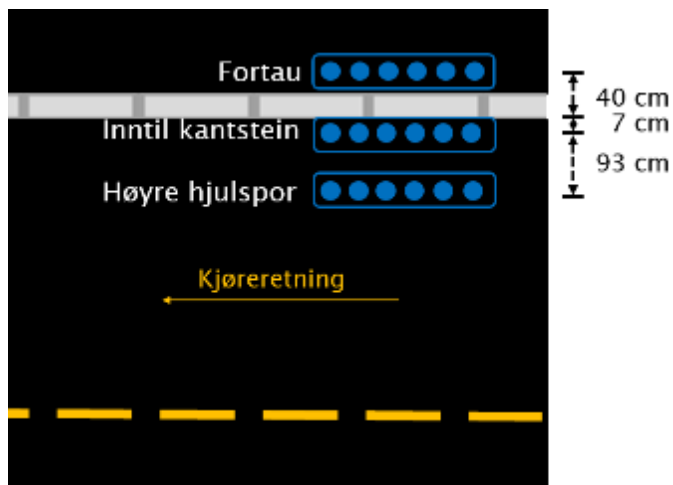
Figur 19: WDS III (Foto: Mats Gustafsson)

Arealet («skudd») som vaskes er relativt lite på ca. 20 cm<sup>2</sup> (sirkel med ca. 51 mm i diameter). Det ble derfor vasket 6 arealer («skudd») i hver prøveflaske (totalt ca. 2,5 liter i hver prøveflaske på 6 «skudd»), og det ble tatt en prøveflaske fra hvert område, se Figur 20 og 24 nedenfor.

## 5.1 Prøvetaking

### Gate

WDS III tok prøver på fortau, inntil kantstein og i høyre hjulspor før og etter rengjøring på felt 1 og 2. Prøvene («skuddene») på fortauet ble tatt ca. 40 cm fra kantsteinen, se Figur 20. Det var en del grove steinpartikler som vi plukket bort før prøvetaking så de ikke skulle kile seg fast i prøvetakeren. Prøvene («skuddene») inntil kantsteinen ble tatt så tett inntil kantsteinen som mulig, ca. 7 cm fra kantsteinen, se Figur 20. Prøvetakeren ble løsgjort fra ståplaten slik at vi kom tett inn til kantsteinen. Det var mye løst støv i vegkanten. Prøvene («skuddene») i høyre hjulspor ble tatt ca. 100 cm fra kantsteinen, se Figur 20. Det var visuelt lite støv i hjulsporet sammenlignet med i vegkanten.



Figur 20: WDS måling i gate i Kristiansund. En prøveflaske besto av 6 «skudd» (blå sirkler).



Figur 21: WDS måling på fortau i ca. 40 cm avstand fra kantsteinen (Foto: Brynhild Snilsberg og Dagfin Gryteselv)





Figur 22: WDS måling inntil kantstein i ca. 7 cm senteravstand (Foto: Dagfin Gryteselv og Brynhild Snilsberg)



Figur 23: WDS måling høyre hjulspor i ca. 100 cm avstand fra kantsteinen (Foto: Dagfin Gryteselv)

## Tunnel

WDS III tok prøver inntil banketten og i høyre hjulspor før og etter rengjøring på felt 1, 2 og 3. Prøvene («skuddene») inntil banketten ble tatt mellom banketten og vegoppmerkingen, ca. 7 cm fra kanten på banketten, se Figur 24. Prøvetakeren ble løsgjort fra ståplaten slik at vi kom tett inntil banketten. Det var mye fastgrodd støv i teksturen. Prøvene («skuddene») i høyre hjulspor ble tatt ca. 45 cm fra kanten av banketten, se Figur 24. Det var visuelt lite støv i hjulsporet sammenlignet med i kanten.



Figur 24: WDS måling i Freifjordtunnelen. En prøveflaske besto av 6 «skudd» (blå sirkler).



Figur 25: WDS måling Freifjordtunnelen inntil banketten (Foto: Dagfin Gryteselv)



*Figur 26: WDS måling i Freifjordtunnelen høyre hjulspor (Foto: Dagfin Gryteselv)*



*Figur 27: WDS måling inntil bankett og i høyre hjulspor (Foto: Brynhild Snilsberg)*

## 5.2 Laboratorieanalyse

Laboratorieanalysen ble gjennomført på Statens vegvesen sitt laboratorium i Trondheim. Prøveflaskene ble først veid, så siktet på 0,180 mm for å fjerne grovstøvet. Materialet < 0,180 mm ble filtrert på askefritt filter, tørket, veid og glødet. Etter gløding ble partikkelstørrelsesfordelingen til materialet < 0,180 mm bestemt med laserpartikkelteller.



Figur 28: Prøveflasker (Foto: Inga-Loise Sætermo Veivåg)

### Forberedelser

- Alle prøvene ble satt i kjøleskap etter prøvetakingen for å unngå groforhold.
- Petriskåler ble nummerert i forhold til prøvenavn/nummer.
- Askefritt filterpapir tilsvarende 2 ganger prøveantallet ble lagt i en petriskål i eksikator i minst 1 time før veiing.
- To filter per prøve ble veid, for å unngå at det ble for mye partikler per filter under filtrering. Mye partikler på filteret vil føre til at filtratet vil inneholde partikler og filtrering må gjøres om igjen. Begge filtrene ble lagt i merket petriskål.
- Merkede digler ble skylt med destillert vann. Diglene ble satt i eksikator i minimum 1 time.
- Diglene ble veid på en vekt med 4 desimaler etter at de hadde stått i eksikator. Vekt ble notert. Diglene settes tilbake i eksikator etter at de har blitt veid.

### Analyse

#### *Innveiing av prøvene*

- Alle prøveflaskene ble veid på vekt med ett desimal. Prøveflasken ble veid uten kork. Vekten på alle prøvene ble notert ned. Prøvene ble satt tilbake i kjøleskapet til sikting.

#### *Sikting av prøvene*

- Før siktingen startet ble en bøtte med lik diameter som siktet satt på vekten. Vekten ble nullstilt med bøtten på.

- Alle prøvene ble ristet godt og siktet gjennom en 180 µm sikt. Sikten ble skylt med destillert vann ved behov.
- Bøtten med siktet prøve ble satt på vekten og vekten ble notert ned.
- Siktete prøver ble overført tilbake til prøveflasken, ved hjelp av en trakt. Prøvene ble satt i kjøleskap til filtreringen.
- Sikten ble lagt i ultralydbad når siktingen av prøvene var ferdig for rengjøring.



*Figur 29: Sikting på 180 µm og veiing (Foto: Ida Ulvik Rønningen og Inga-Loise Sætermo Veivåg)*

### *Filtrering*

- Filteringsoppsatsen med buchnertrakt og tilhørende filtreringskolber ble satt opp. Slanger fra pumpen ble koblet til kolbene.
- Filterpapirene ble lagt i buchnertrakten og fuktet med destillert vann, for å unngå luftbobler.
- Alle prøvene ble filtrert på to filter. Hvis prøven inneholdt stor mengde partikler ble ytterligere filter benyttet. Hvis filtratet inneholdt partikler ble dette filtrert på nytt.
- Filter ble tatt opp med pinsett og lagt tilhørende petriskål igjen. Det ble revet av en del av filteret for å få med seg partikler langs kanten på buchnertrakten.
- Filtrat ble helt ut i vasken etter filtrering. Buchnertrakene og kolber ble vasket med destillert vann mellom hver filtrering.
- Petriskåler med filter ble satt i varmeskap på 60 °C i minimum 6 timer til tørking.
- De tomme prøveflaskene ble satt i varmeskap på 60 °C til tørking. Deretter ble de veid og vekten ble notert ned.



Figur 30: Filtrering og tørking av filterpapir (Foto: Inga-Loise Sætermo Veivåg)

### Forbrenning

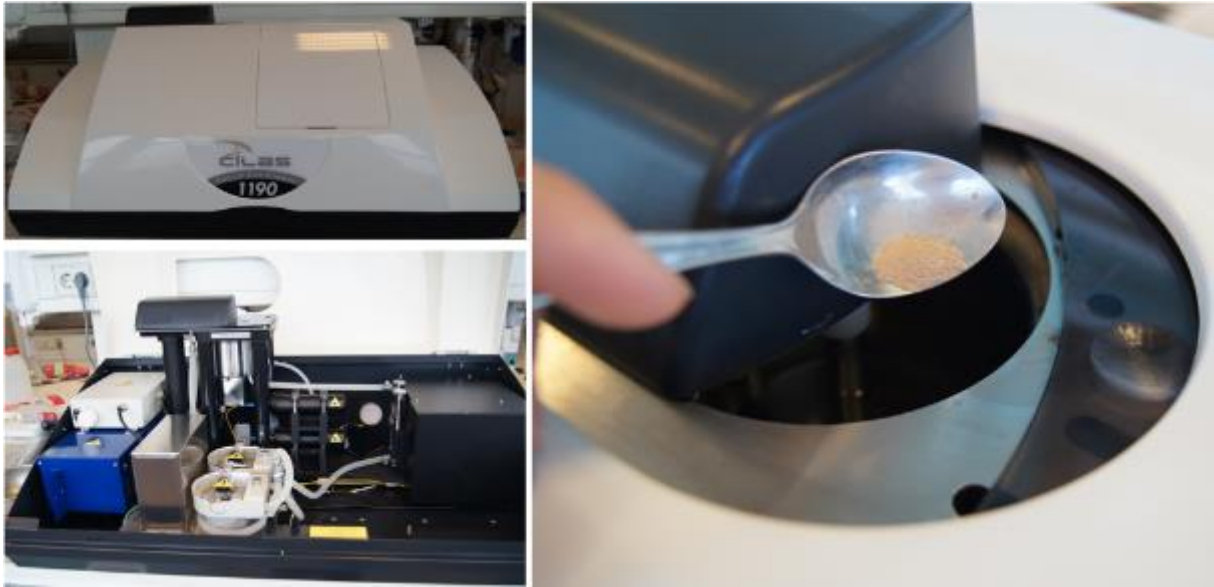
- De tørkede filterpapirene ble veid etter tørking.
- Filter ble ført tilbake i petriskål for deretter i digel. For å ikke miste partikler ble filter brettet i petriskål. Det ble benyttet en kost for å få med seg partikler som lå igjen i petriskålen.
- Det ble satt lokk på diglene. Deretter ble de satt i forbrenningsovnen i 6 timer på 550 °C.
- Etter forbrenning og avkjøling ble dinglene satt i eksikator i 2 timer før innveiing.
- Diglene ble veid uten lokk og vekt ble notert.
- Diglene med prøve ble tatt vare på til analyse av størrelsesfordeling.



Figur 31: Veiging og gløding av filterpapir (Foto: Inga-Loise Sætermo Veivåg)

### Størrelsesfordeling

- Etter forbrenning av prøvene ble det kjørt analyse for å se på størrelsesfordelingen til alle prøvene. Dette ble gjort med instrumentet «Particle Size Analyzers 1190». En liten del av prøven ble analysert. Størrelsesfordelingen ble kjørt på programmet «Mie» som passer best til analyse på små partikler. Partikkeltelleren har ultralydstråling slik at prøvene ble bra oppløst i vannet.



*Figur 32: Analyse av partikkelstørrelsesfordeling (Foto: Inga-Loise Sætermo Veivåg)*

## 6. Resultater – renhet på vegbanen og sideareal

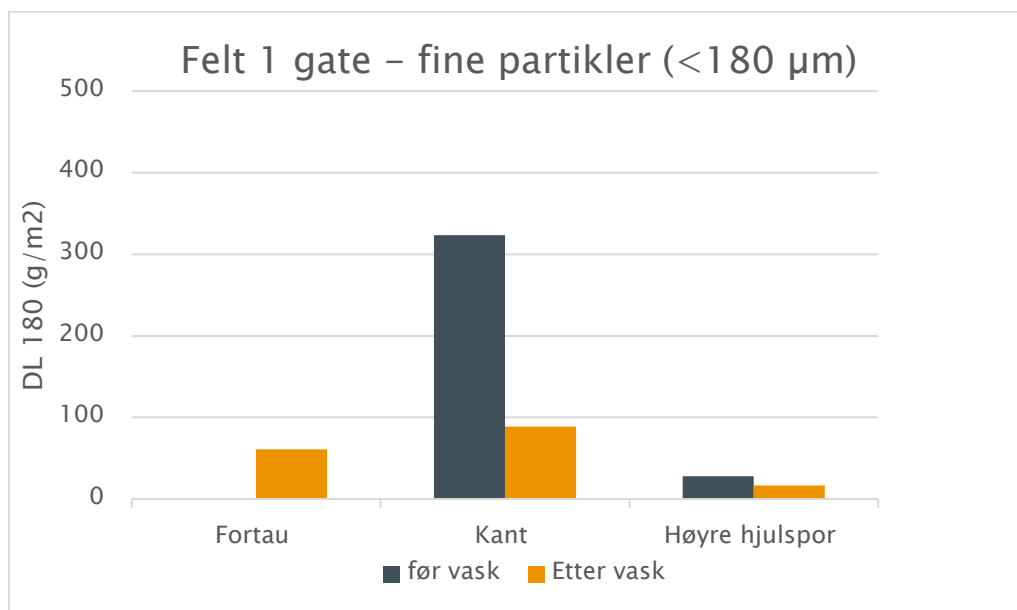
I dette kapitlet presenteres resultater fra målinger tatt i gate i Kristiansund og i Freifjordtunnelen.

### 6.1 Gate

I dette avsnittet blir resultater fra Bentnesveien presentert.

Som vist i figur 33 og 34 akkumuleres det mest vegstøv inntil kantstein, en del på fortau og generelt mindre i hjulspor. Figurene tar utgangspunkt i DL180 («dust load» av partikler < 180 µm bestemt ved filtrering av prøvene som er samlet med WDS III) verdiene til prøvene før og etter vasking av vegbanen. Inntil kantstein akkumuleres det ca. 15 ganger mer støv enn i høyre hjulspor, og på fortau ca. 5 ganger mer.

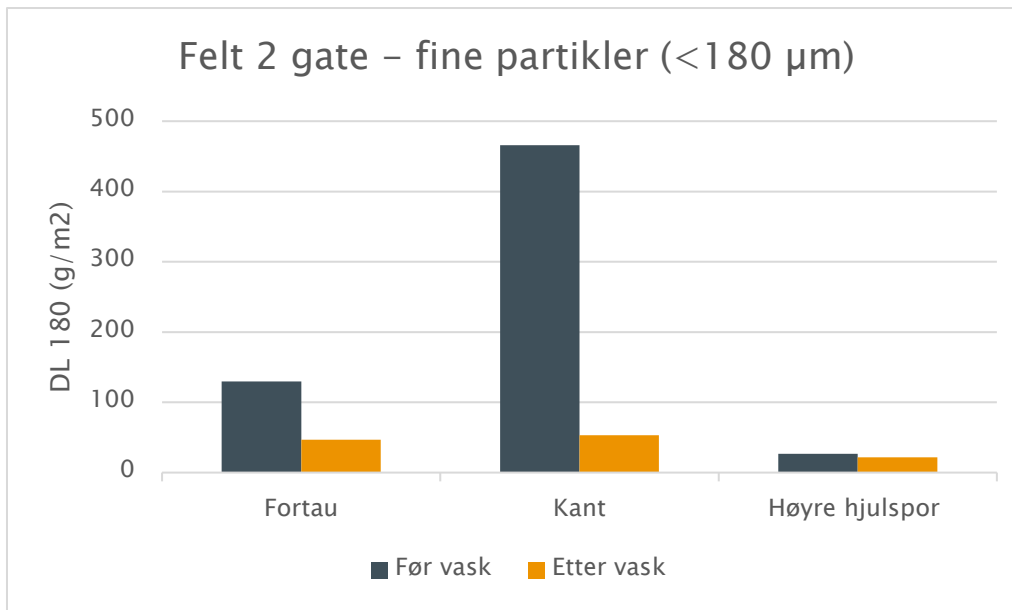
Ved rengjøring på tradisjonelt vis, som i felt 1, er støvmengden over 3 ganger høyere inntil kantsteinen før vask enn etter vask. Støvmengden blir i tillegg redusert med ca. 40 % i høyre hjulspor etter vask. Det ble ikke tatt prøve på fortau før vask, men støvmengden etter vask er trolig rimelig lik nivået før vask siden fortauet ikke ble vasket med spylebom.



Figur 33: Fordeling av vegstøv på vegbanen for felt 1 før og etter vasking

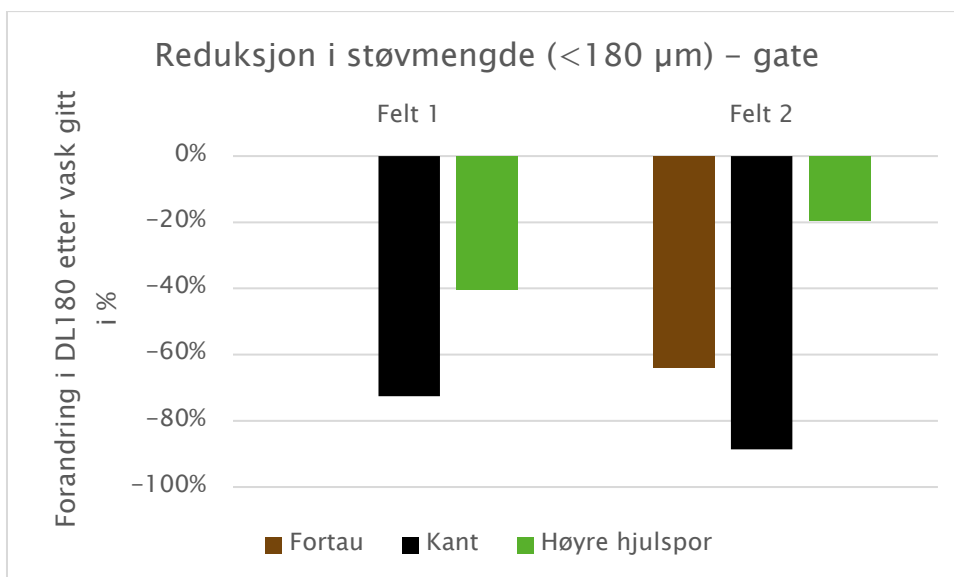
I felt 2, hvor spylebom ble benyttet, synker støvmengden markant etter rengjøring. Støvmengden inntil kantstein er over 8 ganger høyere før rengjøring enn etter rengjøring. Nedgangen i støvmengden etter vask på fortauet er ca. 65%, og i høyre hjulspor ca. 19%.





Figur 34: Fordeling av vegstøv på vegbanen for felt 2 før og etter vasking

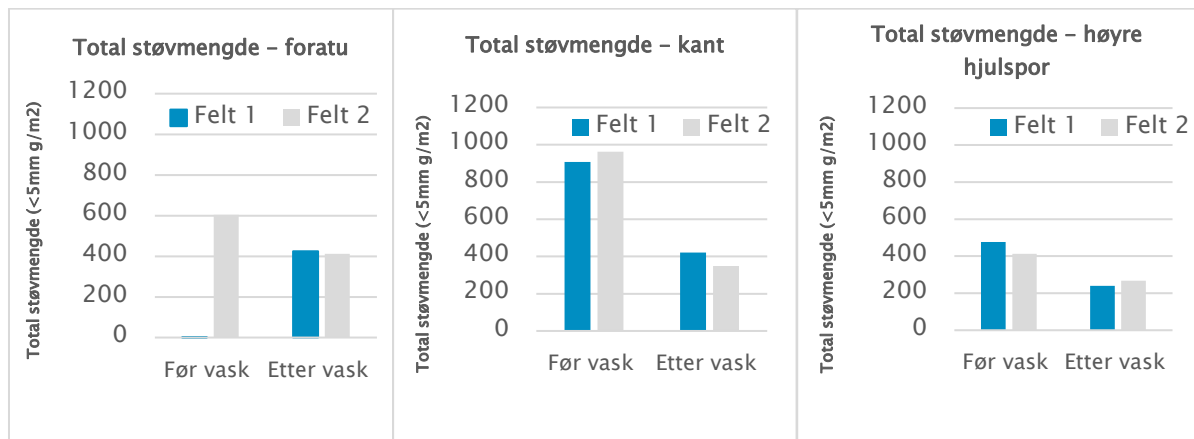
Figur 35 viser hvordan støvmengden forandrer seg etter vasking på fortau, inntil kantstein og i høyre hjulspor. Inntil kantstein er reduksjonen stor både i felt 1 og 2. Reduksjonen er størst i felt 2 hvor spylebommen ble benyttet. Nedgangen i støvmengden er ca. 16% større enn for felt 1 hvor spylebommen ikke ble brukt inntil kantsteinen. Ved bruk av spylebom får man fjernet flere partikler inntil kantstein. Reduksjonen er også stor på fortau ved bruk av spylebom. Reduksjonen er ca. 64%. I høyre hjulspor er reduksjonen i støvmengde størst uten bruk av spylebom.



Figur 35: Reduksjon i støvmengden (partikler <180 µm) etter vask med og uten spylebom. Felt 1: uten spylebom. Felt 2: med spylebom

Den totale støvmengden (mindre enn 5mm) på vegbanen presenteres i Figur 36. WDS har et oppsugsrør med en størrelse på 5mm, og skal ikke ta inn partikler over 5mm. Den totale støvmengden inntil kantstein er ca. 1,6 ganger høyere enn på fortau. Det akkumuleres minst

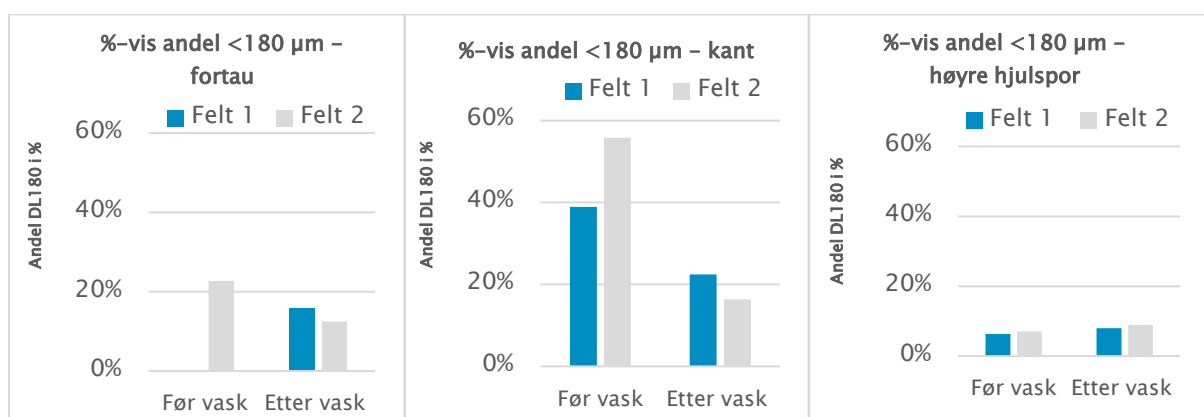
partikler i høyre hjulspor, hvor den totale støvmengden inntil kant er ca. 2 ganger høyere enn i høyre hjulspor. Rengjøring med spylebom inntil kant fjerner større mengde partikler enn rengjøring inntil kant uten bruk av spylebom. Resultatene viser også at rengjøring i høyre hjulspor er mer effektivt uten bruk av spylebom, siden støvmengden øker i høyre hjulspor etter rengjøring med spylebom. Dette kan tyde på at spylebommen spuler partikler fra kant og inn mot høyre hjulspor.



Figur 36: Total mengde støv i prøvene tatt i felt 1 og 2 før og etter rengjøring av vegbanen

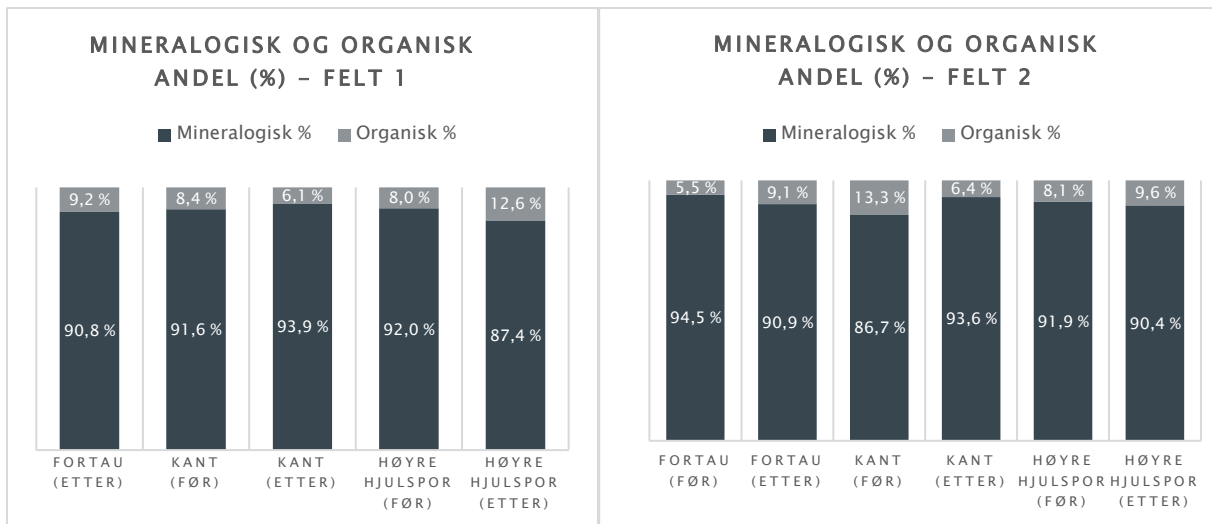
Figur 37 viser hvor stor andel av den totale støvmengden på vegbanen som er mindre enn 180 µm. Inntil kantsteinen finner vi den største andelen av finstoff. Hvor opptil ca. 40–55% av partiklene har en partikkelstørrelse under 180 µm før vask. På fortauet er andelen av partikler mindre enn 180 µm mellom 10%–25%. I høyre hjulspor er andelen av grove partikler dominerende. Her er det under 10% av partiklene som er mindre enn 180 µm.

I felt 2 har spylebommen god effekt på å minske mengden av partikler mindre enn 180 µm på fortau og inntil kantstein. I høyre hjulspor for felt 1 og 2 øker andelen partikler mindre enn 180 µm etter vask.



Figur 37: Andelen partikler under 180 µm av den totale støvmengden i prøvene tatt i felt 1 og 2 før og etter rengjøring av vegbanen

Fordelingen mellom mineralogisk og organisk materiale blir vist i Figur 38. Andelen organisk materiale øker etter rengjøring på fortau og i høyre hjulspor. Mens inntil kantstein minker andel organisk materiale.

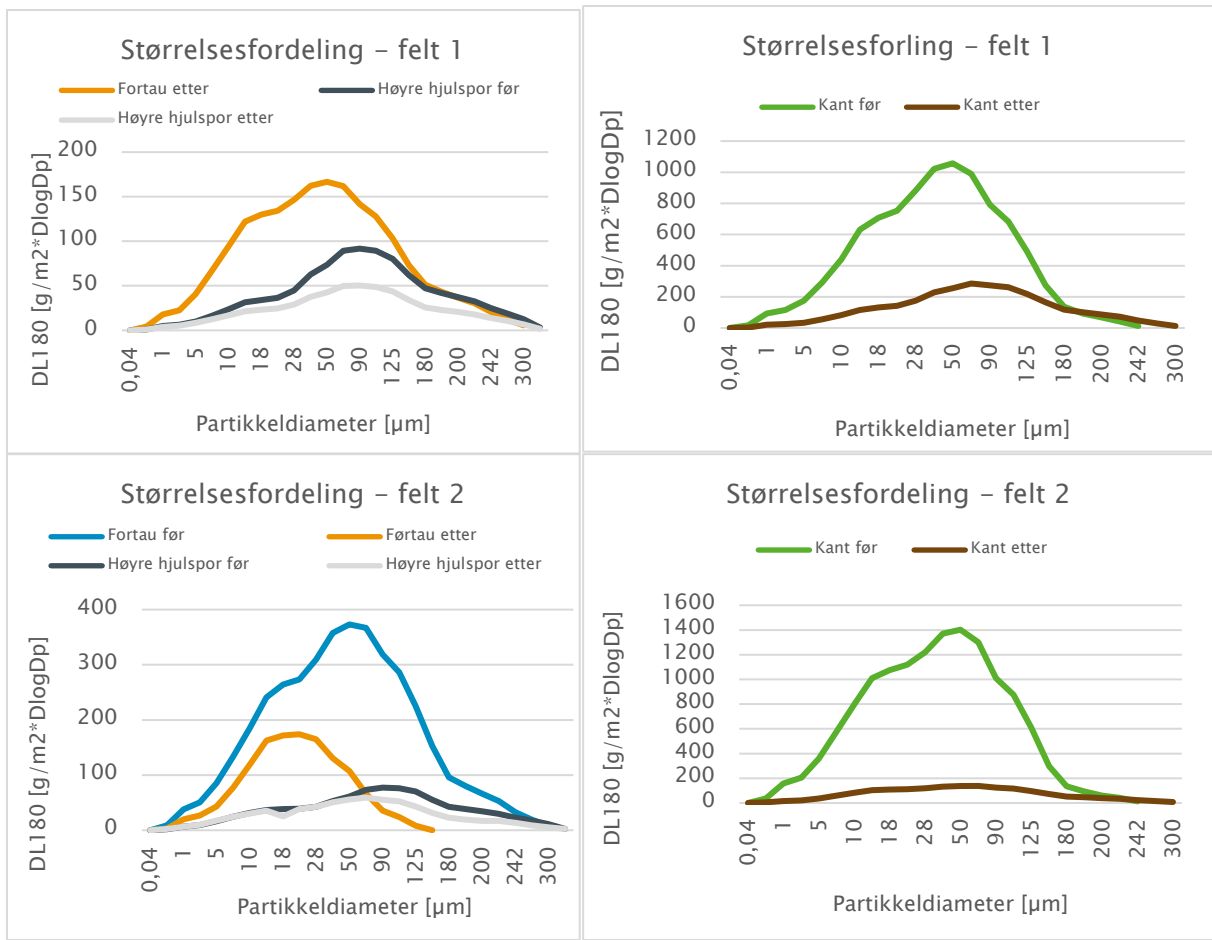


Figur 38: Mineralogisk og organisk andel i prøvene tatt i felt 1 og 2 før og etter rengjøring

Partikkelstørrelsen –og fordelingen er analysert med partikkeltelleren Cilas 1190. Prøvene ble analysert etter forbrenning. Prøvene ble løst opp i ultralydbad med vann. Figurene viser andelen partikler (gitt i volum) i hvert størrelsesintervall multiplisert med DL180 verdien for den gitte prøven. Resultatene for felt 1 og felt 2 på fortau, ved kant og i høyre hjulspor før og etter rengjøring blir presentert i Figur 39.

Generelt har rengjøringen redusert partikkelmengden. Høyre hjulspor har generelt større mengde av partikler med større partikkelstørrelse enn fortau og kant. Toppene ved kant og fortau er høyest ved 50 µm, mens i høyre hjulspor er toppen høyest ved 90 µm. Partikkeltettheten –og mengden er mye større ved kant enn ved høyre hjulspor og fortau. Den er rundt 4 ganger høyere ved kant enn på fortau, og 12 til 18 ganger høyere ved kant enn i høyre hjulspor.

Resultatene viser at spylebommen har god effekt på å senke partikkelmengden. Reduksjonen i felt 1 ved kant er 73 %, mens reduksjonen i felt 2 er ca. 90 %. Spylebommen har god effekt på å redusere partikkelmengden på fortau. Reduksjonen i felt 2 på fortau er ca. 24 %.



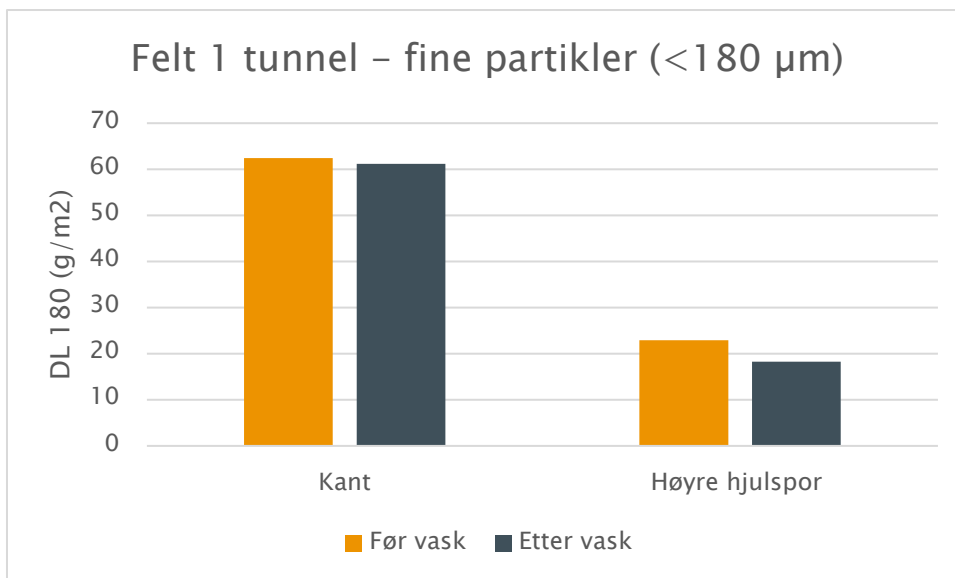
Figur 39: Fordeling av partikkelstørrelse på fortau, kant og høyre hjulspor i felt 1 og 2, før og etter rengjøring

## 6.2 Tunnel

I dette avsnittet blir resultater fra Freifjordtunnelen presentert.

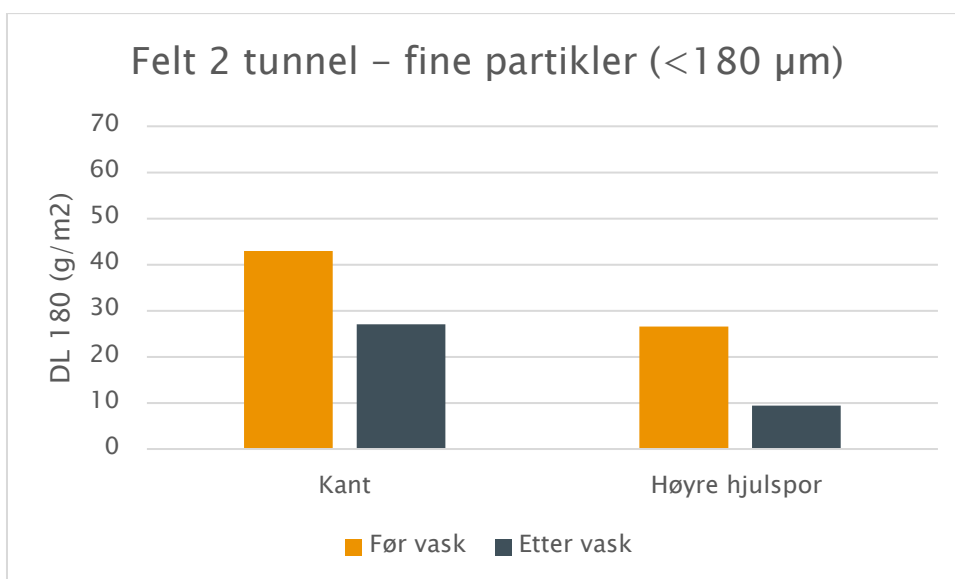
Fordeling av partikler på vegbanen i tunnel mindre enn 180  $\mu\text{m}$  blir presentert i Figur 40, Figur 41 og Figur 42. Figurene viser at det akkumuleres mest vegstøv inntil bankett, og mindre i høyre hjulspor.

Felt 1 ble vasket med midtsystemet (høyre sidekoster, midtkost og oppsug) på første drag, og med baksystemet (rotorclean med sidedyse på bredsgug). Figur 40 viser at tradisjonell rengjøring er lite effektivt for å rengjøre inntil bankett, hvor nedgangen i partikler etter vask er minimal. Reduksjonen i partikler i høyre hjulspor etter rengjøring er på ca. 20 %.



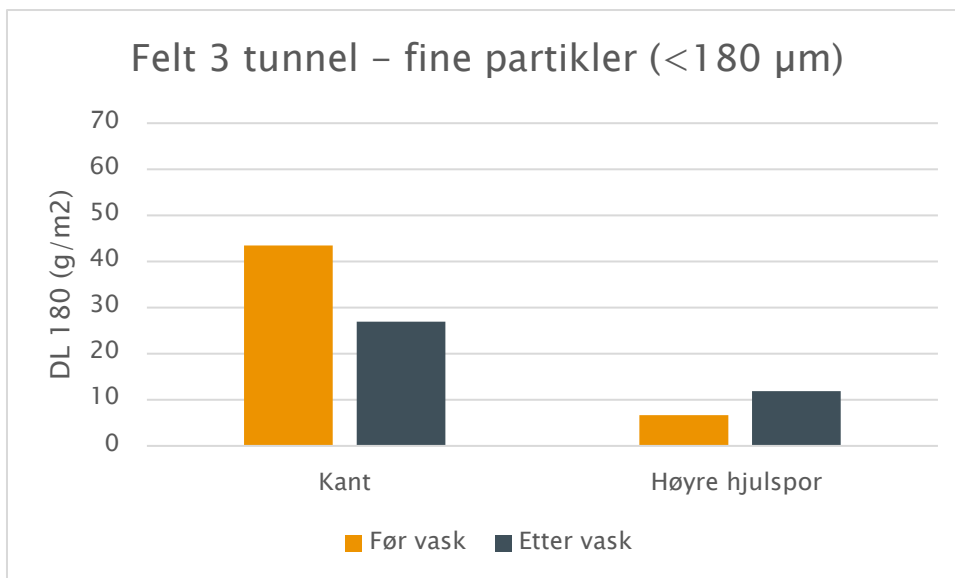
Figur 40: Fordeling av partikler på vegbanen i tunnel før og etter rengjøring på tradisjonelt vis

I felt 2 hvor spylebom med lavt trykk (70 bar) ble brukt ble partikkelmengden inntil bankett markant redusert. Mengden partikler inntil bankett var 1,5 ganger høyere før vask med spylebom enn etter. Ved å benytte spylebom får man fjernet mer av støvet som akkumuleres inntil bankett. Støvmengden reduseres også markant i høyre hjulspor. Reduksjonen er på ca. 65%.



Figur 41: Fordeling av partikler på vegbanen i tunnel før og etter rengjøring på tradisjonelt vis og med spylebom med lavt trykk

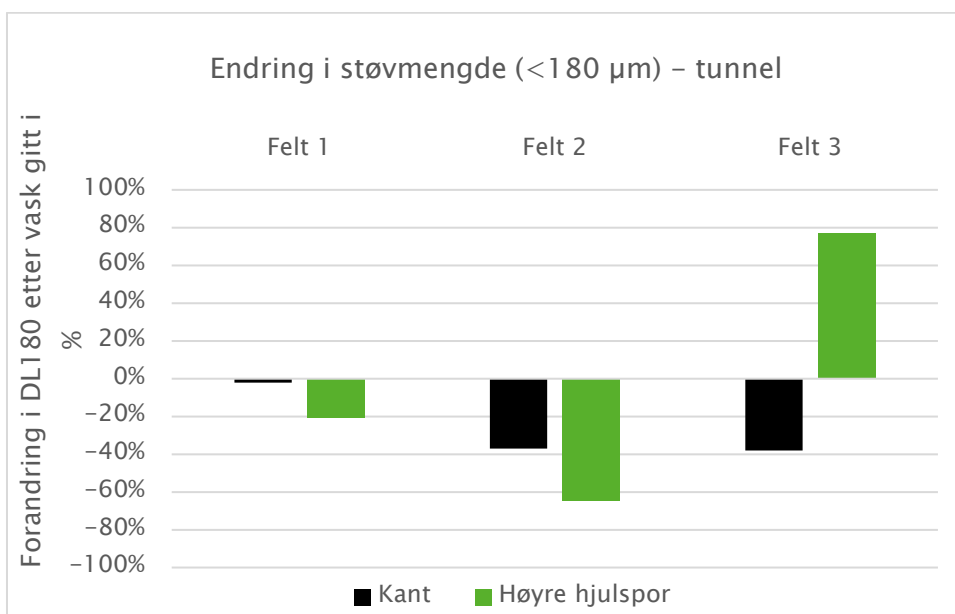
I felt 3 ble spylebom med høyt trykk (130 bar) benyttet. Spylebom med høyt trykk har, som spylebom med lavt trykk, god effekt på å fjerne støv inntil bankett. Figuren viser at partikkelmengden øker i høyre hjulspor etter vask. Økningen er på ca. 77%. Dette kan skyldes at høyt trykk på spylebommen fører mer støv til det høyre hjulsporet.



Figur 42: Fordeling av partikler på vegbanen før og etter rengjøring med spylebom med høyt trykk

Figur 43 viser reduksjon i partikkelmengde før og etter vask inntil bankett og i høyre hjulspor. I felt 1 hvor spylebom ikke ble benyttet ligger reduksjonen kun på rundt 2% inntil bankett. I felt 2 og 3 ble spylebom med henholdsvis lavt og høyt trykk benyttet for å rengjøre bedre inntil bankett. Figuren viser at økning av trykket ikke fører til bedre rengjøring inntil bankett. Lavt trykk på spylebommen fjerner støv inntil bankett like effektivt som spylebom med høyt trykk. Ved å benytte spylebom reduseres støvmengden som er mindre enn 180 µm med nesten 40 % inntil bankett.

For høyre hjulspor reduseres støvmengden i felt 1 og 2 etter rengjøring, mens i felt 3 økes støvmengden etter vask. Økningen er på 77%. I felt 1 og 2 er reduksjonen i støv mengden på henholdsvis ca. 20% og 65%. Spylebom med høyt trykk fører med seg flere partikler i høyre hjulspor.

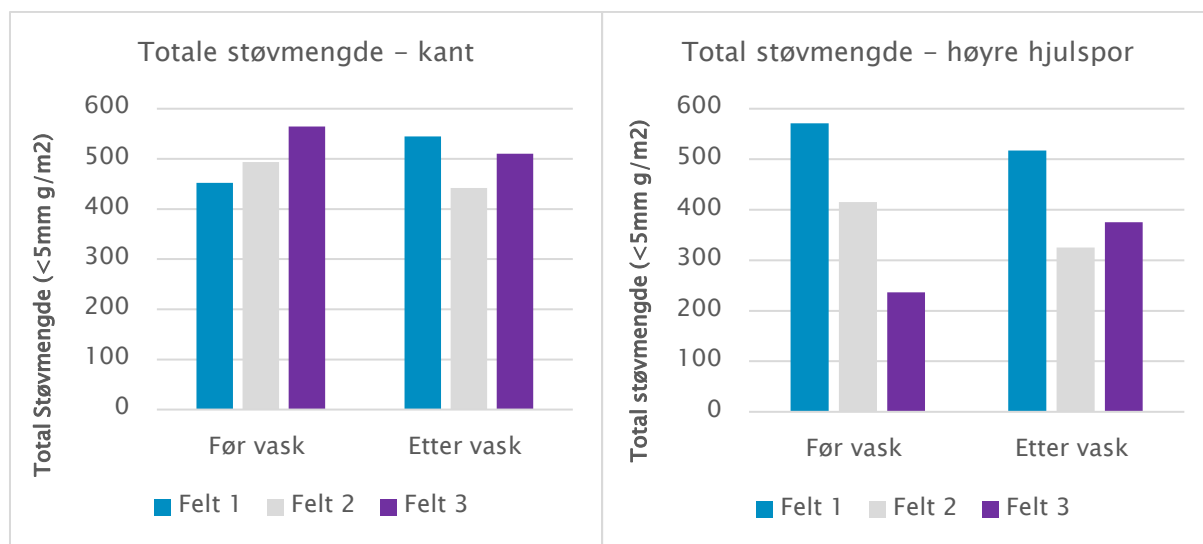


Figur 43: Endring i støvmengde mindre enn 180 µm etter vask i felt 1, 2 og 3

Den totale støvmengden på vegbanen vil si partikler mindre enn 5 mm. Figur 44 viser den totale støvmengden på vegbanen i tunnelen. I felt 2 og 3 akkumuleres det størst mengde partikler inntil bankett, som forventet. I felt 1 er støvmengden større i høyre hjulspor enn inntil bankett. Støvmengden inntil bankett øker med lengden inn i tunnel. På samme måte minker støvmengden i høyre hjulspor med lengden inn i tunnel.

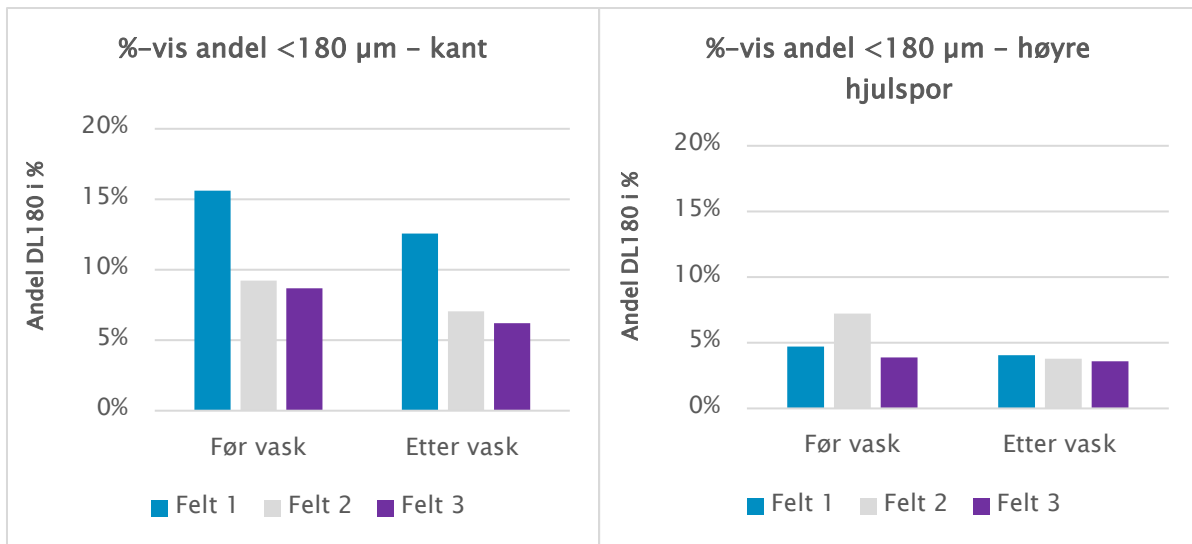
I tunnel er differansen mellom den totale støvmengden inntil bankett/kant og høyre hjulspor mindre enn differansen i gate. Differansen øker i takt med lengden inn i tunnel. Spylebom med lavt trykk, benyttet i felt 2, har god effekt på å fjerne støv inntil bankett. Det samme har spylebom med høyt trykk, benyttet i felt 3. Den totale støvmengden reduseres med rundt 10% i begge feltene med bruk av spylebom inntil bankett.

I høyre hjulspor fører rengjøring på tradisjonelt vis og spylebom med lavt trykk til reduksjon i den totale støvmengden, mens spylebom med høyt trykk fører til en økning i den totale støvmengden i høyre hjulspor etter vask.



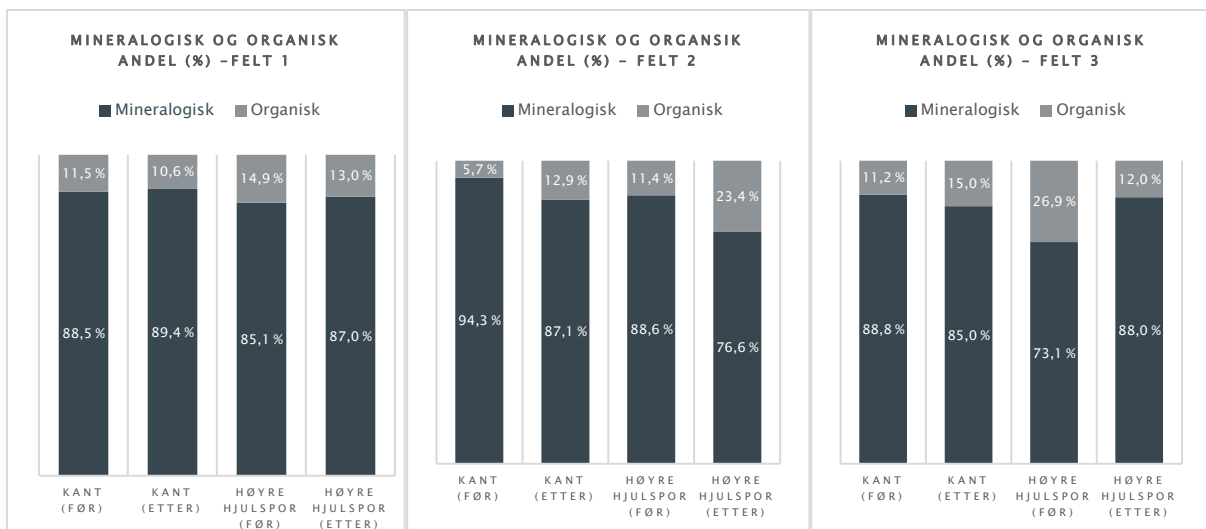
Figur 44: Total støvmengde i prøvene tatt før og etter rengjøring av vegbanen i tunnel

Andelen partikler i prøvene som er under 180  $\mu\text{m}$  er vist i Figur 45. Det akkumuleres størst mengde finstoff inntil bankett. Her er andelen av finstoff i prøvene mellom 8–16%, mens i høyre hjulspor er andelen mellom ca. 4–7%. Alle de tre ulike metodene for rengjøring minker andelen finstoff i prøvene. Spylebom med lavt trykk, benyttet i felt 2, er den mest effektive metoden for å fjerne finstoff på vegen ut i fra de metodene som ble testet.



Figur 45: Andelen partikler under  $180 \mu\text{m}$  av den totale støvmengden i prøvene tatt i felt 1, 2 og 3 før og etter rengjøring av vegbanen

Forholdet mellom mineralogisk og organisk materiale i prøvene er vist i Figur 46. Figuren viser at det er mer organisk materiale i prøver tatt i høyre hjulspor enn inntil bankett før rengjøring. Resultatene gir ikke noen klar trend hvordan fordelingen mellom organisk og mineralogisk materiale endrer seg før og etter vask.



Figur 46: Mineralogisk og organisk andel i prøvene tatt i felt 1, 2 og 3 før og etter rengjøring

Figur 47 viser størrelsesfordelingen av partiklene i prøvene tatt ved kant (inntil bankett) og i høyre hjulspor før og etter rengjøring i felt 1, 2 og 3. Figurene tar utgangspunkt i DL180 verdien til prøvene og tetthetsfordelingen av partiklene i hvert størrelsesintervall.

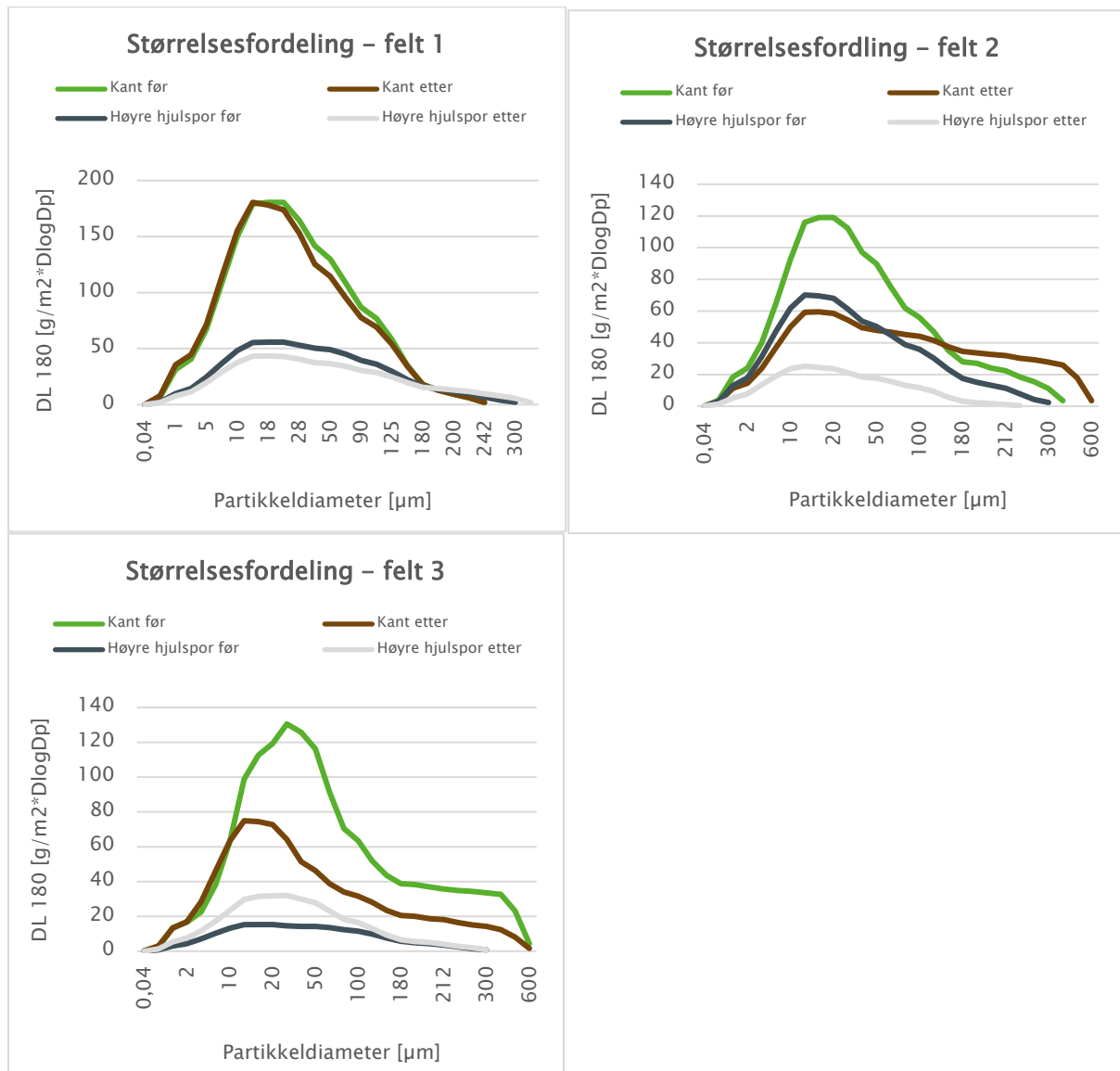
Felt 1 ble vasket på tradisjonelt vis, uten spylebom. Resultatene viser at rengjøring på tradisjonelt vis har liten effekt på å minske partikelmengden. Dette gjelder både ved kant (inntil bankett) og i høyre hjulspor.

For felt 2 og 3 viser resultatene at partikkeltettheten ved kant blir høyere ved en lavere partikkeldiameter etter vask enn før vask. Det vil si at flest grove partikler fjernes. I høyre



hjulspor for felt 2 er partikkeltettheten høyest ved 15  $\mu\text{m}$  både før og etter vask. I felt 3 i høyre hjulspor er partikkeltettheten størst ved 28  $\mu\text{m}$  etter vask, mens før vask er tettheten størst ved 15  $\mu\text{m}$ . Det betyr at det har blitt tilført flere grove partikler til høyre hjulspor under rengjøringen (siden partikelmengden øker).

I felt 2 og 3 hvor spylebom med henholdsvis lavt og høyt trykk ble benyttet viser resultatene at begge metodene har god effekt på å minske partikkelandelen ved kant. Spylebom med lavt trykk har en reduksjon på 50% etter rengjøring, mens høyt trykk gir en reduksjon på ca. 43%. Figurene viser også, som sett tidligere, at partikelmengden på vegbanen øker i høyre hjulspor ved høyt trykk på spylebommen. I høyre hjulspor i felt 2, hvor lavt trykk på spylebommen ble benyttet, reduseres partikelmengden på vegbanen med 64%. Høyt trykk på spylebommen fører flere partikler inn mot midten av vegbanen og dermed samler det seg mer støv i hjulsporene etter vask. Økningen i partikelmengde i høyre hjulspor i felt 3 er ca. 110%.



Figur 47: Fordeling av partikkelstørrelse ved kant og høyre hjulspor i felt 1, 2 og 3, før og etter rengjøring

## 7. Konklusjon

### Gate

Ved rengjøring uten bruk av spylebom og med høytrykksdyse inn mot kantsteinen, ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ) inntil kantsteinen redusert med 73 % etter vask. Støvmengden ble redusert med ca. 40 % i høyre hjulspor etter vask. Støvmengden på fortau er trolig på samme nivået før og etter vask siden spylebom ikke benyttes og høytrykksdysen ikke når inn på fortauet.

Ved rengjøring med bruk av spylebom (70 bar) og høytrykksdyse inn mot kantsteinen, ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ) inntil kantsteinen redusert med 89 % etter vask. Nedgangen i støvmengden etter vask på fortauet er ca. 65 %, og i høyre hjulspor ca. 19 %.

Reduksjonen i støvmengde er altså størst hvor spylebommen ble benyttet. Nedgangen i støvmengden inntil kantsteinen er 16 prosentpoeng større ved bruk av spylebom kontra uten. Reduksjonen er også stor på fortau ved bruk av spylebom, mens i høyre hjulspor er reduksjonen i støvmengde størst uten bruk av spylebom. Dette kan tyde på at spylebommen spyer partikler fra kant og inn mot høyre hjulspor.

Den totale støvmengden (partikler mindre enn 5 mm) viser samme fordeling i på tvers av vegbanen som for fine partikler (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ); størst støvmengde inntil kantstein, minst støvmengde i høyre hjulspor. Rengjøring med spylebom inntil kant fjerner større mengde partikler enn rengjøring inntil kant uten bruk av spylebom. Resultatene viser også at rengjøring i høyre hjulspor er mer effektivt uten bruk av spylebom, siden støvmengden øker i høyre hjulspor etter rengjøring med spylebom. Dette kan tyde på at spylebommen spyer partikler fra kant og inn mot høyre hjulspor.

Andelen av finstoff (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ) er størst inntil kantsteinen der ca. 40–55 % av partiklene har en partikkelstørrelse under 180  $\mu\text{m}$  før vask. På fortauet er andelen av partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$  mellom 10–25 %. I høyre hjulspor er andelen av grove partikler dominerende, under 10 % av partiklene er mindre enn 180  $\mu\text{m}$ , men andelen partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$  øker etter vask.

Spylebommen har god effekt på å redusere mengden av partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$  på fortau og inntil kantstein.

Andel mineralogisk materiale ligger på ca. 90 %. Andelen organisk materiale øker etter rengjøring på fortau og i høyre hjulspor. Inntil kantstein minker andel organisk materiale etter rengjøring.

### Tunnel

Rengjøring uten bruk av spylebom og med bruk av høytrykksdyse er i dette forsøket lite effektivt for å rengjøre inntil bankett (partikler mindre enn 180  $\mu\text{m}$ ), hvor nedgangen i partikler etter vask er på ca. 2 %. Reduksjonen i partikler i høyre hjulspor etter rengjøring er på ca. 20 %.

Ved rengjøring med bruk av spylebom med 70 bar trykk og med bruk av høytrykksdyse inn mot banketten ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180 µm) inntil bankett redusert med 40 %. Støvmengden i høyre hjulspor reduseres med ca. 65 %.

Ved rengjøring med bruk av spylebom med høyt trykk (130 bar) og med bruk av høytrykksdyse ble partikkelmengden (partikler mindre enn 180 µm) inntil bankett redusert med 40 %, samme reduksjonen som ved 70 bar. Partikkelmengden øker med ca. 77 % i høyre hjulspor etter vask, noe som kan skyldes at høyt trykk på spylebommen kan flytte mer støv til det høyre hjulsporet.

Økning av trykket på spylebommen fører altså ikke til bedre rengjøring inntil bankett. 70 bar trykk på spylebommen fjerner støv inntil bankett like effektivt som spylebom med 130 bar trykk. I tillegg fører økt trykk på spylebommen til økt støvmengde i høyre hjulspor.

Måling av den totale støvmengden på vegbanen (partikler mindre enn 5 mm) viser at støvmengden inntil bankett øker og at støvmengden i høyre hjulspor minker med økende avstand fra tunnelmunningen inn i tunnelen. I tunnel er differansen mellom den totale støvmengden inntil bankett/kant og høyre hjulspor mindre enn differansen i gate. Differansen øker i takt med lengden inn i tunnel. Spylebom med 70 og 130 bar trykk har marginal effekt på å fjerne støv inntil bankett, den totale støvmengden reduseres med rundt 10% i begge feltene med bruk av spylebom inntil bankett. I høyre hjulspor fører rengjøring uten spylebom og med spylebom (70 bar) til reduksjon i den totale støvmengden, mens spylebom med høyt trykk (130 bar) fører til en økning i den totale støvmengden etter vask.

Det akkumuleres størst mengde finstoff (partikler mindre enn 180 µm) inntil bankett, der andel finstoff i prøvene er ca. 8–16 %, mens i høyre hjulspor er andelen ca. 4–7 %. Alle tre metodene for rengjøring reduserer andelen finstoff i prøvene, men bruk av spylebom med 70 bar trykk er den mest effektive metoden for å fjerne finstoff på vegen ut i fra de metodene som ble testet.

Andel mineralogisk materiale i prøvene fra tunnel ligger på ca. 90 %. Det er mer organisk materiale i prøver tatt i høyre hjulspor enn inntil bankett før rengjøring. Resultatene gir ikke noen klar trend hvordan fordelingen mellom organisk og mineralogisk materiale endrer seg før og etter vask.



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO  
Tlf: (+47) 22073000  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**