

Renholdsforsøk 2019-2020

Redusert vaskefrekvens i Strindheimtunnelen

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 729



Tittel

Renholdsforsøk 2019-2020

Undertittel

Redusert vaskefrekvens i Strindheimtunnelen

Forfatter

B. Snilsberg, D. Gryteselv, I-L. Sætermo
Veivåg, K. Peckolt Fordal, K. Indo, E. Monsen

Avdeling

Teknologi Drift og vedlikehold

Seksjon

Prosjektnummer

C13401

Rapportnummer

Nr. 729

Prosjektleder

Brynhild Snilsberg/Dagfin Gryteselv

Godkjent av

Thomas Hauan Lamo

Emneord

Tunnel, renhold, vaskefrekvens, vegstøv,
Strindheimtunnelen

Sammendrag

Statens vegvesen har gjennomført flere FoU-forsøk på renhold av veg og tunnel de senere årene. I dette forsøket er det sammenlignet hvordan en redusert vaskefrekvens i ett av to tunnellop har gitt effekt på støvmengde på vegbanen og farge på tunnelveggen når vegbanerenholdet ble holdt konstant i begge tunnellop. Formålet var å øke kunnskapen om hva som er en tilstrekkelig frekvens for rengjøring av tunneler, og hvordan man bør fordele antall rengjøringer av vegbane, teknisk rengjøring, helvask og halvask gjennom året.

Title

Tunnel cleaning experiment 2019-2020

Subtitle

Reduced washing frequency in the Strindheim tunnel

Author

B. Snilsberg, D. Gryteselv, I-L. Sætermo
Veivåg, K. Peckolt Fordal, K. Indo, E. Monsen

Department

Technology, Operations and Maintenance

Section

Project number

C13401

Report number

No. 729

Project manager

Brynhild Snilsberg/Dagfin Gryteselv

Approved by

Thomas Hauan Lamo

Key words

Tunnel, cleaning, frequency, road dust, Strindheim tunnel

Summary

The Norwegian Public Roads Administration has carried out several R&D experiments on road and tunnel cleaning. In this experiment, a reduced washing frequency for ceiling and wall in one of two tunnel tubes has been investigated, keeping the road cleaning frequency constant. The effect on the amount of dust on the road surface and the color of the tunnel wall was registered. The purpose of the experiment was to increase knowledge of what is a sufficient frequency for cleaning tunnels, and how to distribute the number of road cleaning, technical cleaning, full wash and half wash throughout the year.



Forord

Tunneler vil akkumulere støv som produseres og dette må fjernes med jevne mellomrom. *R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger* sier at 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.

Statens vegvesen har gjennomført FoU-prosjekt på renhold av veg og tunnel de senere årene, og resultater viser at det bør settes søkelys på utstyr og utførelse for å få god effekt av rengjøringen. Imidlertid vet vi ikke hva som er en tilstrekkelig frekvens for rengjøring av ulike tunneler, og hvordan man bør fordele antall rengjøringer av vegbane, teknisk rengjøring, helvask og halvask gjennom året. Rengjøring av vegbanen er mye mindre ressurskrevende, mer miljøvennlig og gir høyere oppetid enn hel- og halvask. I dette prosjektet har vi sammenlignet hvordan en redusert vaskefrekvens i ett av to tunnellop har gitt effekt på støvmengde på vegbanen og farge på tunnelveggen når vegbanerenholdet ble holdt konstant i begge tunnellop. Formålet var å øke kunnskapen om hva som er en tilstrekkelig frekvens for rengjøring av ulike tunneler, og hvordan man bør fordele antall rengjøringer av vegbane, teknisk rengjøring, helvask og halvask gjennom året.

Prosjektet pågikk fra januar 2019 til juni 2020 i Strindheimtunnelen i Trondheim, og har vært et samarbeid mellom utførende entreprenører (Kjelsberg Transport som hadde vegbanerenhold og Vakuumentreprenøren som hadde vaskekontrakten) og Statens vegvesen. Vi ønsker å gi en stor takk til alle involverte som stilte opp for å delta i forsøket.

Brynhild Snilsberg og Dagfin Gryteselv Trondheim, august 2021

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Innholdsfortegnelse	2
Sammendrag	1
Strindheimtunnelen	1
Renhold i Strindheimtunnelen før og i prosjektperioden	1
Dokumentasjonsmetoder	2
Støvmengde	2
Veggfarge	2
Forprosjekt.....	3
Hovedprosjektet	4
Støvmengde og veggfarge i vinter- og sommerhalvåret	6
Støvmengde og veggfarge gjennom tunnellopet	7
Støvmengde og veggfarge på tvers av tunnellopet	9
Støvoppbygging mellom to vegbanerengjøringer	10
Støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp.....	11
Anbefalinger.....	13
1. Innledning.....	14
2. Bakgrunn.....	16
Regneeksempel: Asfaltslitasje i Strindheimtunnelen vinter og sommer	17
3. Prosjektbeskrivelse.....	18
3.1 Strindheimtunnelen	18
3.2 Renhold i Strindheimtunnelen.....	20
Renhold i prosjektperioden	24
3.3 Dokumentasjonsmetode: Renhet i vegbanen (WDS III)	25
3.4 Dokumentasjonsmetode: Fargeskala	27
3.5 Forprosjekt: Kvalitetssikring av prøveprosedyre	28
3.6 Hovedprosjekt	29
4. Resultater.....	32
4.1 Forprosjektet	32
4.2 Støvmengde og veggfarge vinter og sommer.....	34
4.2.1 Finstoffmengde.....	34
4.2.2 Total støvmengde	36
4.2.3 Veggfarge	38

4.2.4	Diskusjon	39
4.3	Støvmengde og veggfarge gjennom tunnellopet.....	40
4.3.1	Finstoffmengde.....	40
4.3.2	Total støvmengde	41
4.3.3	Veggfarge	42
4.3.4	Diskusjon	43
4.4	Støvmengde og veggfarge på tvers av tunnellopet	44
4.4.1	Finstoffmengde.....	44
4.4.2	Total støvmengde	45
4.4.3	Veggfarge	46
4.4.4	Diskusjon	47
4.5	Støvoppsamling mellom to vegbanerengjøringer.....	48
4.5.1	Finstoffmengde.....	48
4.5.2	Total støvmengde	52
4.5.3	Diskusjon	56
4.6	Støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp	57
4.6.1	Finstoffmengde.....	58
4.6.2	Total støvmengde	59
4.6.3	Veggfarge	59
4.6.4	Diskusjon	60
5.	Konklusjon	62
5.1	Forprosjektet	62
5.2	Støvmengde og veggfarge i vinter og sommer.....	62
5.3	Støvmengde og veggfarge gjennom tunnellopet.....	63
5.4	Støvmengde og veggfarge på tvers av tunnellopet	65
5.5	Støvoppsamling mellom to vegbanerengjøringer.....	66
5.6	Støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp	67
6.	Anbefalinger.....	68
	Vedlegg 1: Utstyr for vegbanerenshold – Kjelsberg Transport.....	69
	Vedlegg 2: Utstyr for tunnelvask – Vakumentreprenøren.....	72
	Vedlegg 3: Laboratorieanalyser.....	77
	Vedlegg 4: Resultater fra laboratorieanalysene	80
V4.1	Støvmengde gjennom tunnellopet	80
	Finstoffmengde	80

Total støvmengde	81
V4.2 Støvmengde på tvers av tunnellopet.....	82
Finstoffmengde	82
Total støvmengde	83
V4.3 Veggfarge.....	84
V4.4 Ukesoppfølging	85
Vinter (januar 2019) – Finstoffmengde	85
Vinter (januar 2019) – Total støvmengde.....	86
Vinter (januar 2019)- Andel finstoff	87
Sommer (juni 2019) – Finstoffmengde.....	88
Sommer (juni 2019) – Total støvmengde	89
Sommer (juni 2019)- Andel finstoff.....	90
Vedlegg 5: Partikkelstørrelsesanalyse	91
Resultater	91
Vedlegg 6: Andel uorganisk materiale i vegstøvet	107
Resultater	107
Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen	111

Sammendrag

Tidligere forsøk har vist at tunnelmiljø skiller seg fra gatemiljø, både ved at støvmengden i vegbanen er større i tunnelmiljø og at renholdsmetoder som er effektive ute i dagen ikke nødvendigvis er like effektive for rengjøring av vegbanen i tunneler. I tillegg må tak, vegger og teknisk utstyr rengjøres jevnlig i tunneler. Prosjektet beskrevet i denne rapporten hadde derfor som mål å bidra med å øke kunnskapen gjennom å undersøke hvordan:

1. Reduksjon i antall hel- og halvasker påvirker støvmengde i vegbanen og på tunnelvegger når vegbanerensholdet opprettholdes som normalt
2. Vegstøv fordeles gjennom tunnelen
3. Vegstøv fordeles på tvers av vegbanen
4. Støvmengden bygges opp mellom to vegbanerengjøringer
5. Støvmengden varierer mellom sommer- og vintersesong

Strindheimtunnelen

Strindheimtunnelen ble valgt som tunnel for dette forsøket basert på tunnelens lengde, årsdøgntrafikk (ÅDT), eksisterende renholdsregime, logistikkhensyn, mm.

Strindheimtunnelen er en toløpstunnel med to kjørefelt i hvert løp, der den totale lengde for hvert tunnellop er ca. 2500 meter. ÅDT i 2019 var sammenlignbar for de to løpene med 10 540 i vestgående løp og 10 777 i østgående løp, og andel lange kjøretøy var 7 % i begge løp.

Det er dog noen forskjeller mellom øst- og vestgående løp som er verdt å påpeke:

Tabell 1: Forskjeller mellom øst- og vestgående løp

Østgående løp	Vestgående løp
Oppoverbakke i kjøreretning	Nedoverbakke i kjøreretning
Avkjøringsrampe ved 1750 m	Innkjøringsrampe ved 800 m
Lavere innkjøringshastighet (60 km/t)	Høyere innkjøringshastighet (80 km/t)
Rundkjøring ved innløpet	Rundkjøring ved utløpet

Renhold i Strindheimtunnelen før og i prosjektperioden

Opplegget for vegbanerengjøring og teknisk rengjøring ble holdt likt før og i prosjektperioden, der rengjøringen gjennomføres ukentlig og vinteren og hver 14. dag om sommeren. Teknisk rengjøring utføres ved halv- og helvask, og ellers ved behov

Før prosjektperioden var frekvensen og tidspunkt på hel- og halvask likt for øst- og vestgående løp.

I prosjektperioden ble det gjennomført fire halvasker og to helasker i østgående løp, like mange som før prosjektperioden, men på andre tider av året (se Tabell 2)

I vestgående løp ble det gjennomført én helvask og to halvasker, en halvering av antallet hel- og halvasker. Som for østgående løp ble tidspunktet for hel- og halvaskene endret sammenlignet med før prosjektperioden (se Tabell 2).

Tabell 2: Tidspunkter for vask før og i prosjektperioden i øst- og vestgående løp

	Før prosjektperioden		I prosjektperioden	
	Østgående løp	Vestgående løp	Østgående løp	Vestgående løp
Vegbanerengjøring (vinter)	Hver 7. dag	Hver 7. dag	Hver 7. dag	Hver 7. dag
Vegbanerengjøring (sommer)	Hver 14. dag	Hver 14. dag	Hver 14. dag	Hver 14. dag
Teknisk rengjøring	Ved halv- og helvask, ellers ved behov	Ved halv- og helvask, ellers ved behov	Ved halv- og helvask, ellers ved behov	Ved halv- og helvask, ellers ved behov
Halvask	4 ganger/år: Februar, mars, august og desember	4 ganger/år: Februar, mars, august og desember	4 ganger/år: Februar, mars, september og oktober	2 ganger/år: Februar, september
Helvask	2 ganger/år: Mai og september	2 ganger/år: Mai og september	2 ganger/år: Mai og desember	1 gang/år: Mai

Dokumentasjonsmetoder

Støvmengde

For å måle støvmengde på vegbanen ble det benyttet Wet Dust Sampler III (WDS). WDS er utviklet av svenske VTI og er en høytrykksvasker med vakuumpumpe som rengjør et lite areal av vegbanen før den ved hjelp av trykkluft suger opp vaskevannet med støvet fra vegbanen. Vaskevannet med støv samles i prøveflasker og sendes til laboratorieanalyser hvor bl.a. støvmengde for grovt og fint støv kan måles.

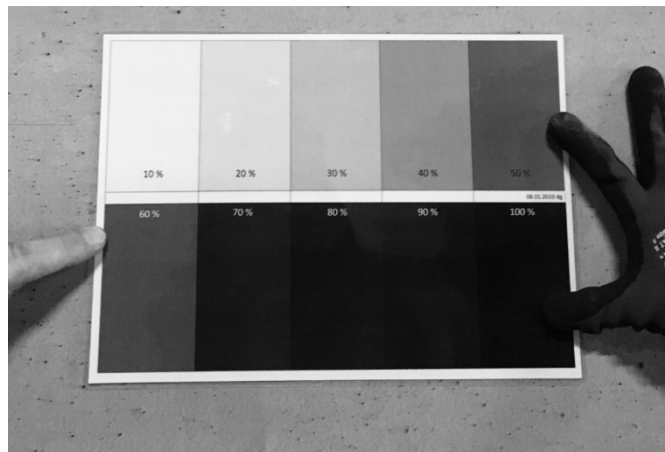
WDS kan ikke ta opp partikler som er større enn 5 mm i diameter. Dermed blir grus og steiner fjernet med hendene fra prøvetakingspunktet før WDS benyttes. WDS er også avhengig av at vegbanen ikke er har for grov overflatetekstur for å sikre at det meste av vaskevannet blir samlet opp i prøveflasken og at det ikke blir lekkasjer.



*Figur 1: Prøvetaking med WDS
(Foto: Brynhild Snilsberg)*

Veggfarge

For å analysere hvordan reduksjon i antall hel- og halvvasker påvirker renheten på tunnelveggen ble det benyttet en fargeskala. Fargeskalaen ble benyttet for å vurdere renhetsgraden på tunnelveggen på de samme stedene som prøvepunktene med WDS for hver prøvetaking. Fargeskalaen går fra 10 % til 100 % hvor 10 % er helt hvitt og 100 % er helt svart. Vegvesenets ansatte som gjennomførte målingene med WDS ble sammen enige om hvor rene veggene var.



*Figur 2: Vurdering av lyshet på tunnelvegg
(Foto: Statens vegvesen)*

Forprosjekt

Før prosjektets begynnelse var det knyttet usikkerhet til hvor stor andel av partiklene på vegoverflaten WDS tar opp og det ble derfor gjennomført et forprosjekt for å måle denne andelen. Forprosjektets formål var dermed å undersøke hvor mange skudd (en sekvens med spyling/rengjøring og oppsamling av vaskevann) som er nødvendig for å inkludere en stor nok andel av den totale støvmengden i vegbanen i tunnelen. Det ble tatt 6 skudd på hvert prøvepunkt for å se hvor mye av støvet i vegbanen WDS tok opp for hvert skudd. Ulike innstillinger på styringsenheten ble også testet (stopptid vann, stopptid kompressor og stopptid måling).

Målinger inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor viste henholdsvis at kun 31 %, 28 % og 27 % av den totale partikkelmengden (partikkelstørrelse < 5 mm) på vegoverflaten blir tatt opp med første skudd. Henholdsvis 28 %, 28 % og 26 % av de grove partiklene (180 µm – 5 mm) blir tatt opp på det første skuddet, mens 50 %, 54 % og 52 % av finstoffet (< 180 µm) blir tatt opp på skudd nummer 1. Det er derfor helt nødvendig å ta flere skudd på samme prøvepunkt for å få opp de fleste partiklene.

Konklusjon:

Analysene viser at det bør tas 3 skudd for å ta opp 90 % av finstoffmengden på hvert prøvepunkt. For å få med tilnærmet 90 % av de grove partiklene bør det tas 5 skudd. Siden finstoffmengden var av størst interesse for dette prosjektet ble det bestemt at det skulle tas 3 skudd per prøvepunkt under prosjektet.

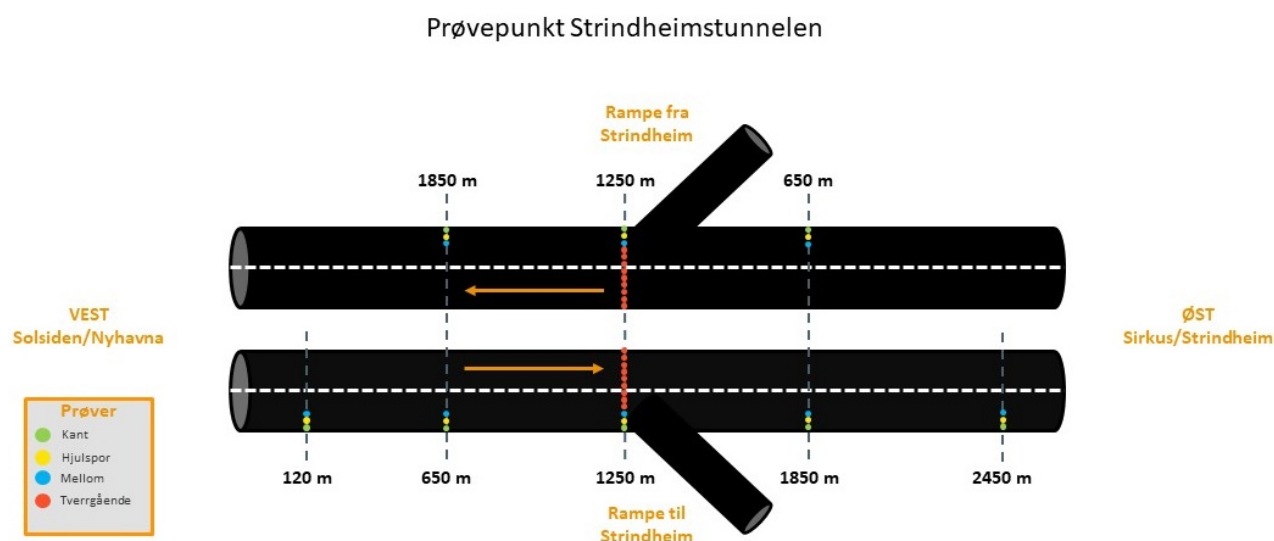
Hovedprosjektet

Hovedprosjektet ble gjennomført mellom januar 2019 og juni 2020. Det ble tatt målinger i begge løp 5–6 uker etter hel- og halvskensene. Totalt ble det gjennomført målinger 5 ganger i prosjektperioden (se Tabell 17). Ved å gjennomføre målinger både etter at begge tunneløp var vasket samt etter at kun østgående løp var rengjort kunne hel- og halvskensenes betydning for støvmengden bestemmes. Samtidig var målingene fordelt mellom vinter- og sommersesong for å se hvordan støvmengden varierer mellom de to sesongene. I tillegg ble det gjennomført målinger hver dag i en uke i januar 2019 for å dokumentere oppbygningen av støv mellom to vegbanerengjøringer på vinteren. Tilsvarende ble det gjennomført målinger hver andre dag i løpet av to uker i juni–juli 2019. Grunnen til at det ble tatt prøver i to uker på sommeren er at vegbanen rengjøres hver andre uke utenfor piggdekkssesongen mot hver uke i piggdekkssesongen.

Ved alle prøvetakingene ble det tatt prøver ved 650 meter, 1250 meter og 1850 meter inn i begge tunneløp for å undersøke fordelingen av støv gjennom tunneløpene (se Figur 22). Og ved hver prøve ble det tatt målinger på tre punkter i høyre kjørefelt; inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor, for å undersøke fordelingen av støv på tvers av tunneløpene.

For nærmere å undersøke støvfordelingen på tvers av vegbanen, ble det ved hver prøvetaking tatt prøver på tvers av hele vegbanen ved 1250 m i begge tunneløp, inkludert venstre kjørefelt.

I april og juni 2019 ble det i tillegg gjennomført prøvetakinger ved 120 m og 2450 m, dvs. ca. 50 m fra tunneløpene inn- og utløp. Dette var ikke mulig i vinterhalvåret pga at vannet i WDS ville fryse til is/slush ved prøvetaking og at inn- og utløp rengjøres sjeldnere vinterstid pga. frost.



Figur 3: WDS prøvetakingspunkt i tunneløpene (Illustrasjon: Eric Monsen)

Prøvene ble tatt inntil kant, i høyre hjulspor og mellom hjulsporene i høyre kjørefelt, med 4 prøvepunkt både inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor. Totalt 12 prøvepunkt per prøvetakingssted. Ut ifra resultater fra forprosjektet ble det tatt 3 skudd på hvert prøvepunkt (areal) som ble samlet i samme flaske. Dette utgjorde 9 prøver per tunneløp per dag.

● = WDS prøvetaking med 3 «skudd» på 2 areal per flaske.



Gjennomsnitt av to flasker er ett prøvepunkt.

Figur 4: Prøvetaking inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor (Illustrasjon: Eric Monsen)

Verdiene i tabellene i dette kapittelet er fargegradert for å illustrere forholdene mellom tallene:

- Støvmengden ved prøvepunktene: den største verdien i tabellen får mørkest grønnfarge, og den minste verdien er farget hvit. For resten av tallene blir fargen mørkere desto nærmere den største verdien tallet kommer.
- Differanseverdier: Maksdifferanse i positiv retning er farget mørkest blått, og maksdifferanse i negativ retning er farget mørkest rødt. For resten av tallene blir fargene mørkere desto nærmere maksdifferansen tallet kommer.
- %Differanseverdier: 100 % i positiv retning er farget mørkest blått, og 100 % i negativ retning er farget mørkest rødt. For resten av tallene blir fargene mørkere desto nærmere 100 % tallet kommer.

Støvmengde og veggfarge i vinter- og sommerhalvåret

Resultatet viste tydelig at det er større støvmengde i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret, og det kan tenkes flere faktorer som kan ha bidratt til denne fordelingen:

- Bruken av piggdekk bidrar til mer asfaltslitasje og piggdekkandelen er størst i vinterhalvåret.
- Kulden i vinterhalvåret kan også ha bidratt til mer drivstofforbruk, og dermed skitnere tunnelmiljø.

Siden det er såpass stor forskjell i finstoffmengde og total støvmengde mellom vinter og sommer, kunne det forventes at den samme forskjellen skulle vises i veggfarge også. Men det er liten forskjell på tunnelveggfargen mellom vinter og sommer, der tunnelveggene til og med er noe mørkere om sommeren. Siden det er dobbelt så mange vegbanerengjøringer om vinteren enn om sommeren kan det tyde på at med høy nok frekvens på vegbanerenholdet vil veggfargen holde seg på et greit nivå. Det er også noe måleusikkerheter knyttet til veggfargen, hovedsakelig grunnet det blir tatt på øyemål, men også fordi papiret som ble brukt ikke representerer mørkheten på veggen på en perfekt måte: mens veggene er prikkete og brunaktig, er fargeskalaen på papiret i gråskala.

Tabell 3: Gjennomsnittsverdiene for finstoffmengde og total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor, ved 650 m, 1250 m og 1850 m og mellom øst- og vestgående i vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi i øverste tabell

	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Finstoffmengde	55	23	32	58 %
Total støvmengde	399	295	104	26 %

Tabell 4: Gjennomsnittsverdi av veggfargen mellom venstre og høyre vegg ved 650 m, 1250 m og 1850 m i vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi i nederste tabell

	Vinter	Sommer	Differanse	Prosent
Veggfarge	26 %	29 %	-3 %	-9 %

Konklusjon:

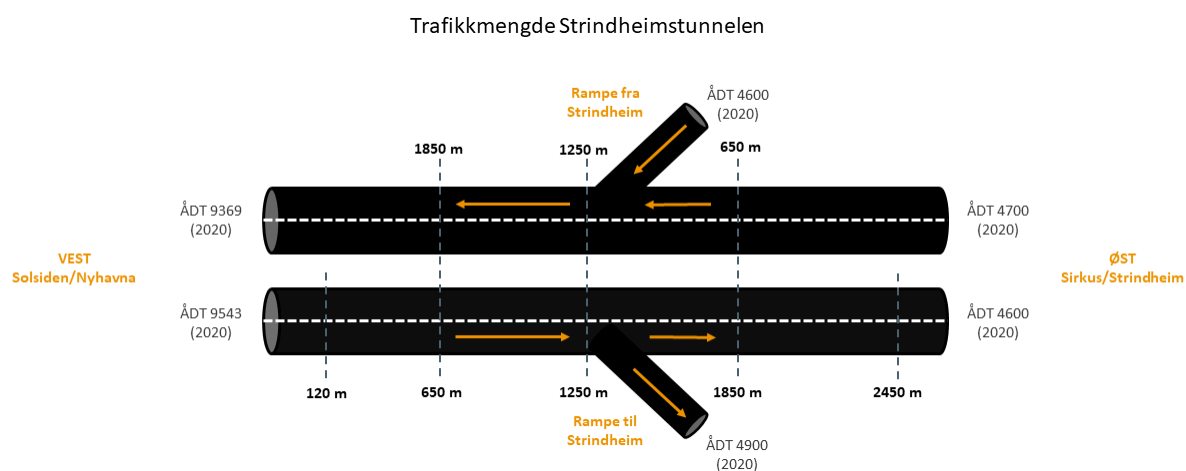
Det var alltid større finstoffmengde i vintermånedene enn sommermånedene. På de fleste prøvepunktene var det 40 % til 80 % mer finstoffmengde i vintermånedene enn sommermånedene.

Det var også så godt som alltid større total støvmengde i vintermånedene enn sommermånedene. På de fleste prøvepunktene var det 20 % til 30 % mer total støvmengde i vintermånedene enn sommermånedene.

Det var lite variasjon i veggfargen mellom vintermånedene og sommermånedene

Støvmengde og veggfarge gjennom tunneløpet

Det er en innkjøringsrampe etter prøvepunktet ved 650 for vestgående løp, og en utkjøringsrampe før prøvepunkt 1850 m for østgående løp (se Figur 5), og rampenes påvirkning er merkbar i resultatene. Rampene bidrar nemlig med omtrent halvparten av trafikkmengden i tunneløpene (se Figur 5). For eksempel er forskjellen mellom 650 m og resten av prøvepunktene ikke like stor for vestgående løp som i østgående løp. Dette kan altså være grunnet trafikkmengden ved 650 m i vestgående løp er nesten halvparten av 650 m ved østgående løp. Det samme kan sies om målingen ved 1850 m i østgående løp, der utkjøringsrampen rett før prøvepunktet nesten halverer trafikkmengden, og dermed kan det tenkes at det kunne ha vært enda større finstoffmengde i 1850 m i østgående løp hvis rampen ikke var der.



Figur 5: ÅDT i øst- og vestgående løp, samt innkjøring- og utkjøringsrampene, i 2020

Gjennomsnittlig ser det ut til at det er større finstoffmengde ved 650 m enn 120 m, men dette er sannsynligvis pga. at det ikke ble tatt prøver ved 120 m om vinteren, og dermed blir gjennomsnittsverdien ved 120 m forholdsvis lav (se Tabell 24). Det kan dermed tenkes at det skulle ha vært enda større finstoffmengde i 120 m enn ved 650 m.

Tabell 5: Gjennomsnittsverdiene av finstoffmengde og total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor, mellom øst- og vestgående og mellom alle måletidspunktene, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi i øverste tabell.

	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Finstoffmengde	185	198	98	101	223
Total støvmengde	1298	1168	947	1104	1612

Tabell 6: Gjennomsnittsverdi av veggfargen mellom venstre og høyre vegg og mellom alle måletidspunktene, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi.

	120 m [%]	650 m [%]	1250 m [%]	1850 m [%]	2450 m [%]
Veggfarge	40	26	28	28	29

Tabell 7: Gjennomsnittet av finstoffmengden i prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m for hvert måletidspunkt

Løp	Måned	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	Januar		123	43	43	
Øst	Mars		110	30	49	
Øst	April	77	64	57	30	74
Øst	Juni 2019	46	25	19	14	
Øst	Juni 2020			16	22	
Vest	Januar		60	49	39	
Vest	Mars		78	45	40	
Vest	April		55	26	48	
Vest	Juni 19		23	22	26	
Vest	Juni 20		40	18	28	

Tabell 8: Gjennomsnittet av total støvmengde i prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m for hvert måletidspunkt

Løp	Måned	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	Januar		401	276	334	
Øst	Mars		412	267	458	
Øst	April	479	457	436	417	537
Øst	Juni 2019	387	344	276	390	
Øst	Juni 2020		267	130	237	
Vest	Januar		421	306	319	
Vest	Mars		461	463	416	
Vest	April		429	375	539	
Vest	Juni 19		378	381	343	
Vest	Juni 20		324	247	230	

Konklusjon:

Det er en tendens til at det samler seg mest finstoffmengde og total støvmengde ved 120 m og 650 m, og også relativt stor støvmengde ved 2450 m. Mens det er mindre forskjell mellom 1250 m og 1850 m.

Veggfargen er mørkest ved 120 m, mens det er mindre forskjell mellom resten av prøvepunktene.

Støvmengde og veggfarge på tvers av tunneløpet

I tunneløpet kjører rundt 80 % av trafikkmengden i høyre kjørefelt. Dette vil trolig ha bidratt til mer oppvirvling av støvet i høyre kjørefelt, og at støvet i venstre kjørefelt er mer uberørt. Dessuten var det ikke spylebom på venstre siden av maskinen som ble brukt i kontrakten, og dermed ble ikke ytterkant av venstre kjørefelt like grundig rengjort som i høyre kjørefelt. Dette kan forklare hvorfor det er en tendens til at det samler seg mer støv i venstre kjørefelt, og da særlig i venstre kant.

Tunnelveggfargen ser ut til å være mørkere på høyre vegg enn venstre vegg. Dette kan være grunnet oppvirvling av støvet i kjørefeltet fører til at mer støvmengde kommer opp i høyden på veggene, mens der luften står mer stilt vil støvet ikke løftes opp på tunnelveggene.

Tabell 9: Gjennomsnittet av finstoffmengden og total støvmengde i vinter- og sommerhalvåret i øst- og vestgående løp på tvers av vegbanen

Finstoffmengde	Venstre	Venstre	Mellom	Høyre	Vegmidt	Venstre	Mellom	Høyre	Høyre
	kant	hjulspor	hjulspor	hjulspor		hjulspor	hjulspor	hjulspor	hjulspor
	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Vinter	117	20	55	21	54	17	52	11	55
Sommer	119	12	21	12	12	4	13	7	38

Total støvmengde	Venstre	Venstre	Mellom	Høyre	Vegmidt	Venstre	Mellom	Høyre	Høyre
	kant	hjulspor	hjulspor	hjulspor		hjulspor	hjulspor	hjulspor	hjulspor
	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Vinter	754	232	537	259	464	199	507	230	471
Sommer	675	234	333	220	224	142	271	179	324

Tabell 10: Gjennomsnittet av veggfargen i vinter- og sommerhalvåret og i øst og vestgående løp for venstre og høyre vegg

	Venstre vegg	Høyre vegg
Vinter	24 %	29 %
Sommer	26 %	31 %

Konklusjon:

Det er en tendens til at det samler seg mest støv (finstøv og total støvmengde) ved venstre kant og det er generelt lite støv i hjulsporene. Det er også en tendens til at det samler seg mer støv i venstre kjørefelt enn høyre kjørefelt. Resultatene viser også at fordelingsmønsteret ble forsterket i vintermånedene. Veggfargen er generelt litt mørkere på høyre vegg enn venstre vegg.

Støvoppbygging mellom to vegbanerengjøringer

Det er ingen jevne og tydelige trender å finne i målingene for støvoppbygging mellom to vegbanerengjøringer. Det ser dessuten ut til at de lokale forholdene har en stor betydning for hva som blir målt på vegbanen. Det er for eksempel en tendens til at mer støv blir målt ved fuktig/våt vegbane (dag 5 i vinter) enn når vegbanen er helt tørr. Dette kan ha sammenheng med at asfaltslitasjen/støvproduksjonen akselereres når vegbanen er fuktig, samt at mindre virvles opp av trafikken. Luftfuktigheten har dessuten effekt på støvdemping, slik at finstøvet i større grad vil holde seg på vegbanen. Kjøretøy som bringer med seg skitt utenfra kan også bidra til større avvik på enkelte av prøvepunktene og måletidspunktene.

Målingene fra støvoppbygging mellom to vegbanerengjøringer viser altså at støvmengden kan variere en del fra punkt til punkt, f.eks. grunnet forflytning/meddrag og/eller lokale forhold som temperatur og fuktighet. Det vil si at forskjellene i fordeling ikke nødvendigvis er karakteristisk for den dagen, men heller skyldes de varierende forholdene på vegbanen og tunnelen. Dermed kan prøvene ved noen prøvepunkter og måletidspunkter måle et større utslag i støvmengde, som ikke på samme måte kan observeres ved andre måletidspunkt ved samme punkt. Det er likevel mulig å se en generell trend ved å vurdere gjennomsnittsverdiene, men man må være klar over disse «avvikene» som kan gjøre et større utslag på gjennomsnittsverdiene enn det som egentlig kan betraktes som normalt.

Tabell 11: Gjennomsnittsverdien for kant, hjulspor og mellom hjulspor og for 650 m, 1250 m og 1850 m i vinter- og sommerhalvåret for finstoffmengde og total støvmengde

Vinter	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]	
Finstoffmengde	N/A	53	52	68	68	60	
Total støvmengde	N/A	429	309	404	359	343	
Sommer	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Finstoffmengde	N/A	22	20	22	20	24	21
Total støvmengde	N/A	286	331	342	326	331	352

Konklusjon:

Om vinteren er det en tendens til at støvmengden (finstoff og total støvmengde) er større mot slutten av uken mellom to vegbanerengjøringer. Støvmengden er større i de dagene der det var vått på banen (dag 4) og når det var minusgrader (dag 5).

Om sommeren er det svært liten forskjell i støvmengde fra dag til dag.

Støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp

I tabellene i dette kapittelet vil positiv differanse bety at østgående løp har større støvmengde/mørkere veggfarge (blått), og negativ differanse bety at vestgående løp har større støvmengde/mørkere veggfarge (rødt).

I 1. prøvetaking var forskjellen i finstoffmengden forholdsvis stor, der østgående løp hadde 29 % større mengde enn vestgående løp. Ved 2. prøvetaking er forskjellen fortsatt der, men med den noe mindre prosentverdien 14 %. Men mellom 1. og 2. prøvetakning hadde begge løpene fortsatt fått samme renhold, og dermed kan ikke variasjonene i differanseverdien skyldes reduksjon av renholdsfrekvens (se Tabell 12). Etter hvert i prosjektperioden blir differansene mindre og mindre, inntil vestgående løp i juli 2019 får større finstoffmengde enn østgående. Det er vanskelig å se om tendensen til at vestgående løp får større finstoffmengde enn østgående løp fortsetter i juni 2020. Forskjellene mot slutten av prosjektperioden var forholdsvis små i tallverdi. Ut ifra resultatene er det ingen tydelige tendenser til at finstoffmengden har blitt påvirket av reduksjon av vaskefrekvens i vestgående løp.

Endring av vaskefrekvens ser ut til å påvirke total støvmengde og veggfarge i enda mindre grad enn finstoffmengde.

Konklusjon:

Støvmengde og veggfarge har blitt lite påvirket av endring i vaskefrekvensen (hel- og halvvaske). Andre faktorer som årstid, vegbaneforhold og forskjell mellom løpene kan ha hatt større påvirkning enn frekvensen på renholdet. Det kan dermed på kort sikt (prosjektperiode på 1,5 år) se ut til at reduksjon av vaskefrekvens ikke har hatt negativ påvirkning på renhet i vestgående løp i forhold til østgående løp.

Tabell 12: Gjennomsnittet av alle prøvepunktene for finstoffmengde for januar, mars, april og juni 2019 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) %
Januar	70	49	21	29 %
Mars	63	54	9	14 %
April	50	43	7	14 %
Juni 2019	19	24	-4	-18 %
Juni 2020	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabell 13: Gjennomsnittet av prøvepunktene for total støvmengde fra de ulike prøvepunktene for januar, mars, april, juni 2019 og juni 2020 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) %
Januar	337	349	-12	-3 %
Mars	379	447	-68	-15 %
April	436	447	-11	-2 %
Juni 2019	337	367	-31	-8 %
Juni 2020	211	267	-55	-21 %

Tabell 14 Gjennomsnitt av målinger for tunnelveggfarge for januar, mars, april, juni 2019 og juni 2020 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Måned	Øst [%]	Vest [%]	Differanse (Øst-Vest) [%]	Differanse (Øst-Vest) %
Januar	16	16	-0,3	-2 %
Mars	22	18	3,9	18 %
April	16	17	-1,4	-8 %
Juni 2019	19	16	2,8	15 %
Juni 2020	22	19	3,3	15 %

Anbefalinger

Konklusjonene fra prosjektet kan gi følgende anbefalinger for renhold av Strindheimtunnelen:

Vegbanerenhold og vask:

- Det bør legges større innsats på å rengjøre vegbanen i inn- og utløp av begge tunnellopene.
- Det bør legges større innsats på rengjøring av venstre kant i begge tunnellopene. Følgelig burde maskinen i kontrakten ha spylebom på både høyre og venstre side av kjøretøyet.
- Det anbefales å rengjøre vegmidt med å ta et ekstra drag mellom venstre og høyre kjørefelt dersom tunnelen stenges.
- I østgående løp bør rundkjøringen før innløpet også rengjøres, og en strekning før tunnelinnløpet bør også tas med i vegbanerenholdet, for Strindheimtunnelen er dette ca 100 m.

Frekvensen på vegbanerenhold:

- Dagens vegbanerenhold hver 14. dag i sommerhalvåret er tilstrekkelig, og kan kanskje reduseres noe.
- Dagens vegbanerenhold hver 7. dag i vinterhalvåret er viktig for å forhindre oppbygging av støv.

Forslag til frekvens på hel- og halvask:

- Det kan se ut til at det er tilstrekkelig med 1 helvask og 2 halvask per år, noe som er i tråd med R610.
- Det anbefales at helvask gjennomføres etter vinteren, gjerne i mai, med hele juni som buffer
- Det anbefales at halvask gjennomføres i november og februar
- Det bør være minimum 8 uker mellom vask
- Det kan suppleres med teknisk renhold ved behov. I R610 er det anbefalt 3 per år.

Annet

- Det bør være felles kontrakt for tunnelvask og rengjøring av vegbane. Dette for å gjøre logistikken lettere og for at renholdet kan foregå på optimale tidspunkt og frekvens.
- Det er viktig at renholdet utføres optimalt ved å følge anbefalinger om gjennomføringsmetode. For eksempel at maskinen holder lavt nok hastighet (3–5 km/time) og at det legges vekt på de delene av tunnelen som har størst støvmengde (f.eks. havarilommer, kant, innløp/utløp).
- Det er ønskelig at logging av f.eks. kjørehastighet etableres for å dokumentere at renholdet gjennomføres i henhold til anbefalingene.

1. Innledning

Vegdekker slites hele året og spesielt vinterstid på grunn av piggdekkbruk. Dette kan føre til akkumulering av vegstøv langs veger, gater og tunneler. Akkumulering av vegstøv har en rekke negative konsekvenser: dårlig luftkvalitet; forurensning til omgivelser, inkludert overflatevann; dårlig sikt; dårlig visuell opplevelse; og slitasje på teknisk utstyr. For å minimere dette problemet bør det gjennomføres renholdstiltak på en effektiv måte. Statens vegvesen har derfor siden 2015 gjennomført forsøk for å øke kunnskapen om renhold og bedre utførelsen av renholdet¹.

Tidligere forsøk har vist at tunnelmiljø skiller seg fra gatemiljø, både ved at støvmengden i vegbanen er større i tunnelmiljø og at renholdsmetoder som er effektive ute i dagen ikke nødvendigvis er like effektive for rengjøring av vegbanen i tunneler. I tillegg må tak, vegger og teknisk utstyr rengjøres jevnlig i tunneler.

Tidligere prosjekt har fokusert mye på effekten av renholdsmaskinene, og prosedyrer for renhold ved å dokumentere støvmengde, sammensetning og partikkelstørrelse før og etter rengjøring. Likevel gjenstår det mye som vi ikke vet om renhold og vegstøv, spesielt i tunnelmiljø om hva som er en tilstrekkelig frekvens for rengjøring, og hvordan man bør fordele antall rengjøringer av vegbane, teknisk rengjøring, helvask og halvask gjennom året. Prosjektet beskrevet i denne rapporten hadde derfor som mål å bidra med å øke kunnskapen gjennom å undersøke hvordan:

1. Reduksjon i antall hel- og halvasker påvirker støvmengde i vegbanen og på tunnelvegger når vegbanerenholdet opprettholdes som normalt
2. Vegstøv fordeles gjennom tunnelen
3. Vegstøv fordeles på tvers av vegbanen
4. Støvmengden bygges opp mellom to vegbanerengjøringer
5. Støvmengden varierer mellom sommer- og vintersesong

Vi valgte å redusere antall hel- og halvasker i vestgående løp for å se om dette har betydning for støvmengde og påvirkningene på omgivelsene og komponenter i tunnelen. I tillegg er det knyttet store kostnader til hel- og halvasker. Dersom et godt tunnelmiljø kan opprettholdes ved færre vasker kombinert med effektiv vegbanerengjøring vil dette være lønnsomt. Nedetid på tunneler vil også bli redusert hvis antall vask kan reduseres. Andre mulige fordeler er:

- Redusert vannforbruk
- Redusert forbruk av såpe/kjemikalier
- Redusert utslipp av såpe/kjemikalier til resipient

¹[Statens vegvesen rapport nr. 619](#) Renholdsforsøk i tunnel og gate i Trondheim våren 2015 – Strindheimtunnelen og Haakon VII gate

[Statens vegvesen rapport nr. 432](#) Renholdsforsøk 2016 – Strindheimtunnelen og Haakon VII gate i Trondheim og Stordalstunnelen i Møre og Romsdal

[Statens vegvesen rapport nr. 536](#) Renholdsforsøk 2017 – Uttesting av ny spylebom i tunnel og gate i Kristiansund

[Statens vegvesen rapport nr. 534](#) Renholdsforsøk 2017 – Uttesting av renholdsmaskiner i gate i Trondheim

- Vegstøv hindres i å nå drencsystem og resipient
- Mindre logistikk

Strindheimtunnelen ble valgt som tunnel for dette forsøket basert på tunnelens lengde, årstdøgntrafikk (ÅDT), eksisterende renholdsregime, logistikkhensyn, mm.



Figur 6: Strindheimtunnelen (Foto: Statens vegvesen)

Denne rapporten begynner med en bakgrunn for tunnelrenhold med beregning av asfaltslitasje i Strindheimtunnelen. Så følger en beskrivelse av prosjektet med informasjon om tunnelen, beskrivelse av normalt renhold i tunnelen og i prosjektperioden og beskrivelse av dokumentasjonsmetodene. Det ble også gjennomført et forprosjekt for å kvalitetssikre prøvetakingen. Videre presenteres resultatene av forprosjekt og hovedprosjektet, før resultatene diskuteres og konklusjoner gis. Til slutt gis anbefalinger på grunnlag av resultatene og konklusjonene. I Vedlegg beskrives:

- Vedlegg 1: Vegbanerenhold Kjelsberg Transport (BEAM): Utstyr brukt i vegbanerenhold
- Vedlegg 2: Tunnelvask Vakumentreprenøren: Utstyr brukt i tunnelvask
- Vedlegg 3: Laboratorieanalyser: Prosedyrer for labanalyser
- Vedlegg 4: Resultater fra laboratorieanalysene: Detaljerte diagrammer med resultater fra laboratorieanalysene
- Vedlegg 5: Partikkelstørrelsesanalyse
- Vedlegg 6: Andel uorganisk materiale i vegstøvet
- Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen

I denne rapporten brukes begreper definert som følgende:

- Finstoffmengde: partikler mindre enn 180 μm
- Total støvmengde: partikler mindre enn 5000 μm
- Grove partikler: partikler større enn 180 μm og mindre enn 5000 μm
- Vinterhalvåret: Oktober, november, desember, januar, februar, mars og april
- Sommerhalvåret: Mai, juni, juli og august

2. Bakgrunn

Asfaltdekker slites hele året, men spesielt på vinterstid pga. kjøring med piggdekk på bar asfalt, kjettinger og vegstøv som virker som et slipemiddel på vegbanen. Dette gir et behov for systematisk rengjøring. Typiske slitasjeverdier for personbiler med piggdekk er 10 g/km; piggfrie dekk antas å ha en faktor på 1/40 av dette (NORTRIP-modellen). Tunge kjøretøy antas å tilsvare 5 personbiler. Slitasjeverdien varierer mye fra sted til sted avhengig av asfalttype, steinstørrelse, steinkvalitet, kjørehastighet, vegutforming, fukt, klima osv., men kan brukes til å gi et grovt anslag på hvor stor piggdekksslitasjen vil være og hvor store mengder med støv som må fjernes i løpet av en vintersesong og sommersesong. I tillegg vil det være andre kilder til støv i tunnelen som eksos, slitasje av bremses, misting av last osv. Spesielt i vinterhalvåret kan det smelte/falle av forurenset snø fra kjøretøy pga høyere temperatur inne i tunnelen enn utenfor tunnelen som vil bidra til en del støv. Hvis vi tar et regneeksempel fra Strindheimtunnelen kan vi se at piggdekksslitasjen vil utgjøre store mengder slitasjestøv som akkumuleres og som må fjernes i løpet av vinterhalvåret sammenlignet med sommerhalvåret.



Figur 7: Strindheimtunnelen (Foto: Statens vegvesen)

Regneeksempel: Asfaltslitasje i Strindheimtunnelen vinter og sommer

- ÅDT/tunnelløp: 10 500, andel tunge kjøretøy 7 % (tall for 2019)
- Piggdekkandel: 26 %, (tall for 2019)
- Lengde/tunnelløp: 2,5 km

VINTER

Asfaltslitasje per dag i hvert tunnelløp:

Lette kjøretøy med pigg: $(10\,500 \cdot 0,93 \cdot 0,26) \cdot 10 \text{ g/km} \cdot 2,5 \text{ km} =$	63,5 kg/dag
Lette kjøretøy uten pigg: $(10\,500 \cdot 0,93 \cdot 0,74) \cdot 10 \text{ g/km} \cdot 1/40 \cdot 2,5 \text{ km} =$	4,5 kg/dag
Tunge kjøretøy med pigg: $(10\,500 \cdot 0,07 \cdot 0,26) \cdot 5 \cdot 10 \text{ g/km} \cdot 2,5 \text{ km} =$	24,0 kg/dag
Tunge kjøretøy uten pigg: $(10\,500 \cdot 0,07 \cdot 0,74) \cdot 5 \cdot 10 \text{ g/km} \cdot 1/40 \cdot 2,5 \text{ km} =$	1,7 kg/dag
SUM	93,7 kg/dag

Det vil si at **187 kg asfalt** slites vekk hver dag totalt for begge tunnellopene om vinteren.

Asfaltslitasje i løpet av vinterhalvåret i hvert tunnelløp:

$$93,7 \text{ kg/dag} \cdot 180 \text{ dager/år} = 16,9 \text{ tonn/år}$$

Det vil si at **34 tonn asfalt** slites vekk totalt hvert år for begge tunnellopene i vinterhalvåret.

SOMMER

Asfaltslitasje per dag i hvert tunnelløp:

Lette kjøretøy: $(10\,500 \cdot 0,93) \cdot 10 \text{ g/km} \cdot 1/40 \cdot 2,5 \text{ km} =$	6,1 kg/dag
Tunge kjøretøy: $(10\,500 \cdot 0,07) \cdot 5 \cdot 10 \text{ g/km} \cdot 1/40 \cdot 2,5 \text{ km} =$	2,3 kg/dag
SUM	8,4 kg/dag

Det vil si at **17 kg asfalt** slites vekk hver dag totalt for begge tunnellopene om sommeren.

Asfaltslitasje i løpet av sommerhalvåret i hvert tunnelløp:

$$8,4 \text{ kg/dag} \cdot 180 \text{ dager/år} = 1,5 \text{ tonn/år}$$

Det vil si at **3 tonn asfalt** slites vekk totalt hvert år for begge tunnellopene i sommerhalvåret.

Totalt vil det dermed slites bort **37 tonn asfalt** gjennom et kalenderår (34 tonn om vinteren + 3 tonn om sommeren).

Dette kan antyde at behovet for renhold på grunn av asfaltslitasje er 11 ganger høyere om vinteren enn om sommeren.

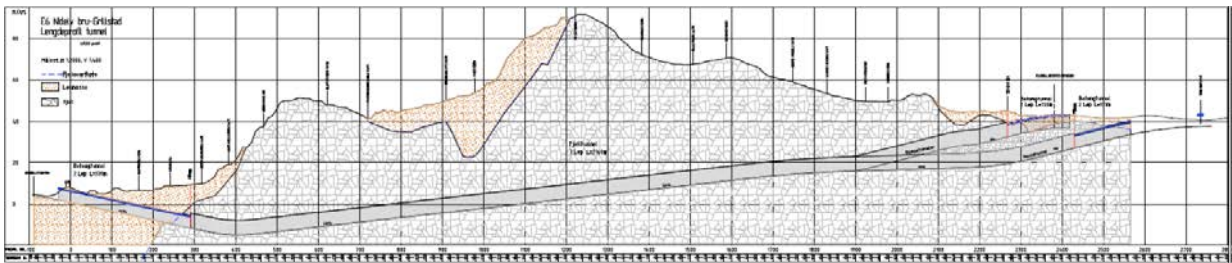
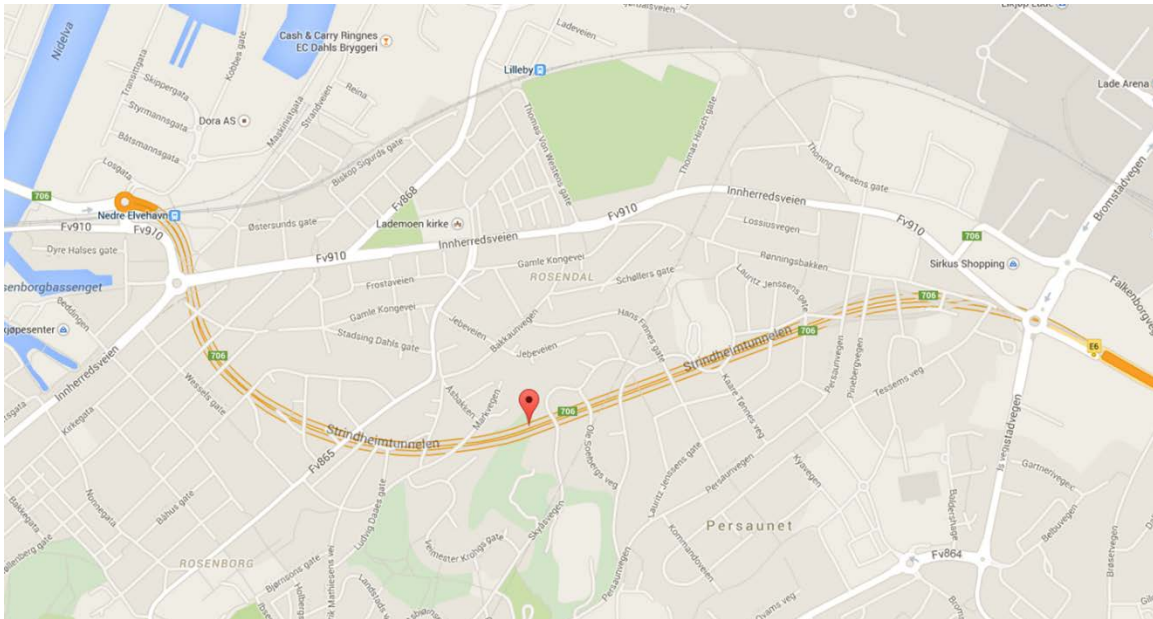
3. Prosjektbeskrivelse

I dette kapitlet beskrives tunnelen, renholdsmetodene i prosjektperioden, dokumentasjonsmetodene, forprosjektet og hovedprosjektet.

3.1 Strindheimtunnelen

Strindheimtunnelen langs riksveg 706 er en tunnel i Trondheim som ble åpnet i 2014 for å etablere en ny hovedinnfartsåre i Trondheim sentrum øst som en del av ringvegssystemet rundt byen. Tunnelen går mellom Nyhavna i vest, og Grilstad og Omkjøringsvegen i øst. Se Figur 8. Dette er en toløpstunnel med to kjørefelt i hvert løp. Total lengde for hvert tunnellop er ca. 2500 meter. I 2019 var årsgjennsnittet (ÅDT) sammenlignbar i de to løpene: 10 540 i vestgående løp og 10 777 i østgående løp. Andelen lange kjøretøy var 7 % i begge løp. Strindheimtunnelen har tunnelprofil T9,5: hvert kjørefelt er 3,5 meter bredt og banketten er 1 meter bred, helning på 2,24 % og tverrfall på 5 %. Det er betongelement gjennom nesten hele tunnelen, og betongelementene er malt lyse opp til ca. 4 meters høyde med JOTAPROFF PVA 07. Kjørehastigheten gjennom hovedtunnellopet er 60–80 km/t (60 km/t ved vestenden, 80 km/t ved østenden). Det finnes en rundkjøring i østenden som gjør at innkjøringshastigheten blir lavere derfra. Asfalttypen i tunnelen er Ska 16 PMB med Ottersbo (mølleverdi < 7). Dominerende vindretning i Trondheim sentrum, hvor tunnelens vestlige ende ligger, er fra sør om vinteren og fra nordvest om sommeren². Det er dessuten en avkjøringsrampe i østgående løp ved ca. 1750 m, og en innkjøringsrampe i vestgående løp ved ca. 800 m. Omtrent halvparten av trafikken i tunnellopene bruker rampene, både på innløpsrampen og utløpsrampen.

² [Vindstatistikk for Trondheim Sentrum, notatnummer KVT/ØB/2011/N060](#) – Kjeller vindteknikk AS



Figur 8: Beliggenhet og tverrsnitt av Strindheimtunnelen. Østgående løp stiger med kjøreretningen, mens vestgående løp går nedover i kjøreretningen.

Minimum renholdsfrekvens for Strindheimtunnelen iht. R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger er 1 helvask/år, 2 halvvaske/år og 3 tekniske rengjøringer/år.

Tabell 15: Minimum renholdsfrekvens angitt i R610³

Trafikkvolum ÅDT pr tunneløp	Renhold: Hel	I tillegg: Renhold: Halv	I tillegg: Renhold: Teknisk
0 - 300	Hvert 5. år	---	1 pr år i år uten Renhold: Hel
301 - 4000	1 pr år	---	1 pr år
4001 - 8000	1 pr år	1 pr år	2 pr år
8001 - 12000	1 pr år	2 pr år	3 pr år
12001 - 15000	2 pr år	3 pr år	5 pr år
15001 -	2 pr år	4 pr år	6 pr år

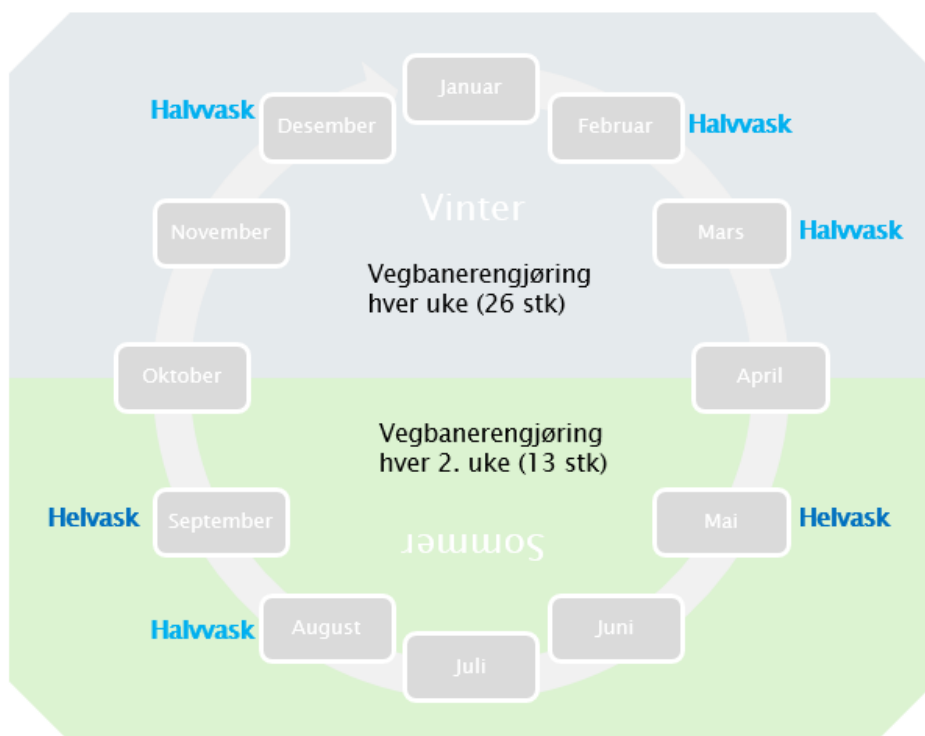
³ <https://www.vegvesen.no/siteassets/content/vedlegg/handboker/hb-r610.pdf>

3.2 Renhold i Strindheimtunnelen

Strindheimtunnelen har normalt følgende renholdsregime gjennom året:

- **Rengjøring av vegbane:** gjennomføres ukentlig om vinteren og hver 14. dag om sommeren
- **Teknisk rengjøring:** utføres ved halv- og helvask, ellers ved behov
- **Halvask:** gjennomføres 4 ganger/år
- **Helvask:** gjennomføres 2 ganger/år

Utstyret som ble brukt i rengjøring av vegbane er beskrevet i Vedlegg 1: Vegbanerenshold Kjelsberg Transport (BEAM), og utstyret som ble brukt i teknisk rengjøring, samt hel- og halvask er beskrevet i Vedlegg 2: Tunnelvask Vakumentrepreneren.



Figur 9: Renholdsfrekvens i begge løp i Strindheimtunnelen før prosjektperioden.

Renhold Vegbane: Aktiviteten omfatter følgende punkter:

- a) Renhold av kjørebane, skulder, samt alle andre flater i bunnen av tunnelen i hele tunnelens bredde. Det skal benyttes feie-/spylebil med bredsug, som kan ta opp alle partikkelstørrelser, inklusiv finstøv/svevestøv, fra alle flater i bunnen av tunnelen. Renhold skal utføres med spyling, feiing med befuktning og opptak av masser for å forhindre at løst materiale tilføres overvannssystem.
- b) Flater opp til 1 m høyde skal også rengjøres.
- c) Ledelys og evakueringslys-/markeringer skal rengjøres.

Renhold Teknisk: Omfatter følgende operasjoner i angitt rekkefølge:

- a) Renhold av tunnel- og vegutstyr som sideplasserte og overhengende skilt, bommer inklusive belysning og kjørefeltsignaler, utvendig renhold av nødstasjoner med utstyr, dører, kameraer, belysningsarmaturer/kabelbru, støtputer, ventilatorer og annet utstyr.
- b) Se «Renhold Vegbane» punkt a).

Renhold Halv: Omfatter følgende operasjoner i angitt rekkefølge:

- 1) Se «Renhold Vegbane», punkt a).
- 2) Renhold av vegger. Renhold skal utføres med metode som anvist for aktuell tunnelkledning. Vegg regnes opp til høyde 4 meter (målt vertikalt fra kjørebane ved kantlinje).
- 3) Se «Renhold Teknisk»

Renhold skal utføres med spyling for å fjerne søl og smuss som er påført tunnelutstyr/inventar under vaskeoperasjonene over. Renhold skal utføres med spyling for å fjerne søl og smuss som er påført tunnelutstyr/inventar under vaskeoperasjonene over.

- 4) Se «Renhold Vegbane» punkt a).

Renhold Hel: Omfatter følgende operasjoner i angitt rekkefølge:

- 1) Se «Renhold Vegbane» punkt a).
- 2) Renhold av vegger og tak.

Renhold skal utføres med metode som anvist for aktuell tunnelkledning.

- 3) Se «Renhold Teknisk»

Vasking av lysarmaturer: Hvelv over kabelbru vaskes først, deretter lysarmaturene, før resten av tunnelen. Renhold skal utføres med spyling for å fjerne søl og smuss som er påført tunnelutstyr/inventar under vaskeoperasjonene over.

Se «Renhold Vegbane» punkt a).



Figur 10: Tunnelrenhold (Foto: Brynhild Snilsberg)



Figur 11: Såpeutlegging (Foto: Terje Engstrøm)



Figur 12: Høytrykksspyling av tak (Foto Knut Opeide)



Figur 13: Høytrykksspyling av tunnelvegg (Foto: Knut Opeide)

Renhold i prosjektperioden

I prosjektperioden ble det i begge løp gjennomført vegbanerengjøring hver uke i vinterhalvåret (november–april) og annenhver uke i sommerhalvåret (mai–oktober).

I østgående løp ble det gjennomført fire halvvasker og to helvasker, like mange som før prosjektperioden, men på andre tider av året (se Figur 9 og Figur 14).

I vestgående løp ble det gjennomført én helvask og to halvvasker, en halvering av antallet hel- og halvvasker (se Figur 14). Likt som i østgående løp ble tidspunktet når hel- og halvvaskene ble gjennomført endret sammenlignet med før prosjektperioden.



Figur 14: Renholdsfrekvens i prosjektperioden i begge løp i Strindheimtunnelen. De gule pilene markerer tidspunkt hvor det ble gjennomført hel- eller halvvaske i østgående løp, men ikke i vestgående løp.

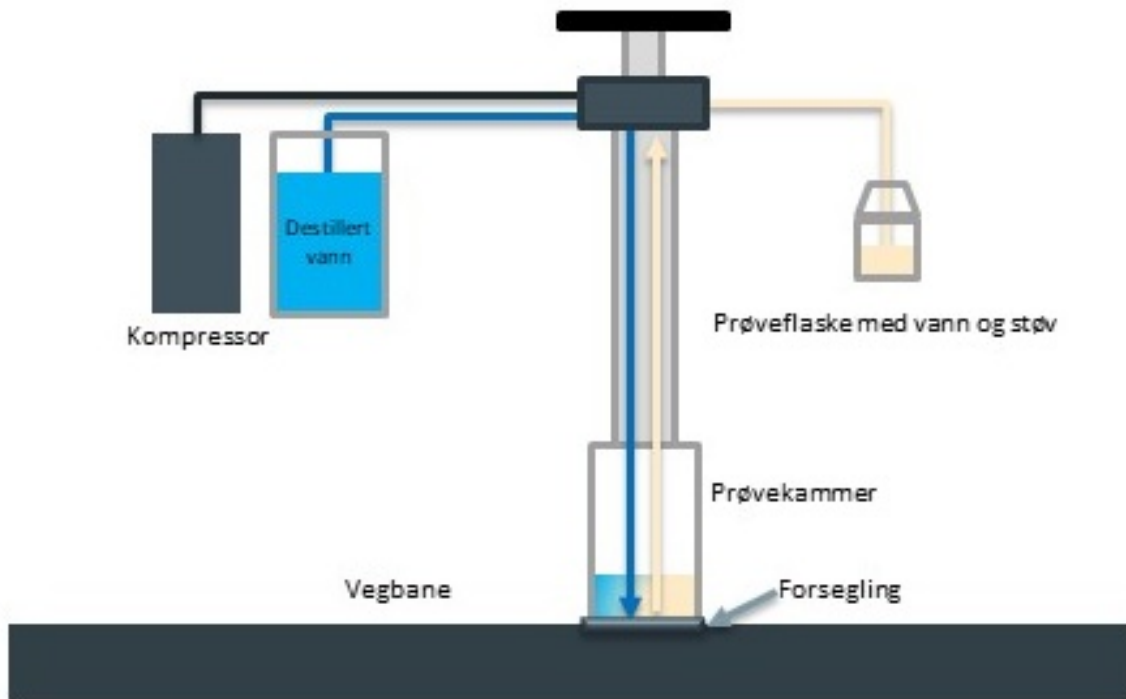
3.3 Dokumentasjonsmetode: Renhet i vegbanen (WDS III)

For å måle støvmengde i vegbanen ble det benyttet Wet Dust Sampler III (WDS). WDS er utviklet av svenske VTI og er en høytrykksvasker med vakuumpumpe som rengjør et lite areal av vegbanen før den ved hjelp av trykkluft suger opp vaskevannet med støvet fra vegbanen. Vasking og prøvetakingstiden blir styrt av en digital styringsenhet for å gjøre prøvetaking så repeterbar som mulig. En viss mengde væske (destillert og deionisert vann) blir spylt ut under høyt trykk og sugd opp i en prøveflaske som kan analyseres videre på lab. Prøvetakingen starter når man trykker på utløserknappen på prøvetakingsenheten, og parameterne som benyttes kan justeres i programvaren. Justerbare parametere er vasketid, og starttidspunkt og varighet på benyttelsen av trykkluft-kompressoren som flytter prøven til flasken. Vaskevannet med støv samles i prøveflasker og sendes til laboratorieanalyser hvor bl.a. mengde grovt støv og finstoff kan måles.

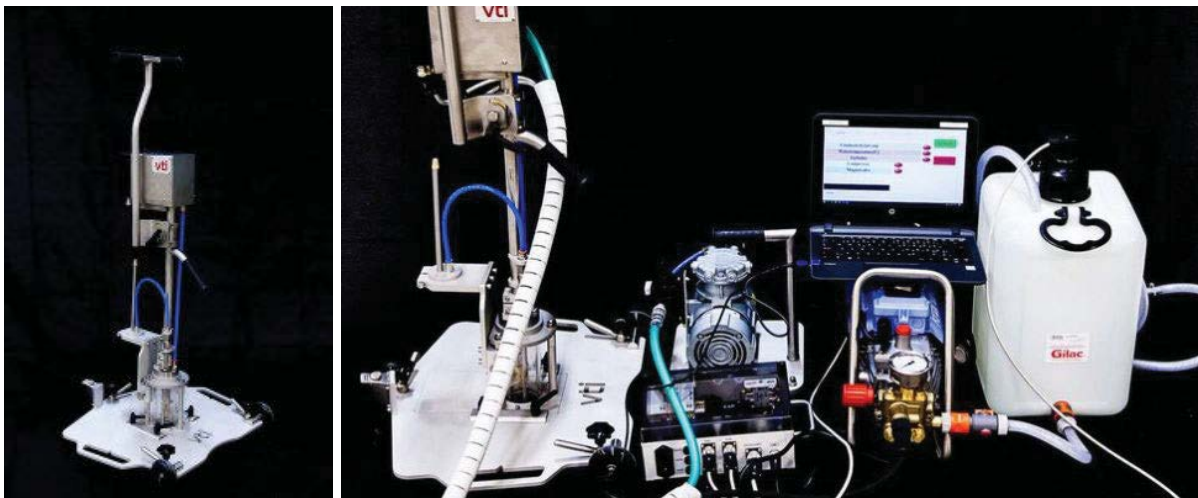


Figur 15: Prøvetaking med WDS (Foto: Brynhild Snilsberg)

WDS kan ikke ta opp partikler som er større enn 5 mm i diameter. Dermed blir grus og steiner fjernet med hendene fra prøvetakingspunktet før WDS benyttes. WDS er også avhengig av at vegbanen ikke er for grov overflatetekstur for å sikre at det meste av vaskevannet blir samlet opp i prøveflasken og at det ikke blir lekkasjer.



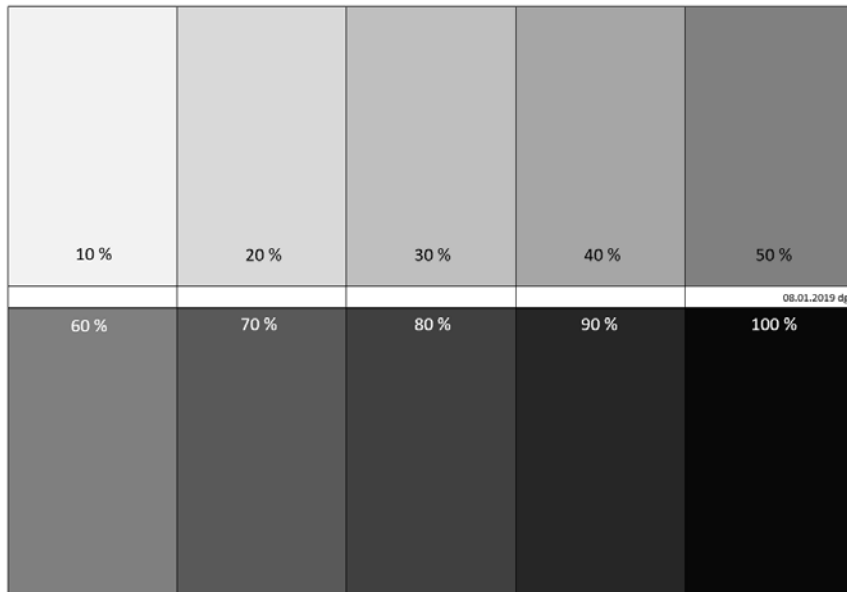
Figur 16: WDS – Wet dust sampler (Illustrasjon: Eric Monsen)



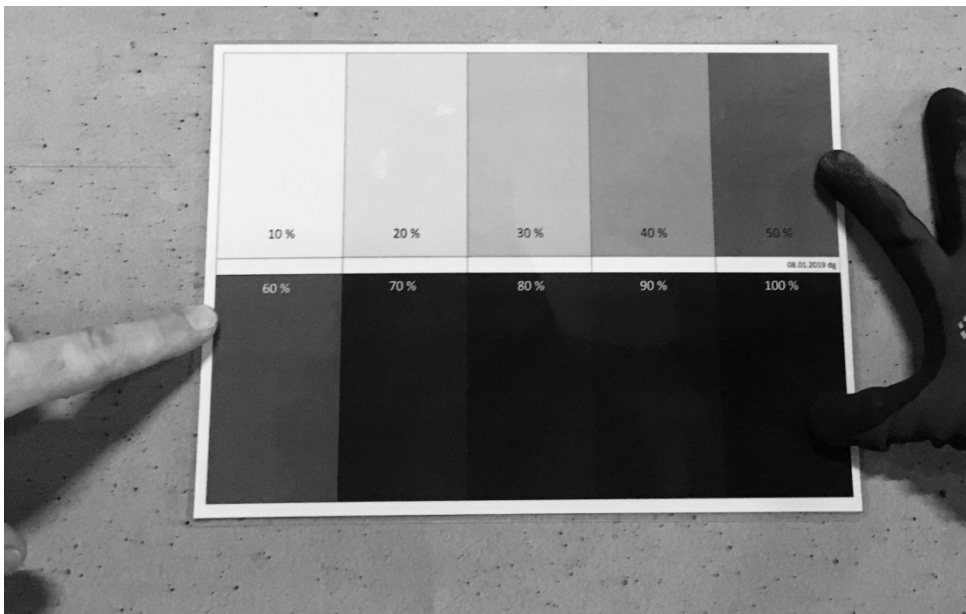
Figur 17: WDS- Wet dust sampler (Foto: Mats Gustafsson, VTI)

3.4 Dokumentasjonsmetode: Fargeskala

Prøvetaking med WDS gir kun resultater for renhet på vegbanen og ikke informasjon om hvordan reduksjon i antall hel – og halvasker påvirker renheten på tunnelveggene. For å analysere renhet på tunnelveggen gjennom prosjektperioden ble det benyttet en fargeskala. For å kunne svare på dette vil vurdering av renhet på tunnelvegg bli gjennomført med fargeskala på samme sted som prøvepunktene med WDS for hver prøvetaking. Fargeskalaen går fra 10 % til 100 % hvor 10 % er helt hvitt og 100 % er helt svart. Vegvesenets ansatte som gjennomførte målingene med WDS ble sammen enige om hvor rene veggene var.



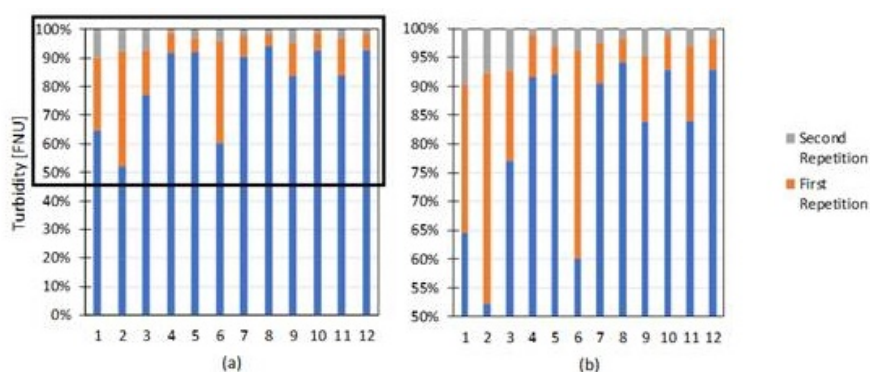
Figur 18: Fargeskala som ble brukt for å vurdere lysheten på tunnelveggen



Figur 19: Vurdering av lyshet på tunnelvegg (Foto: Statens vegvesen)

3.5 Forprosjekt: Kvalitetssikring av prøveprosedyre

Før prosjektets begynnelse var det usikkerhet knyttet til hvor stor andel av partiklene på vegoverflaten Wet Dust Sampleren tar opp og det ble derfor gjennomført et forprosjekt for å måle denne andelen. Tidligere forsøk gjennomført av svenske VTI (Statens väg- og transportforskningsinstitut) har vist store variasjoner i hvor stor andel WDSen klarer å ta opp: mellom 50 % og 90 % på første skudd (se Figur 20). VTIs forsøk ble gjennomført ute i dagen og ikke i tunnelmiljø. Statens vegvesens tidligere forsøk har vist at vegbane i tunnelmiljø er mer krevende å rengjøre enn vegbane i dagen. Dermed var forprosjektets formål å undersøke hvor mange skudd som er nødvendig for å inkludere en stor nok andel av den totale støvmengden i vegbanen i tunnelen. Vi testet også ulike innstillinger på styringsenheten (stoptid vann, stoptid kompressor og stoptid måling).

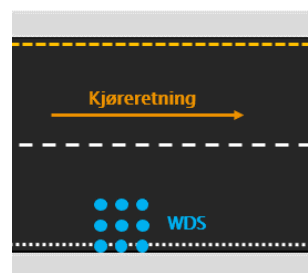


Figur 20: (a) Andel av total støvmengde WDS tar opp ved henholdsvis første (blå), andre (oransje) og tredje (grå) skudd i VTIs tidligere forsøk. (b) Forstørret del av figur (a) med 50–100 %

Det ble tatt målinger på ni prøvepunkt ca. 800 meter inn i Strindheimtunnelen. Tre av prøvepunktene var inntil kant, tre i hjulspor og tre mellom hjulspor (se Figur 21). Denne prosedyren ble gjennomført med to ulike innstillinger i programvaren. På den første innstillingen ble det tatt totalt 6 skudd på hvert prøvepunkt, som ble samlet i 6 forskjellige prøveflasker. Totalt 54 prøveflasker. På den andre innstillingen ble det tatt totalt 2 skudd på hvert prøvepunkt, som ble samlet i 2 forskjellige prøveflasker. Totalt 18 prøveflasker. Det ble gjort analyser av mengde fint støv og mengde grovt støv som ble tatt opp for hvert skudd.

Tabell 16: Parametere i programvaren for WDS ved innstilling 1 og 2

Parametere WDS	Innstilling 1 Tid (s)	Innstilling 2 Tid (s)
Stoptid vann	5	10
Starttid kompressor	1	1
Stoptid kompressor	10	15
Stoptid målinger	11	16



Figur 21: Plassering av prøvepunkter i vegbanen under forprosjektet (kant, hjulspor og mellom hjulspor)

3.6 Hovedprosjekt

Som nevnt i innledningen var prosjektets formål femdelte:

1. Det første formålet var å **undersøke hvilken virkning en halvering i antall hel- og halvvasker har på støvmengde i tunnelen når vegbanerengjøring gjennomføres med samme frekvens som før prosjektperioden**. Dette er interessant fordi hel- og halvvasker medfører store kostnader og stenging av tunneler. Vegbanerenhold medfører betydelig lavere kostnader og miljøpåvirkning, og krever ikke stenging av tunneler. Det vil derfor være svært lønnsomt dersom et redusert antall i antall hel- og halvvasker kombinert med hyppig vegbanerengjøring er tilstrekkelig til å holde støvmengden i tunnelen tilstrekkelig nede.
2. Prosjektets andre formål var å **undersøke hvordan støvet fordeler seg gjennom tunnelløpet**. Er det for eksempel høyere støvkonsentrasjon ved tunnelens innløp enn midt i tunnelløpet? Dette kan påvirke hvordan man planlegger og gjennomfører rengjøring av tunneler.
3. Det tredje formålet var å **undersøke hvordan støvet fordeler seg på tvers av vegbanen**. Hvor i vegbanen er det høyest konsentrasjon? Dette er nyttig for å vite hvor det er viktig å gjennomføre effektiv rengjøring.
4. Det fjerde formålet var å **undersøke hvordan støvmengden utvikler seg mellom to vegbanerengjøringer**. Dette er viktig for å vurdere frekvens på vegbanerenhold.
5. Det femte formålet var å **undersøke hvordan støvmengden varierer med tid på året**: Er det en forskjell i støvmengde i løpet av året? Når på året er det eventuelt høyest og lavest konsentrasjon? Dette er viktig for å planlegge når ulike typer rengjøring bør gjennomføres.

Det er ofte begrensinger i hvor lenge man kan stenge en tunnel, og dette er gjerne satt til maksimalt 8 timer. Det betyr at rengjøring i tunnel må gjennomføres på en rask og effektiv måte. I tillegg har tunneler ofte et nødbasseng av vann med tanke på slukking av en eventuell brann i tunnelen. Dette bassenget brukes gjerne for å etterfylle vaskebilene, men det skal ikke tappes for mye ned, slik at vaskebiler som må ta vann fra tunnelen bør ha et lavt vannforbruk. Dermed kan det være nyttig å vite hvilket område på tunnelen som trenger mest oppmerksomhet og hvilke årstider som krever ekstra innsats slik at renholdet gjennomføres effektivt både med tanke på tid og ressurser.

For å svare på disse spørsmålene ble prosjektet gjennomført mellom januar 2019 og juni 2020. Det ble tatt målinger i begge løp 5–6 uker etter hel- og halvvaskene. Totalt ble det gjennomført målinger 5 ganger i prosjektperioden (se Tabell 17). Ved å gjennomføre målinger både etter at begge tunnelløp var vasket samt etter at kun østgående løp var rengjort kunne hel- og halvvaskenes betydning for støvmengden bestemmes. Samtidig var målingene fordelt mellom vinter- og sommersesong for å se hvordan støvmengden varierer mellom de to sesongene. I tillegg ble det gjennomført målinger hver dag i en uke i januar 2019 for å dokumentere oppbygningen av støv mellom to vegbanerengjøringer på vinteren. Tilsvarende ble det gjennomført målinger hver andre dag i løpet av to uker i juni–juli 2019. Grunnen til at det ble tatt prøver i to uker på sommeren er at vegbanen rengjøres hver andre uke utenfor piggdekkssesongen mot hver uke i piggdekkssesongen.

Tabell 17: Oversikt over tidspunkt for vask og eventuelt prøvetaking i forbindelse med vask

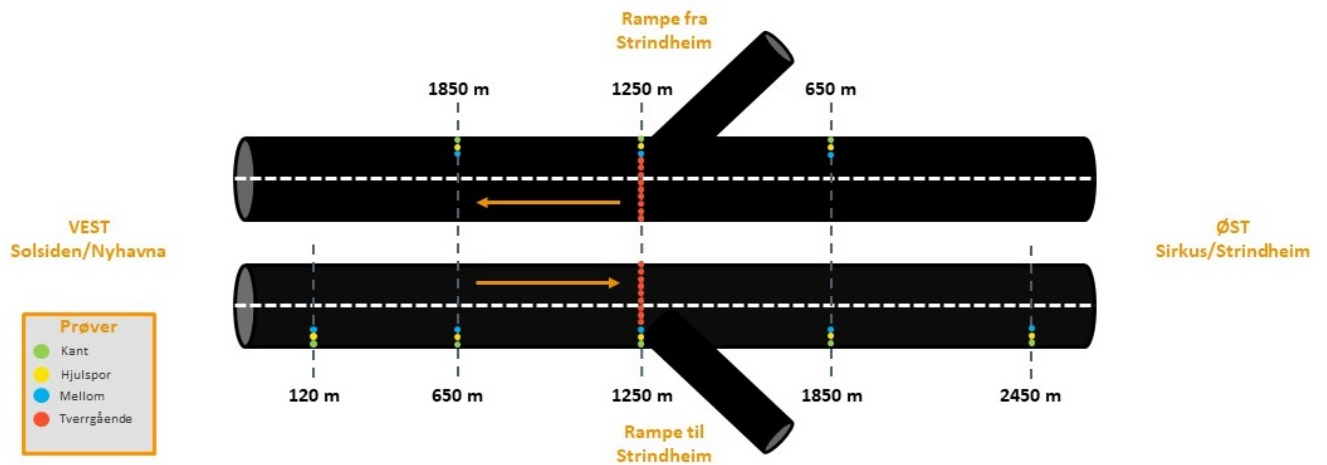
Måned	Uke	Type vask		
		Øst	Vest	
Jan 19	2-3			Prøvetaking (ukesoppfølging)
Feb 19	6	Halv	Halv	
Mar 19	11			Prøvetaking
	12	Halv		
Apr 19	24			Prøvetaking
Mai 19	21	Hel	Hel	
Jun 19				Prøvetaking (ukesoppfølging) ⁴
	24-27			
Jul 19				
Sep 19	37	Halv	Halv	
Nov 19	46	Hel		
Des 19	50	Halv		
Jan 20	4	Halv	Halv	
Mar 20	10	Halv		
Mai 20	20	Hel	Hel	
Jun 20	25			Prøvetaking

Ved alle prøvetakingene ble det tatt prøver ved 650 meter, 1250 meter og 1850 meter i begge tunneløp for å undersøke fordelingen av støv gjennom tunneløpene (se Figur 22). Og ved hver prøve ble det tatt målinger på tre punkter i høyre kjørefelt; inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor, for å undersøke fordelingen av støv på tvers av tunneløpene.

For å undersøke støvfordelingen på tvers av vegbanen nærmere ble det ved hver prøvetaking tatt prøver på tvers av hele vegbanen ved 1250 m i begge tunneløp, inkludert venstre kjørefelt.

I april og juni 2019 ble det i tillegg gjennomført prøvetakinger ved 120m og 2450 m, dvs. ca. 50 m fra tunneløpenes inn- og utløp. Dette var ikke mulig i vinterhalvåret pga at vannet i WDS ville fryse til is/slush ved prøvetaking og at inn- og utløp ikke rengjøres vinterstid pga. frost.

⁴ Vegbanerengjøring foregår hver fjortende dag i sommerhalvåret. Det var derfor planlagt prøvetaking annenhver natt mellom to vegbanerengjøringer for å undersøke utviklingen i støvmengde mellom to vegbanerengjøringer i sommerhalvåret. Vegbanen ble rengjort 13. juni. Dermed ble det tatt prøver 14.06., 16.06., 18.06. og 20.06. Det ble ved en feiltakelse gjennomført vegbanerengjøring 20.06. Dermed ble prøvetakingen for andre halvdel av toukersperioden utsatt én uke og gjenopptatt med prøvetaking 29.06., 01.07. og 03.07. Målingene fra siste prøvingsdag i de to ukene, 03.07., ble brukt som referanse etter helvask i uke 21.



Figur 22: WDS prøvetakingspunkt i tunnellopene (Illustrasjon: Eric Monsen)

● = WDS prøvetaking med 3 «skudd» på 2 areal per flaske.



Gjennomsnitt av to flasker er ett prøvepunkt.

Figur 23: Prøvetaking inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor (Illustrasjon: Eric Monsen)

Prøvene ble tatt inntil kant, i høyre hjulspor og mellom hjulsporene i høyre kjørefelt, med 4 prøvepunkt både inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor. Totalt 12 prøvepunkt per prøvetakingssted. Ut ifra resultater fra forprosjektet ble det tatt 3 skudd på hvert prøvepunkt (areal) som ble samlet i samme flaske. Dette utgjorde 9 prøver per tunnellop per dag.

4. Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene fra forsøkene.

Tabellene i dette kapittelet er fargegradert for å illustrere forholdene mellom verdiene:

- Støvmengden/veggfargen ved prøvepunktene: den største verdien i tabellen får mørkest grønnfarge, og den minste verdien er farget hvit. For resten av tallene blir fargen mørkere desto nærmere den største verdien tallet kommer.
- Differanseverdiene: Maksdifferanse i positiv retning er farget mørkest blått, og maksdifferanse i negativ retning er farget mørkest rødt. For resten av tallene blir fargene mørkere desto nærmere maks differanse tallet kommer.
- %Differanseverdiene: 100 % i positiv retning er farget mørkest blått, og 100 % i negativ retning er farget mørkest rødt. For resten av tallene blir fargene mørkere desto nærmere 100 % tallet kommer.

4.1 Forprosjektet

Forprosjektet ble gjennomført for å kvalitetssikre prøvetakingsmetoden. Det ble tatt 6 skudd på hvert prøvepunkt for å se hvor mye av støvet i vegbanen WDS tok opp for hvert skudd.

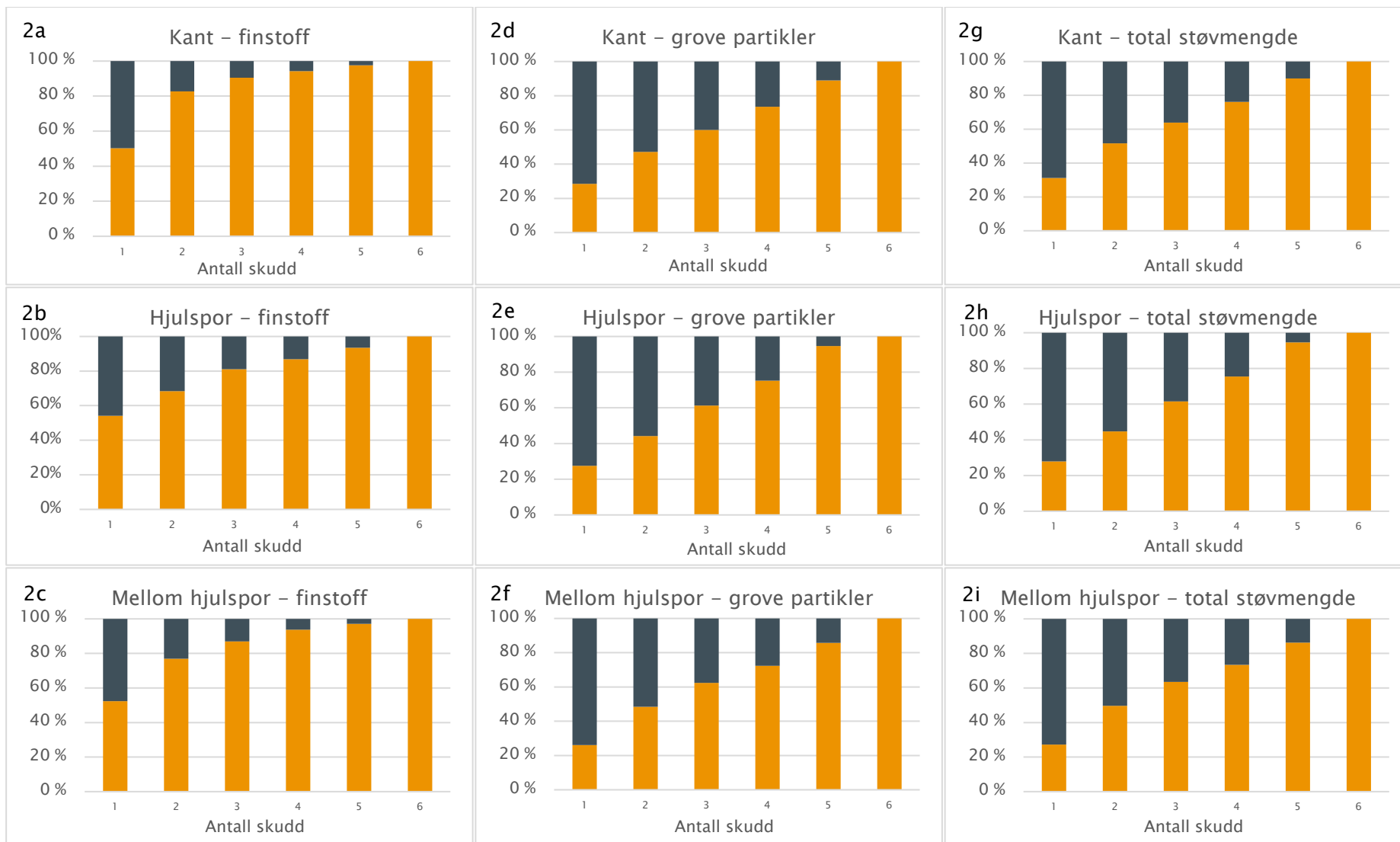
Målinger inntil kant, i hjulspor og mellom hjulspor viste henholdsvis at kun 31 %, 28 % og 27 % av den totale partikkelmengden på vegoverflaten blir tatt opp med første skudd.

Henholdsvis 28 %, 28 % og 26 % av de grove partiklene blir tatt opp på det første skuddet, mens 50 %, 54 % og 52 % av finstoffet blir tatt opp på skudd nummer 1. Det er derfor helt nødvendig å ta flere skudd på samme prøvepunkt for å få opp de fleste partiklene.

Analysene viser at det bør tas 3 skudd for å ta opp 90 % av finstoffmengden på hvert prøvepunkt. Ved å ta 3 skudd blir 60 % av de grove partiklene samlet opp i prøven, mens 64 % av den totale partikkelmengden blir samlet opp. For å få med tilnærmet 90 % av de grove partiklene bør det tas 5 skudd. Siden finstoffmengden var av størst interesse for dette prosjektet ble det bestemt at det skulle tas 3 skudd per prøvepunkt under prosjektet.



Figur 24: Prøveflasker med rent vann og skudd 1-6 fra kant (Foto: lab midt i Statens vegvesen)



Figur 25: Fordeling av finstoffmengde (2a-2c), mengde grove partikler (2d-2f) og total støvmengden (2g-2i) inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor for forprosjektet

4.2 Støvmengde og veggfarge vinter og sommer

Analysen av resultatene for dette kapittelet baseres på verdiene fra Vedlegg V4.1 Støvmengde gjennom tunnellopet og Vedlegg V4.3 Veggfarge.

I tabellene betyr positiv differanse at vinterhalvåret har høyere verdi enn sommerhalvåret (blått) og negativ differanse at sommerhalvåret har høyere verdi enn vinterhalvåret (rødt).

4.2.1 Finstoffmengde

Tabell 18 viser gjennomsnittsverdien av finstoffmengden fra vinter- og fra sommerhalvåret, samt differansen mellom ved de ulike prøvepunktene.

Tabell 19 viser gjennomsnittsverdien for finstoffmengden mellom de ulike prøvepunktene for vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

- Resultatene i Tabell 18 viser at det alltid er høyere finstoffmengde i vinterhalvåret enn sommerhalvåret, og i de fleste målepunkter er det en betydelig forskjell.

Tabell 18: Gjennomsnittsverdien av finstoffmengden i vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m

Kant					
Løp	Punkt [m]	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	650	195	45	150	77 %
Øst	1250	51	30	21	41 %
Øst	1850	64	32	33	51 %
Vest	650	112	64	48	43 %
Vest	1250	78	45	33	42 %
Vest	1850	78	40	38	48 %

Hjulspor					
Løp	Punkt [m]	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	650	17	10	7	41 %
Øst	1250	12	10	2	17 %
Øst	1850	19	6	13	68 %
Vest	650	12	4	8	65 %
Vest	1250	9	3	6	65 %
Vest	1850	7	4	3	42 %

Mellom hjulspor					
Løp	Punkt [m]	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	650	85	22	63	74 %
Øst	1250	68	14	54	79 %
Øst	1850	38	16	23	59 %
Vest	650	69	25	44	63 %
Vest	1250	33	13	21	62 %
Vest	1850	42	36	6	14 %

Tabell 19: Gjennomsnittsverdien for finstoffmengden mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Gjennomsnitt				
Løp	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	61	20	41	66 %
Vest	49	26	23	47 %

4.2.2 Total støvmengde

Tabell 20 viser gjennomsnittsverdien av total støvmengde fra vinter- og fra sommerhalvåret, samt differansen mellom de ulike prøvepunktene.

Tabell 19 viser gjennomsnittsverdien for total støvmengde mellom de ulike prøvepunktene for vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

- Resultatene i Tabell 20 viser at det så godt som alltid er større total støvmengde i vinterhalvåret enn sommerhalvåret. Tabell 21 viser at for gjennomsnittsverdier er forskjellene mindre betydelige enn forskjellene observert for finstoffmengde i Tabell 19.
- Et eneste unntak finnes i hjulspor ved 1250 m i østgående løp, der gjennomsnittet av sommerhalvåret hadde høyere total støvmengde enn det fra vinterhalvåret. Men det er også ved dette punktet relativt lite støv sammenlignet med de andre punktene, og usikkerheten er da også større.

Tabell 20: Gjennomsnittsverdien av total støvmengde i vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m

Kant					
Løp	Punkt [m]	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	650	649	478	171	26 %
Øst	1250	360	166	194	54 %
Øst	1850	514	429	86	17 %
Vest	650	606	511	95	16 %
Vest	1250	492	481	11	2 %
Vest	1850	560	371	190	34 %

Hjulspor					
Løp	Punkt [m]	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	650	175	124	51	29 %
Øst	1250	160	197	-37	-19 %
Øst	1850	237	193	44	19 %
Vest	650	209	191	19	9 %
Vest	1250	228	162	67	29 %
Vest	1850	219	149	70	32 %

Mellom hjulspor					
Løp	Punkt [m]	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	650	446	317	129	29 %
Øst	1250	459	244	215	47 %
Øst	1850	457	318	139	30 %
Vest	650	495	351	144	29 %
Vest	1250	423	298	125	30 %
Vest	1850	494	339	154	31 %

Tabell 21: Gjennomsnittsverdien for total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Gjennomsnitt				
Løp	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Øst	384	274	110	29 %
Vest	414	317	97	23 %

4.2.3 Veggfarge

Tabell 22 viser gjennomsnittsverdien av veggfargen fra vinter- og fra sommerhalvåret, samt differansen mellom de ulike prøvepunktene.

Tabell 23 viser gjennomsnittsverdien for veggfargen mellom de ulike prøvepunktene for vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

- Tabell 22 viser at det er lite forskjell mellom vinter og sommer, der forskjellen i veggfarge aldri blir større enn 10 prosentpoeng. Men generelt er det litt mørkere tunnelvegger i sommerhalvåret.

Tabell 22: Gjennomsnittsverdien av veggfargen vinter og sommer, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m

Høyre vegg					
Løp	Punkt [m]	Vinter	Sommer	Differanse	Prosent
Øst	650	29 %	29 %	1 %	2 %
Øst	1250	28 %	36 %	-8 %	-22 %
Øst	1850	29 %	35 %	-6 %	-17 %
Vest	650	31 %	28 %	3 %	10 %
Vest	1250	28 %	31 %	-3 %	-9 %
Vest	1850	27 %	26 %	1 %	3 %

Venstre vegg					
Løp	Punkt [m]	Vinter	Sommer	Differanse	Prosent
Øst	650	23 %	24 %	0 %	-2 %
Øst	1250	23 %	29 %	-5 %	-19 %
Øst	1850	28 %	31 %	-3 %	-9 %
Vest	650	23 %	25 %	-3 %	-10 %
Vest	1250	23 %	30 %	-7 %	-24 %
Vest	1850	24 %	26 %	-2 %	-9 %

Tabell 23: Gjennomsnittsverdien for veggfargen mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for vinter og sommer, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Gjennomsnitt				
Løp	Vinter	Sommer	Differanse	Prosent
Øst	27 %	31 %	-4 %	-12 %
Vest	26 %	28 %	-2 %	-7 %

4.2.4 Diskusjon

Resultatet viser tydelig at det er større støvmengde i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret, og det kan tenkes flere faktorer som kan ha bidratt til denne fordelingen:

- Bruken av piggdekk bidrar til mer asfaltslitasje, og piggdekkandelen er størst i vinterhalvåret.
- Kulden i vinterhalvåret bidrar til mer drivstofforbruk, noe som videre kan føre til skitnere tunnelmiljø.

Siden det er såpass stor forskjell i finstoffmengde og total støvmengde mellom vinter og sommer, kunne det forventes at den samme forskjellen skulle vises i veggfargen også. Men det er liten forskjell på tunnelveggfargen mellom vinter og sommer, der tunnelveggene er noe mørkere om sommeren. Siden det er dobbelt så mange vegbanerengjøringer om vinteren enn om sommeren kan det tyde på at med høy nok frekvens på vegbanerenholdet vil veggfargen holde seg på et greit nivå. Det er også noe måleusikkerheter knyttet til veggfargen, hovedsakelig grunnet det blir tatt på øyemål, men også fordi papiret som ble brukt ikke representerer mørkheten på veggen på en perfekt måte: mens veggene er prikkete og brunaktig, fargeskalaen på papiret i gråskala.

4.3 Støvmengde og veggfarge gjennom tunneløpet

Analysen av resultatene for dette kapittelet baseres på verdiene fra Vedlegg V4.1 Støvmengde gjennom tunneløpet.

4.3.1 Finstoffmengde

Tabell 24 viser gjennomsnittet mellom finstoffmengden på tvers (kant + hjulspor + mellom hjulspor) ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2450 m i begge tunneløpene.

Tabell 25 viser gjennomsnittet mellom finstoffmengden på tvers og mellom alle måletidspunktene ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2450 m.

- Finstoffmengden har en tendens til å være høyest ved 650 m i begge løp, mens det er litt høyere ved 1250 m enn 1850 m for østgående løp, og litt høyere ved 1850 m enn 1250 for vestgående løp, men de sistnevnte forskjellene er relativt lite (se Tabell 25). Forskjellen mellom 650 m og de andre prøvepunktene er litt mindre for vestgående løp.
- Finstoffmengden ved 120 m og 2450 m, er høyere enn verdiene ved 650 m, 1250 m 1850 m for de respektive månedene, og det kan tyde på at jo nærmere inn-/utløp, desto større er finstoffmengden. Men ettersom det ikke ble tatt prøver ved disse punktene for januar og mars (vintermåned), som trolig hadde enda høyere verdi, er tendensen ikke merkbar i gjennomsnittsverdiene (se Tabell 25).

Tabell 24: Gjennomsnittet av finstoffmengden mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m for hvert måletidspunkt

Løp	Måned	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	Januar		123	43	43	
Øst	Mars		110	30	49	
Øst	April	77	64	57	30	74
Øst	Juni 2019	46	25	19	14	
Øst	Juni 2020			16	22	
Vest	Januar		60	49	39	
Vest	Mars		78	45	40	
Vest	April		55	26	48	
Vest	Juni 19		23	22	26	
Vest	Juni 20		40	18	28	

Tabell 25: Gjennomsnittet mellom finstoffmengden på tvers og mellom alle måletidspunktene ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m

Løp	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	62	80	33	32	74
Vest		51	32	36	

4.3.2 Total støvmengde

Tabell 26 viser gjennomsnittet mellom total støvmengde på tvers (kant + hjulspor + mellom hjulspor) ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m i begge tunneløpene.

Tabell 27 viser gjennomsnittet mellom total støvmengde på tvers og mellom alle måletidspunktene ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m.

- Total støvmengde er høyest ved 650 m i begge løp, og det er en tendens til at det er lavest verdi ved 1250 m, og litt høyere igjen ved 1850 m (se Tabell 27). Fordelingen av total støvmengde er jevnere mellom de ulike prøvepunktene enn fordelingen av finstoffmengden.
- I april ble det også tatt prøver ved 120 m og 2400 m i østgående løp, og i juli 2019 ved 120 m. Disse tallene har en verdi som er relativt høye i forhold til 650 m, 1250 m og 1850 m for de respektive månedene, og det kan tyde på at jo nærmere inn-/utløp, desto større er den totale støvmengden.

Tabell 26: Gjennomsnittet av total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m for hvert måletidspunkt

Løp	Måned	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	Januar		401	276	334	
Øst	Mars		412	267	458	
Øst	April	479	457	436	417	537
Øst	Juni 2019	387	344	276	390	
Øst	Juni 2020		267	130	237	
Vest	Januar		421	306	319	
Vest	Mars		461	463	416	
Vest	April		429	375	539	
Vest	Juni 19		378	381	343	
Vest	Juni 20		324	247	230	

Tabell 27: Gjennomsnittet mellom total støvmengde på tvers og mellom alle måletidspunktene ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m

Løp	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	433	376	277	367	537
Vest		403	354	369	

4.3.3 Veggfarge

Analysen av resultatene for dette kapittelet baseres på verdiene fra Vedlegg V4.3 Veggfarge.

Tabell 28 viser gjennomsnittet av veggfargen på venstre og høyre tunnelvegg ved alle måletidspunktene for begge løp.

Tabell 29 viser gjennomsnittsverdien av veggfargen for venstre og høyre tunnelvegg og alle måletidspunktene for begge løp.

- Veggfargen er klart mørkest ved 120 m, der gjennomsnittsverdien er på 40 %.
- Ved resten av prøvepunktene er det ikke så stor forskjell, der tallene ligger mellom 20 % og 30 %.

Tabell 28: Tunnelveggen ved alle måletidspunkter for begge løp

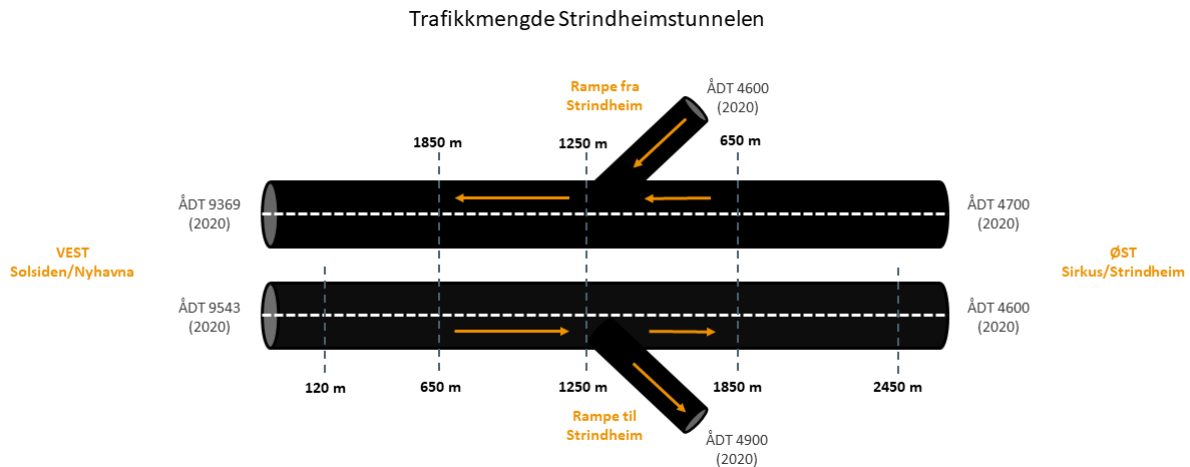
Løp	Måned	120 m [%]	650 m [%]	1250 m [%]	1850 m [%]	2450 m [%]
Øst	Januar		23	25	25	
Øst	Mars		34	30	35	
Øst	April	43	23	23	26	27
Øst	Juni 19	38	25	30	29	30
Øst	Juni 20		28	35	38	
Vest	Januar		24	25	25	
Vest	Mars		31	27	24	
Vest	April		25	25	28	
Vest	Juni 19		23	26	23	
Vest	Juni 20		25	33	28	

Tabell 29: Gjennomsnittsverdiene av tunnelveggfargen mellom alle måletidspunkter for høyre side for begge løp

Løp	120 m [%]	650 m [%]	1250 m [%]	1850 m [%]	2450 m [%]
Øst	40	26	29	30	29
Vest		25	27	25	

4.3.4 Diskusjon

Ett tydelig trend er at det er stor støvoppsamling ved 120 m og 650 m, og også relativt stor støvoppsamling ved 2450 m. Ved 1250 m og 1850 m kan fordelingen av støvmengde variere en del fra måned til måned. Dette skyldes sannsynligvis måleusikkerheten i prøvene.



Figur 26: ÅDT i øst- og vestgående løp, samt innkjøring- og utkjøringsrampene, i 2020

Det er en innkjøringsrampe etter prøvepunktet ved 650 for vestgående løp, og en utkjøringsrampe før prøvepunkt 1850 m for østgående løp (se Figur 26), og rampenes påvirkning er merkbar i resultatene. Rampene bidrar nemlig med omtrent halvparten av trafikkmengden i tunneløpene. For eksempel er forskjellen mellom 650 m og resten av prøvepunktene ikke like stor for vestgående løp som i østgående løp. Dette kan altså være grunnet trafikkmengden ved 650 m er nesten halvparten av 650 m ved østgående løp. Det samme kan sies om målingen ved 1850 m, der utkjøringsrampen rett før prøvepunktet nesten halverer trafikkmengden, og dermed kan det tenkes at det skulle ha vært enda større finstoffmengde i 1850 m i østgående løp.

4.4 Støvmengde og veggfarge på tvers av tunnellopet

Analysen av resultatene for dette kapittelet baseres på verdiene fra Vedlegg V4.2 Støvmengde på tvers av tunnellopet.

4.4.1 Finstoffmengde

Tabell 30 viser finstoffmengdene på tvers av vegbanen i de ulike måletidspunktene.

Tabell 31 viser gjennomsnittet av finstoffmengden mellom de ulike måletidspunktene ved hvert prøvepunkt i tversprofilen.

- Finstoffmengden har en tendens til å være høyest ved venstre kant i begge løp og minst i hjulsporene.
- Dersom samme punkter på venstre og høyre vegbane sammenlignes (venstre hjulspor, mellom hjulspor, høyre hjulspor) er det en tendens til at venstre bane har høyere finstoffmengde enn høyre vegbane.
- I vinterhalvåret er forskjellene mellom prøvepunktene på tvers tydeligere.

Tabell 30: Fordeling av finstoffmengde på tvers av tunnellopet for hvert løp

Løp	Måned	Venstre kant [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Vegmidt [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Høyre kant [g/m ²]
Øst	Mars	114	21	25	28	110	30	41	8	42
Øst	April	148	25	47	29	41	19	106	18	47
Øst	Juni 19	88	13	11	12	10	7	11	6	41
Øst	Juni 20	137	14	27	21	9	3	17	13	19
Vest	Mars	81	12	65	14	40	9	34	12	89
Vest	April	124	19	81	12	26	9	27	8	43
Vest	Juni 19	126	11	18	6	16	4	16	6	48
Vest	Juni 20	126	9	27	7	12	4	10	3	42

Tabell 31: Gjennomsnittet av finstoffmengden i vinterhalvåret og sommerhalvåret på tvers av vegbanen for begge løp

Løp	Måned	Venstre kant [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Vegmidt [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Høyre kant [g/m ²]
Øst	Vinter	131	23	36	28	76	25	74	13	44
Øst	Sommer	113	14	19	17	10	5	14	10	30
Vest	Vinter	103	16	73	13	33	9	30	10	66
Vest	Sommer	126	10	22	6	14	4	13	5	45

4.4.2 Total støvmengde

Tabell 32 viser total støvmengde på tvers av vegbanen i de ulike måletidspunktene.

Tabell 33 viser gjennomsnittet av total støvmengde mellom de ulike måletidspunktene ved hvert prøvepunkt i tversprofilen.

- Den totale støvmengden er høyest ved venstre kant i begge løp i alle måletidspunkter, og generelt er det minst total støvmengde i hjulsporene.
- Dersom samme punkter på venstre og høyre vegbane sammenlignes (venstre hjulspor, mellom hjulspor, høyre hjulspor) er det en tendens til at venstre bane har høyere finstoffmengde enn høyre vegbane, men dette er et mindre fremtredende mønster enn for finstoffordelingen, og det er flere avviker.
- Fordelingen av total støvmengde er jevnere mellom de ulike prøvepunktene enn fordelingen av finstoffmengden.
- I vinterhalvåret er forskjellene mellom prøvepunktene på tvers tydeligere.

Tabell 32: Fordeling av total støvmengde på tvers av tunneløpet for begge løp

Løp	Måned	Venstre kant [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Vegmidt [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Høyre kant [g/m ²]
Øst	Mars	832	209	324	275	597	258	359	122	319
Øst	April	872	296	641	348	393	266	700	219	598
Øst	Juni 19	750	339	255	302	329	255	315	316	196
Øst	Juni 20	616	186	360	217	163	87	173	79	137
Vest	Mars	594	177	476	169	424	94	509	347	533
Vest	April	720	246	705	243	442	179	458	232	434
Vest	Juni 19	730	252	457	223	212	129	355	160	627
Vest	Juni 20	604	157	262	139	193	97	242	163	335

Tabell 33: Gjennomsnittet av total støvmengde i vinterhalvåret og sommerhalvåret på tvers av vegbanen for begge løp

Løp	Måned	Venstre kant [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Vegmidt [g/m ²]	Venstre hjulspor [g/m ²]	Mellom hjulspor [g/m ²]	Høyre hjulspor [g/m ²]	Høyre kant [g/m ²]
Øst	Vinter	852	252	482	312	495	262	530	171	459
Øst	Sommer	683	263	307	259	246	171	244	197	166
Vest	Vinter	657	211	591	206	433	136	483	290	483
Vest	Sommer	667	204	359	181	203	113	298	162	481

4.4.3 Veggfarge

Tabell 34 viser gjennomsnittet av veggfargen ved 650 m, 1250 m og 1850 m på venstre og høyre vegg for alle måletidspunkter for begge løp.

Tabell 35 viser gjennomsnittet av veggfargen ved 650 m, 1250 m og 1850 m og mellom alle måletidspunktene på venstre og høyre vegg for begge løp.

- Veggfargen er generelt mørkere på høyre vegg enn venstre vegg.

Tabell 34: Gjennomsnittet av veggfargen ved 650 m, 1250 m og 1850 m på venstre og høyre vegg for alle måletidspunkter for begge løp

Løp	Måned	Venstre vegg	Høyre vegg
Øst	Januar	23 %	25 %
Øst	Mars	30 %	36 %
Øst	April	22 %	26 %
Øst	Juni 19	26 %	30 %
Øst	Juni 20	30 %	37 %
Vest	Januar	24 %	25 %
Vest	Mars	23 %	31 %
Vest	April	22 %	30 %
Vest	Juni 19	23 %	25 %
Vest	Juni 20	25 %	32 %

Tabell 35: Gjennomsnittet av veggfargen ved 650 m, 1250 m og 1850 m og mellom alle måletidspunktene på venstre og høyre vegg for begge løp

Løp	Venstre vegg	Høyre vegg
Øst	26 %	31 %
Vest	23 %	28 %

4.4.4 Diskusjon

I tunnelløpet kjører rundt 80 % av trafikkmengden i høyre kjørefelt. Dette vil trolig ha bidratt til mer oppvirvling av støvet i høyre kjørefelt, og at støvet i venstre kjørefelt er mer uberørt. Dessuten var det ikke spylebom på venstre siden av maskinen som ble brukt i kontrakten, og dermed ble ikke sideområdet av venstre kjørefelt like grundig rengjort som høyre kjørefelt. Dette kan forklare hvorfor det er en tendens til at det samler seg mer støvmengde i venstre kjørefelt, og da særlig i venstre kant.

Tunnelveggfargen ser ut til å være mørkere på høyre vegg enn venstre vegg. Det kan være at oppvirvling av støvet i høyre kjørefelt fører til at mer støv kommer opp i høyden på veggene, mens der luften står mer stilt vil støvet ikke løftes opp på tunnelveggene.

4.5 Støvoppsamling mellom to vegbanerengjøringer

Analysen av resultatene for dette kapittelet baseres på verdiene fra Vedlegg V4.4 Ukesoppfølging.

4.5.1 Finstoffmengde

Vinter

Tabell 36 viser finstoffmengden mellom to vegbanerengjøringer i vinter i de ulike prøvepunkter og måletidspunkter for begge løp.

Tabell 37 viser gjennomsnittsverdiene av finstoffmengden mellom to vegbanerengjøringer i vinter mellom de ulike prøvepunkter og måletidspunkter for begge løp.

- Det er vanskelig å se jevne og tydelige trender på oppsamling av finstoffmengden gjennom uken. Det er noen punkter der oppsamlingen gradvis øker, men får et toppunkt ved dag 5 og går ned igjen ved dag 6.
- Totalt sett er det høyere finstoffmengde mot slutten av uken enn starten av uken.
- Forholdene ved målepunktene kan ha hatt en relativt stor påvirkning på hvor mye støv som blir målt på vegbanen. Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen viser for eksempel at det meste av vegbanen var våt i østgående løp på dag 4, og i gjennomsnittsverdi er det et toppunkt der. Videre var dag 5 den eneste dagen for vestgående løp der det var minusgrader ved alle punkt, og her er det også et toppunkt. Det var også minusgrader ved 650 m og 1250 m i østgående løp ved dag 5. Det kan generelt ses at dagene med mer fukt på vegbanen gir større utslag på målt finstoffmengde.

Tabell 36: Finstoffmengden mellom to vegbanerengjøringer i vinter ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp

Kant							
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	650	N/A	235	225	293	262	231
Øst	1250	N/A	41	31	33	26	65
Øst	1850	N/A	61	64	80	92	87
Vest	650	N/A	99	103	127	154	113
Vest	1250	N/A	65	90	128	118	101
Vest	1850	N/A	54	56	82	90	77

Hjulspor							
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	650	N/A	20	13	14	21	21
Øst	1250	N/A	11	15	15	15	8
Øst	1850	N/A	5	13	5	7	11
Vest	650	9	7	7	6	10	14
Vest	1250	7	9	8	6	7	5
Vest	1850	11	12	13	10	7	7

Mellom hjulspor							
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	650	N/A	63	58	96	81	119
Øst	1250	N/A	58	72	95	57	57
Øst	1850	23	23	36	55	39	32
Vest	650	33	54	51	74	89	54
Vest	1250	23	48	30	60	49	40
Vest	1850	39	83	46	42	107	33

Tabell 37: Gjennomsnittsverdiene av finstoffmengden mellom alle prøvepunktene i vinter for alle måletidspunkter for begge løp.

Løp	Punkt	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	Gjennomsnitt	N/A	58	59	76	67	70
Vest	Gjennomsnitt	N/A	48	45	59	70	49

Sommer

Tabell 38 viser finstoffmengden mellom to vegbanerengjøringer i sommer ved de ulike prøvepunktene og måletidspunktene for begge løp.

Tabell 39 viser gjennomsnittsverdiene av finstoffmengden mellom to vegbanerengjøringer i sommer mellom de ulike prøvepunktene og måletidspunktene for begge løp.

- Fordelingen av toppunktet for finstoffmengden er sporadisk. Ved noen punkter forekommer toppunktet allerede ved dag 3, og ved andre dager nærmer slutten av uken.
- Det er ingen tegn til at finstoffmengden får en jevn og gradvis økning mellom de to vegbanerengjøringene.
- Det er heller ingen tydelige tendenser til at finstoffmengden er større mot slutten av uken sett opp mot starten av uken
- Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen viser at forholdene på vegbanen var mer stabile fra dag til dag enn i vintermålingene. De fleste dagene var det tørt, med unntak av dag 9 der det var noe fuktig. Grunnet feil ble også dag 9 tatt en uke etter den opprinnelige dag 9 skulle ha vært. Det er altså mer enn en ukes forskjell mellom dag 7 og dag 9. Forholdene på vegbanen ser ikke ut til å ha en stor korrelasjon med målt finstoffmengde på vegbanen.

Tabell 38: Finstoffmengde mellom to vegbanerengjøringer, sommer. Gjennomsnittsverdi for kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp

Kant								
Løp	Punkt	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	650 m	82	94	58	76	66	84	45
Øst	1250 m	9	31	29	19	27	27	41
Øst	1850 m	21	35	24	19	21	23	26
Vest	650 m	71	50	53	53	47	57	36
Vest	1250 m	38	24	27	35	40	57	48
Vest	1850 m	45	41	48	55	37	60	41

Hjulspor								
Løp	Punkt	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	650 m	7	3	7	5	10	9	7
Øst	1250 m	6	5	6	6	6	6	6
Øst	1850 m	N/A	3	3	3	3	3	6
Vest	650 m	3	7	3	4	5	2	3
Vest	1250 m	N/A	4	4	3	4	2	3
Vest	1850 m	5	3	4	4	3	3	7

Mellom hjulspor								
Løp	Punkt	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	650 m	12	16	17	22	7	21	22
Øst	1250 m	10	12	6	21	11	18	11
Øst	1850 m	8	7	16	8	18	9	10
Vest	650 m	27	23	22	27	19	19	30
Vest	1250 m	14	20	13	15	10	15	16
Vest	1850 m	21	15	19	20	19	21	30

Tabell 39: Gjennomsnittsverdi finstoffmengde for alle prøvepunktene for alle måletidspunkter for begge løp. Sommer

Løp	Punkt	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst		N/A	23	18	20	19	22	19
Vest		N/A	21	21	24	21	26	24

4.5.2 Total støvmengde

Vinter

Tabell 40 viser total støvmengde mellom to vegbanerengjøringer i vinter ved de ulike prøvepunktene og måletidspunktene for begge løp.

Tabell 41 viser gjennomsnittsverdiene av total støvmengde mellom to vegbanerengjøringer i vinter mellom de ulike prøvepunktene og måletidspunktene for begge løp.

- Det er vanskelig å se jevne og tydelige oppbygninger på finstoffmengden gjennom uken.
- Det er ikke entydig om det er større total støvmengde mot starten av uken eller større mot slutten.
- Forholdene ved målepunktene kan ha hatt en viss påvirkning på hvor mye støv som blir målt på vegbanen. Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen viser for eksempel at meste av vegbanen var våt i østgående løp på dag 4, og i gjennomsnittsverdi er det relativt høye verdier den dagen. Forholdene gir dog ikke en forklaring på hvorfor total støvmengde var så stor ved dag 2.

Tabell 40: Total støvmengde mellom to vegbanerengjøringer ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp. Vinter

Kant							
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	650	N/A	736	587	838	520	626
Øst	1250	N/A	507	161	155	262	373
Øst	1850	N/A	471	352	420	503	419
Vest	650	N/A	495	611	625	694	571
Vest	1250	N/A	529	533	549	498	510
Vest	1850	N/A	512	460	651	470	409

Hjulspor							
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	650	N/A	370	114	260	191	145
Øst	1250	N/A	269	99	328	176	139
Øst	1850	N/A	160	280	131	272	301
Vest	650	236	223	148	162	189	278
Vest	1250	225	399	275	184	158	104
Vest	1850	367	385	238	162	191	178

Mellom hjulspor							
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	650	N/A	489	230	453	327	431
Øst	1250	N/A	575	297	366	201	318
Øst	1850	506	313	281	513	446	282
Vest	650	252	452	205	514	518	413
Vest	1250	296	355	329	480	341	304
Vest	1850	511	491	368	476	511	369

Tabell 41: Gjennomsnittsverdi total støvmengde for alle prøvepunktene for alle måletidspunkter for begge løp. Vinter

Løp	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]
Øst	N/A	432	267	385	322	337
Vest	N/A	427	352	423	397	348

Sommer

Tabell 42 viser total støvmengde mellom to vegbanerengjøringer i sommerhalvåret ved alle prøvepunkter og måletidspunkter for begge løp.

Tabell 43 viser gjennomsnittsverdiene av total støvmengde mellom to vegbanerengjøringer i sommerhalvåret for alle prøvepunkter og måletidspunkter for begge løp.

- Det er ingen tydelige tendenser i hvordan total støvmengde utvikler seg i de ulike prøvepunktene.
- Totalt sett er det en relativt jevn og gradvis økning av total støvmengde ved alle prøvepunkter, med unntak av mellom dag 7 og dag 9 i vestgående løp, men dette kan skyldes forflytningen i måletidspunktet.
- Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen viser at forholdene på vegbanen var mer stabile fra dag til dag enn i vintermålingene. De fleste dagene var det tørt, med unntak av dag 9 der det var noe fuktig. Grunnet feil ble også dag 9 tatt en uke etter den opprinnelige dag 9 skulle ha vært. Det er altså mer enn en ukes forskjell mellom dag 7 og dag 9. Forholdene på vegbanen ser ikke ut til å ha en stor korrelasjon med målt total støvmengde på vegbanen

Tabell 42: Total støvmengde mellom to vegbanerengjøringer ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp. Sommer

Kant								
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	650	583	605	606	651	574	611	477
Øst	1250	116	353	355	303	356	495	196
Øst	1850	254	373	283	405	353	389	516
Vest	650	387	416	506	540	415	352	537
Vest	1250	372	354	400	449	435	492	627
Vest	1850	325	387	555	466	509	607	396

Hjulspor								
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	650	300	112	163	149	233	178	165
Øst	1250	175	179	159	173	144	171	316
Øst	1850	N/A	139	139	133	344	131	315
Vest	650	91	129	120	206	141	133	185
Vest	1250	N/A	80	189	197	164	74	160
Vest	1850	137	115	159	116	118	77	214

Mellom hjulspor								
Løp	Punkt [m]	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	650	199	346	408	363	261	392	391
Øst	1250	277	304	264	392	293	366	315
Øst	1850	160	219	388	308	416	308	338
Vest	650	328	338	389	472	414	346	413
Vest	1250	224	355	519	411	346	404	355
Vest	1850	219	348	355	413	354	440	419

Tabell 43: Gjennomsnittsverdi total støvmengde for alle prøvepunkter for alle måletidspunkter for begge løp. Sommer

Gjennomsnitt								
Løp	Punkt	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Øst	Gjennomsnitt	N/A	292	307	320	330	338	337
Vest	Gjennomsnitt	N/A	280	355	363	322	325	367

4.5.3 Diskusjon

Usikkerheten er størst for målingene i hjulspor, siden støvmengden er lavest i hjulsporene. Det skyldes at støvet blir kontinuerlig oppvirvlet av kjøretøy. Som det kan observeres i diagrammene i Vedlegg V4.4 Ukesoppfølging er det relativt stor måleusikkerhet knyttet til de fleste prøvene, og dette skyldes variasjon i støvmengde mellom arealene prøvene ble tatt på. Det kan påpekes at det var spesielt stor usikkerhet på dag 2 og 6.

Det viser seg generelt at i de prøvepunktene og måletidspunktene med minst støv (for eksempel i hjulspor og om sommeren) er det vanskeligere å se et fast mønster på oppbygging av støvmengde. Støvoppbyggingens forløp er også mer uklart for total støvmengde enn finstoffmengde. Det kan skyldes at det er større usikkerhet ved måling av total støvmengde enn finstoffmengde (ref. resultater fra forprosjektet).

Det er ingen jevne og tydelige trender å finne i målingene for støvoppbygging mellom to vegbanerengjøringer. Det ser dessuten ut til at de lokale forholdene har en stor betydning for hva som blir målt på vegbanen. Det er for eksempel en tendens til at mer støv blir målt i dagene med fuktig/våt vegbane (dag 5 i vinter) enn de dagene der vegbanen er helt tørt. Dette kan ha sammenheng med at støvproduksjonen/asfaltslitasjen akselereres når vegbanen er fuktig. Når det er fuktighet i luften kan dessuten ha effekten av støvdemping, slik at finstøvet i større grad vil holde seg på vegbanen. Det kan også forekomme større avvik på enkelte av prøvepunktene og måletidspunktene, som for eksempel kan skyldes at kjøretøy bringer med seg skitt utenfra.

Målingene fra støvoppsamling mellom to vegbanerengjøringer viser altså at støvmengden kan variere stort fra punkt til punkt, grunnet forflytning og/eller lokale forhold som temperatur og fuktighet. Det vil si at forskjellene i fordeling ikke nødvendigvis er karakteristisk for den dagen, men heller skyldes de varierende forholdene på vegbanen. Dermed kan prøvene ved noen prøvepunkter og måletidspunkter måle et større utslag i støvmengde, som ikke på samme måte kan observeres ved andre måletidspunktene ved samme punkt. Det er likevel mulig å se generelle trender ved å vurdere gjennomsnittsverdiene, men man må være klar over disse «avvikene» som kan gjøre et større utslag på gjennomsnittsverdiene enn det som egentlig kan betraktes som normalt.

4.6 Støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp

Fra de foregående kapitler er det etablert at fordelingen av støvmengde er noenlunde fast på vegbanen på tvers og på langs, men at det kan forekomme noen målinger som avviker fra trenden grunnet forflytning av støv og andre lokale vegforhold ved prøvepunktene. Det vil si at enkeltmålinger, og sammenligninger mellom dem, ikke alltid vil vise den samme trenden som det helhetlige bildet. I bakgrunn av dette vil tallene som sammenlignes i kapittel 4.6.1 (finstoffmengde) og kapittel 4.6.2 (total støvmengde) bestå av gjennomsnittet mellom de 9 prøvepunktene (kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m, 1850) for hvert måletidspunkt for begge løp. Verdiene analysen av finstoffmengde og total støvmengde baseres på finnes i Vedlegg V4.1 Støvmengde gjennom tunnellopet. Kapittel 4.6.3 (veggfarge) vil presenteres med gjennomsnittsverdiene av de 6 prøvepunktene (venstre og høyre vegg ved 650 m, 1250 m og 1850 m) for hvert måletidspunkt for begge løp. Verdiene analysen av veggfargen baseres på finnes i Vedlegg V4.3 Veggfarge.

I tabellene i dette kapittelet vil positiv differanse bety at østgående løp har større støvmengde/mørkere veggfarge (blått), og negativ differanse bety at vestgående løp har større støvmengde/mørkere veggfarge(rødt).

4.6.1 Finstoffmengde

Tabell 44 viser gjennomsnittet mellom målingene for finstoffmengde fra de ulike prøvepunktene for alle måletidspunktene, unntatt juni 2020, i begge løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi. Ettersom det manglet noen målinger ved et par punkter i juni 2020 for finstoffmengde, er det ikke mulig å sammenligne juni 2020 med de andre månedene i gjennomsnittsverdi. Dermed er resultatene for juni 2020 presentert i Tabell 45 der enkeltpunkter blir sammenlignet i stedet for gjennomsnittsverdier.

- I første prøvetakning hadde østgående løp større finstoffmengde enn vestgående løp. Men differansen mellom løpene er minkende, og vestgående løp får til slutt høyere finstoffmengde enn østgående løp i juli 2019.
- Det er vanskelig å se om tendensen til at vestgående løp får større finstoffmengde enn østgående løp fortsetter i juni 2020.

Tabell 44: Gjennomsnittet mellom prøvepunktene for finstoffmengde for januar, mars, april og juni 2019 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) %
Januar	70	49	21	29 %
Mars	63	54	9	14 %
April	50	43	7	14 %
Juni 2019	19	24	-4	-18 %
Juni 2020	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabell 45: Finstoffmengde fra de ulike prøvepunktene for juni 2020 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Juni 2020						
Tvers	Langs [m]	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent	
Kant	650	N/A	93	N/A	N/A	
Kant	1250	19	42	-23	-54 %	
Kant	1850	38	40	-2	-5 %	
Hjulspor	650	13	6	7	53 %	
Hjulspor	1250	13	3	10	80 %	
Hjulspor	1850	7	2	5	73 %	
Mellom hjulspor	650	N/A	21	N/A	N/A	
Mellom hjulspor	1250	17	10	8	45 %	
Mellom hjulspor	1850	21	42	-21	-50 %	

4.6.2 Total støvmengde

Tabell 46 viser gjennomsnittet mellom målingene for total støvmengde fra de ulike prøvepunktene for alle måletidspunktene i begge løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

- Vestgående løp har alltid større total støvmengde enn østgående løp. Forskjellen er størst ved siste prøvetakning, juni 2020

Tabell 46: Gjennomsnitt for prøvepunktene for total støvmengde fra de ulike prøvepunktene for januar, mars, april, juni 2019 og juni 2020 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest)
Januar	337	349	-12	-3 %
Mars	379	447	-68	-15 %
April	436	447	-11	-2 %
Juni 2019	337	367	-31	-8 %
Juni 2020	211	267	-55	-21 %

4.6.3 Veggfarge

Tabell 47 viser gjennomsnittet av målingene for tunnelveggfargen i de ulike prøvepunktene for alle måletidspunktene, for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

- Løpene ser ut til å veksle mellom å ha mørkere veggfarge, men generelt ser det ut til at vestgående løp har mørkere veggfarge enn østgående løp.

Tabell 47 Gjennomsnitt av målinger for tunnelveggfarge for januar, mars, april og juli 2019 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [%]	Differanse (Øst-Vest)
Januar	16	16	-0,3	-2 %
Mars	22	18	3,9	18 %
April	16	17	-1,4	-8 %
Juni 2019	19	16	2,8	15 %
Juni 2020	22	19	3,3	15 %

4.6.4 Diskusjon

Tabell 48 viser differansen mellom øst- og vestgående løp koblet mot type vask i prosjektperioden. Ettersom noe data manglet for finstoffmengde fra flere prøvepunkter i juni 2020, og dermed ikke mulig å sammenligne med de andre månedene i sum-verdier, er det ikke inkludert i tabellen.

Ved 1. prøve var forskjellen i finstoffmengden forholdsvis stor, der østgående løp hadde 29 % større mengde enn vestgående løp. Ved 2. prøve er forskjellen fortsatt der, men med den noe mindre prosentverdien 14 %. Men mellom 1. og 2. prøvetakning hadde begge løpene fortsatt fått samme renhold, og dermed kan ikke variasjonene i differanseverdien skyldes reduksjon av renholdsfrekvens. Etter hvert i prosjektperioden blir differansene mindre og mindre, inntil vestgående løp i juli 2019 får større finstoffmengde enn østgående løp. Men differansene i tallverdi er små mot slutten av prosjektperioden fordi det generelt er lite støv i sommerhalvåret. Det er vanskelig å se om tendensen til at vestgående løp får større finstoffmengde enn østgående løp fortsetter i juni 2020. I 2020 var det dessuten litt større ÅDT i vestgående løp (9543 mot 9369) og litt høyere andel lange kjøretøy (8 % mot 7 %) som kan ha påvirket resultatene.

Det kan være flere årsaker til at østgående løp i utgangspunktet ser ut til å ha større finstoffmengde enn vestgående løp.

- Østgående løp har litt større ÅDT enn vestgående løp (10 777 mot 10 540).
- Østgående løp er en oppoverbakke i kjøreretning mens vestgående løp er en nedoverbakke. Det kan tenkes at vegbaneslitasjen blir noe større i oppoverbakker enn nedoverbakker, i tillegg til at kjøretøyene bruker mer drivstoff i oppoverbakke og produserer mer eksos.
- Det er også en rundkjøring ved innløpet av østgående løp, der det er en mulighet for støvpartikler å bli knust ned til finstoff og brakt med inn i tunnelen.
- I vinterhalvåret pågår det støvdemping i Trondheim sentrum med MgCl₂. Bilene som kommer fra Trondheim sentrum og inn i østgående løp vil trolig ta med seg noe av saltet, noe som gjør at vegstøvet fester seg bedre til overflater i tunnelen på østgående løp.
- Østgående løp har også lavere inngangshastighet siden det er en rundkjøring ved innløpet. Dette vil føre til at kjøretøyene må akselerere gjennom tunnellopet, noe som også kan føre til større asfalslitasje og støvproduksjon. I vestgående løp er det ikke et like stort behov for akselerasjon.

For både total støvmengde og veggfarge er differansen mellom de to tunnellopene ved 1. prøvetakning lite. I resten av prøvetakningene i prosjektperioden er det ingen klare indikasjoner på at reduksjon i renholdsfrekvens har påvirket forskjellen i total støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp.

Tabell 48: Differanse mellom øst- og vestgående løp koblet mot type vask i prosjektperioden

Måned	Finstoffmengde [g/m ²]		Total støvmengde [g/m ²]		Farge på vegg [%]		Vask	Prøve
Jan 19	21	29 %	-12	-3 %	-0,3	-2 %		Prøve 1
Feb 19							Halvvask Ø+V	
Mar 19	9	14 %	-68	-15 %	3,9	18 %		Prøve 2
							Halvvask Ø	
Apr 19	7	14 %	-11	-2 %	-1,4	-8 %		Prøve 3
Mai 19							Helvask Ø+V	
Jun 19	-4	-18 %	-31	-8 %	2,8	15 %		Prøve 4
Sep 19							Halvvask Ø+V	
Nov 19							Helvask Ø	
Des 19							Halvvask Ø	
Jan 20							Halvvask Ø+V	
Mar 20							Halvvask Ø	
Mai 20							Helvask Ø+V	
Jun 19	N/A	N/A	-55	-21 %	333 %	15 %		Prøve 5

5. Konklusjon

5.1 Forprosjektet

Analysene av data fra forprosjektet viste at det bør tas 3 skudd for å ta opp 90 % av finstoffmengden på hvert prøvepunkt og 5 skudd for å få med 90 % av de grove partiklene. Siden finstoffmengden var av størst interesse for dette prosjektet ble det bestemt at det skulle tas 3 skudd per prøvepunkt under prosjektet.

5.2 Støvmengde og veggfarge i vinter og sommer

Det var alltid større finstoffmengde i vinterhalvåret enn sommerhalvåret. På de fleste prøvepunktene var det 40 % til 80 % mer finstoffmengde i vinterhalvåret enn sommerhalvåret.

Det var også så godt som alltid større total støvmengde i vinterhalvåret enn sommerhalvåret. På de fleste prøvepunktene var det 20 % til 30 % mer total støvmengde i vinterhalvåret enn sommerhalvåret.

Det var lite variasjon i veggfargen mellom vinterhalvåret og sommerhalvåret.

Tabell 49: Gjennomsnittsverdiene for finstoffmengde og total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor, ved 650 m, 1250 m og 1850 m og mellom øst- og vestgående i vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi i øverste tabell.

	Vinter [g/m ²]	Sommer [g/m ²]	Differanse [g/m ²]	Prosent
Finstoffmengde	55	23	32	58 %
Total støvmengde	399	295	104	26 %

Tabell 50: Gjennomsnittsverdi av veggfargen mellom venstre og høyre vegg ved 650 m, 1250 m og 1850 m i vinter- og sommerhalvåret, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi i nederste tabell.

	Vinter	Sommer	Differanse	Prosent
Veggfarge	26 %	29 %	-3 %	-9 %

5.3 Støvmengde og veggfarge gjennom tunneløpet

Det er en tendens til at det samler seg mest finstoffmengde og total støvmengde ved 120 m og 650 m, og også relativt stor støvmengde ved 2450 m. Det er mindre forskjeller mellom 1250 m og 1850 m.

Veggfargen er mørkest ved 120 m, mens det er mindre forskjell mellom resten av prøvepunktene.

Tabell 51: Gjennomsnittet av finstoffmengden mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m for hvert måletidspunkt

Løp	Måned	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	Januar		123	43	43	
Øst	Mars		110	30	49	
Øst	April	77	64	57	30	74
Øst	Juni 2019	46	25	19	14	
Øst	Juni 2020			16	22	
Vest	Januar		60	49	39	
Vest	Mars		78	45	40	
Vest	April		55	26	48	
Vest	Juni 19		23	22	26	
Vest	Juni 20		40	18	28	

Tabell 52: Gjennomsnittet av total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 120 m, 650 m, 1250 m, 1850 m og 2400 m for hvert måletidspunkt

Løp	Måned	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Øst	Januar		401	276	334	
Øst	Mars		412	267	458	
Øst	April	479	457	436	417	537
Øst	Juni 2019	387	344	276	390	
Øst	Juni 2020		267	130	237	
Vest	Januar		421	306	319	
Vest	Mars		461	463	416	
Vest	April		429	375	539	
Vest	Juni 19		378	381	343	
Vest	Juni 20		324	247	230	

Tabell 53: Tunnelveggen ved alle måletidspunkter for begge løp

Løp	Måned	120 m [%]	650 m [%]	1250 m [%]	1850 m [%]	2450 m [%]
Øst	Januar		23	25	25	
Øst	Mars		34	30	35	
Øst	April	43	23	23	26	27
Øst	Juni 19	38	25	30	29	30
Øst	Juni 20		28	35	38	
Vest	Januar		24	25	25	
Vest	Mars		31	27	24	
Vest	April		25	25	28	
Vest	Juni 19		23	26	23	
Vest	Juni 20		25	33	28	

Tabell 54: Gjennomsnittsverdiene av finstoffmengde og total støvmengde mellom prøvepunktene ved kant, hjulspor og mellom hjulspor, mellom øst- og vestgående og mellom alle måletidspunktene, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi i øverste tabell

	120 m [g/m ²]	650 m [g/m ²]	1250 m [g/m ²]	1850 m [g/m ²]	2450 m [g/m ²]
Finstoffmengde	185	198	98	101	223
Total støvmengde	1298	1168	947	1104	1612

Tabell 55: Gjennomsnittsverdi av veggfargen mellom venstre og høyre vegg og mellom alle måletidspunktene, samt differansen mellom dem i tall- og differanseverdi

	120 m [%]	650 m [%]	1250 m [%]	1850 m [%]	2450 m [%]
Veggfarge	40	26	28	28	29

5.4 Støvmengde og veggfarge på tvers av tunnellopet

Det er en tendens til at det samler seg mest finstoffmengde og total støvmengde ved venstre kant og det er generelt lite støv i hjulsporene. Det er også en tendens til at det samler seg mer finstoffmengde og total støvmengde i venstre kjørefelt enn høyre kjørefelt. Resultatene viser også at fordelingsmønsteret ble forsterket i vinterhalvåret.

Veggfargen er generelt litt mørkere på høyre vegg enn venstre vegg

Tabell 56: Gjennomsnittet av finstoffmengden i vinter- og sommerhalvåret og mellom øst- og vestgående løp på tvers av vegbanen

Finstoffmengde	Venstre	Venstre	Mellom	Høyre	Vegmidt	Venstre	Mellom	Høyre	Høyre
	kant	hjulspor	hjulspor	hjulspor		hjulspor	hjulspor	hjulspor	hjulspor
	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Vinter	117	20	55	21	54	17	52	11	55
Sommer	119	12	21	12	12	4	13	7	38

Total støvmengde	Venstre	Venstre	Mellom	Høyre	Vegmidt	Venstre	Mellom	Høyre	Høyre
	kant	hjulspor	hjulspor	hjulspor		hjulspor	hjulspor	hjulspor	hjulspor
	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Vinter	754	232	537	259	464	199	507	230	471
Sommer	675	234	333	220	224	142	271	179	324

Tabell 57: Gjennomsnittet av veggfargen i vinter- og sommerhalvåret og mellom øst og vestgående løp for venstre og høyre vegg

	Venstre vegg	Høyre vegg
Vinter	24 %	29 %
Sommer	26 %	31 %

5.5 Støvoppsamling mellom to vegbanerengjøringer

Det er en tendens til at finstoffmengden og total støvmengde er større mot slutten av uken mellom to vegbanerengjøringer om vinteren. Støvmengden er større i de dagene der det var vått på vegbanen (dag 4) og når det var minusgrader (dag 5). Om sommeren er det svært lite forskjell i finstoffmengde og total støvmengde fra dag til dag.

Tabell 58: Gjennomsnittsverdien av finstoffmengde og total støvmengde i kant, hjulspor og mellom hjulspor, ved 650 m, 1250 m og 1850 m for vinter og sommer

Vinter	Dag 1 [g/m ²]	Dag 2 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 4 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 6 [g/m ²]	
Finstoffmengde	N/A	53	52	68	68	60	
Total støvmengde	N/A	429	309	404	359	343	
Sommer	Dag 1 [g/m ²]	Dag 3 [g/m ²]	Dag 5 [g/m ²]	Dag 7 [g/m ²]	Dag 9 [g/m ²]	Dag 11 [g/m ²]	Dag 13 [g/m ²]
Finstoffmengde	N/A	22	20	22	20	24	21
Total støvmengde	N/A	286	331	342	326	331	352

5.6 Støvmengde og veggfarge i øst- og vestgående løp

Gjennom prosjektperioden har støvmengden vist lite korrelasjon med frekvensen av renholdet. Andre faktorer som årstid, vegbaneforhold og forskjell mellom løpene kan ha hatt større påvirkning enn frekvensen på renholdet. Det kan på kort sikt se ut til at reduksjon av vaskefrekvens ikke har hatt en stor negativ påvirkning på renhet i vestgående løp i forhold til østgående løp.

Tabell 59: Gjennomsnittet mellom prøvepunktene for finstoffmengde for januar, mars, april og juni 2019 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi.

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest)
Januar	70	49	21	29 %
Mars	63	54	9	14 %
April	50	43	7	14 %
Juni 2019	19	24	-4	-18 %
Juni 2020	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabell 60: Gjennomsnittet mellom prøvepunktene for total støvmengde fra de ulike prøvepunktene for januar, mars, april, juni 2019 og juni 2020 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest)
Januar	337	349	-12	-3 %
Mars	379	447	-68	-15 %
April	436	447	-11	-2 %
Juni 2019	337	367	-31	-8 %
Juni 2020	211	267	-55	-21 %

Tabell 61 Gjennomsnitt av målinger for tunnelveggfarge for januar, mars, april og juli 2019 for øst- og vestgående løp, samt differansen mellom dem i tall- og prosentverdi

Måned	Øst [g/m ²]	Vest [g/m ²]	Differanse (Øst-Vest) [%]	Differanse (Øst-Vest)
Januar	16	16	-0,3	-2 %
Mars	22	18	3,9	18 %
April	16	17	-1,4	-8 %
Juni 2019	19	16	2,8	15 %
Juni 2020	22	19	3,3	15 %

6. Anbefalinger

Konklusjonene fra prosjektet kan gi følgende anbefalinger for renhold av Strindheimtunnelen:

Fokus ved vegbanerenhold og vask:

- Det bør legges større innsats på å rengjøre vegbanen i inn- og utløp av begge tunnellopene.
- Det bør legges større innsats på rengjøring av venstre kant i begge tunnellopene. Følgelig burde maskinen i kontrakten ha spylebom på både høyre og venstre side av kjøretøyet.
- Det anbefales å rengjøre vegmidt med å ta et ekstra drag mellom venstre og høyre kjørefelt dersom tunnelen stenges.
- I østgående løp bør rundkjøringen før innløpet også rengjøres, og de 100 m før tunnelinnløpet burde også tas med i vegbanerenholdet.

Frekvensen på vegbanerenhold:

- Dagens vegbanerenhold hver 14. dag i sommerhalvåret er tilstrekkelig, og kan kanskje reduseres noe.
- Dagens vegbanerenhold hver 7. dag i vinterhalvåret er viktig for å forhindre oppbygging av støv.

Forslag til frekvens på hel- og halvvaske:

- Det kan se ut til at det er tilstrekkelig med 1 halvvaske og 2 halvvaske per år, noe som er i tråd med R610.
- Det anbefales at halvvaske gjennomføres etter vinteren, gjerne i mai, med hele juni som buffer.
- Det anbefales at halvvaske gjennomføres i november og februar.
- Det bør være minimum 8 uker mellom vask.
- Det kan suppleres med teknisk renhold ved behov. I R610 er det anbefalt 3 pr. år.

Annet

- Det bør være felles kontrakt for tunnelvaske og rengjøring av vegbane. Dette for å gjøre logistikken lettere og for at renholdet kan foregå på optimale tidspunkt og frekvens.
- Det er viktig at renholdet utføres optimalt ved å følge anbefalinger om gjennomføringsmetode. For eksempel at maskinen holder lavt nok hastighet (3–5 km/time) og at det legges vekt på de delene av tunnelen som har størst støvmengde (f.eks. havarilommer, kant, innløp/utløp).
- Det er ønskelig at logging av f.eks. kjørehastighet etableres for å dokumentere at renholdet gjennomføres i henhold til anbefalingene.

Vedlegg 1: Utstyr for vegbanerenshold – Kjelsberg Transport

Feiebilen til Kjelsberg var av merke Beam med chassis Mercedes Actros (2014 modell) med påbygg Beam S14000. Denne maskinen er utstyrt med et høytrykksanlegg på 300 bar og 100 l/min som kan justeres trinnløst.



Figur 27: Maskin 5 Beam (Kjelsberg) (Foto: Brynhild Snilsberg)

Frontsystem

Frontsystemet består av en sirkulær metallkost (diameter 1,1 m) som kan forskyves ca. 1,6 m sidelengs (ut fra bilens ytterside) mot høyre. Den har støvdempingssystem med 4 lavtrykksdyser.



Figur 28: Frontsystem (Foto: Brynhild Snilsberg)

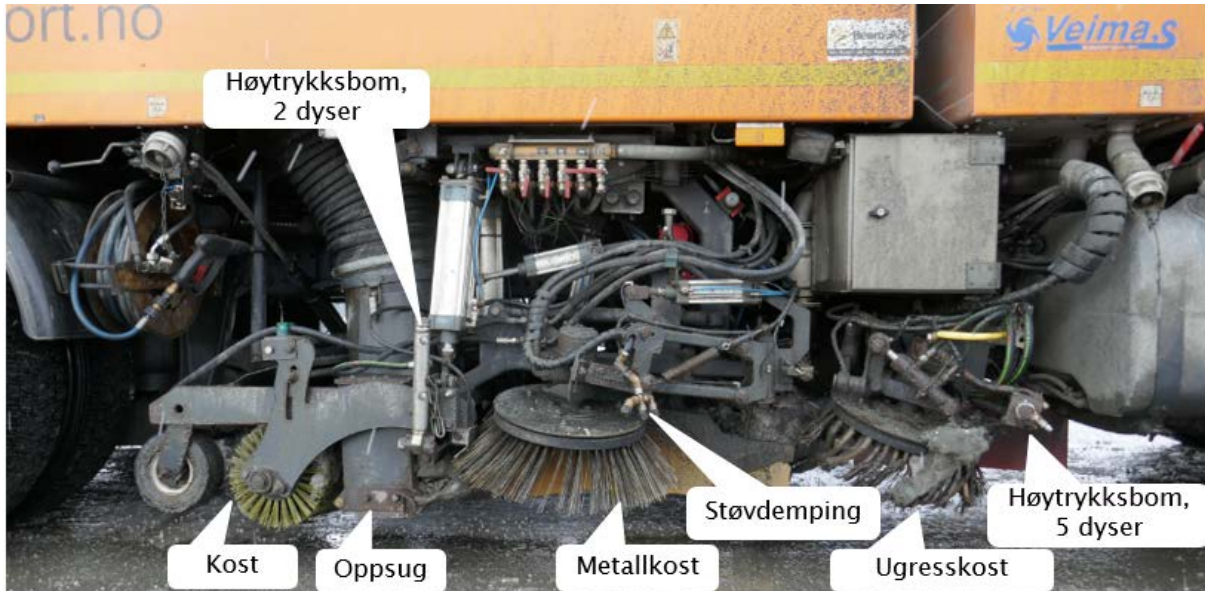
Midtsystem

Midtsystemet på høyre side består av

- 2 høytrykksbommer, den ene med 2 breistråledyser (utfellbar) og den andre med 5 breistråledyser
- 1 sidekost i metall, 1 ugrasskost i metall (grov), begge med støvdemping (lavtrykksdyser)
- 1 plastbørste (gul på bildet) som børster vegstøv inn mot et kraftig oppsug (begge er ca. 80 cm brede). Høytrykksbom med 3 dyser bak plastbørsten.

Tilsvarende system finnes på bilens venstre side, men uten utfellbar høytrykksbom.

Midt under bilen er det en bredkost i nesten hele bilens bredde (gul, i plast – men vises ikke på bildene) som er skråstilt for å børste vegstøv inn mot oppsug på høyre side. Kosten har støvdempingssystem med lavtrykksdyser (5 dyser), og høytrykksbom bak kosten (8 breistråledysere).



Figur 29: Midtsystem, bilde tatt på bilens høyre side (Foto: Brynhild Snilsberg)

Baksystem

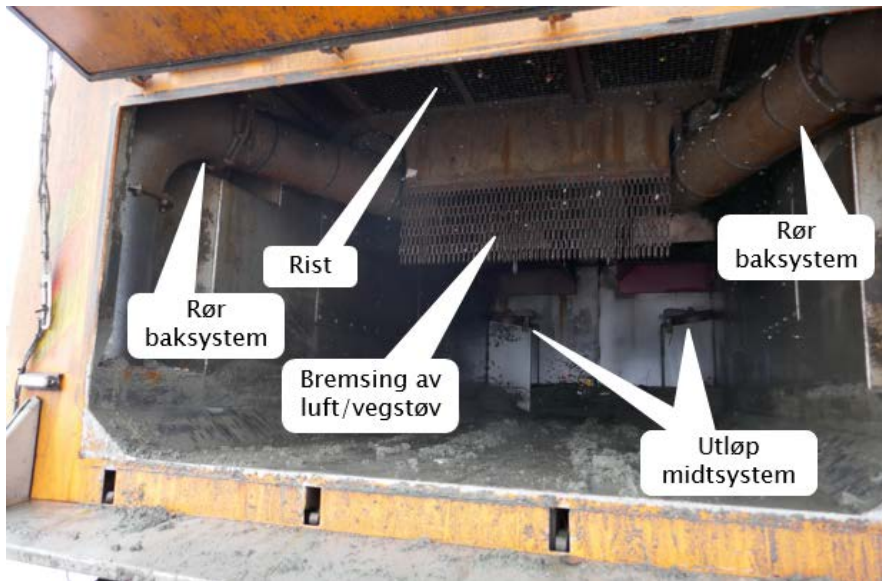
Baksystemet består av roterende spyledyser (4 roterende kryss med 4 dyser hver = 16 høytrykksdyser) samt oppsug med to kanaler/opsug (høyre og venstre side). Dette systemet med spyling og oppsug kalles gjerne RotorClean. Trykket kan justeres opp til maksimalt 300 bar fra kompressoren. Det er også montert en sidedyse (høytrykk) på høyre side for spyling inn mot kanten/kantstein.



Figur 30: Baksystem/rotorclean, bilde tatt på bilens høyre side (Foto: Brynhild Snilsberg)

Tank for oppsamling av feiemasse

Tanken for oppsamling av feiemasse/vegstøv mm. har utløp fra oppsug fra midtsystemet på høyre og venstre side, 2 utløp fra baksystemet/rotorclean. Prosessluften blir ikke filtrert før den slippes ut, så det er viktig med støvdemping med bruk av lavtrykksdyser under rengjøring på tørr vegbane.



Figur 31: Tank for oppsamling av feiemasse (Foto: Brynhild Snilsberg)

Vedlegg 2: Utstyr for tunnelvask – Vakumentrepreneren



Figur 32: Tunnelvaskebil (Foto: Harald Olav Kalvøy)

Tunnelvaskebil – 2010 modell VOLVO FH 16/540

- Vanntankkapasitet: 8 m³
- Vaskearm foran – Uniarm 700
- Spylelanse bak
- Tunnelvaskebørste
- Utstyr til vask av kabelbru og lamperekker
- Såpetank på 1000 liter og doseringsanlegg for såpepålegging

Pumpeutstyr

- Pumpespesifikasjoner: 25 bar, 1000 – 1200 liter per minutt
- Perkins 175 hk. aggregatmotor for hydraulikk
- 2 stk. vannpumper (Prattisoli) 500 liter per min / 20 bar
- 1 stk. håndholdt spyleslange

Henger

- Vanntankkapasitet: 24 m³
- Pumpe for å fylle bil



Figur 33: Vaskearm foran med tunnelvaskeborste (Uniarm 700) (Foto: Terje Engstrøm)



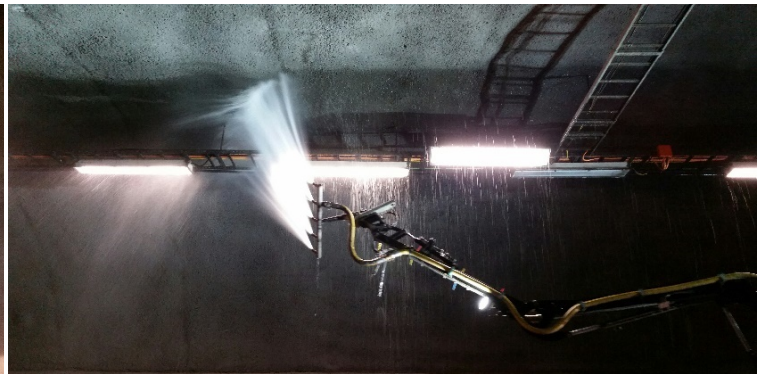
Figur 34: Vaskebil og tankbil for frakting av vatn (Foto: Harald Olav Kalvøy)

Vaskebil og tankbil for frakting av vatn – 2008 modell VOLVO FH 13/480

- Vanntankkapasitet 28 m³
- Vaskearm foran Uniarm 700
- Tunnelvaskebørste
- Utstyr til vask av kabelbru og lamperekker

Pumpeutstyr

- Pumpespesifikasjoner: 25 bar, 1000–1200 liter per minutt
- Perkins 130 hk. aggregatmotor for hydraulikk
- 1 stk. vannpumpe Pratasol 1000 liter per minutt 25 bar
- 2 stk. håndholdt slange på trommel (lavtrykk)
- 1 stk. håndholdt slange (høytrykk)



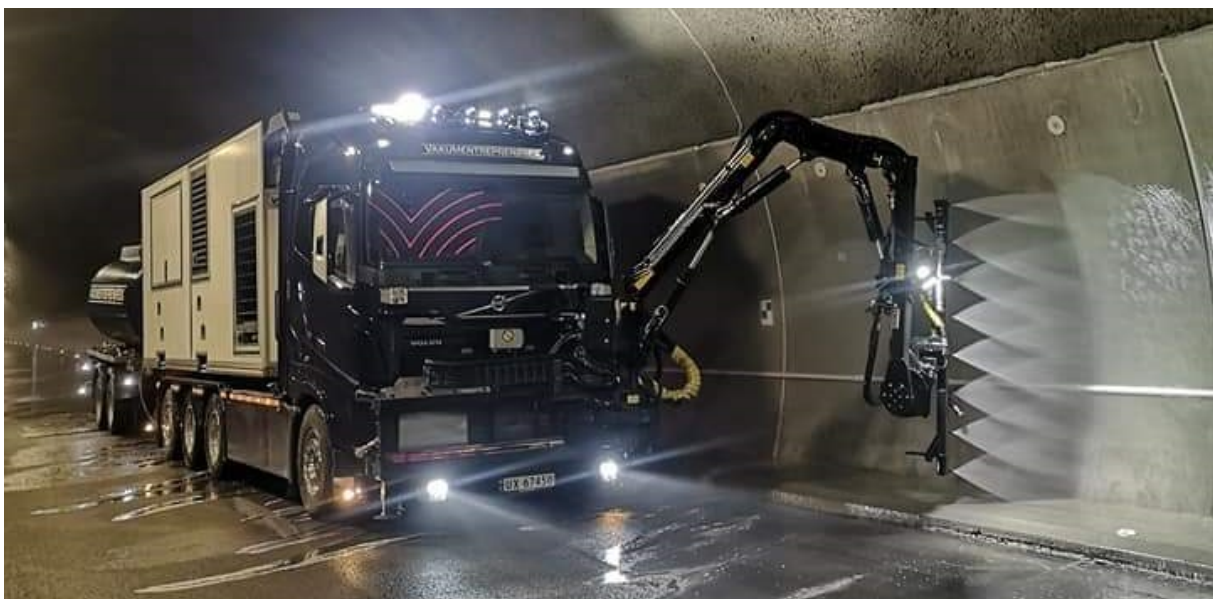
Figur 35: Vaskearm foran (Uniarm 700) (Foto: Terje Engstrøm)



Figur 36: Tunnelvaskebil Volvo FH 16/750 (Foto: Harald Olav Kalvøy)

Tunnelvaskebil – Volvo FH 16/750

- Spylepåbygg oppbygd av Danilift
- Spylearm foran ifra Dücker med mulighet for å montere vaskebørste
- Vannkapasitet 8m³
- Perkins 6 sylindret 180 hk for drift av spylepumper
- Spylepumpe høytrykk Pratissoli 180 bar, 450 l/min
- Spylepumpe lavtrykk Pratissoli 25 bar, 1500 l/min
- Håndholdt høytrykkpistol
- Henger Briab tankhenger 15m³



Figur 37: Tunnelvaskebil Volvo FH 16/750 (Foto: Harald Olav Kalvøy)

Vedlegg 3: Laboratorieanalyser

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 38: 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 μ m 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 39: 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 40: Filtrering og tørking av filterpapir (Foto: Inga-Loise Sætermo Veivåg)

Forbrenning

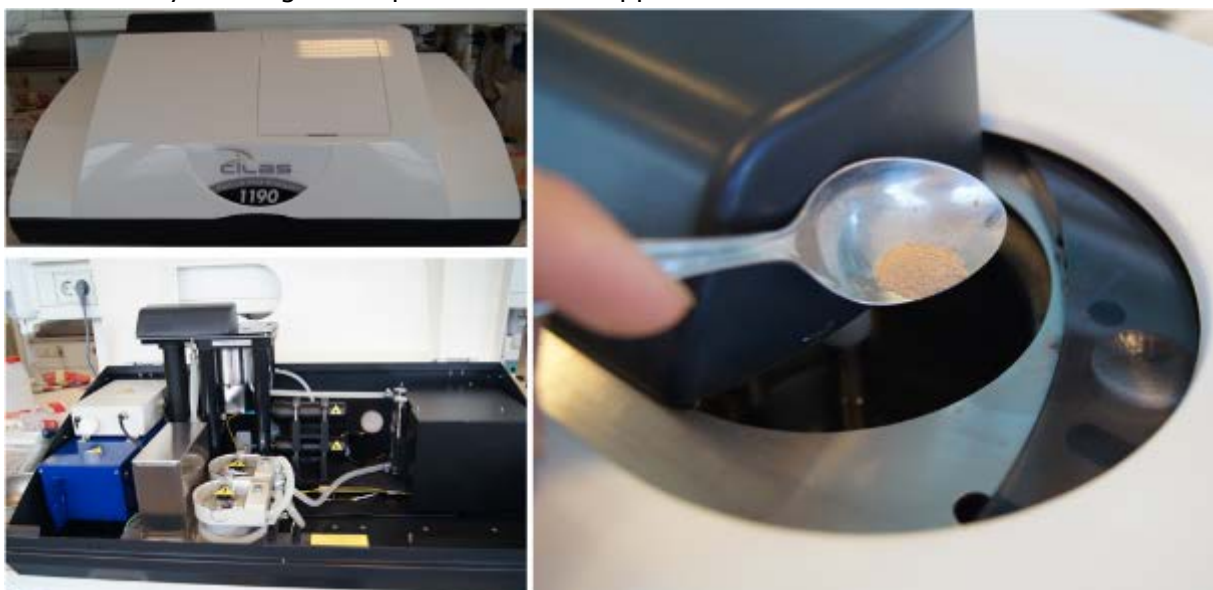
- De tørkede filterpapirene ble veid etter tørking.
- Filter ble ført tilbake i petriskål for deretter i digel. For å ikke miste partikler ble filter brettet i petriskål. Det ble benyttet en kost for å få med seg partikler som lå igjen i petriskålen.
- Det ble satt lokk på diglene. Deretter ble de satt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



Figur 41: Veing 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.

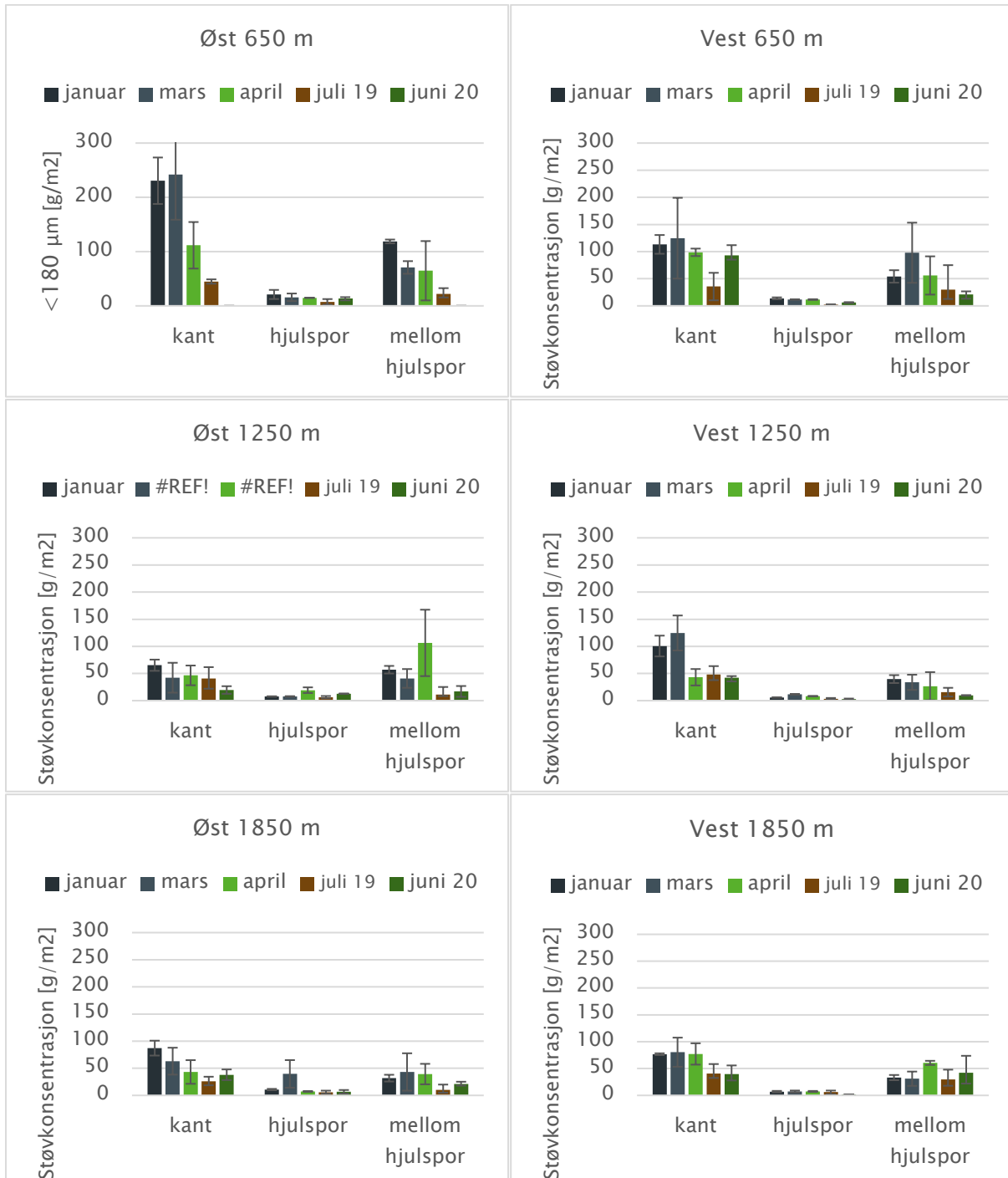


Figur 42: Analyse av partikkelstørrelsesfordeling (Foto: Inga-Loise Sætermo Veivåg)

Vedlegg 4: Resultater fra laboratorieanalysene

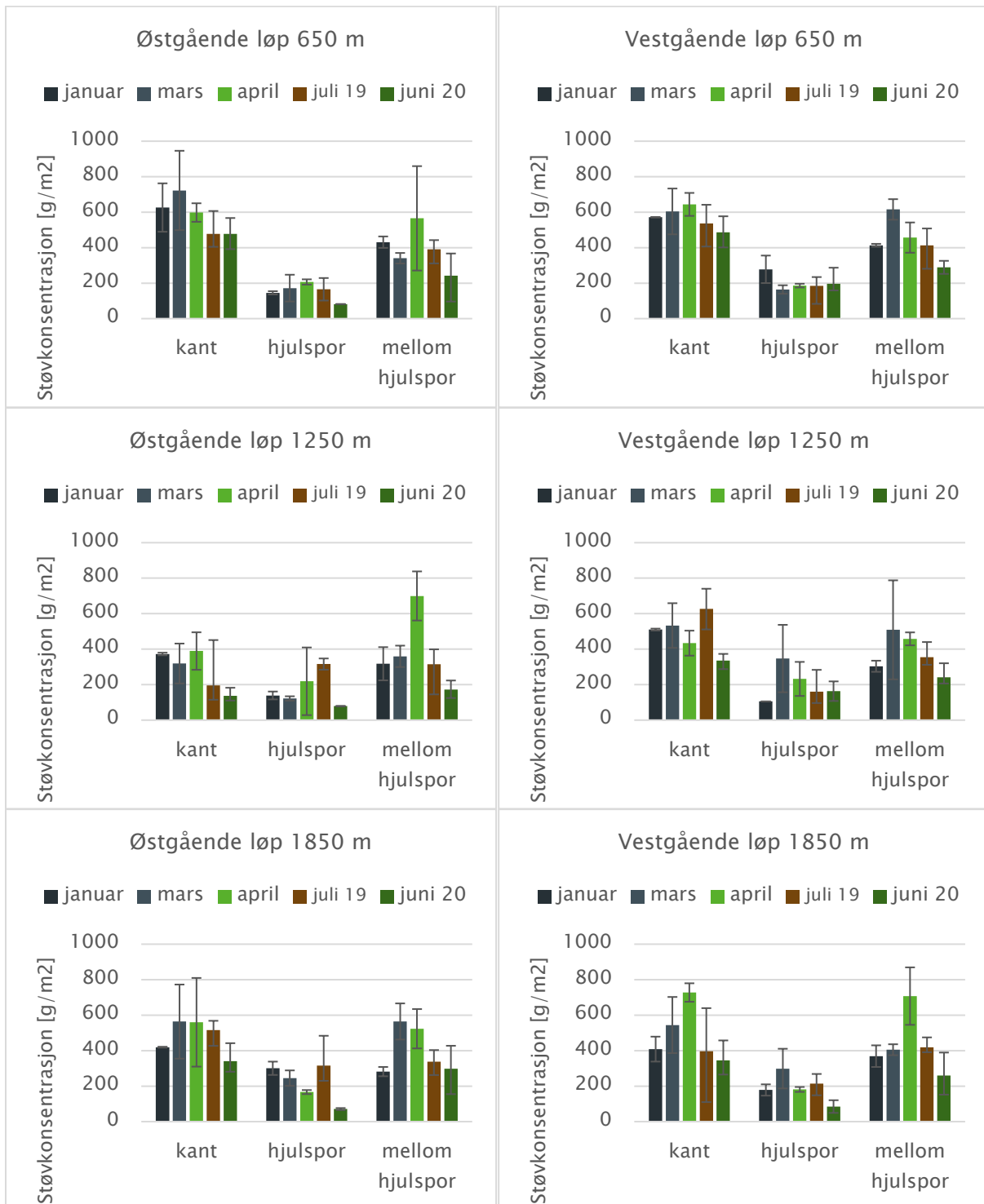
V4.1 Støvmengde gjennom tunneløpet

Finstoffmengde



Figur 43: Finstoffmengde ved 650, 1250 og 1850 meter i januar, mars, april og juli 2019 samt juni 2020

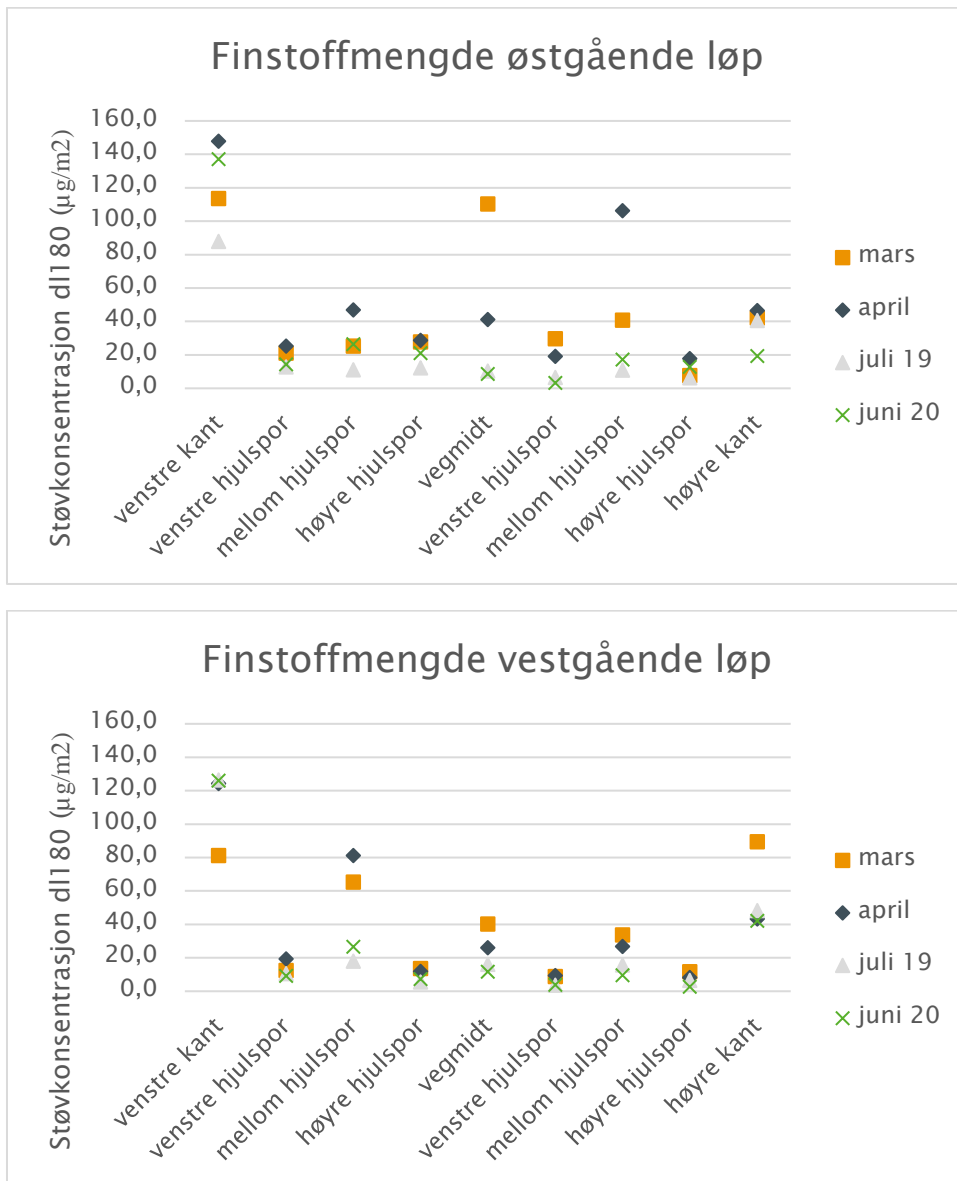
Total støvmengde



Figur 44 Total støvmengde ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650, 1250 og 1850 meter i januar, mars, april og juli 2019 samt juni 2020

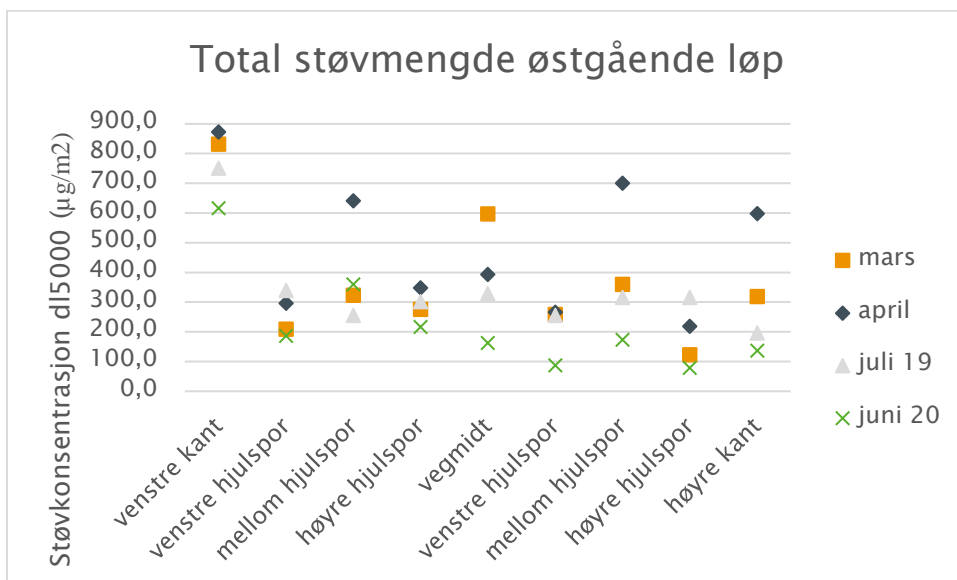
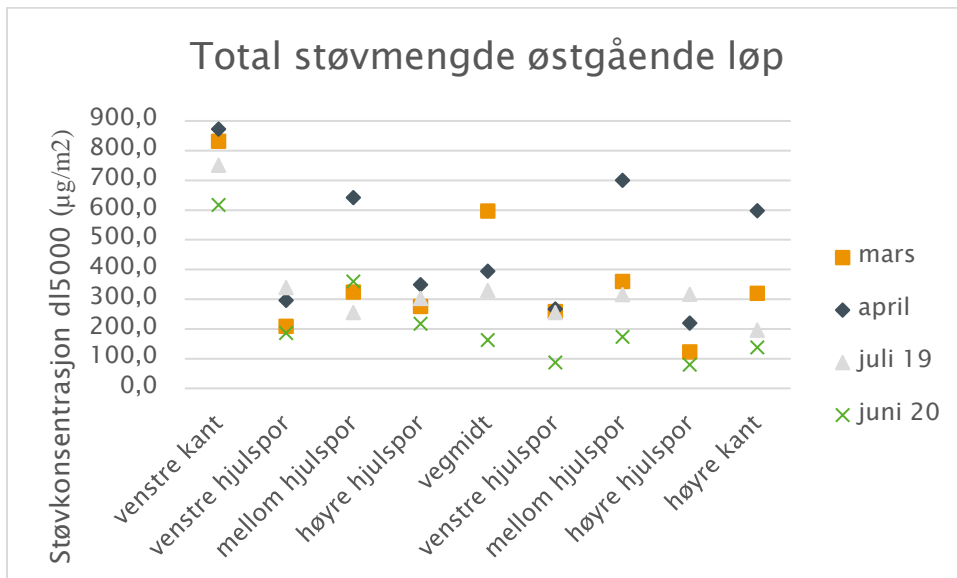
V4.2 Støvmengde på tvers av tunneløpet

Finstoffmengde



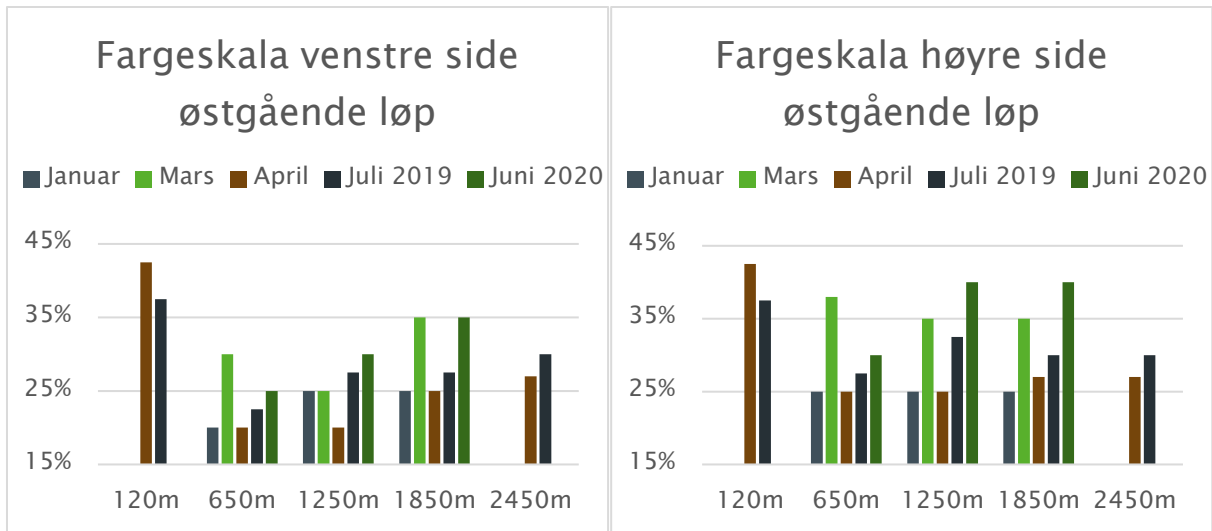
Figur 45: Finstoffmengde ved venstre kant, venstre hjulspor (venstre bane), mellom hjulspor (venstre bane), høyre hjulspor (venstre bane), vegmidt, venstre hjulspor (høyre bane), mellom hjulspor (høyre bane), høyre hjulspor (høyre bane) og høyre kant i mars, april, juli 1919 og juni 2020 for begge tunneløp.

Total støvmengde

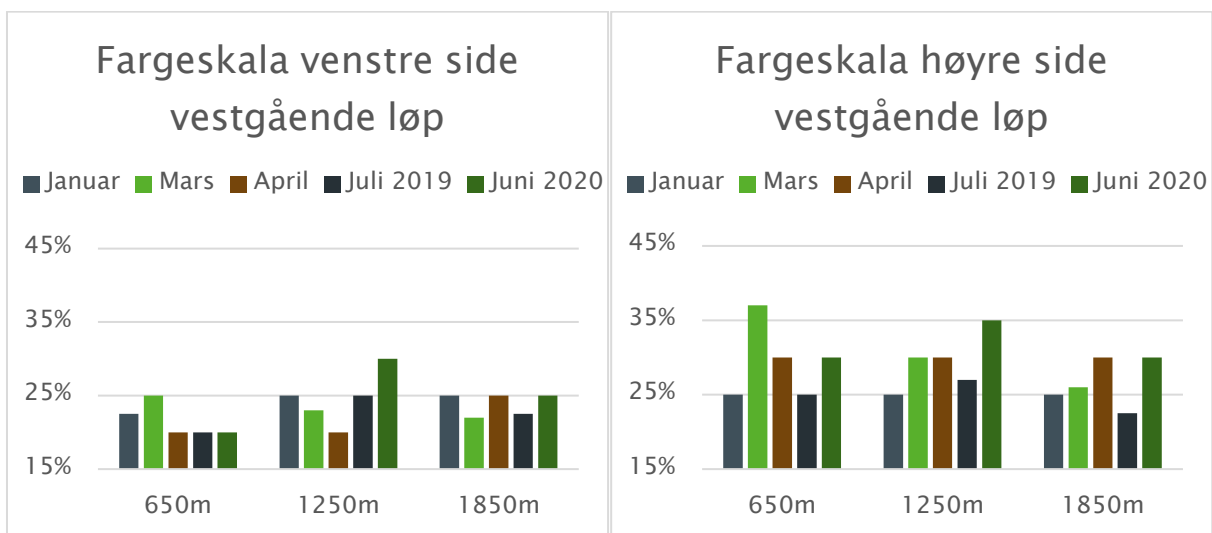


Figur 46: Total støvmengde ved venstre kant, venstre hjulspor (venstre bane), mellom hjulspor (venstre bane), høyre hjulspor (venstre bane), vegmidt, venstre hjulspor (høyre bane), mellom hjulspor (høyre bane), høyre hjulspor (høyre bane) og høyre kant i mars, april, juli 2019 og juni 2020 for begge tunnellop.

V4.3 Veggfarge



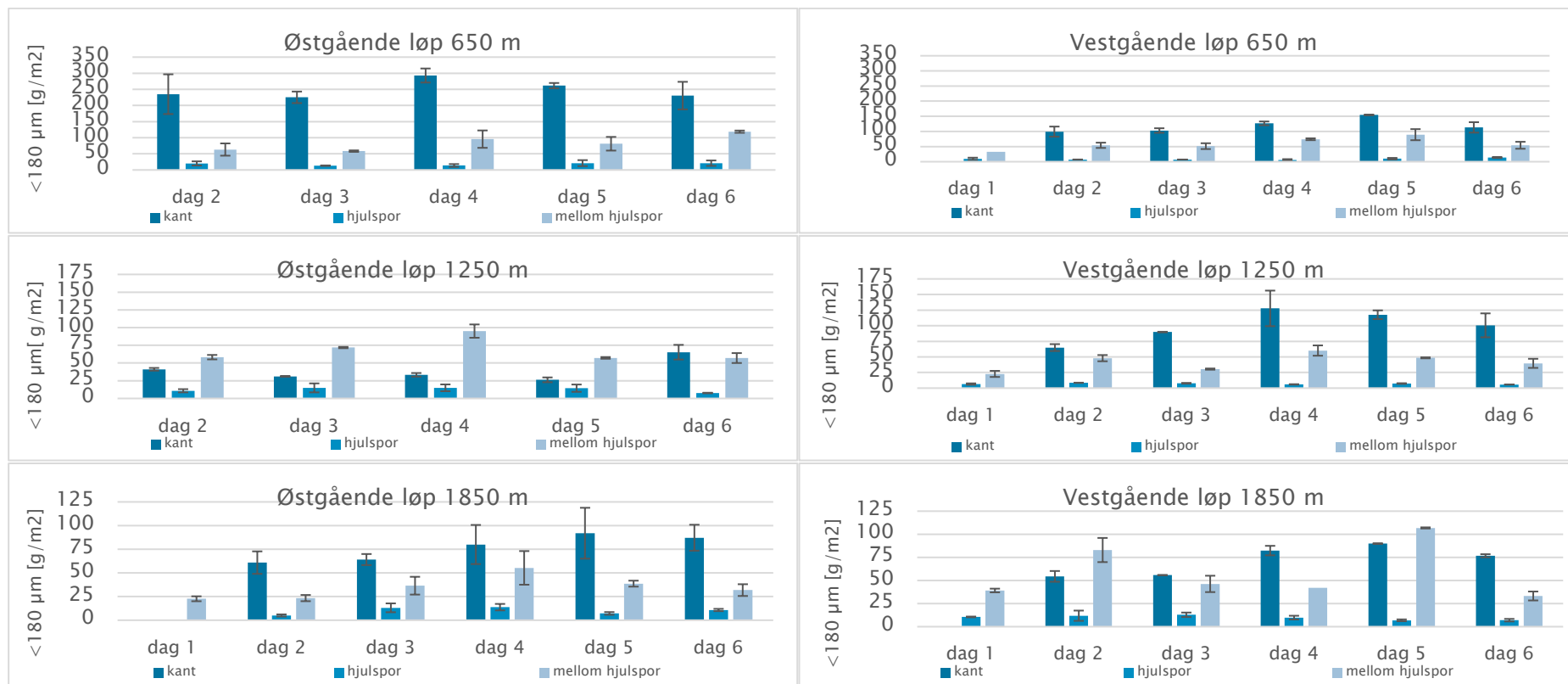
Figur 47: Observert mørkhet tunnelvegger på fargeskala fra 10 % (helt hvitt) til 100 % (helt svart) i østgående løp



Figur 48: Observert mørkhet tunnelvegger på fargeskala fra 10 % (helt hvitt) til 100 % (helt svart) i vestgående løp

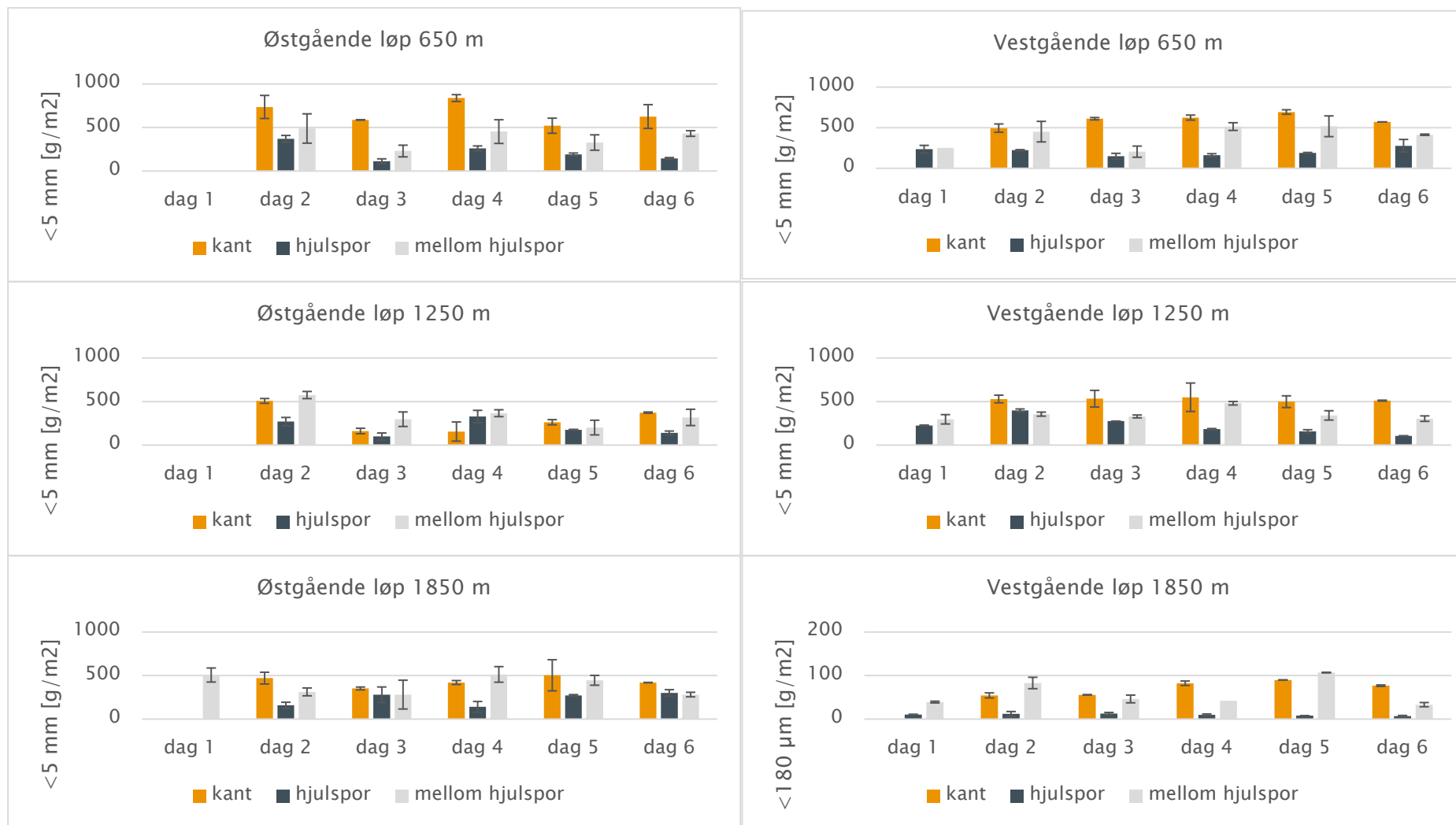
V4.4 Ukesoppfølging

Vinter (januar 2019) – Finstoffmengde



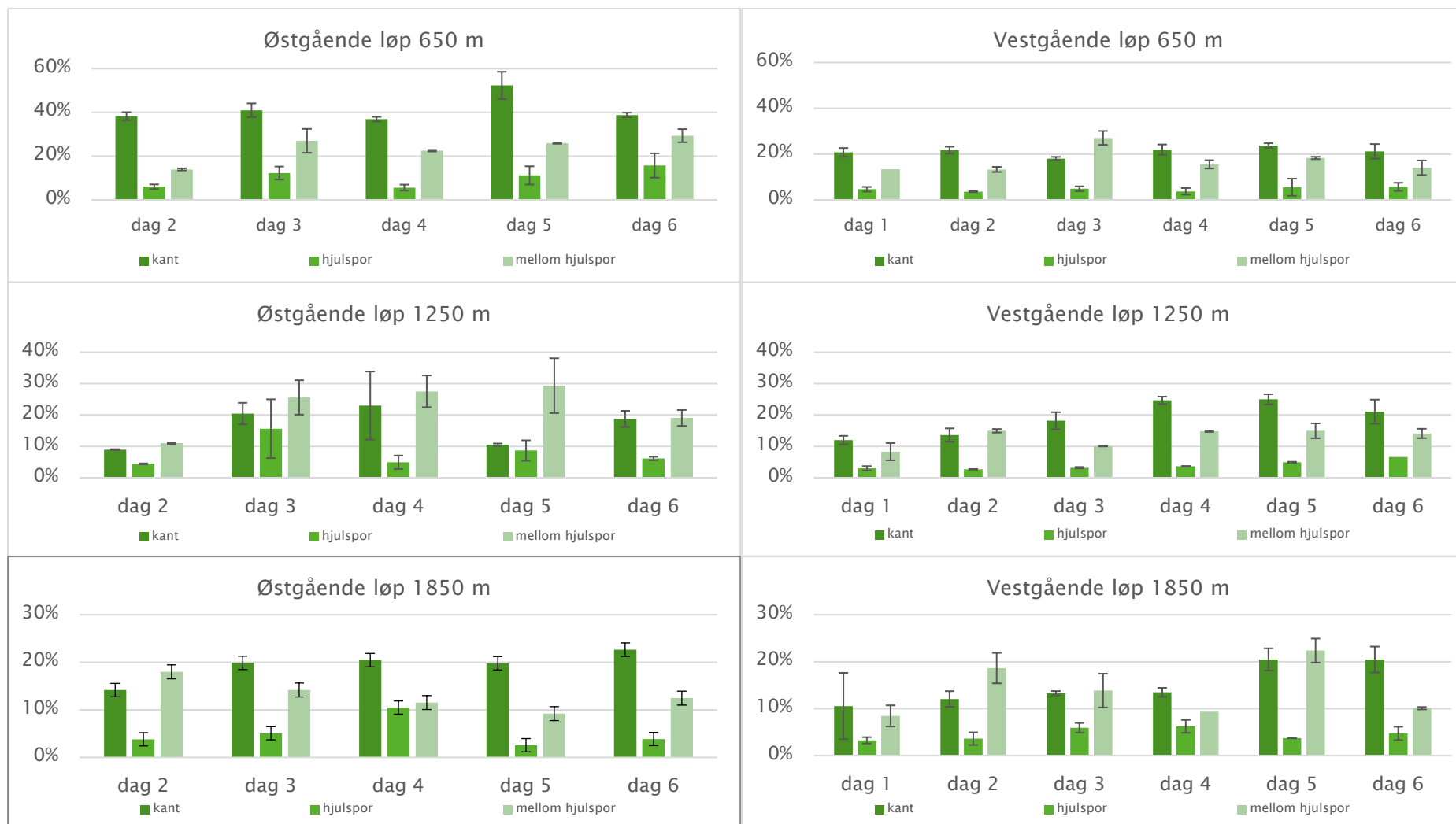
Figur 49: Finstoffmengde for de ulike prøvefeldene inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor for dag 1–6 for både østgående og vestgående løp

Vinter (januar 2019) – Total støvmengde



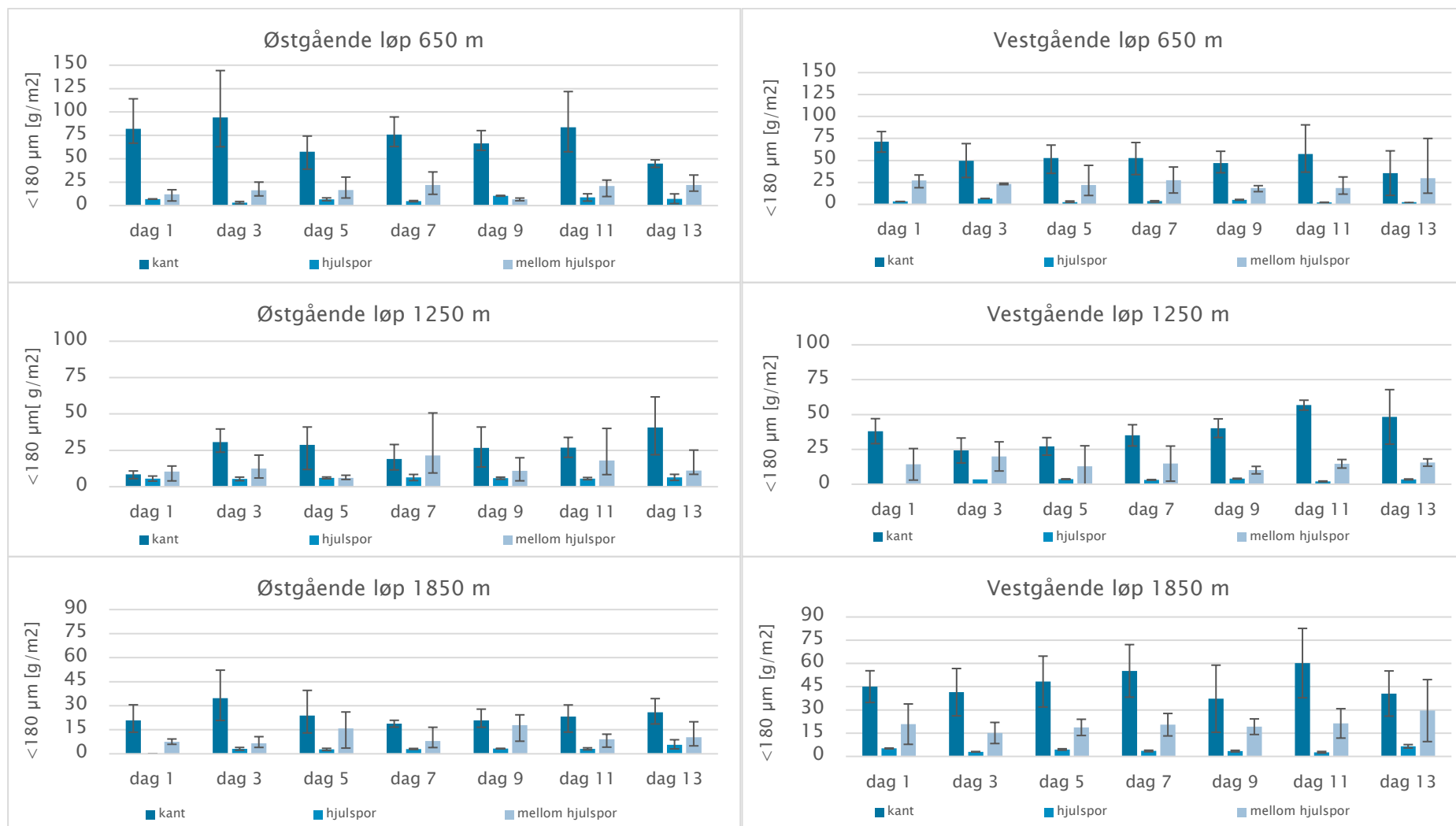
Figur 50: Finstoffmengde for de ulike prøvefeltene inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor for dag 1–6 for både østgående og vestgående løp

Vinter (januar 2019)- Andel finstoff



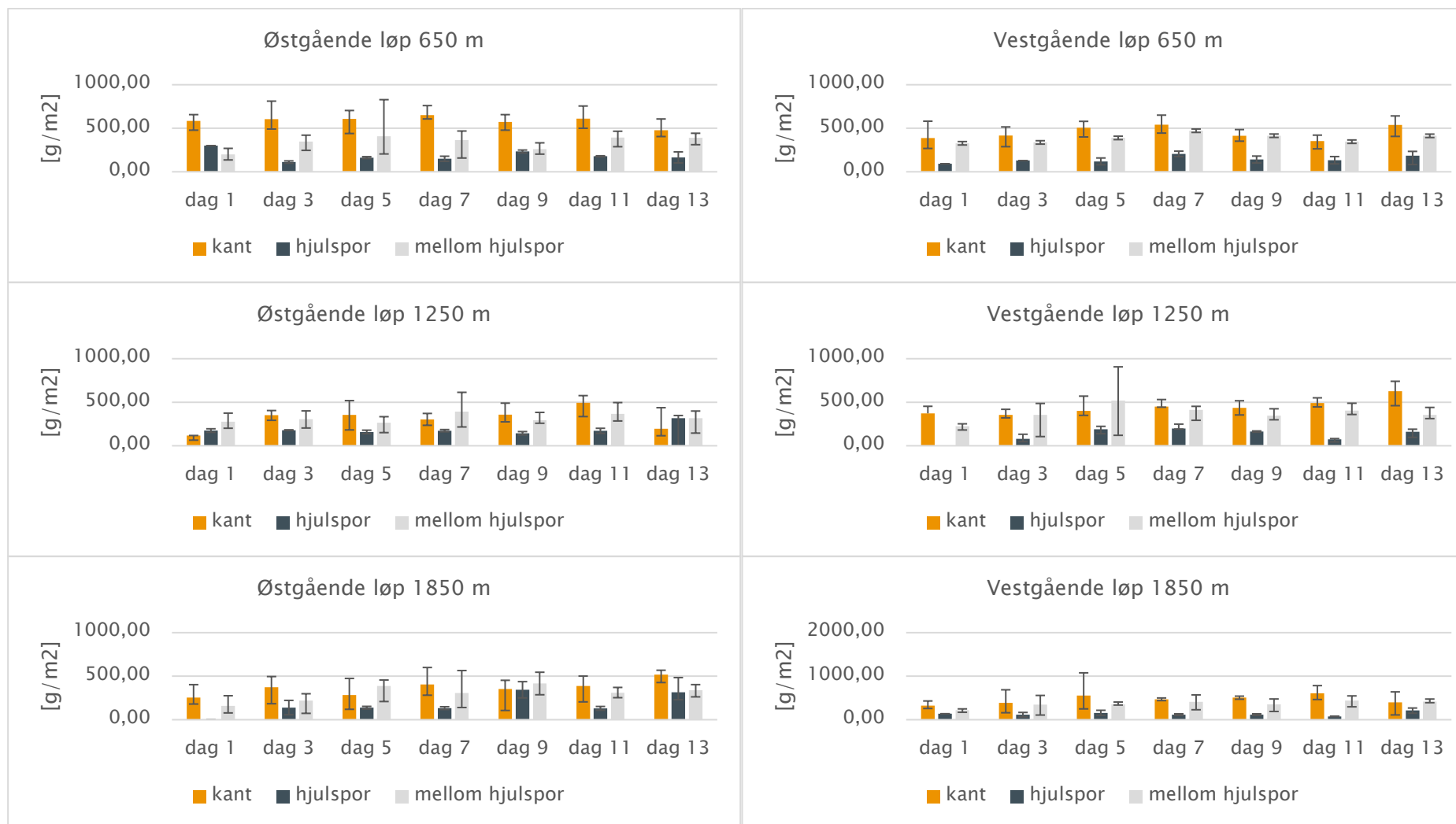
Figur 51: Andel partikler mindre enn 180 µm av den totale støvmengden i prøvene tatt i de ulike prøvelfeltene inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor i østgående og vestgående løp

Sommer (juni 2019) – Finstoffmengde



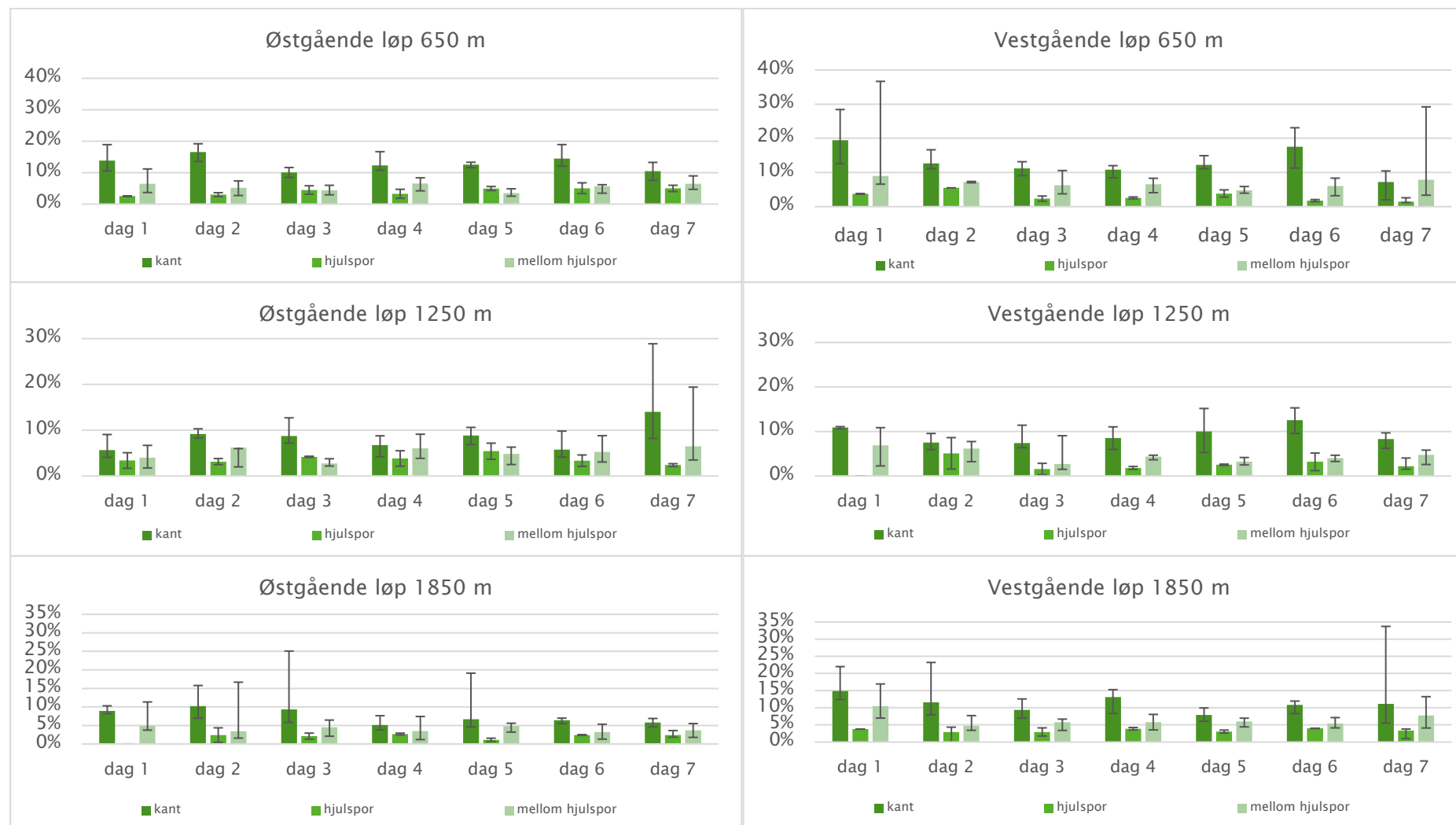
Figur 52: Finstoffmengde for de ulike prøvefeldene inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor for dag 1–13 for både østgående og vestgående løp

Sommer (juni 2019) – Total støvmengde



Figur 53: Total støvmengde for de ulike prøvefeltene inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor for dag 1–6 for både østgående og vestgående løp

Sommer (juni 2019)- Andel finstoff



Figur 54: Andel partikler mindre enn 180 µm av den totale støvmengden i prøvene tatt i de ulike prøvefeldene inntil kant, hjulspor og mellom hjulspor i østgående og vestgående løp

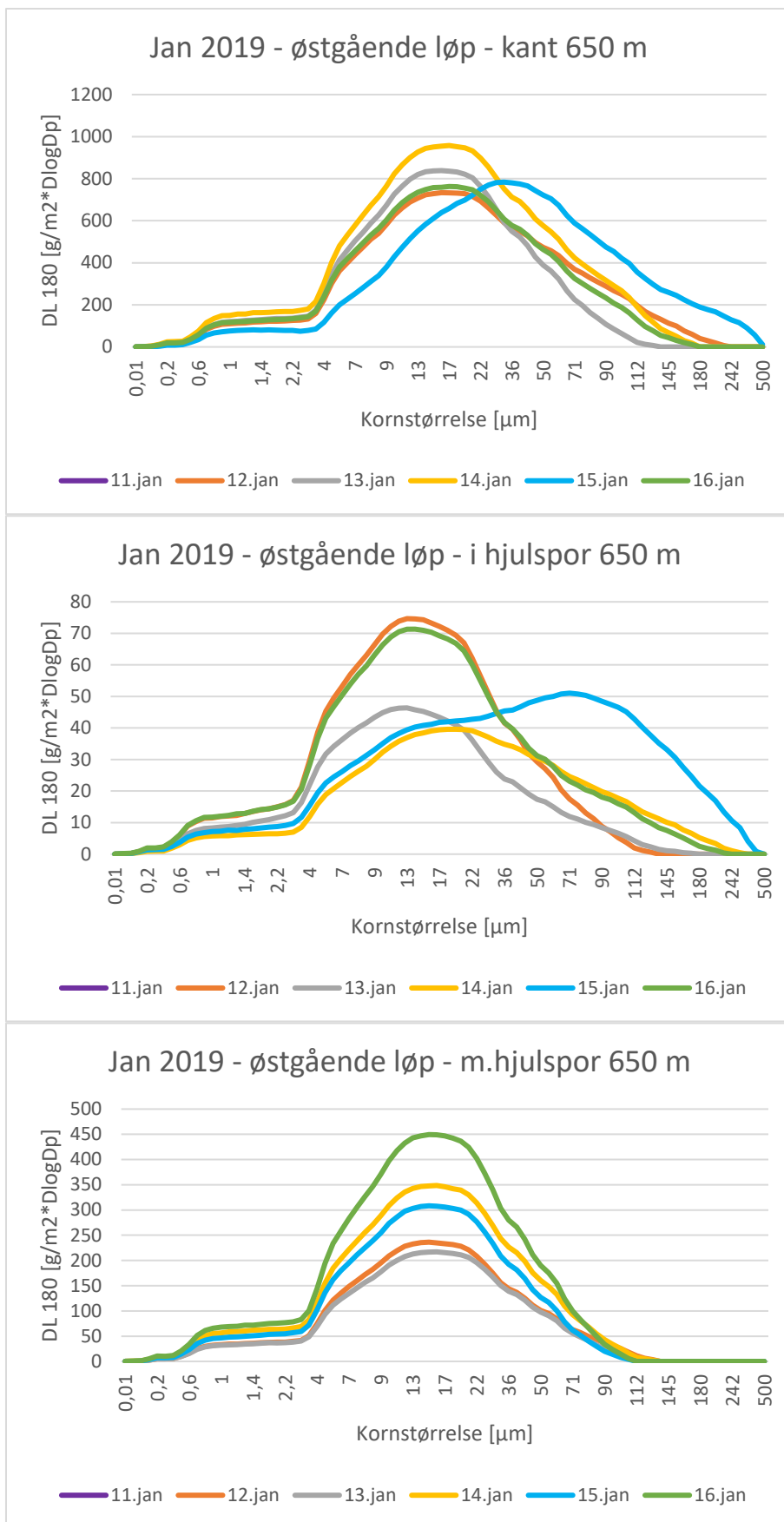
Vedlegg 5: Partikkelstørrelsesanalyse

I dette vedlegget presenteres grafene fra partikkelstørrelsesanalysen i følgende rekke:

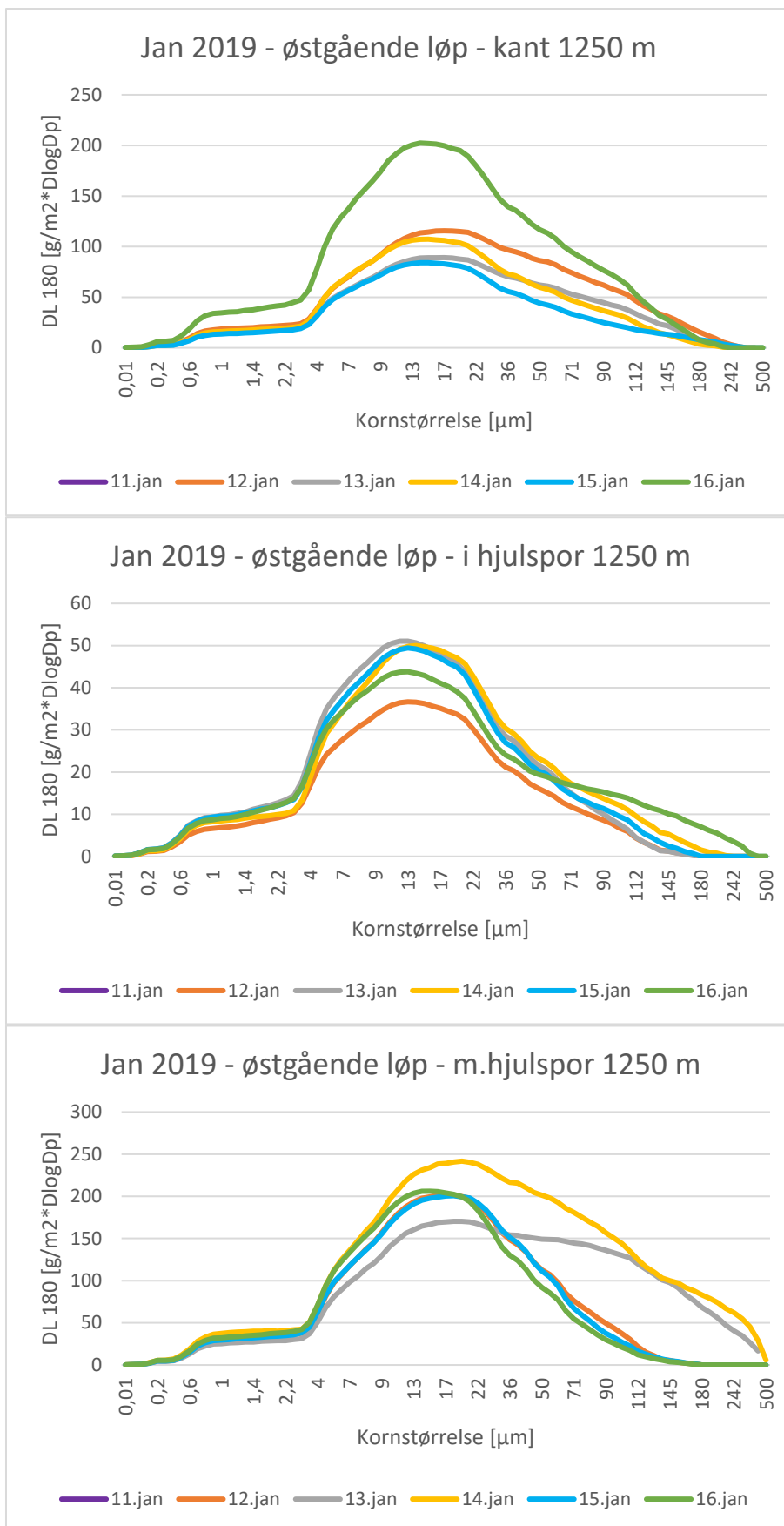
1. Vinter (januar 2019) – østgående løp
2. Vinter (januar 2019) – vestgående løp
3. Sommer (juni 2019) – østgående løp
4. Sommer (juni 2019) – vestgående løp
5. Juni 2020 – østgående løp
6. Juni 2020 – vestgående løp

Resultater

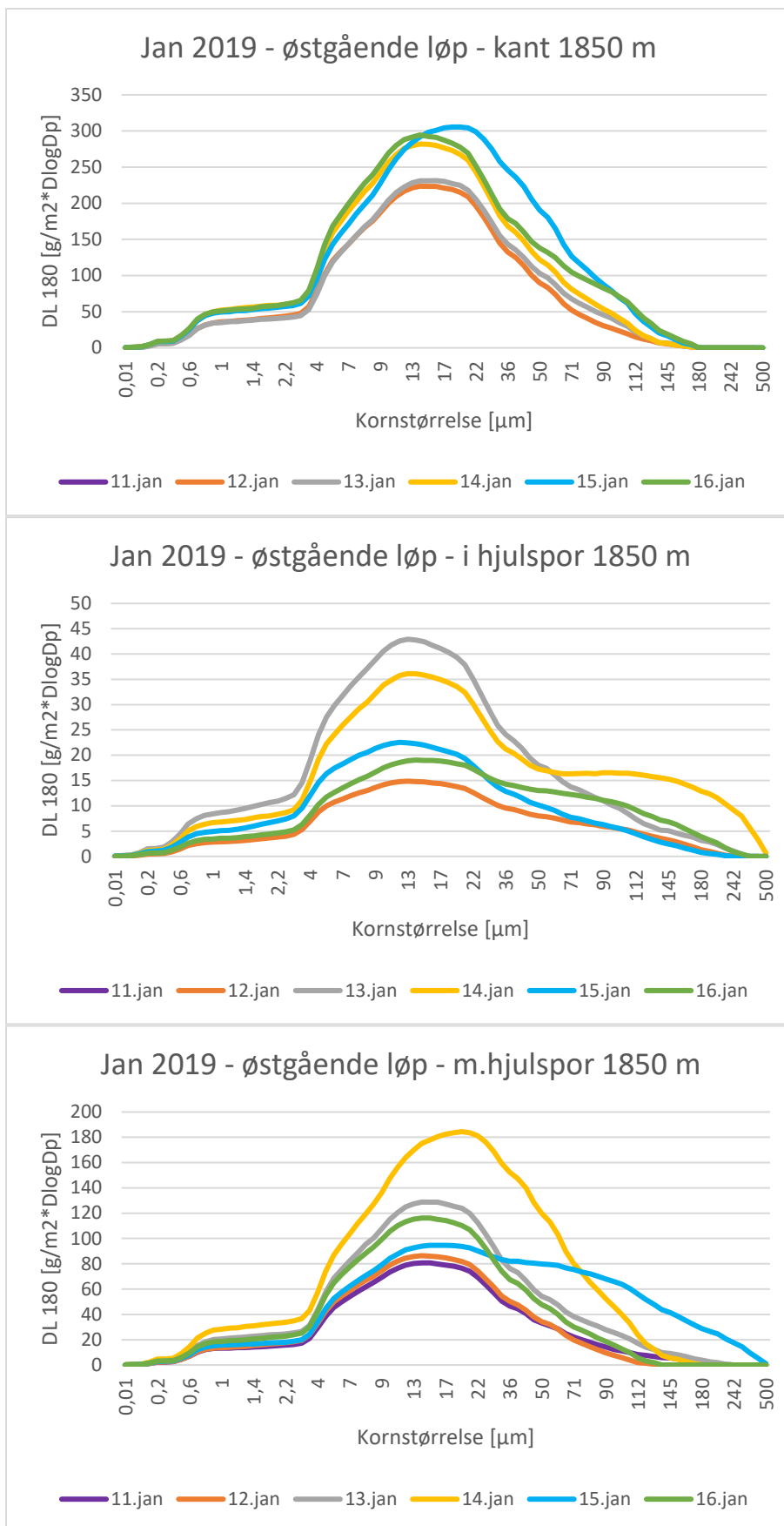
- Det er generelt mulig å se at toppunktet på hver graf for hvert prøvepunkt og måletidspunkt stemmer med fordelingen sett i analysen av finstoffmengde og totalstøvmengde i vinter og sommer, gjennom tunnellopet, på tvers av tunnellopet, mellom vegbanerengjøringer og i øst- mot vestgående løp.
- Så godt som alle grafer får et knekk opp ved 0,2–0,6 μm , knekk til horisontal mellom 0,6–1,0 μm og et knekk opp igjen ved 2,2–4,0 μm .
- Ved dagene der vegbanen for eksempel var vått (14.06) og det var minusgrader ved de fleste målepunkter (15.06) er det mulig å se at noen av grafene forskyver seg mot høyre, det vil si inneholde flere andeler større partikler blir inkludert. Utenom det er det ikke mye nytt analysen av størrelsesfordeling kan fortelle som ikke allerede er nevnt i foregående kapitler



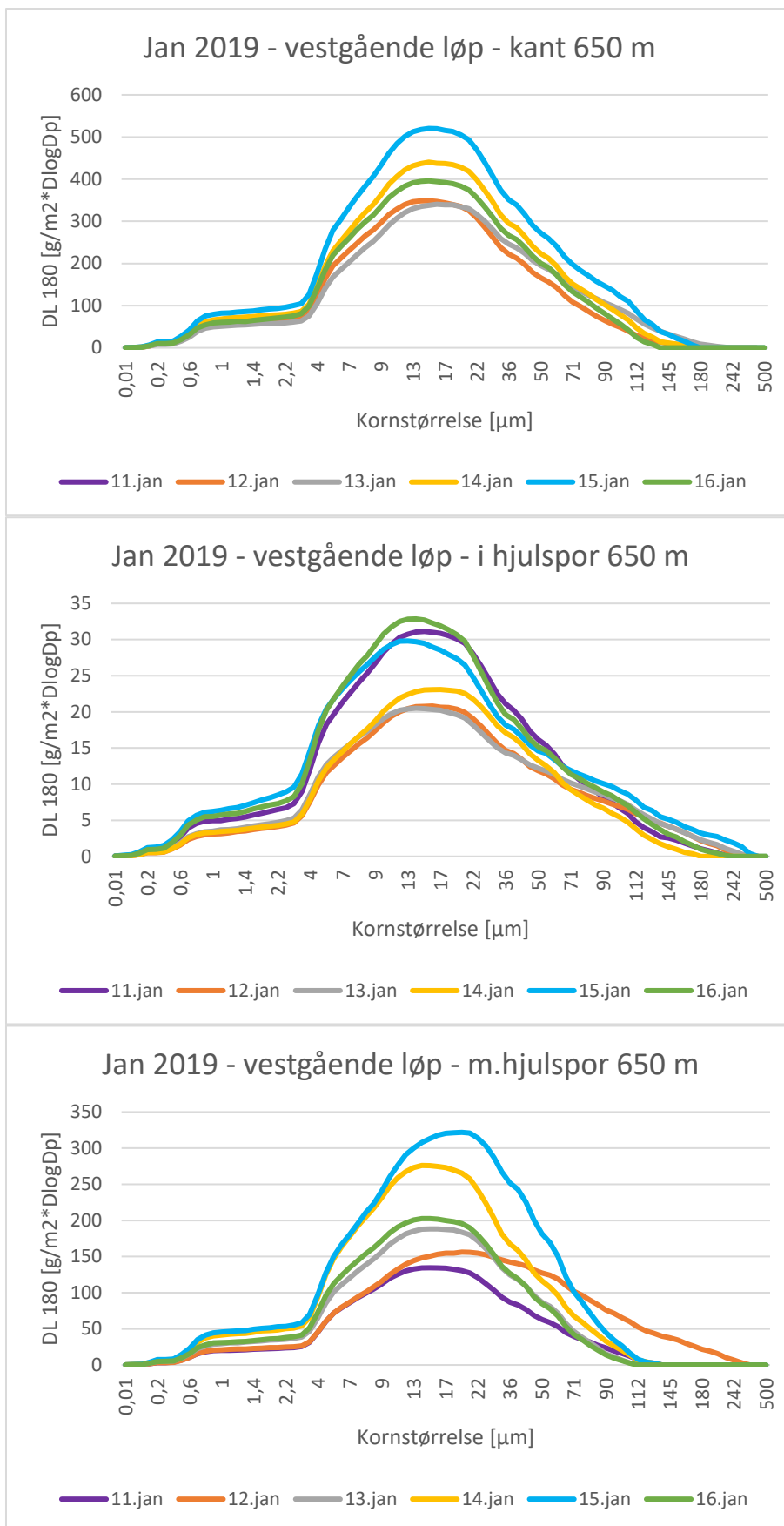
Figur 55: Størrelsesfordeling fra januar 2019 ved 650 m i østgående løp ved kant, hjulspor og mellem hjulspor



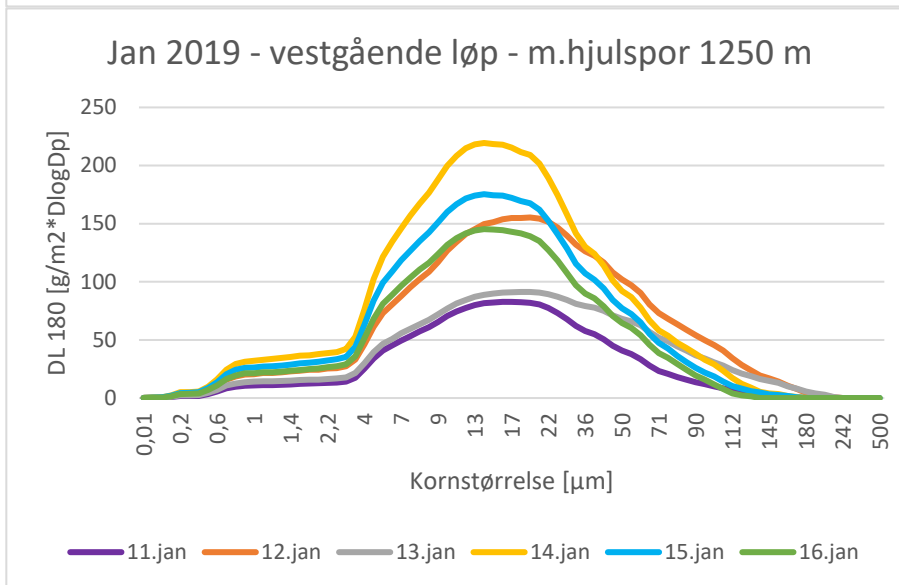
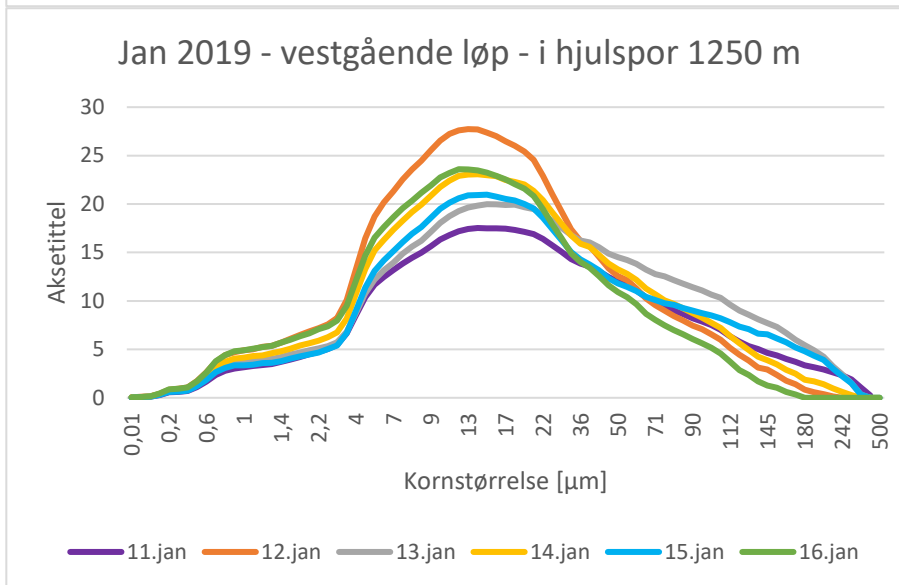
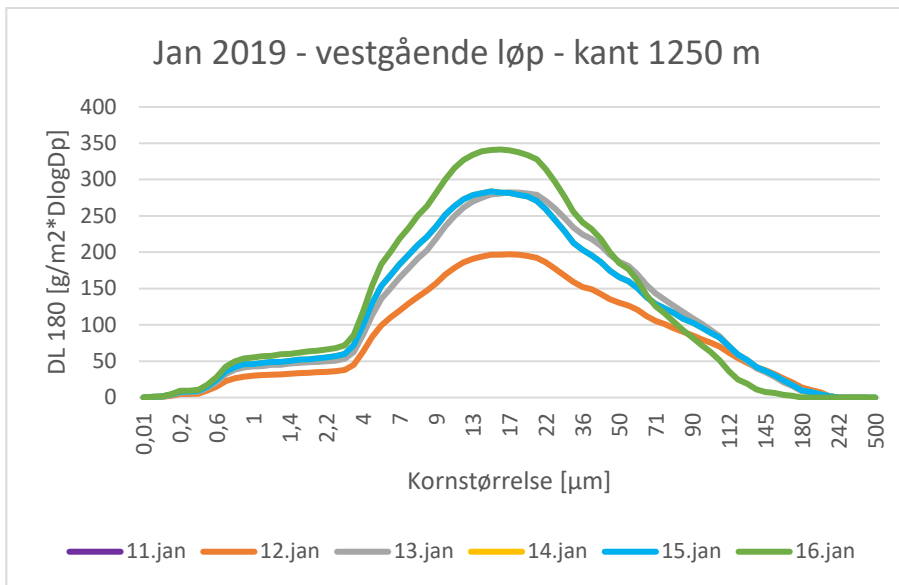
Figur 56: Størrelsesfordeling fra januar 2019 ved 1250 m i østgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



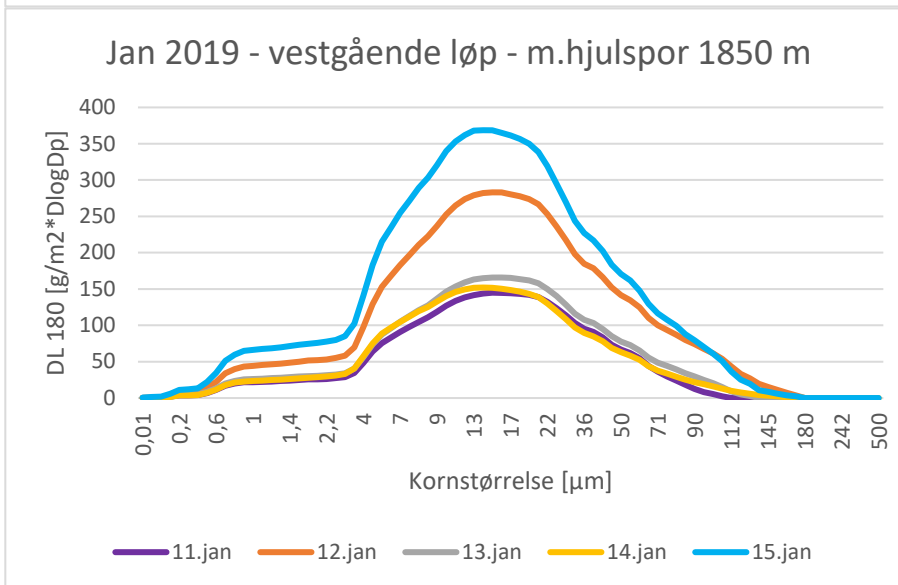
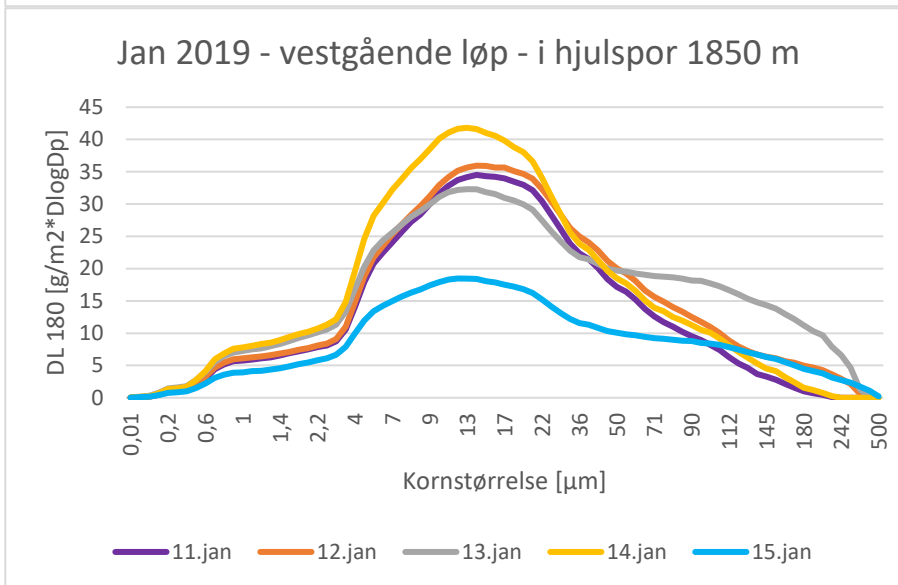
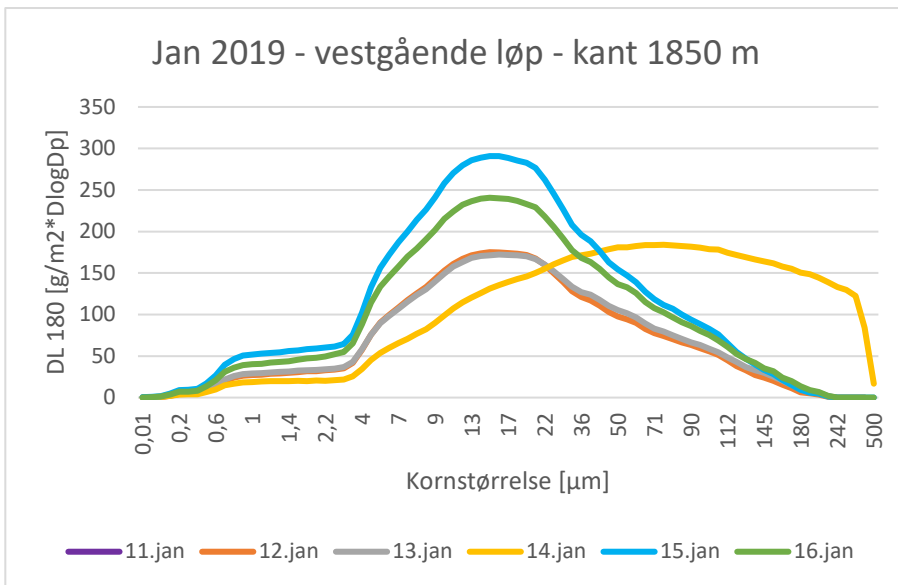
Figur 57: Størrelsesfordeling fra januar 2019 ved 1850 m i østgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



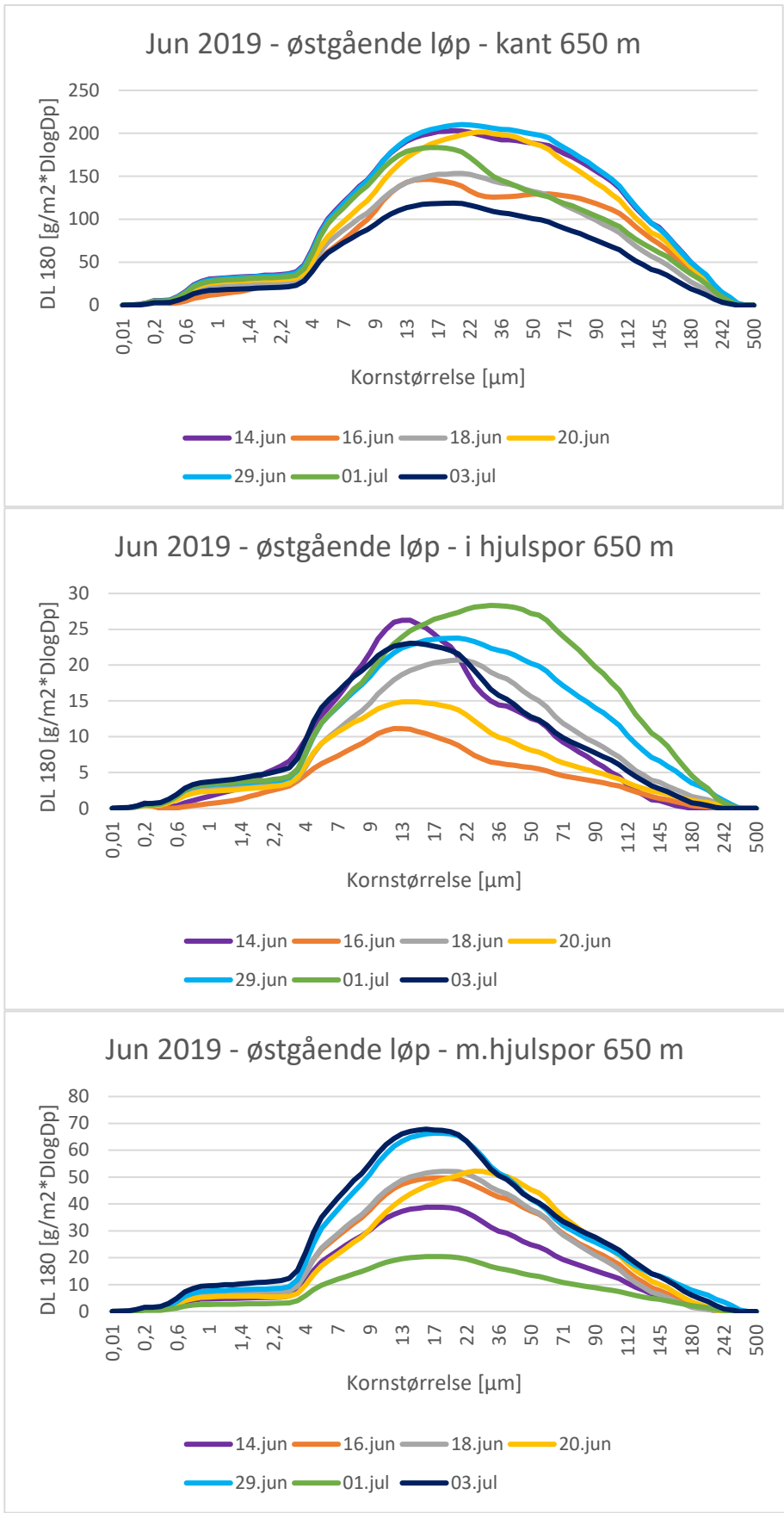
Figur 58: Størrelsesfordeling fra januar 2019 ved 650 m i vestgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



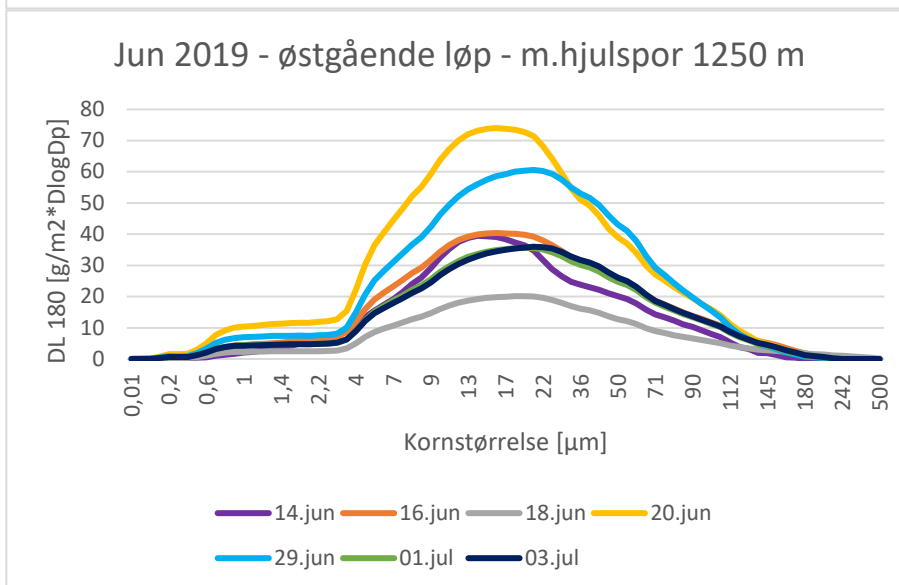
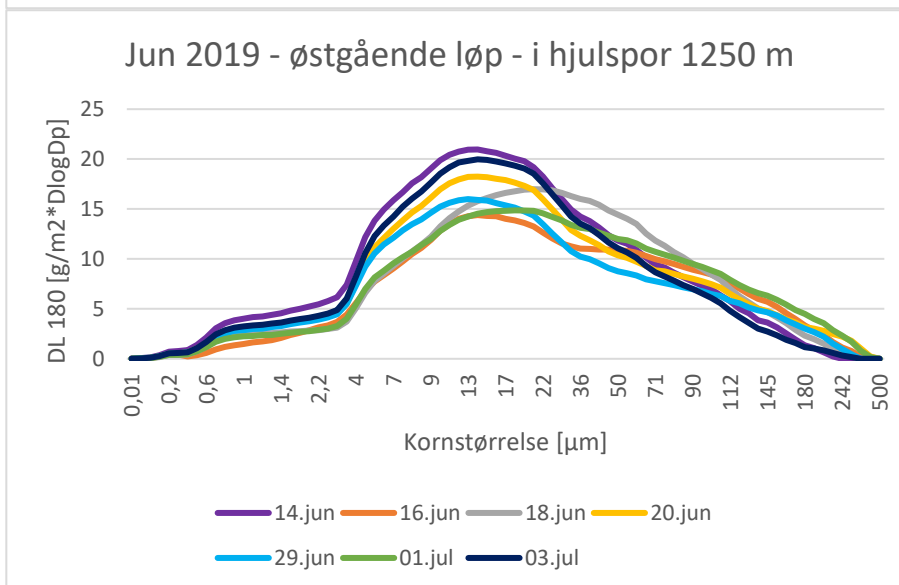
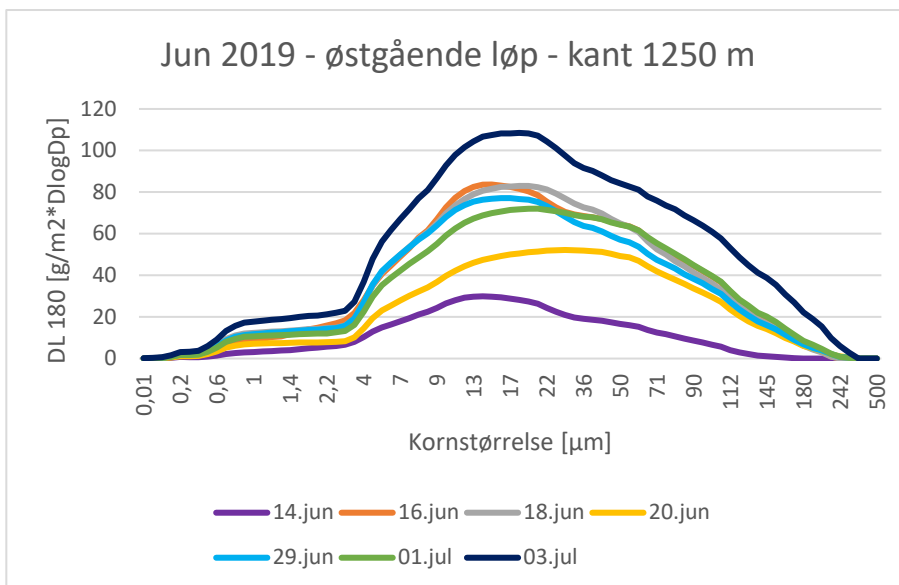
Figur 59: Størrelsesfordeling fra januar 2019 ved 1250 m i vestgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



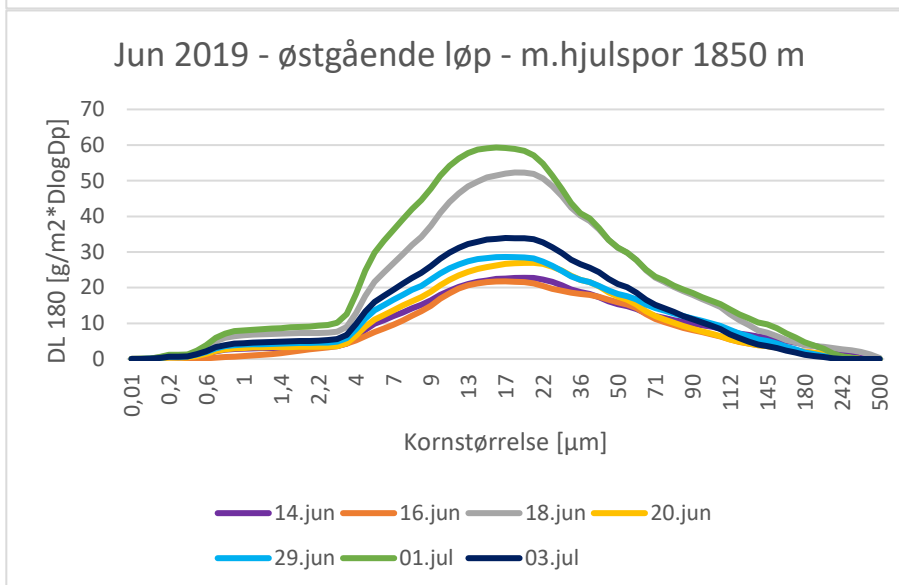
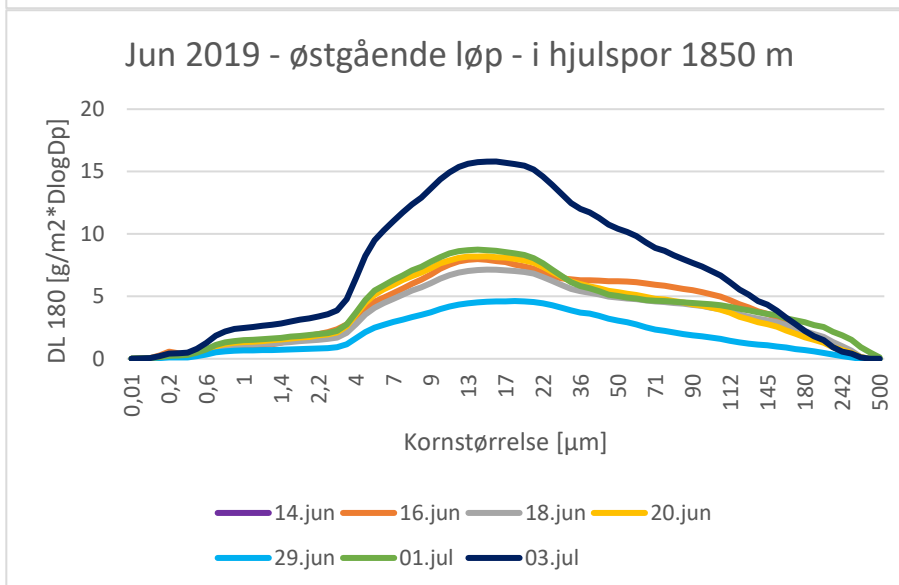
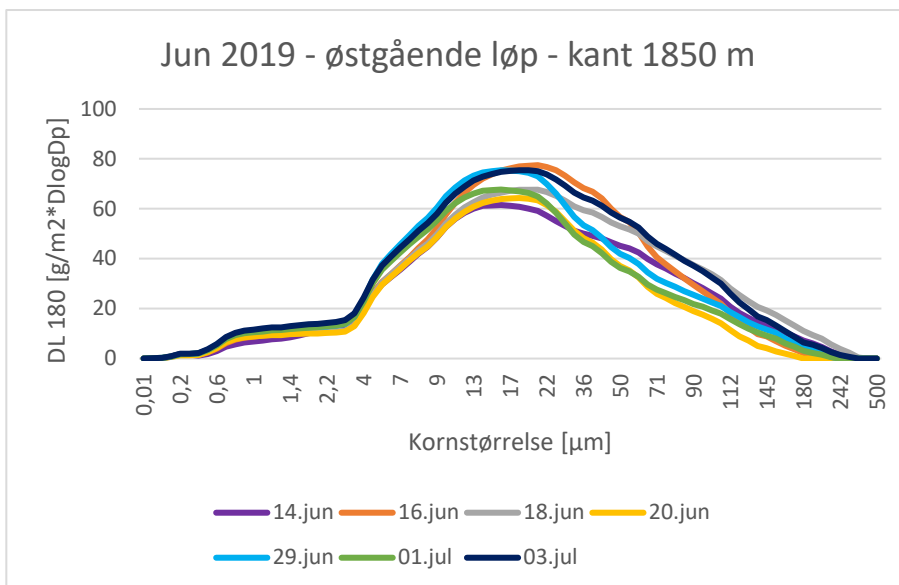
Figur 60: Størrelsesfordeling fra januar 2019 ved 1850 m i vestgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



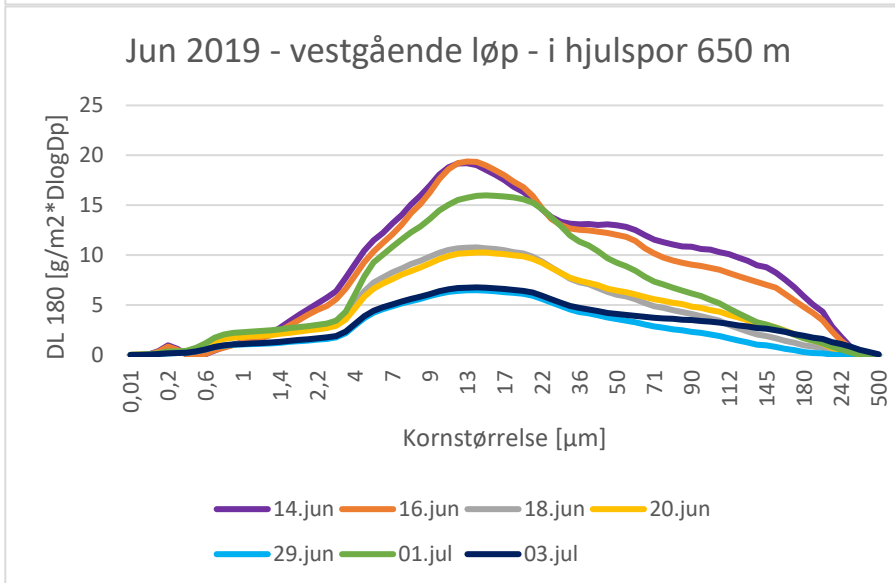
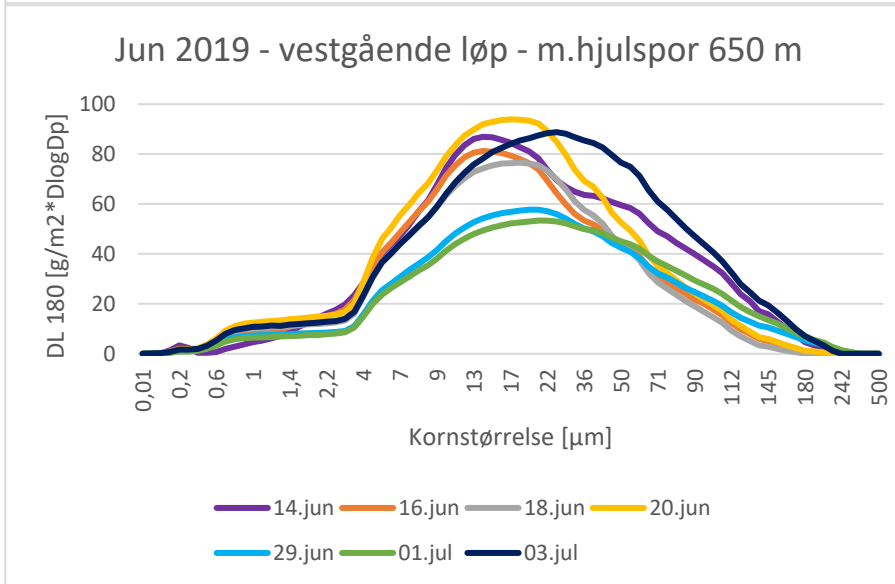
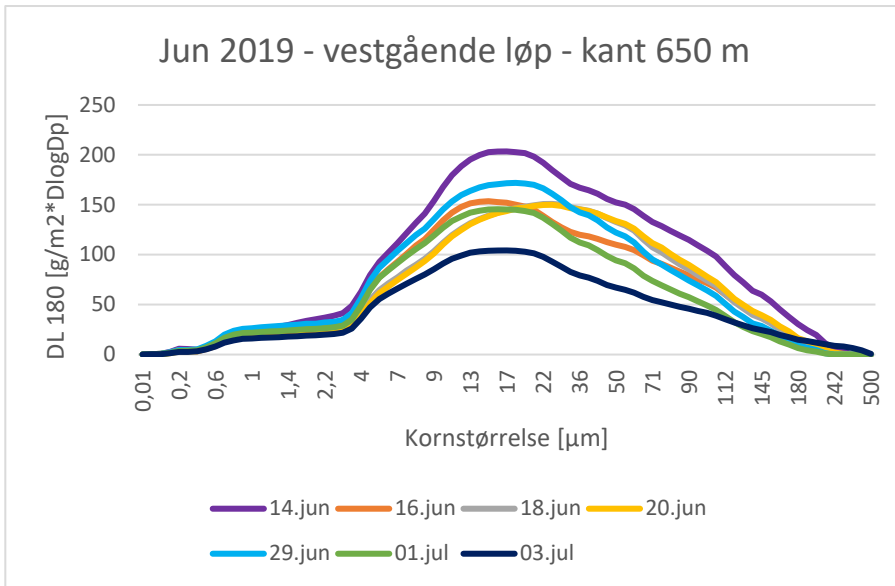
Figur 61: Størrelsesfordeling fra juni 2019 ved 650 m i østgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



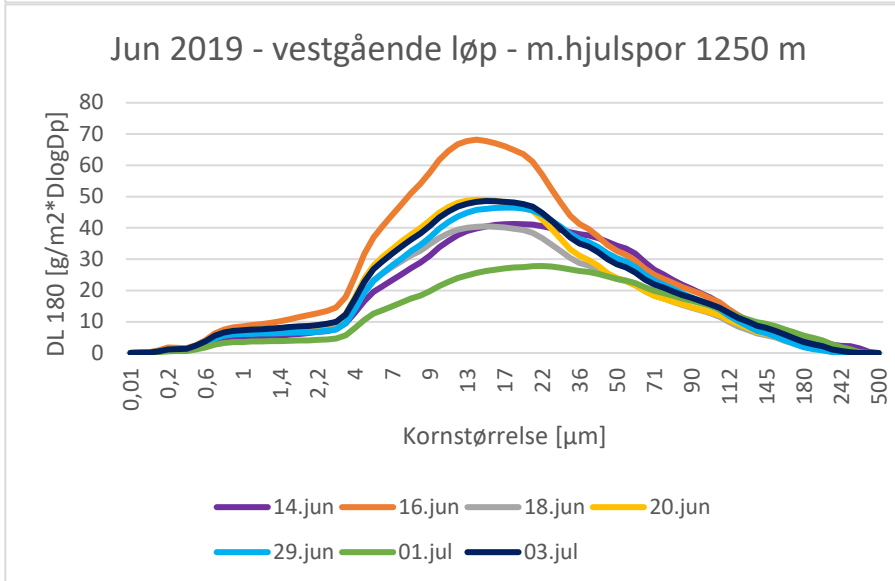
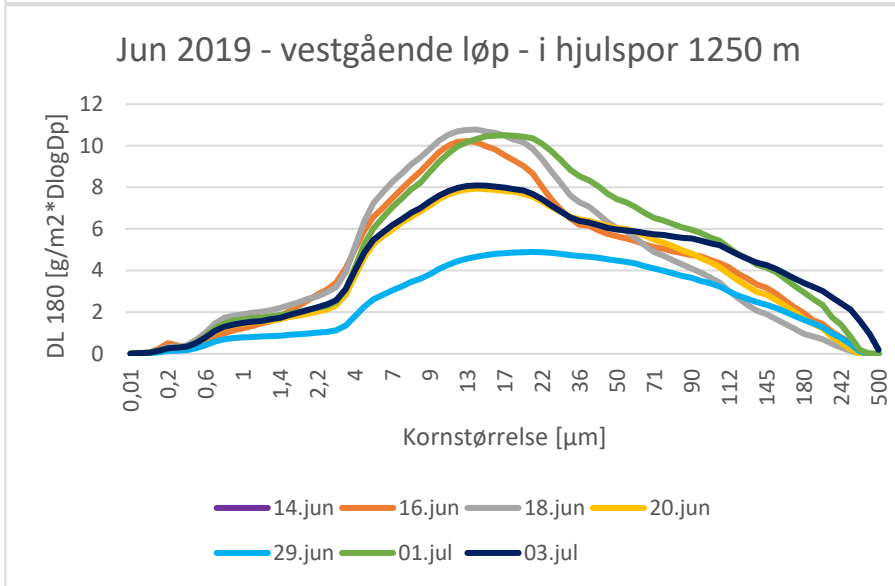
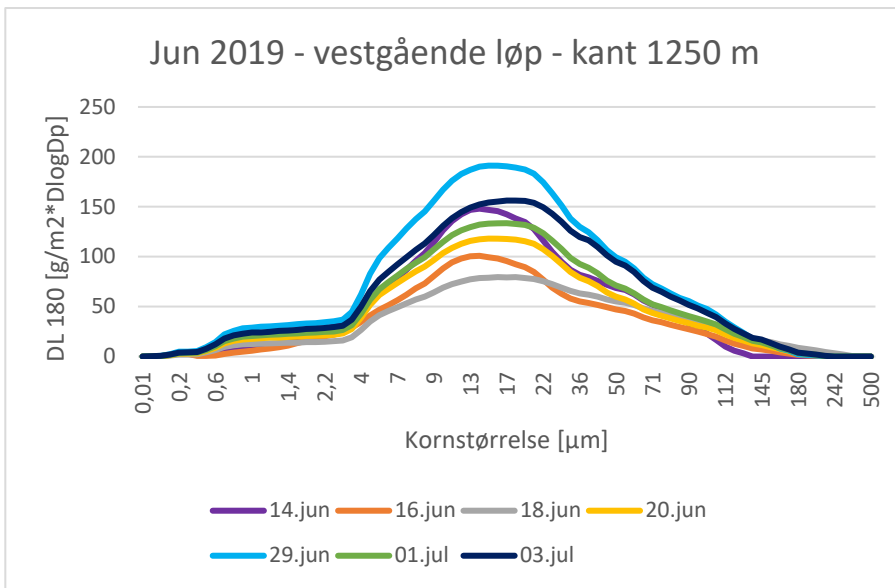
Figur 62: Størrelsesfordeling fra juni 2019 ved 1250 m i østgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



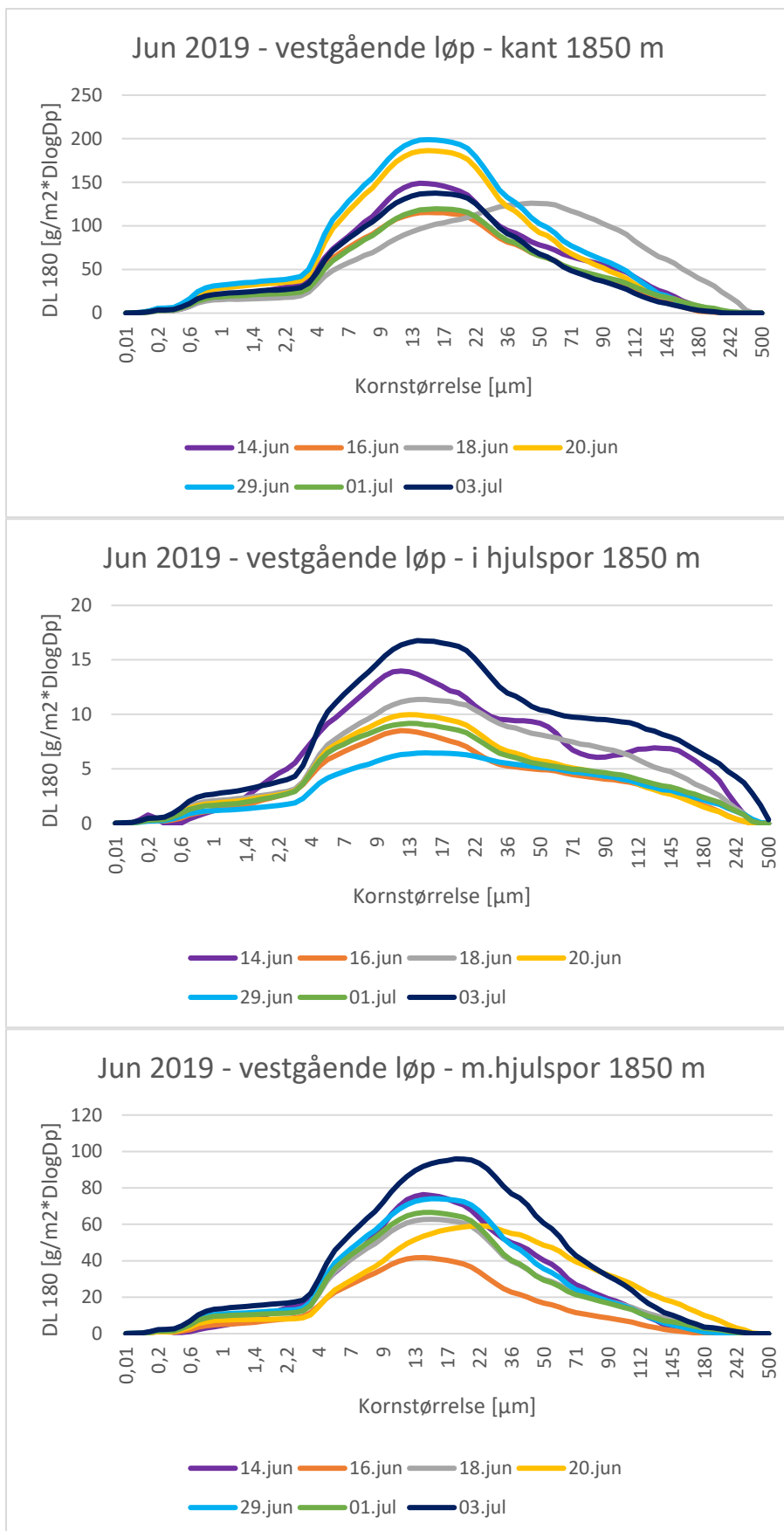
Figur 63: Størrelsesfordeling fra juni 2019 ved 1850 m i østgående løp ved kant, hjulspor og mellem hjulspor



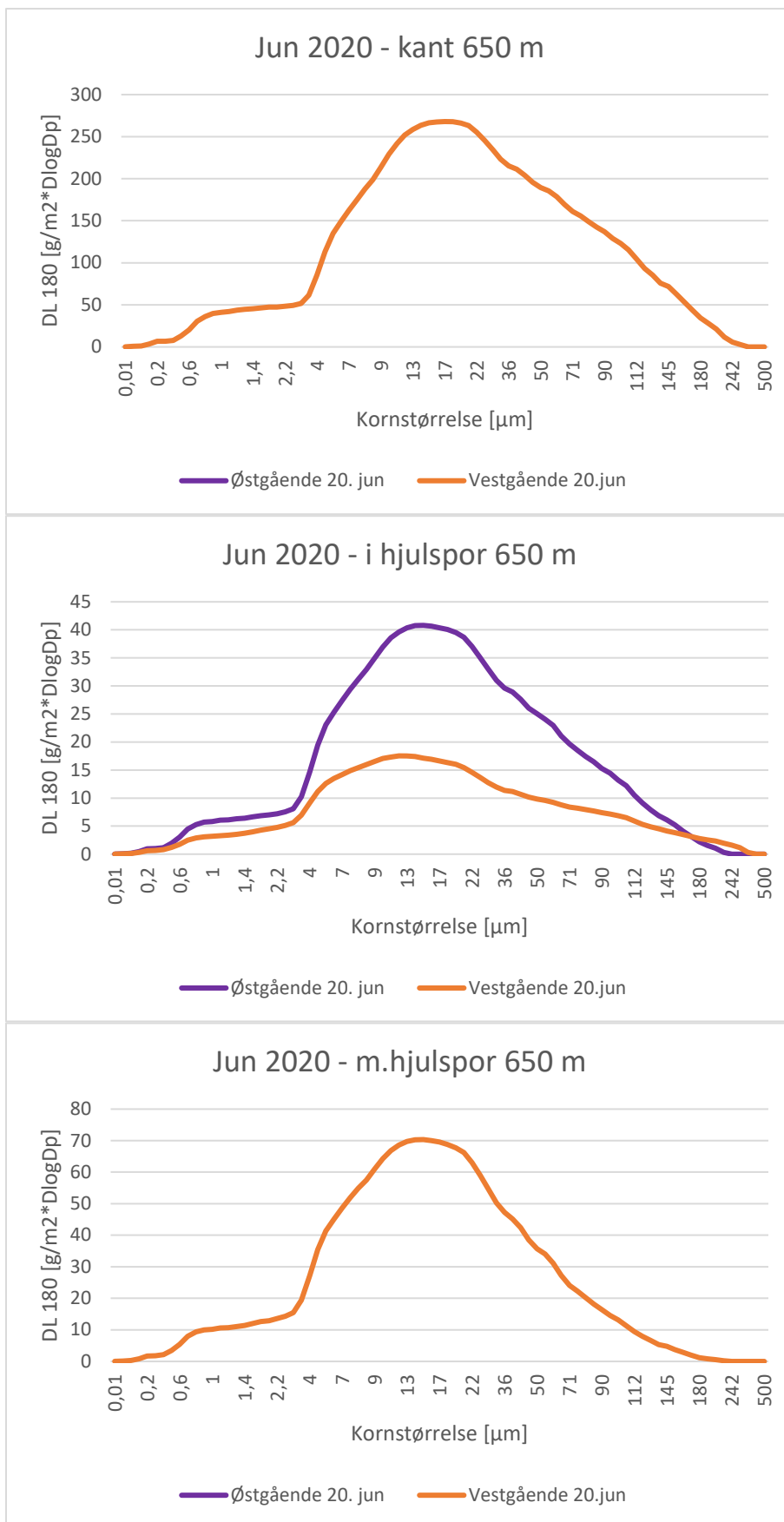
Figur 64: Størrelsesfordeling fra juni 2019 ved 650 m i vestgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



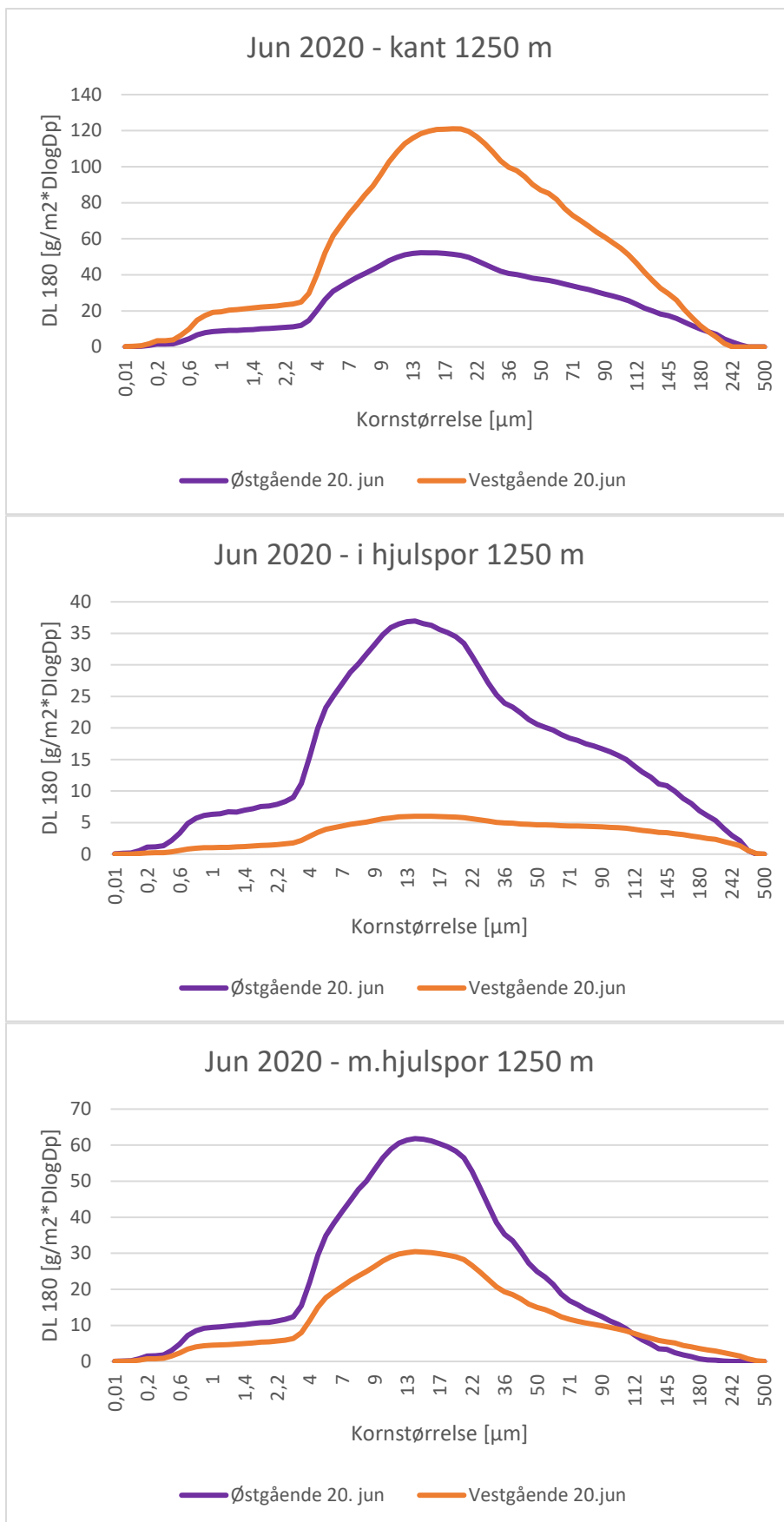
Figur 65: Størrelsesfordeling fra juni 2019 ved 1150 m i vestgående løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



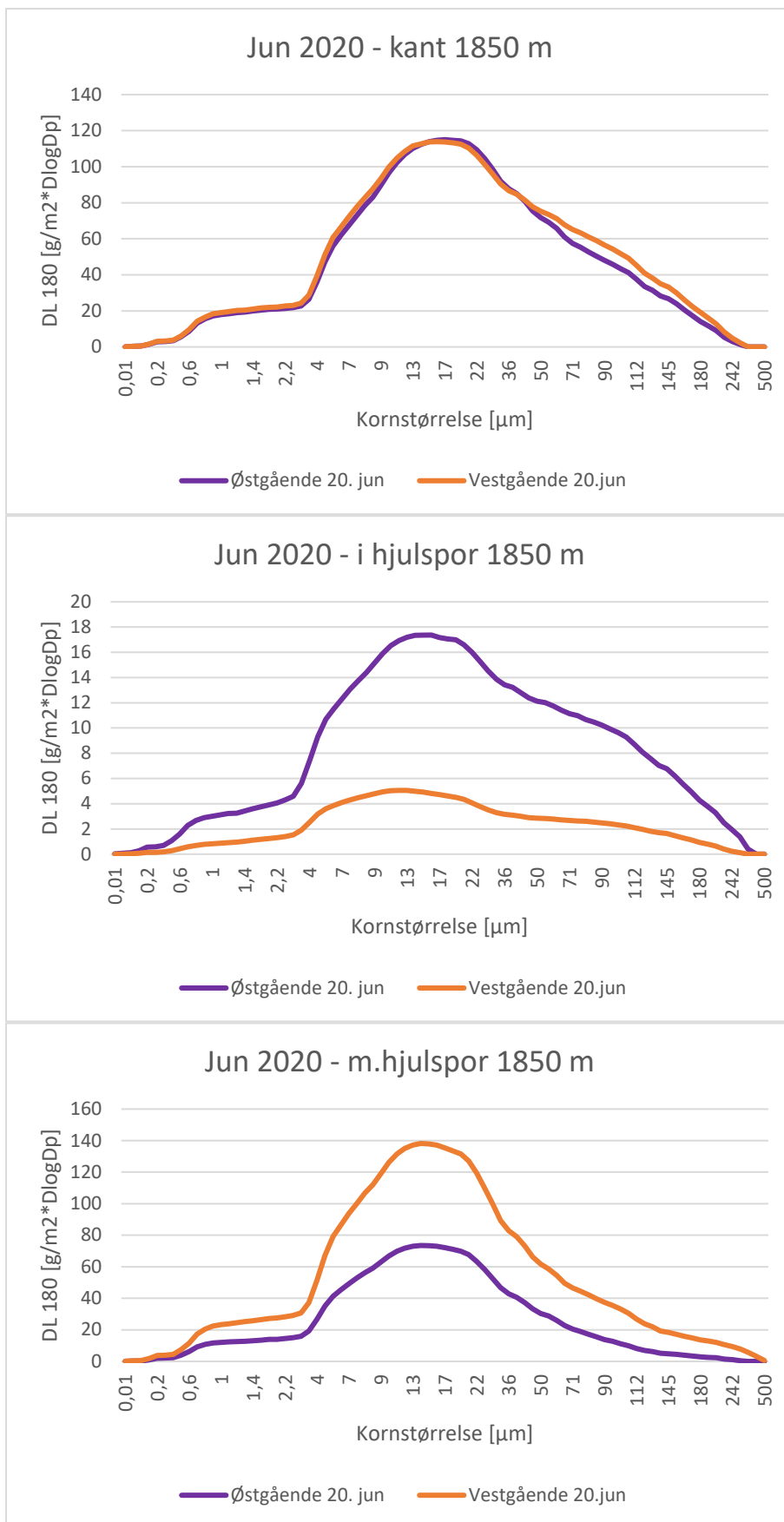
Figur 66: Størrelsesfordeling fra juni 2019 ved 1850 m i vestgående løp ved kant, hjulspor og mellem hjulspor



Figur 67: Størrelsesfordeling fra juni 2020 ved 650 m i begge løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



Figur 68: Størrelsesfordeling fra juni 2020 ved 1250 m i begge løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor



Figur 69: Størrelsesfordeling fra juni 2020 ved 1850 m i begge løp ved kant, hjulspor og mellom hjulspor

Vedlegg 6: Andel uorganisk materiale i vegstøvet

I dette vedlegget presenteres grafene fra analyse av andel uorganisk materiale i følgende rekke:

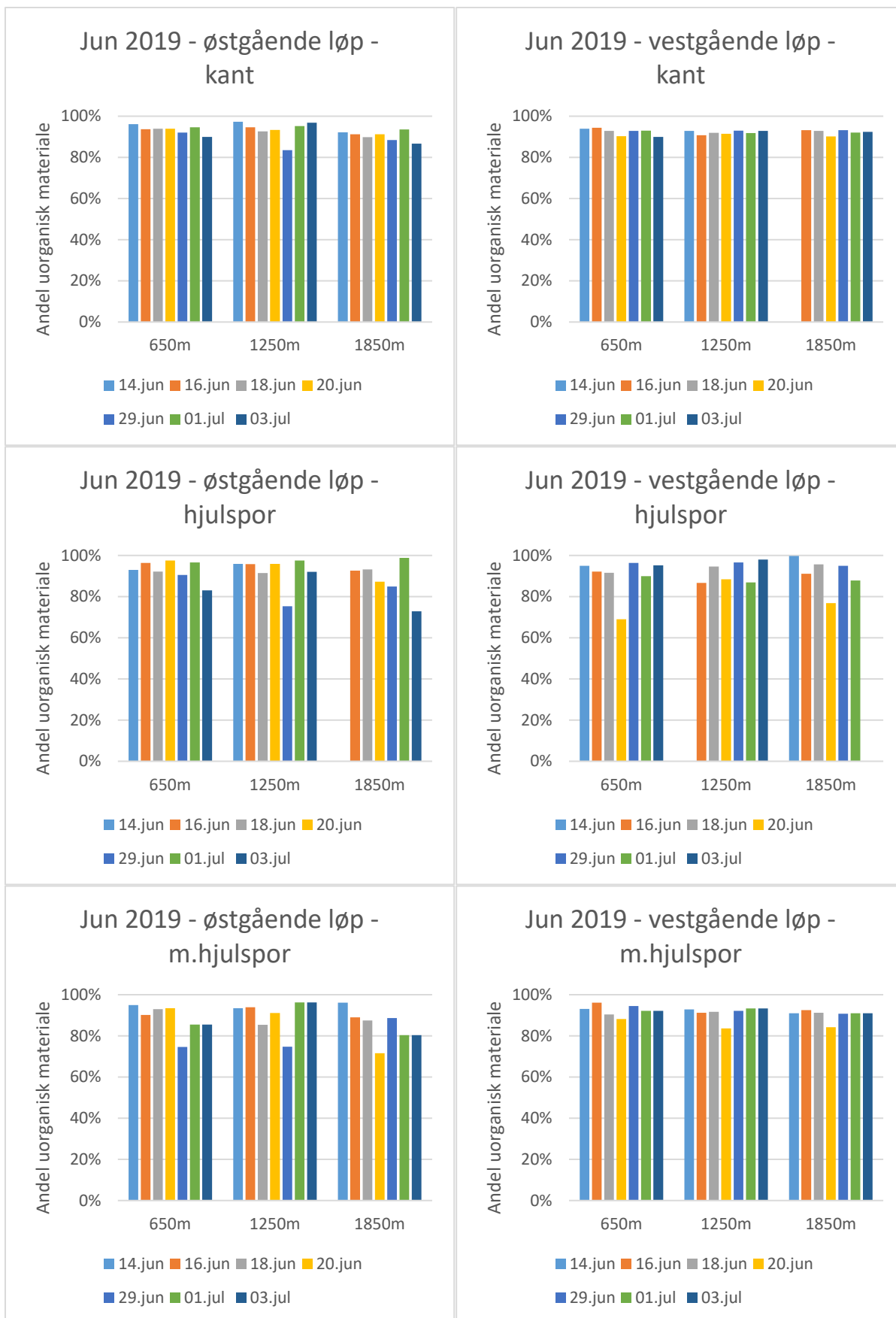
8. Vinter (januar 2019)
9. Sommer (juni 2019)
10. Juni 2020

Resultater

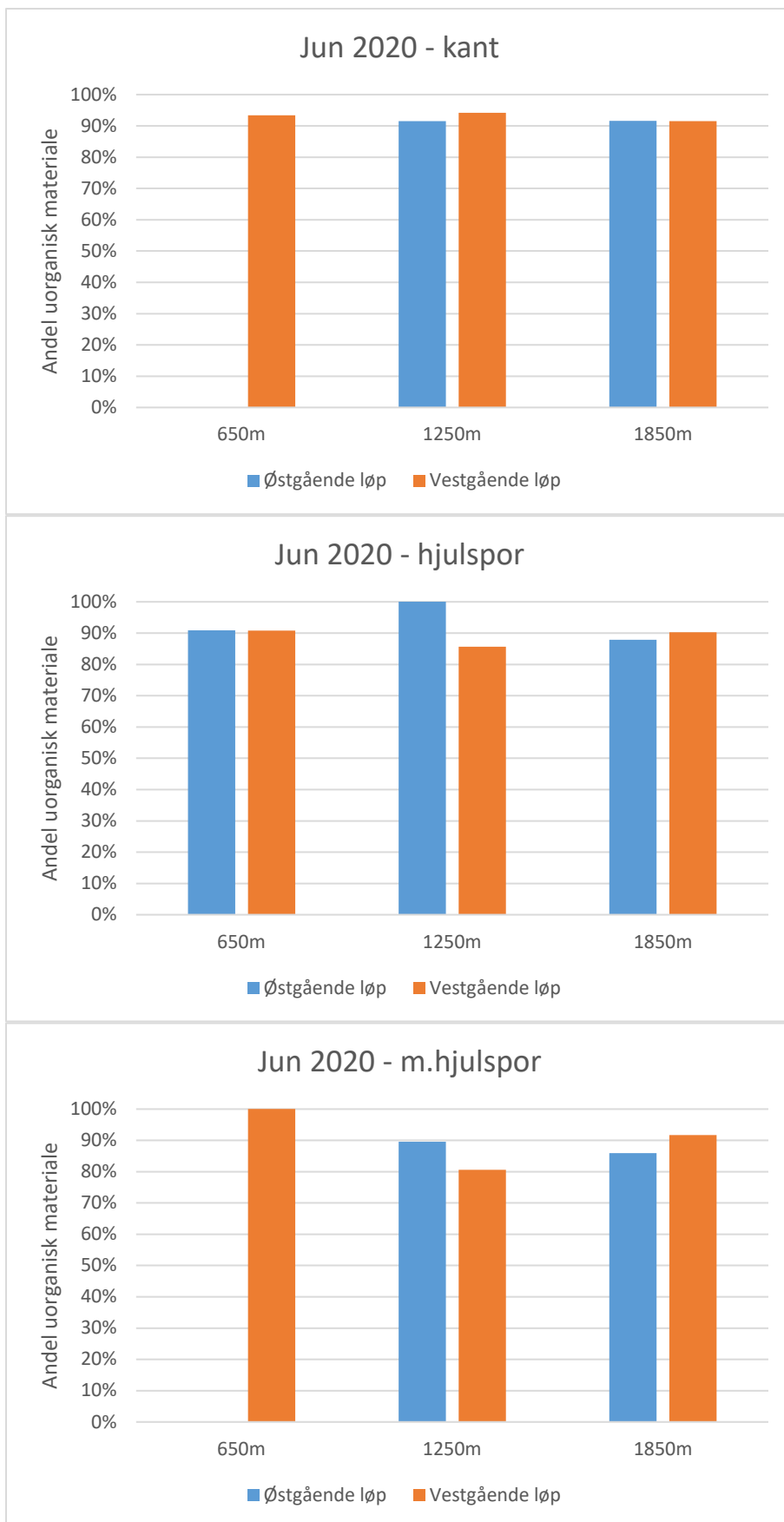
- De fleste målinger viser at andel uorganisk materiale ligger på mellom 90 % og 100 %, med noen unntak som kan dyppe ned til 80 %. Det er også noen målinger som viser andel uorganisk materiale på under 80 % og nærme 60 %, men der kan det tenkes at usikkerhet ved måling eller feil ved laboratorieanalyse kan ha hatt en stor faktor.
- Det er ingen spesielle korrelasjoner mellom andel uorganisk materiale og prøvepunkt, måletidspunkt eller tunnellop som ikke allerede er kommentert i foregående kapitler.



Figur 70: Andel uorganisk materiale i vinter (januar 2019) ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp



Figur 71: Andel uorganisk materiale i sommer (juni 2019) ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp



Figur 72: Andel uorganisk materiale i juni 2020 ved kant, hjulspor og mellom hjulspor ved 650 m, 1250 m og 1850 m for begge løp

Vedlegg 7: Logg fuktighet og temperatur på vegbanen

I dette vedlegget presenteres vegbanens forhold, det vil si fuktighet, temperatur og målepunktets distanse fra bankett, ved prøvepunktene og måletidspunktene der det ble notert. Temperaturen ble målt i celsius med termometer og fuktighet med observasjon av vegbanen med synet. Fuktigheten på vegbanen blir rangert og fargegradert som vist i Tabell 62. Temperaturen er fargegradert til å vise 0 grader celsius med hvit farge, plussgrader i rød farge og minusgrader med blåfarge, der fargen blir sterkere desto høyere tallet er.

Tabell 62: Skala brukt i måling av fuktigheten på vegbanen

5	Vått
4	Fukt
3	Litt fukt
2	Ikke helt tørt
1	Nesten tørt
0	Tørt

Tabell 63: Fuktighet på vegbanen ved måletidspunktene 13. mars, 14. mars og 24. april i 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Kant		13.03.2019	14.03.2019	24.04.2019
Løp	Punkt [m]			
Øst	120			0
Øst	650	0		0
Øst	1250	0		0
Øst	1850	0		0
Øst	2450			0
Vest	600		0	0
Vest	1250		0	0
Vest	1850		0	0

Hjulspor		13.03.2019	14.03.2019	24.04.2019
Løp	Punkt [m]			
Øst	120			0
Øst	650	0		0
Øst	1250	0		0
Øst	1850	0		0
Øst	2450			0
Vest	600		3	0
Vest	1250		0	0
Vest	1850		0	0

Mellom hjulspor		13.03.2019	14.03.2019	24.04.2019
Løp	Punkt [m]			
Øst	120			0
Øst	650	0		0
Øst	1250	0		0
Øst	1850	0		0
Øst	2450			0
Vest	600		0	0
Vest	1250		0	0
Vest	1850		0	0

Tabell 64: Fuktighet på vegbanen ved måletidspunktene 11. til 16. januar i 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Kant		Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
Løp	Punkt [m]	11.01.2019	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	16.01.2019
Øst	650		3	3	5	2	4
Øst	1250	4	4	4	5	2	3
Øst	1850	4,5	2	1	4	2	5
Vest	650		3		4	1	4
Vest	1250		3	4,5	4	1	1
Vest	1850		3	4	4	1	0

Hjulspor		Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
Løp	Punkt [m]	11.01.2019	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	16.01.2019
Øst	650		3	3	5	2	4
Øst	1250	4	2	0	5	2	0
Øst	1850	4,5	2	1	4	2	1
Vest	650		3		4	0	1
Vest	1250			3	4	0	1
Vest	1850			2	4	0	0

Mellom hjulspor		Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
Løp	Punkt [m]	11.01.2019	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	16.01.2019
Øst	650		3	3	5	2	4
Øst	1250	4	2	0	5	2	0
Øst	1850	4,5	2	1	4	2	1
Vest	650				4	0	1
Vest	1250			4,5	4	0	1
Vest	1850				4	0	0

Tabell 65: Fuktighet på vegbanen ved måletidspunktene 14., 16., 18., 20. og 29. juni og 1. og 3. juli 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Kant		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt [m]	14.06.2019	16.06.2019	18.06.2019	20.06.2019	29.06.2021	01.07.2019	03.07.2019
Øst	120							4
Øst	650	0	0	0	0	4	0	0
Øst	1250	0	0	0	0	3	0	
Øst	1850	0	0	0	0	4	0	
Øst	2450							
Vest	650	0	0	3	0	4	4	0
Vest	1250	0	0	0	0	1	0	0
Vest	1850	0	0	3	0		0	0

Hjulspor		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt [m]	14.06.2019	16.06.2019	18.06.2019	20.06.2019	29.06.2021	01.07.2019	03.07.2019
Øst	120							5
Øst	650	0	0	0	0	5	0	0
Øst	1250	0	0	0	0	3	0	
Øst	1850	0	0	0	0	4	0	
Øst	2450							
Vest	650	0	0	3	0	5	0	0
Vest	1250	0	0	0	0	3	0	0
Vest	1850	0	0	3	0		0	0

Mellom hjulspor		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt [m]	14.06.2019	16.06.2019	18.06.2019	20.06.2019	29.06.2021	01.07.2019	03.07.2019
Øst	120							4
Øst	650	0	0	0	0	5	0	0
Øst	1250	0	0	0	0	3	0	
Øst	1850	0	0	0	0	4	0	
Øst	2450							
Vest	650	0	0	3	0	5	0	0
Vest	1250	0	0	0	0	3	0	0
Vest	1850	0	0	3	0		0	0

Tabell 66: Temperatur på vegbanen ved måletidspunktene 13. mars, 14. mars og 24. april i 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Kant/hjulspor/mellom hjulspor		13.03.2019	14.03.2019	24.04.2019
Løp	Punkt [m]	[C]	[C]	[C]
Øst	120			
Øst	650	1		11,5
Øst	1250	3		11
Øst	1850	4		11,5
Øst	2450			11
Vest	650		1	12
Vest	1250		4	12
Vest	1850		3,5	12

Tabell 67: Temperatur på vegbanen ved måletidspunktene 11. til 16. januar i 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Løp	Punkt [m]	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
		11.01.2019 [C]	12.01.2019 [C]	13.01.2019 [C]	14.01.2019 [C]	15.01.2019 [C]	16.01.2019 [C]
Øst	650		4	-1	1	-7,5	0
Øst	1250				-2	-3	0
Øst	1850	4	5	3	1	1	1
Vest	650		2	3	3	-4	1
Vest	1250		4	2	2	-1	3
Vest	1850		3	2	0,8	-1	2

Tabell 68: Temperatur på vegbanen ved måletidspunktene 14., 16., 18., 20. og 29. juni og 1. og 3. juli 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Kant/hjulspor/mellom hjulspor		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt [m]	14.06.2019 [C]	16.06.2019 [C]	18.06.2019 [C]	20.06.2019 [C]	29.06.2021 [C]	01.07.2019 [C]	03.07.2019 [C]
Øst	120							9
Øst	650	17,5	19	16	15	13		10
Øst	1250	18,5		16	15	13		
Øst	1850	20		16	15	13		
Øst	2450							
Vest	650	18	19	13	14			
Vest	1250	18		13	14			
Vest	1850	19		13	14			12

Tabell 69: Distanse for målepunkt fra bankett i måletidspunktene 13. mars, 14. mars og 24. april i 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

Punkt	13.03.2019	14.03.2019	24.04.2019
	Øst [m]	Vest [m]	Øst [m]
Høyre kant	0,4	0,15	0,45
Høyre hjulspor	1	1,3	
Mellom hjulspor	2	2,15	
Venstre hjulspor	2,8	3	
Vegmidt	3,75	3,9	
Høyre hjulspor	4,6	4,65	
Mellom hjulspor	5,3	5,5	
Venstre hjulspor	6,2	6,3	
Venstre kant	7,1	7,15	

Tabell 70: Distanse for målepunkt fra bankett i måletidspunktene 11. til 16. januar i 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

650 m		Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
Løp	Punkt	11.01.2019	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	16.01.2019
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Øst	Kant	0,18	0,45	0,4			
Øst	Hjulspor			1,45			
Øst	Mellom hjulspor			2,3			
Vest	Kant	0,18	0,45	0,43			
Vest	Hjulspor			1,45			
Vest	Mellom hjulspor			2,28			

1250 m		Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
Løp	Punkt	11.01.2019	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	16.01.2019
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Øst	Kant	0,18	0,45	0,4			
Øst	Hjulspor			1,18			
Øst	Mellom hjulspor			1,95			
Vest	Kant	0,18	0,45	0,45	0,48	0,45	
Vest	Hjulspor				1,38	1,3	
Vest	Mellom hjulspor				2,2	2,37	

1850 m		Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5	Dag 6
Løp	Punkt	11.01.2019	12.01.2019	13.01.2019	14.01.2019	15.01.2019	16.01.2019
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Øst	Kant	0,18	0,45	0,35			
Øst	Hjulspor			1,18			
Øst	Mellom hjulspor			2,05			
Vest	Kant	0,18	0,45	0,44			
Vest	Hjulspor			1,29			
Vest	Mellom hjulspor			2,14			

Tabell 71: Distanse for målepunkt fra bankett i måletidspunktene 14., 16., 18., 20. og 29. juni og 1. og 3. juli 2019 ved alle prøvepunkter og begge løp

650 m		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt	14.06.2019	16.06.2019	18.06.2019	20.06.2019	29.06.2021	01.07.2019	03.07.2019
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Øst	Kant	0,43						
Øst	Hjulspor	1,44						
Øst	Mellom hjulspor	2,27						
Vest	Kant	0,41						
Vest	Hjulspor	1,6						
Vest	Mellom hjulspor	2,4						

1250 m		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt	14.06.2019	16.06.2019	18.06.2019	20.06.2019	29.06.2021	01.07.2019	03.07.2019
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Øst	Kant	0,41						
Øst	Hjulspor	1,07						
Øst	Mellom hjulspor	1,86						
Vest	Kant	0,42						
Vest	Hjulspor	1,16						
Vest	Mellom hjulspor	2,04						

1850 m		Dag 1	Dag 3	Dag 5	Dag 7	Dag 9	Dag 11	Dag 13
Løp	Punkt	14.06.2019	16.06.2019	18.06.2019	20.06.2019	29.06.2021	01.07.2019	03.07.2019
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Øst	Kant	0,36						
Øst	Hjulspor	1,07						
Øst	Mellom hjulspor	1,9						
Vest	Kant	0,45						
Vest	Hjulspor	1,18						
Vest	Mellom hjulspor	2,07						



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47)22073000
firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag