

Rapport nr.: 2004.037		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Vegstøv i Trondheim - En analyse av mineralinnholdet i svevestøvet.			
Forfatter: Eyolf Erichsen, Henrik Schiellerup, Håvard Gautneb, Rolf Tore Ottesen og Maarten Broekmans		Oppdragsgiver: Trondheim byteknikk og NGU.	
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Trondheim	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 73 Kartbilag:	Pris: 330,-
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 20.09.2004	Prosjektnr.: 2633.17	Ansvarlig:
<p><b>Sammendrag:</b></p> <p>Svevestøv har siden slutten på 1980 tallet blitt fokusert på som et miljøproblem i norske storbyer, spesielt i Trondheim. Etter et møte i regi av Trondheim kommune i desember 2002, ble det uttrykt ønske om å få nærmere vurdert om det kan være noen årsakssammenheng mellom den støvkonsentrasjonen som opptrer langs hovedvegnettet i Trondheim i forhold til vegslitasje, asfaltresept som benyttes, kvalitet på tilslaget, bruk av salt og eventuelt klimaforskjeller med for eksempel Oslo området.</p> <p>NGU's bidrag til bedre forståelse av svevestøvproblematikken har vært å få dokumentert svevestøvetts innhold både organisk og mineralogisk. Derigjennom kan man få fastlagt om støvets mineralinnhold kan relateres til vegslitasjen. I tillegg har NGU utført en metodestudie for å kartlegge om salting har negativ betydning i form av økt slitasje på selve steinmaterialet som benyttes som tilslag i asfaltresepter i Trondheimsområdet.</p> <p>Resultatene viser at innsamlet svevestøv i Trondheim domineres av mineralsk materiale. Det er klare indikasjoner på at støvet stammer fra slitasjeprodukter av tilslagsmateriale som er benyttet i asfaltdekket.</p> <p>Det er naturlig å anta at grovtilslaget (&gt; 8mm), som det gjerne er mest av i asfaltresepten, har størst innflytelse på svevestøvetts mineralsammensetning. Om og i hvilken grad fintilslaget (&lt; 8mm) har innflytelse for svevestøvetts mineralinnhold har, pga. tilslagsammensetningen i de undersøkte asfaltreseptene, ikke vært mulig å kartlegge i detalj. Resultatene fra Elgeseter viser at alt tilslagsmateriale i asfaltresepten kan spores i svevestøvet.</p> <p>Det er påvist PCB i en asfaltkjerne prøvetatt ved Elgeseter. Nivået på PCB er lavt og representerer ingen helserisiko, men denne stoffgruppen har vært forbudt siden 1980. PCB-komponentene som er påvist har ukjent opprinnelse. Funnene av PCB bør resultere i økt kjemisk fokus på asfaltprodukter og at det rutinemessig bør utføres analyser på resirkulerte asfaltmasser.</p> <p>Støv fra feiemaskiner inneholder noe mer PAH-komponenter enn i asfalten. Kildene for PAH komponentene i feiestøvet er vegdekket (bindemiddelet i asfalt), dekkslitasje, bremsebelegg, eksosutslipp og vedfyring. Små mengder toluen er påvist i støvet. Svevestøvetts metallinnhold er karakterisert av sink, kobber og arsen som sannsynligvis stammer fra dekkslitasje.</p> <p>Et metodestudium viser at det ikke er noen indikasjon på at salting av vegdekker medfører noen ekstra slitasje på de tre vanligste tilslagsmaterialene som benyttes i Trondheimsområdet.</p>			
Emneord: Bergarter	Mineraler	Asfalt	
Vegslitasje	Svevestøv	Miljøanalyser	

## INNHOOLD

1.	INNLEDNING .....	5
2.	KONKLUSJON .....	6
3.	BAKGRUNN.....	8
4.	PRØVELOKALITETER, PRØVEMEDIUM OG ANALYSEMETODER .....	8
5.	VEGDEKKETS POTENSIAL FOR PRODUKSJON AV MINERALOGISK STØV .....	11
5.1	Asfaltresepter .....	11
5.2	Tynn- og planslip av bergarter og asfaltkjerner .....	13
5.3	Teoretisk beregning av potensialet for mineralsk støv i asfalten .....	16
5.4	Kjemisk/organisk analyse av asfaltkjerner .....	17
5.5	Ekstrahert materiale fra asfaltkjerner .....	20
5.6	Kunstig produsert støv med Trøger apparat .....	20
5.6.1	SEM analyse av kunstig produsert støv .....	20
5.6.2	Billedanalyse av kunstig produsert støv.....	21
6.	ANALYSERESULTATER AV INNSAMLET SVEVESTØV .....	25
6.1	Støvbøtter .....	25
6.1.1	Innsamling og prøvepreparering .....	25
6.1.2	Problemer og feilkilder .....	27
6.1.3	SEM analyse av innsamlet og filtrert svevestøv .....	27
6.1.4	Billedanalyse av innsamlet og filtrert svevestøv .....	30
6.2	Filterprøver .....	33
6.2.1	Kjemisk analyse av støv.....	33
6.3	Støv fra feiemaskiner .....	34
7.	EFFEKTEN AV SALTING PÅ SLITASJE AV STEINMATERIALE – ET METODESTUDIUM .....	37
7.1	Problemstilling .....	37
7.2	Gjennomføring .....	37
7.3	Resultater .....	38
7.4	Vurderinger .....	40
8.	SAMLET VURDERING AV RESULTATENE .....	42
8.1	Feilkilder .....	42
8.2	Plan- og tynnslip av asfaltkjerner / asfaltresept – avvik i tilslagssammensetningen .....	42
8.3	Hvor kommer det mineralske støvet fra ? .....	44
8.4	Tilslagsmaterialets betydning ved vegslitasje .....	47
8.5	Tiltak for å redusere svevestøv ved vegslitasje .....	54
8.6	Vurdering av organiske analyser .....	55
9.	FORSLAG TIL VIDEREFØRING AV STØVPROSJEKTET.....	56
10.	REFERANSER.....	58

## **VEDLEGG**

- Vedlegg 1 Tynnslipanalyse av bergartsmateriale som er benyttet i asfaltdekker i Trondheimsområdet.
- Vedlegg 2 Tynnslipanalyse av asfaltkjerner.
- Vedlegg 3 Røntgendiffraksjon (XRD).
- Vedlegg 4 Analyse av ekstrahert materiale fra asfaltkjerner
- Vedlegg 5 Scanning elektron mikroskopi (SEM) og energidispersiv røntgenspektrometri (EDS).
- Vedlegg 6 Billedanalyse.
- Vedlegg 7 Forbrenningsanalyse (TOC).
- Vedlegg 8 XRD analyse av støv fra feiemaskiner.

## 1. INNLEDNING

Svevestøv har siden slutten på 1980 tallet blitt fokusert på som et miljøproblem i norske storbyer, spesielt i Trondheim. Senere har også problemet blitt rapportert i flere andre nordiske land [1]. I forhold til trafikkmengden i Norden er støvkonsentrasjonen høy sammenliknet med trafikk tettheten i andre større byer i det øvrige Europa og USA. Årsaken er den store vegslitasjen i Norden som følge av bruk av piggdekk i vintersesongen.

Årsaken til svevestøv var tidligere oppfattet å være knyttet til dannelsen av sot (organisk materiale) fra fyring, avgass fra vegtrafikken, slitasjeprodukter fra bitumen og gummidekk pluss langtransportert materiale. Dette anses fortsatt å være hovedårsaken til svevestøvet i de største byene i verden. I flere undersøkelser i Norden derimot, er det dokumentert at svevestøvet, spesielt i de støvrige periodene, har en høyere mineralogisk andel i forhold til det organiske innholdet. Dette kan sannsynligvis relateres til slitasje av tilslagsmaterialet (steinprodukter) i vegdekket. [2-8].

Nasjonale mål til svevestøv [9] samt innføring av nye EU krav til luftkvalitet [10] tar høyde for en støvkonsentrasjon som kan medføre at kommuner, som bl.a. Trondheim, må ty til omfattende tiltak for å unngå at grenseverdiene overskrides.

## 2. KONKLUSJON

### VEGSTØV

Innsamlet svevestøv i Trondheim domineres av mineralsk materiale. Det er klare indikasjoner på at støvet stammer fra slitasjeprodukter av tilslagsmateriale som er benyttet i asfaltdekket.

Bruk av SEM har vist seg som et nyttig verktøy ved analyse av mineralinnholdet i svevestøvet. Trøger kan benyttes for å lage støv kunstig, men innsamling av svevestøv langs vegbanen, eventuelt fra forsøk i en ringbane, vil fortsatt være nødvendig som et korrektiv.

Prøvepreparering med støv produsert av Trøger apparatet og filtrering av innsamlet svevestøv er kritisk og kan påvirke resultatene ved kvantifisering og bedømmelse av kornform og kornfordeling av støvet. Kunstig produsert støv med Trøger apparatet gir en mineralsammensetning som er i rimelig samsvar med mineralinnholdet i tilslagsmaterialer som er benyttet i asfaltresepten. Kornfordelingen og kornformen i "Trøger støvet" er ikke i samsvar med innsamlet og filtrert svevestøv.

Plan- og tynnslip av asfaltkjerner er et nyttig støttemiddel ved analyse og tolking av potensialet for svevestøv ved slitasje av vegbanen. I tillegg får man annen nyttig informasjon for å anskueliggjøre og forklare nedbrytingsprosesser av vegdekker, samt at analysemetoden gir en kontroll av asfaltresepten. Metoden kan benyttes til kvalitetskontroll av asfaltresepten.

Det er naturlig å anta at grovtilslaget (> 8mm), som det gjerne er mest av i asfaltresepten, har størst innflytelse på svevestøvet mineralsammensetning. Om og i hvilken grad fintilslaget (< 8mm) har innflytelse for svevestøvet mineralinnhold har, pga. tilslagssammensetningen i de undersøkte asfaltreseptene, ikke vært mulig å kartlegge i detalj. Resultatene fra Elgeseter viser at alt tilslagsmateriale i asfaltresepten kan spores i svevestøvet.

### MILJØGIFTER I ASFALTDEKKE/VEGSTØV

Det er påvist PCB i en asfaltkjerne prøvetatt ved Elgeseter. Nivået på PCB er lavt og representerer ingen helserisiko, men denne stoffgruppen har vært forbudt siden 1980. PCB-komponentene som er påvist har ukjent opprinnelse.

Funnene av PCB bør resultere i økt kjemisk fokus på asfaltprodukter og at det rutinemessig bør utføres analyser på resirkulerte asfaltmasser.

Støv fra feiemaskiner inneholde noe mer PAH-komponenter enn selve asfalten. Kildene for PAH komponentene i feiestøvet er vegdekket (bindemiddelet i asfalt), dekkslitasje, bremsebelegg, eksosutslipp og vedfyring. Små mengder toluen er påvist i støvet.

Svevestøvet metallinnhold er karakterisert av sink, kobber og arsen som sannsynligvis stammer fra dekkslitasje.

### EFFEKT AV SALTING

Et metodestudium viser at det ikke er noen indikasjon på at salting av vegdekker medfører noen ekstra slitasje på de tre vanligste tilslagsmaterialene som benyttes i Trondheimsområdet.

Hvis metodestudier er reelt i forhold til det som skjer på vegen ved salting, vil en eventuell økt slitasje av vegbanene pga. salting være et resultat av eventuelle reaksjoner ved at salt trenger inn langs kontaktflaten mellom bitumen og steintilslaget, eventuelt langs sprekker som genereres i tilslaget over tid på grunn av slagbelastning fra vegtrafikken.

### 3. BAKGRUNN

I regi av Trondheim kommune ble det 17.12.2002 arrangert et møte om vegstøv og støvproblematikk i Trondheimsområdet. Gjennom Trondheim Bydrift har kommunen spesifisert strenge krav til steinkvaliteten i *grovfraksjonen* for asfaltdekker lagt på E6 gjennom Holtermannsveien. Kommunen ønsker å få nærmere vurdert om det kan være noen årsakssammenheng mellom den støvkonsentrasjonen som opptrer langs hovedvegnettet i Trondheim i forhold til vegslitasje, asfaltresept som benyttes, kvalitet på tilslaget både for den grove og den fine andelen, bruk av salt og eventuelt klimaforskjeller med for eksempel Oslo området. I tillegg til representanter fra flere kommunale enheter deltok NTNU/Sintef, NGU, Statens vegvesen, asfalt- og pukkprodusenter på møtet.

NGU's bidrag til bedre forståelse av svevestøvproblematikken er å få dokumentert støvets innhold både organisk og mineralogisk. Derigjennom kan man få fastlagt om støvets mineralinnhold kan relateres til vegslitasjen ved å sammenholde resultatet med mineralinnholdet (bergartssammensetningen) til *alt tilslagsmateriale* som benyttes i asfaltresepten. I tillegg ønsker NGU å utføre en metodestudie for å kartlegge om salting har negativ betydning i form av økt slitasje på selve steinmaterialet som benyttes som tilslag i asfaltresepter i Trondheimsområdet.

Analyseteknisk er det en utfordring å undersøke mineralinnholdet til så fine partikler som opptrer i svevestøv (< 10µm = 1/100 mm). Det ble derfor besluttet å gjennomføre et forprosjekt for å teste om "analyseverktøyet" fungerer for å kunne få dokumentert innholdet i svevestøvet. Trondheim kommune, NGU, NTNU og Statens vegvesen har deltatt i dette forprosjektet.

### 4. PRØVELOKALITETER, PRØVEMEDIUM OG ANALYSEMETODER

Innledningsvis (våren 2003) ble det lagt opp til et prøvetakingsprogram der hensikten var å samle materiale i tilknytting til etablerte miljøovervåkingsstasjoner langs hovedveinettet gjennom Trondheim (Elgeseter, Prinsen og Rosendal Øst/Vest) pluss en lokalitet langs E6-Omkjøringsveien (tabell 1, figur 1). Hensikten var i første rekke å sammenholde mineralinnholdet i svevestøvet, prøvetatt i utplasserte støvbøtter, med analyser av asfaltkjerner som ble tatt i vegbanen. I tillegg ble det tatt vare på andre "typer støvprøver" som filterprøver (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> og pumpe/filter) fra miljøstasjonen i Elgeseter samt materiale fra feiemaskiner.

**Tabell 1. Prøvemedium og prøvelokaliteter.**

Prøvemedium	Prøvelokaliteter				
	Elgeseter	Prinsen	Rosendal Øst	Rosendal Vest	Omkjøringsveien
Asfaltkjerner	x	x	x	x	x
Støvbøtter	x'	(x)	(x)	(x)	x'
Filterprøver	x				
Feiemaskin*	x	x	x	x	x

(x) – Innsamling våren 2003 gav for lite materiale for analysering. x' – Ny innsamling vinteren 2003 til våren 2004.

\* Innsamlet langs traseen Holtermannsveien, Elgeseter gate, Prinsens gate, Olav Tryggvasons gate og Innherredsveien.

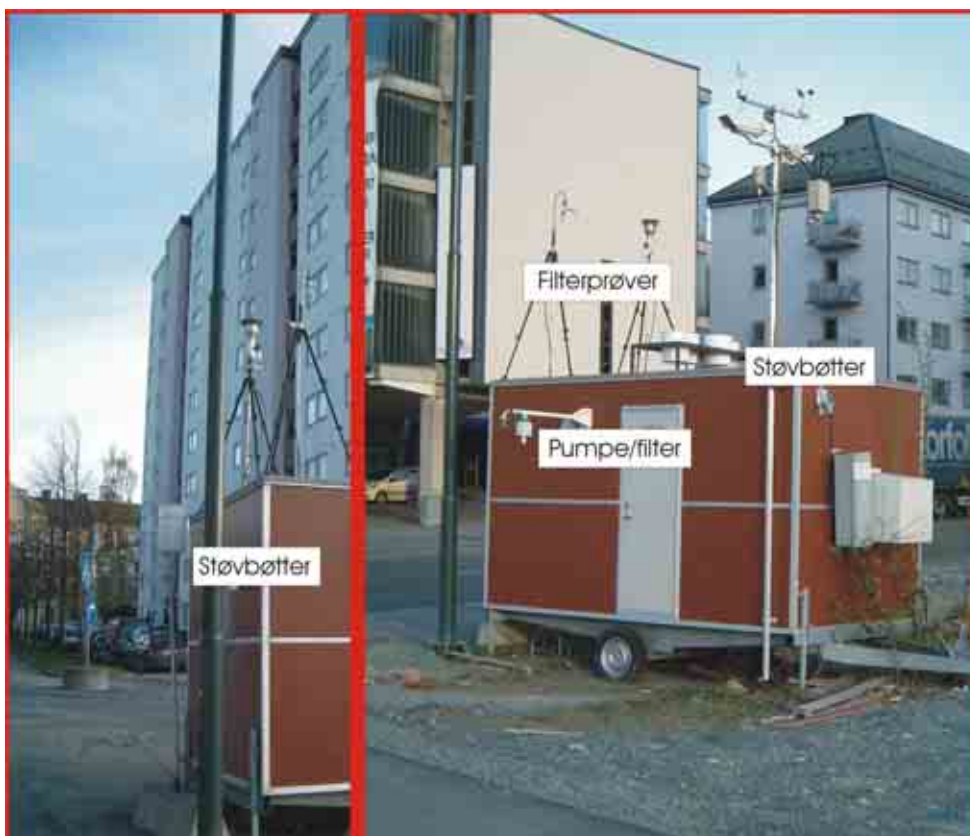


*Figur 1. Oversikt over prøvelokaliteter.*

Det ble boret ut asfaltkjerne for samtlige prøvelokaliteter 1.- 2. april 2003. I og med at det ble lagt nytt asfaltdekke langs Elgeseter sommeren 2003 ble det her tatt nye prøver den 22. april 2004. De sistnevnte kjerneprøvene ble tatt såpass sent for at det skulle opparbeide seg mest mulige slitasje i slitesporet.

I og med at innsamling av svevestøvet våren 2003 ble forsinket fikk man ikke tilstrekkelig med materiale i støvbøttene. Det ble dermed gjennomført en ny innsamlingsperiode av svevestøv kun ved miljøstasjonen ved Elgeseter og ved en lokalitet ved Omkjøringsveien. Det ble på nytt satt ut støvbøtter den 4. november 2003 med to bøtter for hver av lokalitetene. Lokaliteten ved Omkjøringsveien ble i løpet av januar 2004 flyttet et stykke mot sørvest, vis a vie Motor-Trade, pga. plasseringsproblem i forhold til snørydding. To bøtter forsvant fra målestasjonen ved Elgeseter i løpet av innsamlingsperioden og det ble derfor plasserte ut fem 10 liters spann på taket av miljøstasjonen (figur 2). Bøttene ble tømt jevnlig hver måned fram til 19. april 2004.





Figur 2. Miljøstasjonen ved Elgeseter.

Flere ulike analysemetoder er blitt benyttet for bl.a. å identifisere og karakterisere mineralinnholdet i svevestøvet og tilslaget i asfalten (tabell 2). Kjemiske/organiske analyser i både asfaltkjerne og filterprøve ble utført av Geolab Nor AS, Analytica og Tauw laboratories. Nærmere beskrivelse av analysemetodene er gitt i vedlegg 1-3 og 5-6. Det ble tatt digitale bilder (backscatter bilder) av svevestøvet, for bruk i et billedbehandlingsprogram der en kan utføre karakterisering av svevestøvet utseende og form og kornfordeling. Det er benyttet en spesiell prepareringsteknikk av tynnslip, fluorescensimpregnering, for bl.a. å registrere oppsprekking av tilslaget i asfalten.

I og med at det kun er tilgjengelig "støvbøtteprøver" fra Elgeseter og Omkjøringsveien er det i rapporten lagt hovedvekt på disse to prøvelokalitetene.

Tabell 2. Prøvemedium og analysemetoder.

Prøvemedium	Analysemetoder					
	Mikroskopi	Korn- fordeling	SEM	XRD	Billed- behandling	Kjemisk / organisk
<b>Asfaltkjerner</b>	x					x
- Trøger støv		x <sup>1</sup>	x	x	x	
- Ekstrahering				x		
<b>Støvbøtter</b>		x	x	x	x	x
<b>Filterprøver</b>						x
<b>Feiemaskin</b>		x		x		x

x<sup>1</sup> - Coulter analyseutført av NGU/NTNU

## 5. VEGDEKKETS POTENSIAL FOR PRODUKSJON AV MINERALOGISK STØV

### 5.1 Asfaltresepter

For Elgeseter ble strekningen ved prøvelokaliteten reasfaltert sommeren 2003 med følgende resept (tabell 3);

**Tabell 3. Asfaltresept for Elgeseter.**

Vegstrekning: Elgeseter		År: 2003	
Reseptnr.: 521002701		Entreprenør: NCC Roads AS	
Resept dato: 18.02.03	Dekketype: Ska 11	Blandeverk: Ranheim	
Tilslag	Forekomst	Sortering	Andel (vekt %)
Pukk – mylonitt	Ottersbo	8/11mm, knust	47
Pukk - grønnstein	Lia	0/11mm, knust	29
Grus/sand	Ekle	0/8mm, natursand	17
Filler – kalkstein	Tromsdal, Hylla	0/1mm, knust	7
Sum			100
Bindemiddel: B85	Annen tilsetning: Fiber (5%) og WETFIX N (0,3%)		

Ved uttak av borekjerner ble det observert innslag av enkelte bergartskorn med jaspis i den groveste sorteringen. Sannsynligvis har det vært noe restmateriale / "forurensing" i lagerhaugene, eventuelt i blandeverket, av denne bergarten, som er lett gjenkjennelig.

I Prinsensgate ved svømmehallen er følgende resept oppgitt (tabell 4);

**Tabell 4. Asfaltresept for Prinsens gate eventuelt også Rosendal.**

Vegstrekning:		År:	
Reseptnr.: 27940102		Entreprenør: Kolo-Veidekke	
Resept dato:	Dekketype: SKA 11	Blandeverk: Skjøla	
Tilslag	Forekomst	Sortering	Andel (vekt %)
Pukk – mylonitt	Ottersbo	8/11mm, knust	45
Pukk – mylonitt	Ottersbo	0/8mm, knust	30
Grus	Heggberget	0/11mm, knust	17
Filler - kalkstein	Tromsdal, Hylla		8
Sum			100
Bindemiddel: 70/100	Annen tilsetning: Fiber (5%) og AMIN (0,3%)		

Tilsvarende resept (tabell 4) kan også være benyttet ved Rosendal, men for denne strekningen er det knyttet noe usikkerhet med hensyn til resepten. Det er mulig at strekningen er blitt reasfaltert i ettertid. En alternativ resept for Rosendal kan være (tabell 5);

**Tabell 5. Asfaltresept for Rosendal.**

Vegstrekning: Rosendal		År: 1999	
Reseptnr.: 521002701		Entreprenør: Nodest Asfalt	
Resept dato:	Dekketype: SKA 11	Blandeverk: Ranheim	
Tilslag	Forekomst	Sortering	Andel (vekt %)
Pukk – mylonitt	Ottersbo	8/11mm, knust	58
Pukk – mylonitt	Ottersbo	0/8mm, knust	20
Grus	Søberg	0/8mm, naturgrus	14
Filler - kalkstein	Tromsdal, Hylla		8
Sum			100
Bindemiddel: B85		Annen tilsetning: Fiber (5%) og WETFIX N (0,3%)	

Ved befaring før uttak av asfaltkjerner ved Rosendal ble det registrert at det var benyttet forskjellige resepter for øst- og vestgående vegbane. I vegbanen inn mot byen (Rosendal vest) ble det observert innslag av en god del bergartskorn med jaspis i den grovest sorteringen. Begge kjøretninger, både den nærmest miljøstasjonen (Rosendal øst) og den inn mot byen, ble derfor prøvetatt ved uttak av asfaltkjerner.

For Omkjøringsveien ble strekningen Sluppen-Moholt asfaltert i 2001 med følgende resept (tabell 6);

**Tabell 6. Asfaltresept for Omkjøringsvegen.**

Vegstrekning: Sluppen-Moholt		År: 2001	
Reseptnr.: 521008311		Entreprenør: NCC Asfalt	
Resept dato: 08.06.01	Dekketype: No.chip16	Blandeverk: Ranheim	
Tilslag	Forekomst	Sortering	Andel (vekt %)
Pukk - jaspis	Halsetåsen	11/16mm, knust	35
Pukk - jaspis	Halsetåsen	8/11mm, knust	27
Grus	Søberg	0/8mm, naturgrus	13
Pukk - gabbro	Vassfjell pv.	0/4mm, knust	16
Pukk - gabbro	Vassfjell pv.	4/8mm, knust	7
Filler - kalkstein	-		2
Sum			100
Bindemiddel: Bitulastic		Annen tilsetning: WETFIX N (0,9%)	

## 5.2 Tynn- og planslip av bergarter og asfaltkjerner

Det er utført tynnslipanalyse av bergartsmateriale som benyttes som både grov- (> 8mm) og fintilslag (< 8mm) i asfaltdekker i Trondheimsområdet (tabell 7).

**Tabell 7. Mineralinnhold i volum % av tilslagsmaterial (pukk) som benyttes i Trondheimsområdet.**

Mineralinnhold	Lokalitet/bergart			
	Ottersbo* mylonitt	Vassfjellet gabbro	Lia Pukkverk grønnstein	Halsetåsen jaspis
<b>Kvarts</b>	25	10	5	<b>98</b>
<b>Plagioklas</b>	40	35	30	-
<b>K-feltpat</b>	10	tr	5	-
<b>Pyroksen</b>	-	tr	tr	-
<b>Amfibol</b>	2	<b>40</b>	<b>50</b>	-
<b>Glimmer/illitt</b>	3	tr	tr?	-
<b>Kloritt</b>	<b>10</b>	3	5	tr
<b>Epidot/klinozoisitt</b>	<b>10</b>	9	5	-
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	tr	3	tr	-
<b>Annet</b>	-	-	-	2
<b>Aksessorisk</b>	apatitt, allanitt	titanitt, magnetitt, apatitt	opak, allanitt, titanitt, apatitt	sideritt, pyritt, leukoksen
<b>SUM</b>	100	100	100	100

\*Basert på geokjemiske data (Broekmans 2002; upublisert), samt tynnslipanalyse.

tr – spor mineral som opptrer < 1%.

Nærmere tynnslipanalyse av tilslagsmateriale er gitt i vedlegg 1. Karakteristiske trekk som skiller de ulike bergartene fra hverandre er at jaspis består av stort sett ren kvarts. Mylonitten har et høyt innhold med kloritt, til dels epidot som opptrer med varierende mengde og er ofte konsentrerte innenfor bestemte partier i bergarten. Gabbro og grønnstein er de eneste bergartene som inneholder amfibol. Gabbro og grønnstein er for øvrig vanskelig å skille ut fra kun mineralinnhold.

Det er også utført tynnslipanalyse og analyse av planslip av selve asfaltkjernene (figur 3) med prosentvis anslag over bergartsinnhold (tabell 8) og angivelse av observerte mineraler (tabell 9). I asfaltreseptene (kap. 5.1) er det benyttet varierende innblanding med grus fra forekomstene ved Søberg, Ekle eller Heggberget. Disse består av materiale som er angitt med bergartsbetegnelsene sand/siltstein/ ryolitt eller kvartsitt/gneis og annet eller "løst finstoff".

**Tabell 8. Mikroskopering av asfaltkjerner – Bergartsinnhold i volum %.**

Bergartsinnhold	Prøvelokaliteter									
	Elgeseter		Prinsen		Rosendal Øst		Rosendal Vest		Omkjøringsveien	
	Grov	Fin	Grov	Fin	Grov	Fin	Grov	Fin	Grov	Fin
<b>Mylonitt/katakl.</b>	49	20	90	80	90	45	70	60	-	80
<b>Gabbro/grønnstein</b>	49	65	5	tr	5	30	15	20	-	5
<b>Jaspis</b>	0	tr	0	tr	1	-	25	-	100	-
<b>Sand/siltstein/ryolitt</b>	0	5	2	10	2	15	-	tr	-	5
<b>Kvartsitt/gneis</b>	2	5	3	5	2	5	-	10	-	-
<b>Annet</b>	tr	tr	0	2	-	5	-	10	-	-
<b>Løst finstoff</b>	-	5	-	3	-	tr	-	tr	-	10
<b>Sum</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Grov – tilslag > ca. 8mm, Fin – tilslag < ca. 8mm, tr – spor mineral som opptrer < 1%.

**Tabell 9. Mikroskopering av asfaltkjerner – Observerte mineraler.**

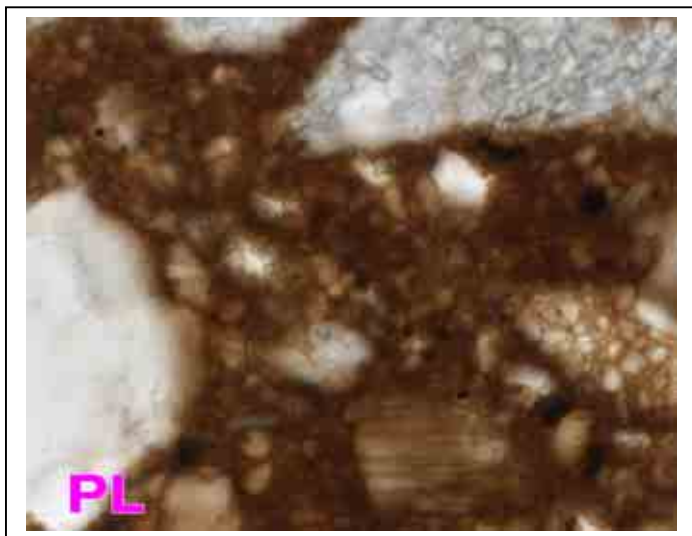
Observerte mineraler	Prøvelokaliteter									
	Elgeseter		Prinsen		Rosendal Øst		Rosendal Vest		Omkjøringsveien	
	Grov	Fin	Grov	Fin	Grov	Fin	Grov	Fin	Grov	Fin
<b>Kvarts (subkornet)</b>	X	x	X	X	X	X	X	X	-	X
<b>Kvarts (klastisk)</b>	-	x	tr	x	x	tr	-	x	-	x
<b>Kvarts (jaspis)</b>	-	-	-	-	tr	-	X	-	X	-
<b>Plagioklas</b>	x	X	x	x	tr	x	x	x	-	X
<b>K-feltspat</b>	x	x	X	X	x	x	x	x	-	-
<b>Pyroksen</b>	tr	-	-	-	-	tr	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	x	tr	-	x	tr	x	-	tr
<b>Biotitt/muskovitt</b>	x/x	tr	-	tr	tr	-	-	tr	-	-
<b>Kloritt/talk</b>	X/x	X/tr	tr	-	tr	tr	tr	-	-	tr
<b>Epidot-familie</b>	x	x	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	x/?	X	tr	x	tr	x	tr	tr	-	tr
<b>Flyveaske</b>	-	x	-	x	-	x	-	x	-	x
<b>Fiber</b>	-	x	-	x	-	x	-	x	-	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	x	tr	tr	tr	-	tr	-	tr	tr	tr

Grov – tilslag > ca. 8mm, Fin – tilslag < ca. 8mm, X=nye, x=noe, tr – spor mineral som opptrer < 1%.



*Figur 3. Planslip fra asfaltkjerne fra Elgeseter nylagt i 2003. To markerte lag er synlig i planlys. Diameter på kjernen er 75mm.*

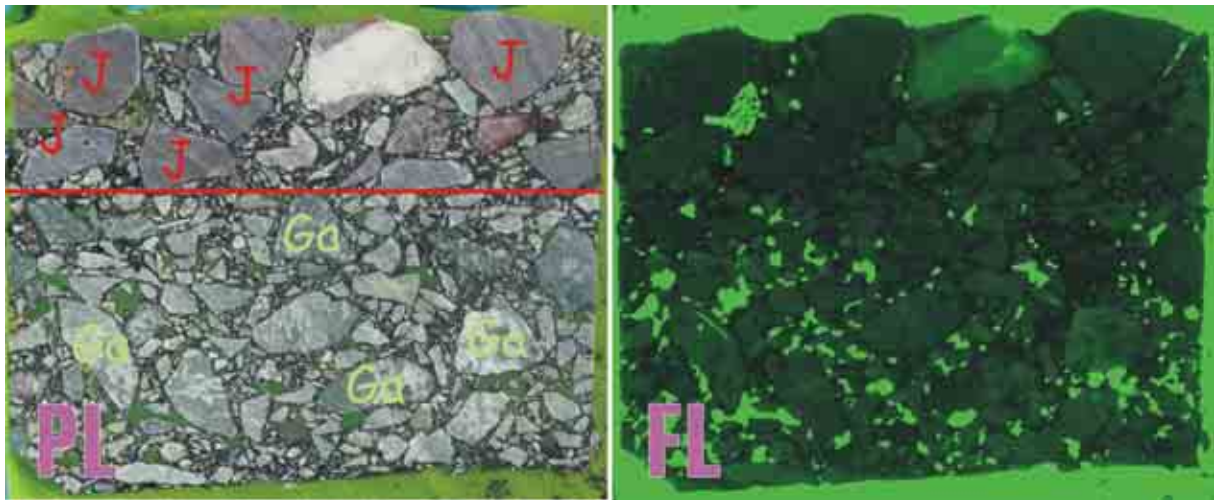
Nærmere analyse av asfaltkjernene er gitt i vedlegg 2. I tillegg til tilslagsmateriale og bindemiddel er det i asfaltkjernene, med unntak for Omkjøringsveien, observert organisk materiale. Bindemiddelet inneholder dessuten en viss mengde flygeaskepartikler (figur 4), samt at det opptrer en del metalliske partikler, muligens fra slitasje av produksjonsutstyret fra asfaltverket og/eller fra knuse-/sikteverket ved foredling av tilslagsmaterialet.



*Figur 4. Flygeaske som kuleformede partikler fra asfaltkjerne fra Rosendal, vestgående spor.*

Bildebredde ca. 0.133mm

Impregnerte planslip viser under fluorescens at asfalten for enkelte resepter inneholder mange hulrom (figur 5). På grunn av prepareringsmetoden er det kun hulrom som er "åpne" og som er tilgjengelig fra kjernens overflate som blir impregnerte med epoksy.



Figur 5. Planslip av asfaltkjerner fra Omkjøringsveien, planlys (PL) og fluorescens (FL). Grovtilslag i øvre dekke består av en rødlig jaspis (J), mens gabbro (Ga) utgjør grovandelen i underliggende dekke. Åpne hulrom framkommer tydelig i fluorescens. Diameter på kjernen er 75mm.

### 5.3 Teoretisk beregning av potensialet for mineralisk støv i asfalten

I og med at prosentvis innhold av tilslagsmaterialer i asfaltresepten (tabell 3 og 6) og mineralinnholdet for bergartene som inngår i resepten (tabell 7) er kjent, er det beregnet hvilke og hvor mye det er av de ulike mineralene totalt. Dette "potensialet for mineralisk støv" er beregnet for henholdsvis Elgeseter og Omkjøringsveien (tabell 10).

**Tabell 10. Potensialet for mineralisk støv i asfaltresepten i volum %.**

Mineraler	Elgeseter	Omkjøringsveien
Kvarts	21	67
Feltspat	38	12
Epidot	7	3
Kloritt	6	1
Amfibol	18	12
Karbonat	7	3
Andre mineraler	3	2
Sum	100	100

Det er også tatt hensyn til innholdet med grus. Bergartsinnholdet for tilslag fra grusforekomstene Søberg og Ekle er tidligere analysert av NGU (tabell 11 og 12). Mineralandelen er beregnet ut fra mineralinnholdet for hver enkelt bergart veid i forhold til prosentvis andel av bergarten i forekomsten.

**Tabell 11. Bergarts-/mineralinnholdet for grusforekomsten Søberg i volum %.**

Ba innhold	Andel	Kvarts	Plagioklas	Kalifeltspat	Amfibol	Kloritt	Epidot	Kalsitt	Glimmer	Sum
Gabbro	5	0,5	1,8	-	2,0	0,2	0,5	0,2	-	5
Amfibolitt	6	0,3	2,2	-	2,1	0,2	0,6	-	0,6	6
Kvartsitt	7	6,3	-	-	-	-	-	-	0,7	7
Rhyolitt	8	2,6	3,4	-	-	0,2	0,7	0,2	0,8	8
Gneisgranitt	22	5,3	12,1	-	1,5	0,7	0,4	-	2,0	22
Grønnstein	25	1,3	7,5	1,3	12,5	1,3	1,3	-	-	25
Skifer	27	10,8	5,4	-	1,9	0,8	2,7	-	5,4	27
	100	27,1	32,3	1,3	20,0	3,3	6,2	0,4	9,5	100,0

**Tabell 12. Bergarts-/mineralinnholdet for grusforekomsten Ekle i volum %.**

Ba innhold	Andel	Kvarts	Plagioklas	Kalifeltspat	Amfibol	Kloritt	Epidot	Kalsitt	Glimmer	Sum
Gabbro	6	0,6	2,1	-	2,4	0,2	0,5	0,2	-	6
Kvartsitt	36	32,4	-	-	-	-	-	-	3,6	36
Rhyolitt	1	0,3	0,4	-	-	-	0,1	-	0,1	1
Gneisgranitt	25	6,0	13,8	-	1,8	0,8	0,5	-	2,3	25
Grønnstein	22	1,1	6,6	1,1	11,0	1,1	1,1	-	-	22
Skifer	10	4,0	2,0	-	0,7	0,3	1,0	-	2,0	10
	100	44,4	24,9	1,1	15,9	2,4	3,2	0,2	8,0	100,0

#### 5.4 Kjemisk/organisk analyse av asfaltkjerner

Asfaltkjernen fra Elgeseter (prøvetatt 22. april 2004) ble boret helt ned til bærelaget og består av 2 distinkte lag (figur 3). Det øvre laget og to sjikt i det nedre laget er analysert mht. PAH, NPD og PCB. De kjemiske analysene er utført i henhold til Geolab Nor prosedyrer LAB 2802: "Soxtec ekstraksjon av ikke-flyktige og delvis flyktige komponenter i fastmateriale som jord, sediment, slam og fast avfall", LAB 2804: "GC-MS analyse av organiske komponenter fra ekstrakter", og LAB 2818 "GC-MS analyse av PCB fra ekstrakter". I tillegg er prøvene analysert ved full scan GC-MS for å detektere siloxaner, n-alkaner, triterpaner og triaromatiske steraner, dibenzofuran, bifenyler, fluorantener, benzofluorener, benzonaphthathioner, klor/klorbenzen, kloroform, klorfenol, heksaklorbenzener og phtalater. BTEX analysen av asfalt er utført av Analytica. Metoden brukt er GC-FID/GC-MS.

Resultatene for kjemisk analyse av bindemiddelet i asfaltprøvene (tabell 13-17) viser:

- Det er lave konsentrasjoner av alle de påviste organiske miljøgiftene i asfalt.
- Det er påvist lave konsentrasjoner av PCB-komponenter i det øverste asfaltlaget (figur 3) samt i det nederste sjiktet i det nederste laget av asfaltkjernen.
- Innholdet av PAH komponenter er høyest i det nederste sjiktet i det nederste laget av asfaltkjernen (figur 3).
- Innholdet av NPD komponenter viser liknende fordeling
- Innholdet av BTEX i prøvene er under lavt (under påvisningsgrensen for den benyttede analysemetoden).
- GC-MS Full Scan metoden antyder funn av siloxaner, n-alkaner, triterpaner/triarosteraner, **dibenzofuran**, bifenylyl, fluorantener, benzofluorener, benzonaphthathioner, og **phtalater**.



**Tabell 13. Innhold av PAH-komponenter i asfalt fra Elgeseter gate.**

PAH komponent	Øvre asfaltlag µg/kg	Øvre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg	Nedre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg
Naphtalene	8,48	11,14	60,35
Phenantrheene	60,16	131,98	207,37
Acenaphthylene	8,78	12,80	44,00
Acenaphtene	1,33	0,76	2,21
Fluorene	1,84	3,12	33,18
Antracene	5,93	7,60	25,36
Fluoranthene	32,09	76,09	124,35
Pyrene	54,02	171,04	203,54
Benzo(a)anthracene	18,28	49,29	67,88
Chrycene	107,13	352,40	380,89
Benzo(b)fluoranthene	44,45	102,91	100,69
Benzo(k)fluoranthene	8,81	13,26	20,36
Benzo(a)pyrene	47,27	66,57	89,29
Benzo(ghi)perylene	93,49	87,72	103,28
Indeno(123cd)pyrene	19,00	26,26	31,58
Dibenzo(ah)anthracene	14,87	22,09	25,24
Sum PAH-16	525,94	1135,02	1519,59

µg/kg – mikrogram per kilogram.

**Tabell 14. Innhold av NPD-komponenter i asfalt fra Elgeseter gate.**

NPD komponent	Øvre asfaltlag µg/kg	Øvre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg	Nedre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg
Naphtalene	10,16	17,13	62,27
C1-Naphtalene	21,25	18,54	144,56
C2-Naphtalene	113,61	135,17	309,83
C3-Naphtalene	369,66	511,57	912,23
Phenanthrene	36,96	142,01	237,40
C1-Phenanthrene	289,62	1827,14	1856,12
C2-Phenanthrene	1619,11	12361,85	11630,12
C3-Phenanthrene	1683,61	13776,22	13398,55
Dibenzothiophene	11,38	41,23	57,4
C1-Dibenzothiophene	168,93	911,49	938,92
C2-Dibenzothiophene	1556,80	11045,52	10919,58
C3-Dibenzothiophene	3350,80	25341,25	23941,04
Sum NPD	9231,64	66129,12	64408,10

µg/kg – mikrogram per kilogram.

**Tabell 15. Innholdet av PCB komponenter i asfalt fra Elgeseter gate.**

PCB komponent	Øvre asfaltlag µg/kg	Øvre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg	Nedre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg
PCB 28	0,00	0,00	0,00
PCB 52	0,00	0,00	0,52
PCB 101	0,00	0,00	0,96
PCB 118	0,00	0,00	0,80
PCB 138	1,64	0,00	1,53
PCB 153	1,19	0,00	2,29
PCB 180	1,69	0,00	3,60
Sum PCB 7	4,52	0,00	9,70

µg/kg – mikrogram per kilogram.

**Tabell 16. Innholdet av BTEX-komponenter i asfalt fra Elgeseter gate.**

BTEX komponent	Øvre asfaltlag mg/kg	Øvre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg	Nedre sjikt i nedre asfaltlag µg/kg
Benzen	<0,01	<0,01	<0,01
Toluen	<0,05	<0,05	<0,05
Etylbenzen	<0,05	<0,05	<0,05
m/p-Xylen	<0,05	<0,05	<0,05
o-Xylen	<0,05	<0,05	<0,05

mg/kg – milligram per kilogram.

**Tabell 17. GC-MS Full Scan antydninger.**

GC-MS Full Scan Komponenter	Øverste asfaltlag		Øvre sjikt i nedre asfaltlag		Nedre sjikt i nedre asfaltlag	
	Spor	Tydlig topp	Spor	Tydlig topp	Spor	Tydlig topp
Siloxaner	X		X		X	
n-alkaner	X		X		X	
Triterpaner/triaarosteraner	X		X		X	
Dibenzofuran			X		X	
Biphenyler			X		X	
Fluorantener	X					
Benzofluorener			X		X	
Benzonaphthathiofener	X		X		X	
Klor-komponenter						
Heksaklorbenzen						
Phtalater	X		X		X	

x – observert.

De påviste konsentrasjonene av organiske miljøgifter representerer ingen helserisiko. Dibenzofuran kan dannes ved ulike forbrenningsprosesser. Phtalatene er mykegjørere. Siloxanene er vannavstøtende. Det bindemiddelet som brukes i asfalt er basert på bitumen. PAH finnes i asfalt som fremstilles av tyngre fraksjoner av råoljedestillater. Det er påvist spor av voks (n-alkaner). Disse forbindelsene forekommer naturlig i bitumen. Biphenyl forekommer også i råolje.

Det er påvist PCB i to av asfaltlagene. Konsentrasjonene er lavere enn normverdien for ren jord (10 µg/kg).

## 5.5 Ekstrahert materiale fra asfaltkjerner

Statens vegvesen har utført ekstraksjonsanalyse (Strassentest [11]) for 4 av asfaltkjernene. Korngraderingen og bindemiddelinnholdet er bestemt. Tilslagsmaterialet er blitt siktet og enkelt fraksjoner (< 60, 60-150, 150-250, 250-500 og 500-1000 $\mu$ m) er blitt benyttet for XRD analyse (vedlegg 3). Resultatene er gitt i vedlegg 4.

## 5.6 Kunstig produsert støv med Trøger apparat

Produksjon av støv med Trøger apparat ble utført som en egen prosjektoppgave, Eksperter i team, ved NTNU [12] for tre av prøvelokalitetene (Elgeseter, Prinsen og Omkjøringsveien). Det kunstige produserte støvet ble innsamlet ved bruk av en støvsuger påmontert et filter. Graderingen på filtrerne som ble benyttet er ikke oppgitt, men kornstørrelsesfordelingen for de filtrerte prøvene for de tre lokalitetene (Coulteranalyse) viser liten innbyrdes forskjell med andel støv < 10 $\mu$ m rundt 40% [12]. For Elgeseter ble det for Trøger testen benyttet en asfaltkjerne som ble prøvetatt den 1-2.april 2003, og ikke den sist kjernen som ble prøvetatte som er mer representativ for svevestøvet innsamlet i støvbøttene. Studier av tynn- og planslip av asfaltkjernene viser dog at bergarts- og mineralinnholdet er det samme for den "gamle" og den "nye" resepten som er benyttet. Mineralinnholdet er av NGU analysert med både XRD og SEM (vedlegg 4). Prøven analysert med SEM ble også benyttet for billedanalyse (vedlegg 5) for å studere kornstørrelsesfordeling og kornform på det produserte støvet.

### 5.6.1 SEM analyse av kunstig produsert støv

Det filtrerte støvet produsert med Trøger apparatet ble støpt inn i epoksy og for to av lokalitetene, Omkjøringsveien og Elgeseter, analysert med SEM-EDS (energi-dispersiv røntgenspektro-metri) (vedlegg 5). Backscatter bilder (BSE - tilbakesprettede elektroner) ble viderebearbeidet i billedanalyseprogram og data sammenholdt med tilsvarende analyser av innsamlet og filtrert (< 10 $\mu$ m) svevestøv fra de samme lokalitetene (kap. 6.1.1). For både Trøger prøver og prøver av innsamlet svevestøv ble det analysert mellom 350 og 500 korn innenfor et gitt område. Alle korn innenfor disse områdene ble analysert og forsøkt identifisert med støtte i tynnslip, planslip, XRD-data (vedlegg 3) og oppgitte asfaltresepter.

Filtrert støv produsert med Trøger apparatet fra Omkjøringsveien (tabell 18), utplassert ved Motor-Trade, domineres av kvarts (45%), i overensstemmelse med dominansen av jaspis i asfaltresepten. Prøven har et lavt glimmerinnhold, men er relativ rik (>10%) på Fe-Ti oksider (hematitt er et vanlig mineral i jaspis). Karbonat (filler) utgjør omkring 5%, mens resten av prøven består av feltspater og forskjellige ferro-magnesiske silikater.

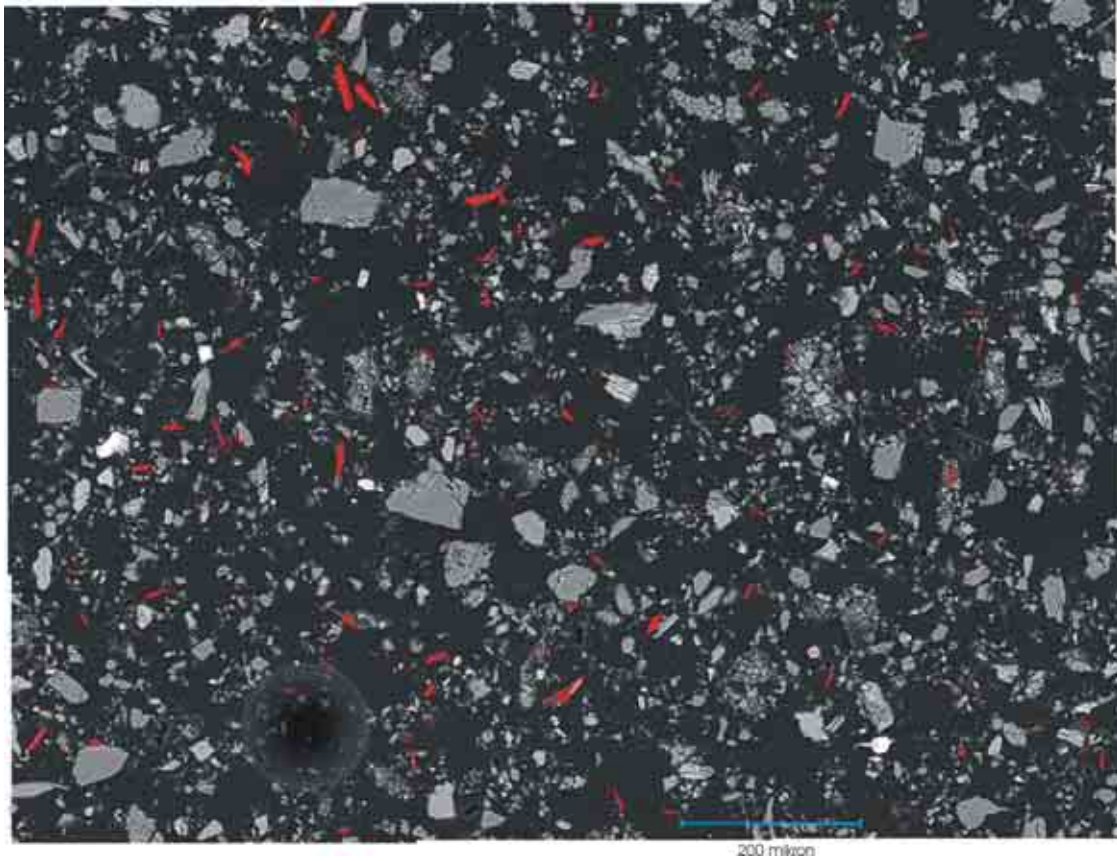
Filtrert Trøger støv fra Elgeseter gate inneholder mye mindre kvarts (23%) og er kraftigere dominert av feltspater (29%). Alle glimmermineralene opptrer med minst dobbelt så stor hyppighet som i Trøger prøven fra Omkjøringsveien. Både mengde og sammensetning til karbonatene i de to Trøger prøvene er identiske (dominert av kalsitt/ankeritt), noe som støtter en opprinnelse fra filler tilsetningen (tabell 3 og 6). Det høye innholdet av epidot, amfibol og kloritt viser at resepten i Elgeseter gate inneholder mer gabbroide tilslag.

**Tabell 18. SEM-EDS analyse av filtrert støv produsert med Trøger testen. Prosentvis mineralkorninnhold.**

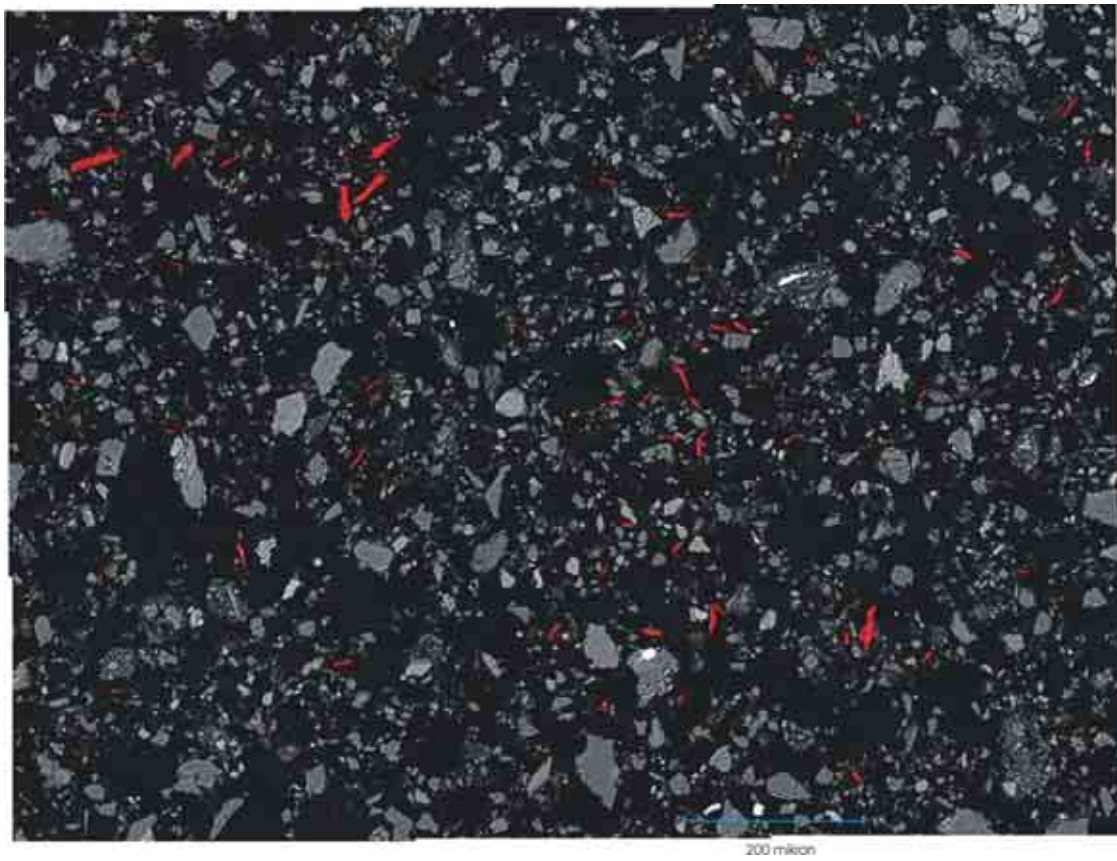
Observerte Mineraler	Prøvelokaliteter	
	Elgeseter	Omkjøringsveien
<b>Kvarts</b>	22,9	45,2
<b>Plagioklas</b>	23,5	14,9
<b>Jernoksid</b>	2,6	9,6
<b>Epidot</b>	13,7	8,0
<b>Amfibol</b>	7,4	5,3
<b>Karbonat</b>	4,2	5,0
<b>Kalifeltspat</b>	5,2	3,7
<b>Kloritt</b>	8,8	3,4
<b>Ilmenitt</b>	0,2	1,2
<b>Titanitt</b>	2,6	0,9
<b>Klinopyroksen</b>	2,4	-
<b>Muskovitt</b>	2,2	0,6
<b>Kalsiumsilikat</b>	1,6	-
<b>Biotitt</b>	1,4	0,3
<b>Rutil</b>	-	0,3
<b>Uidentifisert</b>	1,3	1,6
<b>Sum</b>	100	100

#### 5.6.2 Billedanalyse av kunstig produsert støv

Backscatter bilder av Trøger prøvene er vist på figur 6-8. Kornfordelingskurver etter partikkelmålinger fra de samme bildene er vist på figur 9-11. Fra hver prøve ble % vis mengde av støv med lengde : bredde forhold  $> 3$  målt, dette for å få en indikasjon på mengden fibrige korn i prøvene. Resultatene er vist i tabell 22. Kjemisk analyse av fibrige korn er presentert i kapittel 6.1.4.



*Figur 6. Backscatter bilde av filtrert støv produsert med Trøger fra Elgeseter. Korn med lengde : bredde  $>3$  er farget rødt (0.54 volum %).*

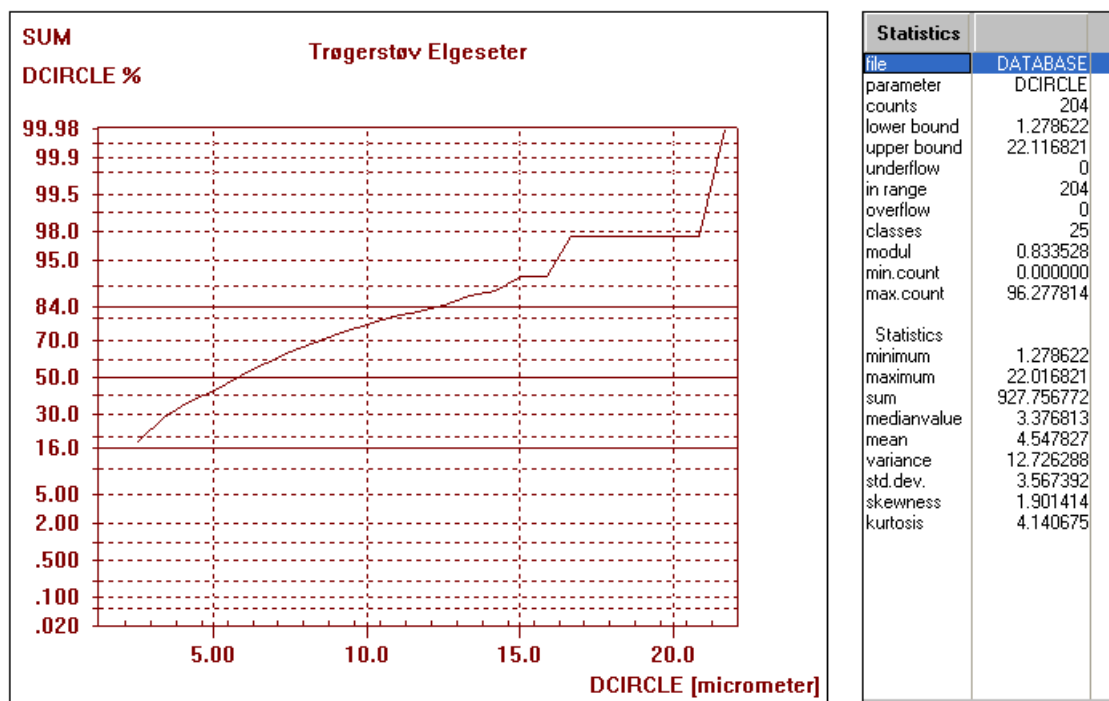


*Figur 7. Backscatter bilde av filtrert støv produsert med Trøger fra Prinsen. Korn med lengde : bredd  $>3$  er farget rødt (0.51 volum %).*

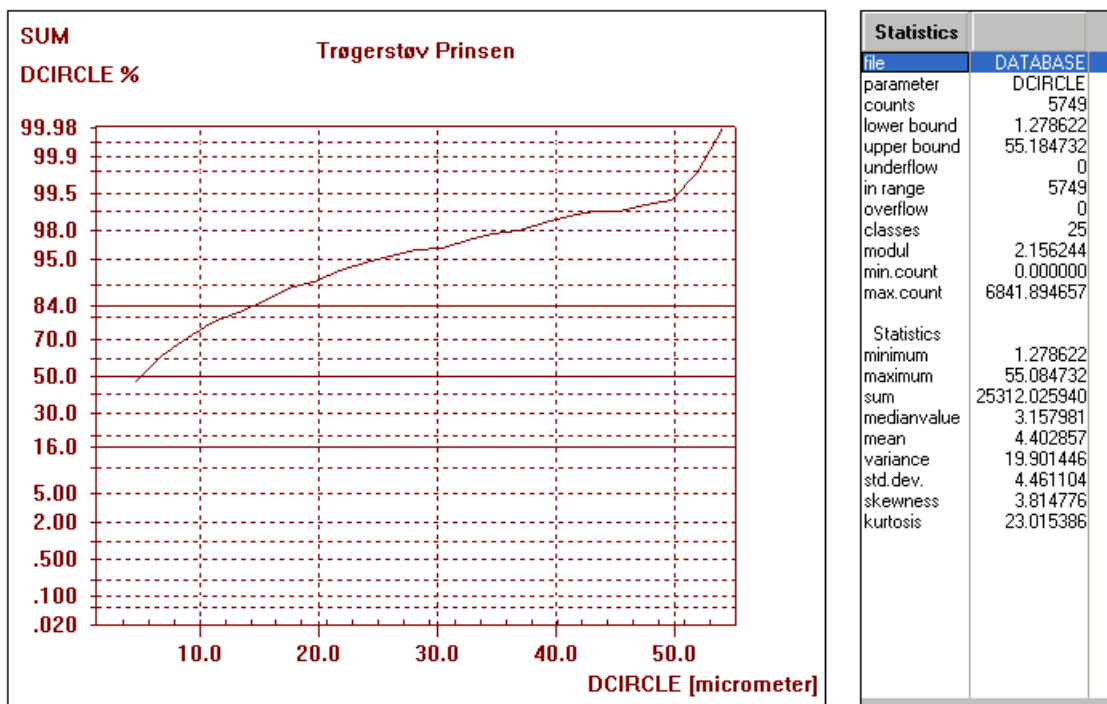




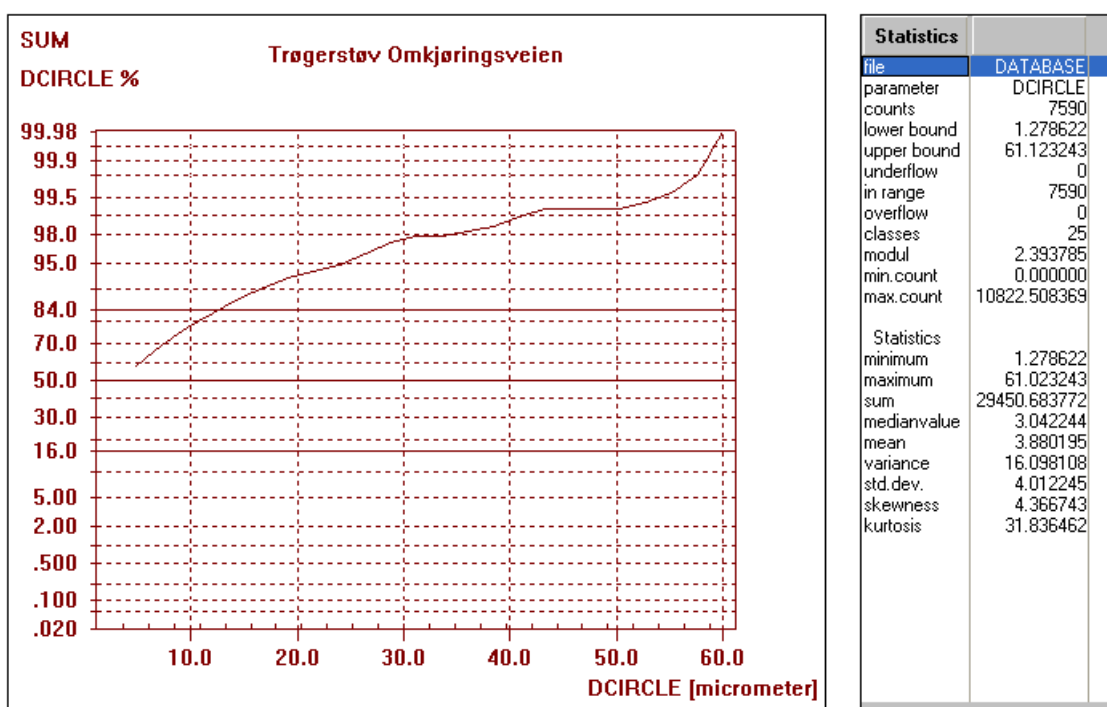
Figur 8. Backscatter bilder av filtrert støv produsert med Trøger fra Omkjøringsveien. Korn med lengde : bredde >3 er farget rødt (0.71 volum %).



Figur 9. Kornfordelingskurve for filtrert støv produsert med Trøger fra Elgeseter.



Figur 10. Kornfordelingskurve for filtrert støv produsert med Trøger fra Prinsen.



Figur 11. Kornfordelingskurve for filtrert støv produsert med Trøger fra Omkjøringsveien.

Både kornfordelingsdata og mengden fibrige mineraler fra de 3 lokalitetene er ganske like. Dette er sannsynligvis et resultat av den ensartede metoden som er brukt ved innsamling av støvet ved filtrering. Kornfordelingene gitt ved billedanalysen for de tre prøvene viser at andelen < 10 $\mu$ m utgjør vel 80%. Dette er en fordobling i forhold til kornfordelingene gitt ved Coulteranalysen (kap. 5.6) utført av Ekspertene i team [12].

## 6. ANALYSERESULTATER AV INNSAMLET SVEVESTØV

### 6.1 Støvbøtter

Materiale som er analysert fra støvbøttene ble samlet inn i perioden 3/3-19/4 2004.

#### 6.1.1 Innsamling og prøvepreparering

Støvbøttene var fylt med en blanding av vann og alkohol. Disse var utplassert ved Elgeseter, og ved Omkjøringsveien (figur 1 og 12).



*Figur 12. Innsamling av støvbøtte fra Omkjøringsveien.*



Ved innsamling av svevestøv fra disse bøttene ble følgende prosedyre brukt:

- 1) Støvbøtte ble plassert ut ved Omkjøringsveien og Elgeseter. Bøtten var  $\frac{1}{4}$  del fylt med en blanding av vann og alkohol.
- 2) Vann og oppsamlet svevestøv ble overført til et 5 liters begerglass og dampet inn til tørrhet.
- 3) Tørket svevestøv ble tilsatt ca. 1 dl destillert vann og oppslemmet i ultralyd bad.
- 4) Svevestøv innsamlet fra forskjellige perioder fra de to lokaliteter Elgeseter og Omkjøringsvegen (Motor-Trade) ble slått sammen, tørket og veid.

Totalt ble det innsamlet :

- Elgeseter 8.2g svevestøv
- Omkjøringsveien 5.2g svevestøv

5) Innsamlet svevestøv ble oppslemmet i vann og filtrert gjennom et trippel fiberdukfilter med vakuumsug (figur 13).



Figur 13. Trippelfiberduk-filter med vakuumsug

Fra denne filteropsatsen ble det siktet ut følgende fraksjoner:

> 65, 65-25, 25-10 og < 10 $\mu$ m. Etter filtrering var det klart at mengden svevestøv i den minste fraksjonen var så liten at det ikke ville være mulig å utføre XRD eller organisk/ kjemiske analyser på det filtrerte materialet. Noe av rågodset ble benyttet for disse analysene.

6) Filtrert materialet fra fraksjon < 10 $\mu$ m ble samlet opp, tørket, støpt inn i epoxy og polert for SEM og billedanalyser.

Følgende prøver ble fremstilt (tabell 19):

**Tabell 19. Analysetyper for bearbeidete støvbøtte prøver.**

Lokalitet	Kornfraksjon	Kommentarer
Omkjøringsveien	Rågods	Til XRD, TOC, kjemisk analyse
Omkjøringsveien	> 65µm	Ikke analysert
Omkjøringsveien	65-25µm	Ikke analysert
Omkjøringsveien	25-10µm	Ikke analysert
Omkjøringsveien	<10µm	Til SEM, Billedanalyse
Elgeseter	Rågods	Til XRD
Elgeseter	> 65µm	Ikke analysert
Elgeseter	65-25µm	Ikke analysert
Elgeseter	25-10µm	Ikke analysert
Elgeseter	<10µm	Til SEM, Billedanalyse

Kun filtrert materiale < 10µm ble benyttet for SEM og billedanalyse, da vi betrakter denne fraksjonen som mest representativ ved sammenhold med de filtrerte Trøger produserte støvprøvene samt PM<sub>10</sub> støv som innsamles ved miljøstasjoner.

#### 6.1.2 Problemer og feilkilder

Støvbøttene sto utplassert ved sterkt trafikkerte vegstrekninger, under svært varierende værforhold. Prøveprepareringsteknikken har også en del begrensninger. Totalt kan vi derfor oppsummere følgende problemer og feilkilder relatert til støvbøtte prøvene.

- 1) Støvbøtten var stjålet, dette skjedde to ganger i Elgeseter.
- 2) Støvbøtten var veltet, dette skjedde minst 1 gang ved Omkjøringsveien.
- 3) Ved snøbrøyting kan grovt og utseendemessig fremmed materiale som normalt ikke vil kalles svevestøv kunne bli kastet opp i bøttene. Dette ble observert spesielt ved første utplasseringslokalitet ved Omkjøringsveien (før flytting til Motor-Trade).
- 4) Ved filtrering vil åpningen på filterduken separere på støvkornenes korteste akse. Ved innstøpning vil støvkorn legge seg i prøveholdere med sin lengste akse ned. Dette medfører at man vil forvente en viss forskjell i kornstørrelse mellom filterdukens åpning og det som faktisk måles med elektronmikroskop senere.

#### 6.1.3 SEM analyse av innsamlet og filtrert svevestøv

Analyse av de filtrerte støvbøtteprøvene ble foretatt ved hjelp av SEM/SEM-EDS på samme vis som for Trøger prøvene (kap. 5.6.1). Som for Trøger prøvene ble det analysert mellom 350 og 500 innenfor et område. Alle korn innenfor disse områdene ble analysert og forsøkt identifisert med støtte i tynnslip, planslip, XRD-data (vedlegg 3) og oppgitte asfaltresepter.

SEM-analysene har blitt foretatt på prøver filtrert gjennom 10µm duk. Prøvene er dominert av partikler under denne størrelsen, men en del korn som er større enn 10µm er tilstede (se kap. 6.1.2). Kvantitative sammenlikninger med Trøger prøvene anses å være gyldig for kornstørrelser under og omkring 10µm. På grunn av bruken av filter forventes den største kvantitative usikkerheten å knytte seg til fibrøse korn. Som for Trøger prøvene ble et areal av

en polert flate i størrelsesordenen 0.4 x 0.2mm undersøkt og alle mineralkorn analysert. Detaljer omkring SEM-utstyret er presentert i vedlegg 5.

En kvantifisering av det filtrerte mineralstøvet innsamlet i Elgeseter gate og langs Omkjøringsveien er vist i tabell 20. I Elgeseter gate dominerer kvarts og feltspater i støvsammensetningen med omkring 30% hver, mens glimmermineralene (inkl. kloritt) og de ferro-magnesiske (Fe-Mg) silikatene (epidot, amfibol og klinopyroksen) utgjør henholdsvis 11 og 24%. For Omkjøringsveien utgjør kvarts- og feltspatmineraler hver især omtrent 25% av kornene. Glimmerkorn (inkludert kloritt) og andre Fe-Mg silikater utgjør tilsvarende omkring 20% hver.

**Tabell 20. SEM analyse for innsamlet og filtrert (< 10µm) svevestøv. Prosentvis mineralkorninnhold.**

Observerte Mineraler	Prøvelokaliteter	
	Elgeseter	Omkjøringsveien
<b>Kvarts</b>	31,0	26,0
<b>Plagioklas</b>	26,4	22,9
<b>Jernoksid</b>	2,1	6,5
<b>Epidot</b>	11,6	8,2
<b>Amfibol</b>	7,6	9,9
<b>Karbonat</b>	0,6	-
<b>Kalifeltspat</b>	3,3	5,1
<b>Kloritt</b>	7,3	11,6
<b>Ilmenitt</b>	-	-
<b>Titanitt</b>	1,2	1,7
<b>Klinopyroksen</b>	4,3	-
<b>Muskovitt</b>	2,7	4,5
<b>Kalsium silikat</b>	-	-
<b>Biotitt</b>	0,6	2,4
<b>Rutil</b>	-	0,3
<b>Pyritt</b>	-	0,3
<b>Uidentifisert</b>	1,3	0,6
<b>Sum</b>	100	100

### Fibrøse korn

Billedbehandling av både Trøger prøver og innsamlet svevestøv viser en tilstedeværelse av fiber i støvet. Begge støvprøvetyper har vært filtrert, og de registrerte fiberinnhold må betraktes som et minimum av den faktiske tilstedeværelse. Det er av vesentlig helsemessig betydning å kunne karakterisere de fibrøse mineralpartiklene kjemisk.

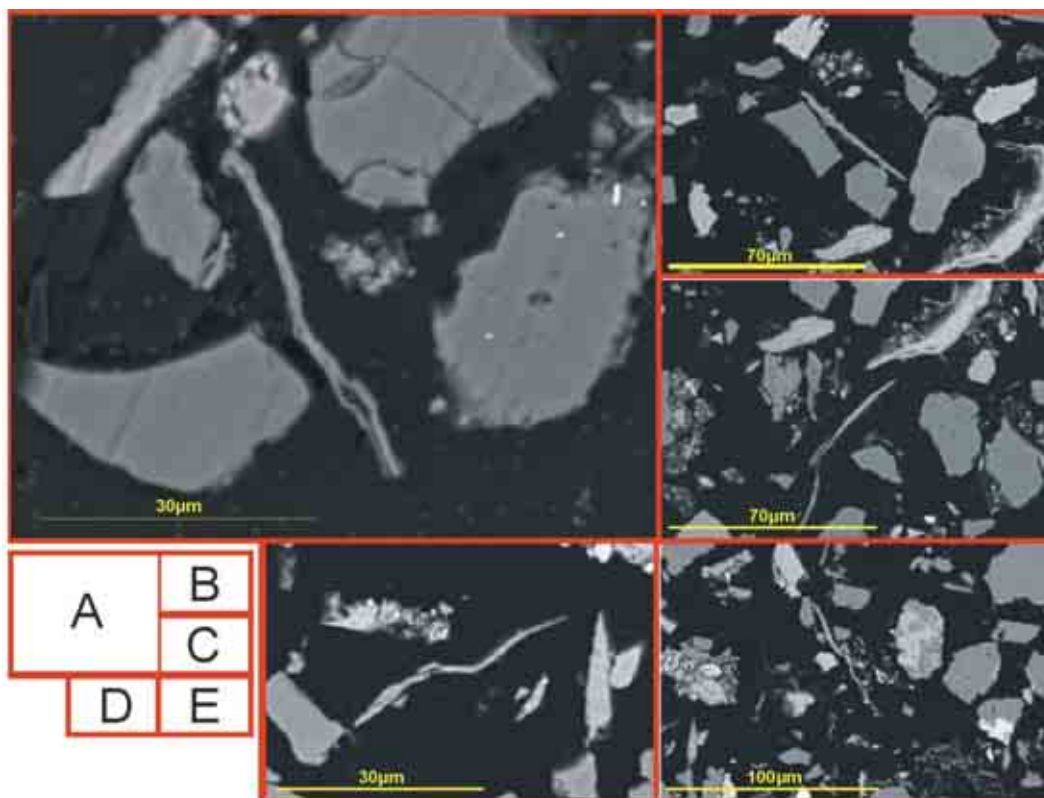
Fibrøse korn i de filtrerte støvbøtteprøven fra Elgeseter gate ble derfor underlagt en nærmere studie, som i første omgang fokuserte på de partiklene som i billedanalysen ble karakterisert med et lengde/breddeforhold på mer enn 3. Disse er markert med rødt på figur 17 (billedanalyse) og resultatet er presentert i tabell 21. Det er tydelig at de fibrøse korn domineres av glimmermineraler, først og fremst kloritt.

**Tabell 21. Elgeseter, prosentvis antall fibrige mineralkorn.**

Mineral	%
Kloritt	40
Biotitt	20
Muskovitt	16
Amfibol	12
Kvarts	12
Sum	100

Det er ingen systematiske forskjeller mellom sammensetningen til de fibrige partiklene og andre korn av de samme mineraler ellers i prøven.

I prøvene opptrer i tillegg et fåtall korn med mye høyere lengde/bredd forhold, som ble karakterisert for seg (figur 14). De mest fibroide korn er under  $0,5\mu\text{m}$  brede og opp til  $60\mu\text{m}$  lange og er bestemt til å være kloritt, muskovitt og biotitt. Alle korn med et høyt lengde/bredd forhold er således fyllosilikater og en del av det fibroide utseende må tilskrives det 2-dimensjonale snittet. Analyser av fibrøse korn fra Omkjøringsveien gav tilsvarende resultater.



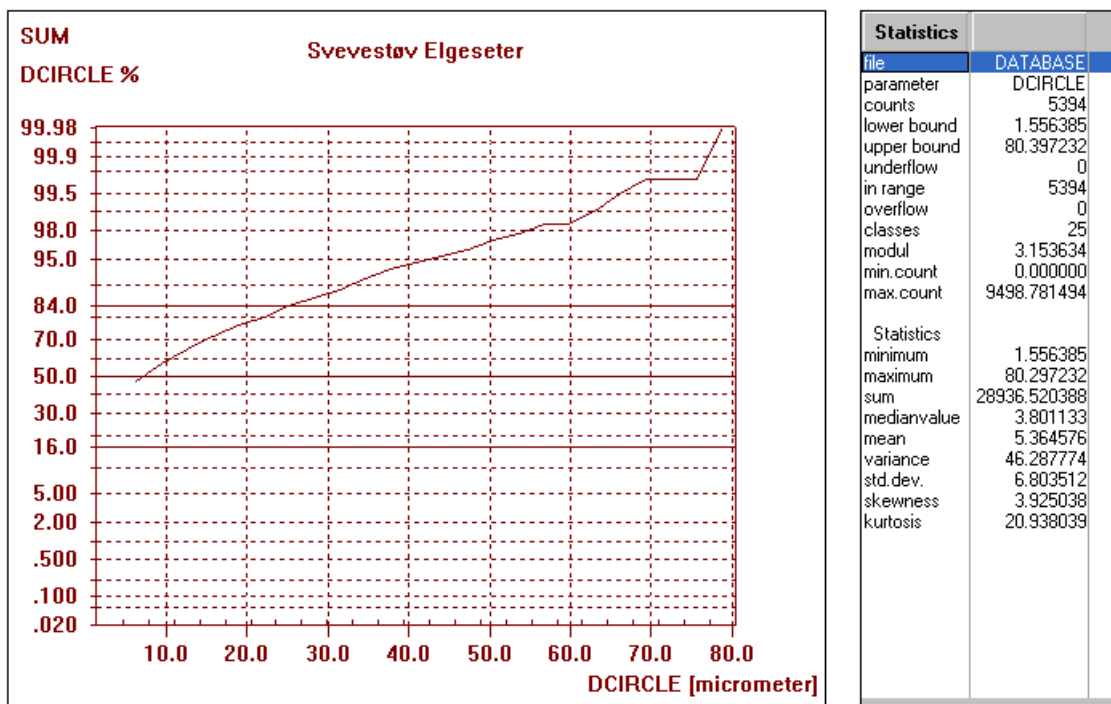
*Figur 14. Fem eksempler på fiber med et høyt lengde/bredd forhold. De fem korn er A: kloritt, B: muskovitt, C: biotitt, D: kloritt og E: kloritt.*

### Forbrenningsanalyser

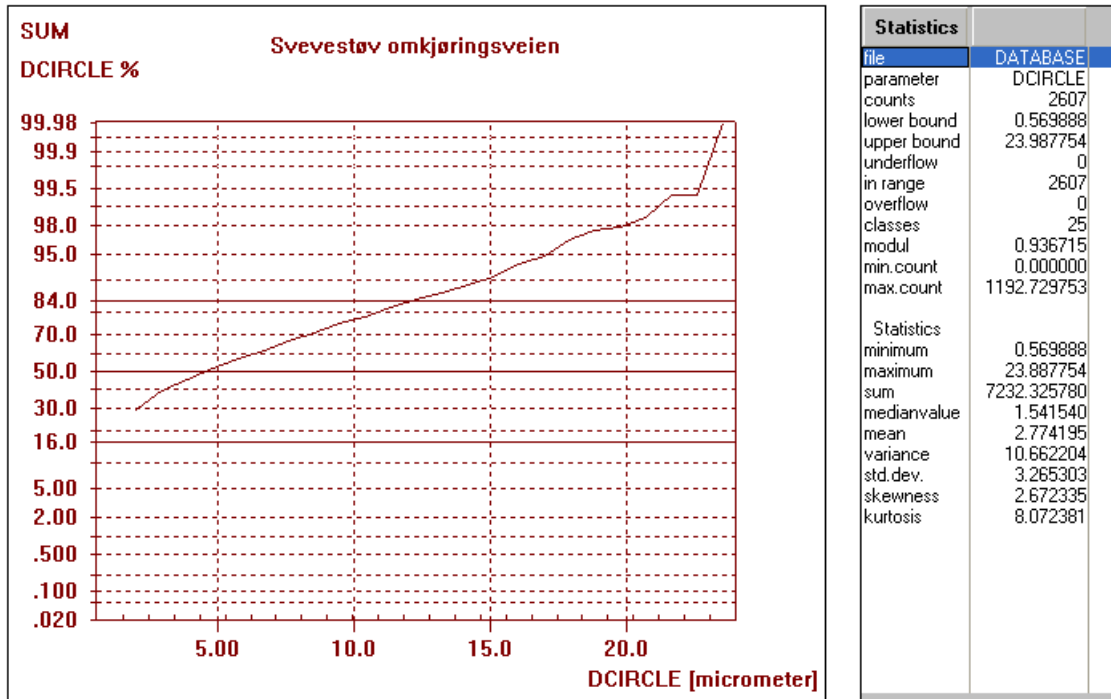
Fordi de polerte prøvene er belagt med karbon før SEM-EDS er det ikke mulig å detektere primære karbonpartikler i prøvene. En forbrenningsanalyse (vedlegg 7) ble derfor utført på innsamlet vegstøv (rågods) fra Omkjøringsveien. Innholdet av total organisk karbon (TOC) ble da målt til 4.10%. Det antas at det organiske materialet hovedsakelig omfatter sot og andre avgassprodukter, rester av bitumen og gummipartikler fra dekk og mulig annen organisk forurensing. Hovedmengden, 96% av det innsamlete svevestøvet, har dermed et mineralogisk opphav. Dette er i samsvar med tidligere undersøkelser [2].

#### 6.1.4 Billedanalyse av innsamlet og filtrert svevestøv

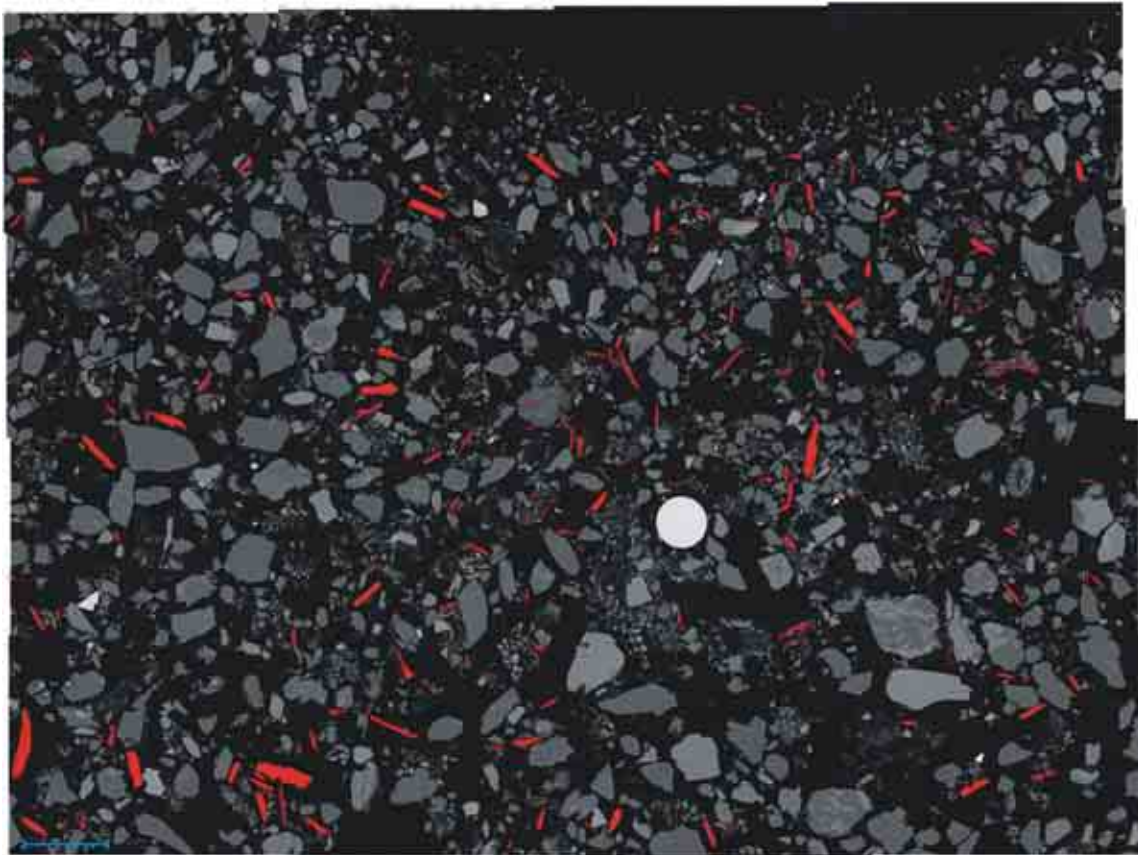
Det innsamlete og filtrerte svevestøvet  $< 10\mu\text{m}$  fra Elgeseter og Omkjøringsveien som ble valgt ut for SEM analyse ble også undersøkt med billedanalyse. Kornfordelingsdata er vist i figur 15 og 16. Backscatter bilder av svevestøvet er vist i figur 17 og 18, fibrige mineraler er uthevet spesielt (rød farge).



Figur 15. Kornfordelingskurve for filtrert svevestøv fra Elgeseter (fraksjon  $< 10\mu\text{m}$ ).

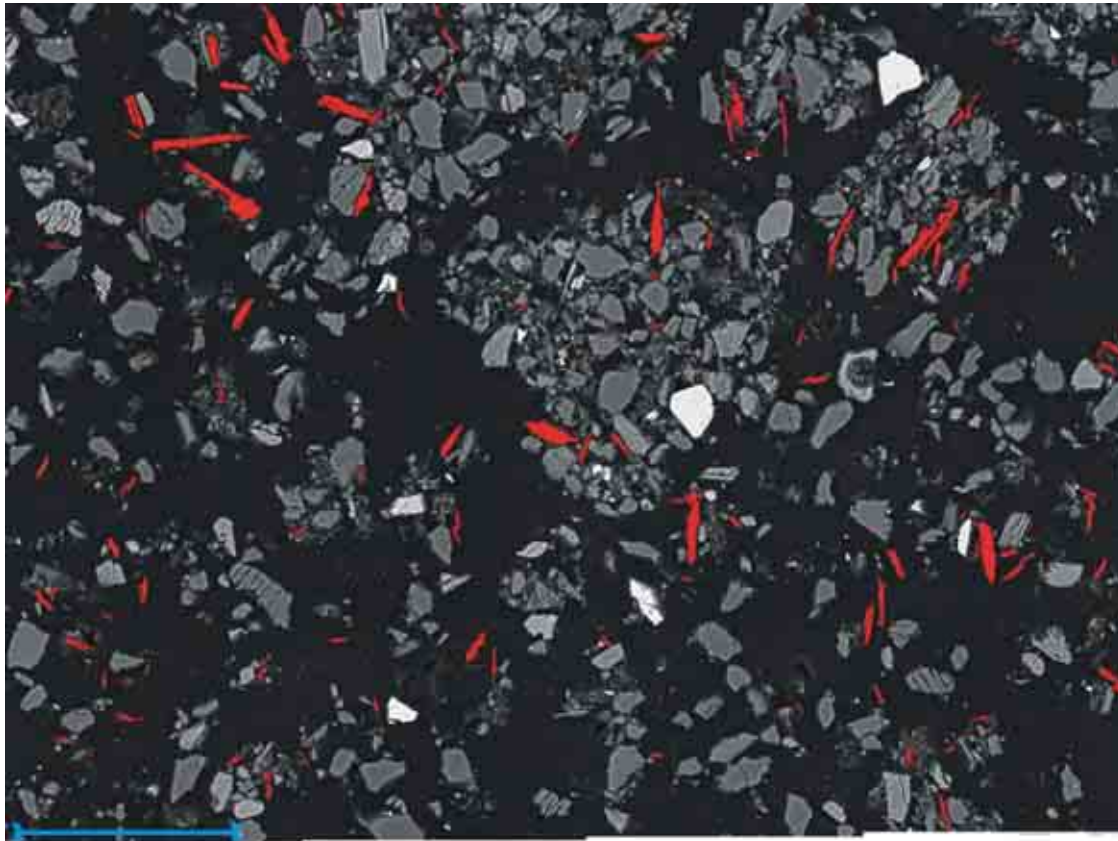


Figur 16. Kornfordelingskurve for filtrert svevestøv fra Omkjøringsveien (fraksjon < 10 $\mu$ m).



Figur 17. Backscatter bilde av filtrert svevestøv fra Elgeseter (fraksjon < 10 $\mu$ m). Mineralkorn med lengde : bredde > 3 er vist med rødt (1.32 volum %).





100 mikron

Figur 18. Backscatter bilde av filtrert svevestøv fra Omkjøringsveien (fraksjon  $< 10\mu\text{m}$ ). Mineralkorn med lengde : bredde  $>3$  er vist med rødt (1.49 volum %).

Det er klart fra kornfordelingsdataene og backscatter bildene at det filtrerte svevestøvet  $< 10\mu\text{m}$  fra Omkjøringsveien består av betydelig mindre partikler (ca 80%  $< 10\mu\text{m}$ ) enn støvet fra Elgeseter (ca. 60%  $< 10\mu\text{m}$ ). Dette til tross for at det fra Elgeseter ble det samlet inn betydelig mer støv, 8.2 g mot 5.2 g fra Omkjøringsveien. Da prøvene er preparert på samme måte, er dette et noe uventet resultat. Lokale forhold må ha resultert i en forskjellig kornfordeling i støvet for de to lokalitetene.

Sammenligner vi backscatter bildene av Trøger prøvene og svevestøvet får man inntrykk av at Trøgerstøvet har en mer homogen kornform, mens svevestøvet har en mer variert kornfordeling. Videre opptrer mengden fibrige mineraler i volum prosent betydelige høyere i det filtrerte svevestøvet enn i det filtrerte Trøgerstøvet (tabell 22).

**Tabell 22. Prosentmengde fibrige mineraler (lengde : bredde  $>3$ ) i analyserte støvprøver som er filtrert på  $< 10\mu\text{m}$  sikt.**

Lokalitet	Prøvetype	Antall korn	Volum %
Elgeseter	Trøger	204	0.54
Elgeseter	Svevestøv	449	1.32
Omkjøringsveien	Trøger	239	0.71
Omkjøringsveien	Svevestøv	191	1.49
Prinsen	Trøger	135	0.51

Det er derfor klart at når det gjelder produksjon av fibrige mineraler så gir ikke Trøger produsert støv sammenlignbare resultater med innsamlet svevestøv for den fineste fraksjonen < 10µm.

## 6.2 Filterprøver

Filterprøvene fra Elgeseter (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>) har alle et belegg med sot som gjør dem mindre egnet for XRD og SEM analyse. I og med at det ikke var tilstrekkelig med materiale for kjemisk/organiske analyser av svevestøv innsamlet med støvbøtter ved Elgeseter, ble støv fra filter (PM<sub>10</sub>) benyttet for denne type analyser. For Omkjøringsveien ble det benyttet rågods fra støvbøtteprøven. Støvet ble kun undersøkt for innholdet av HNO<sub>3</sub>-løselige metaller ved NGUs laboratorium. Det var ikke nok materiale til å gjennomføre bestemmelser av organiske miljøgifter.

Pga. vanskeligheter med innsamling av tilstrekkelig med svevestøv ble det gjort et forsøk med å benytte et pumpe/filter system for å få nok støv. Systemet ble etablert ved miljøstasjonen på Elgeseter (figur 2) helt på slutten av "støvsesongen" 2004. Pga. av den korte innsamlingsperioden er ikke dette materialet analysert nærmere.

### 6.2.1 Kjemisk analyse av støv

Resultatene for kjemisk analyse av metaller i vegstøv (tabell 23 og 24) innsamlet fra Elgeseter gate (filter PM<sub>10</sub>) og Omkjøringsveien (rågods fra svevestøv) indikerer:

- Svevstøvet inneholder mer sink, kobber og arsen enn overflatejord. Kilden er sannsynligvis dekkslitasje.
- Svevestøvet inneholder mer kalsium og natrium enn overflatejord. Kildene er vegsalt og vegdekket.

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

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

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

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

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

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



### 6.3 Støv fra feiemaskiner

Prøvene er tatt fra feiemaskiner som benyttes av Trondheim Bydrift. Støvet er samlet inn langs hovedvegtraséen gjennom Trondheim sentrum fra Holtermannsveien/Elgeseter til Innherredsveien. Det er tatt 4 prøver, henholdsvis i vegbanen (DuLevo 200, den 20/3 og 21/3 2003) og langs kantsteinen (DuLevo 5000, den 20/3 (?) og 21/3 2003). Det er utført XRD analyse (vedlegg 8) og kjemisk/organisk analyse av støvet fra feiemaskinene.

Feiestøvet ble undersøkt for innholdet av PAH, dibenzodioxiner, dibenzofuraner, dioxinliknende PCBér, metyl-t-butyleter (MTBE) og BTEX (benzen, toluen, etylbenzen, m,p-xylene og ortoxylen) ved Tauw Laboratory i Nederland. Prøvepreparering og kjemisk analyse ble utført etter akkrediterte metoder.

Resultatene for kjemisk analyse av organiske miljøgifter i støv fra feiemaskinene (tabell 25-29) viser:

- Innholdet av PAH er høyere enn i bindemiddelet i asfalt.
- Innholdet av PAH-komponenter er høyere i feiestøv innsamlet i vegbanen enn i feiestøv fra vegkanten
- Innholdet av dioxiner/furaner og dioxinlikende PCB komponenter er lavere enn påvisningsgrensen for de benyttede analysemetodene.
- Metyl -t - butylether (MTBE) er ikke påvist
- Toluene er påvist i støv innsamlet av feiemaskinene.

**Tabell 25. Innhold av PAH komponenter i støv fra feiemaskiner.**

PAH komponenter	Vegbanen 1 mg/kg	Vegbanen 2 mg/kg	Langs kant 3 mg/kg	Langs kant 4 mg/kg
Naphtalene	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Phenanthrene	0,4	0,7	0,05	0,2
Acenaphthylene	<1	<0,05	<0,05	<0,05
Acenaphthene	<0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Fluorene	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01
Anthracene	<0,1	0,03	<0,01	0,01
Fluoranthene	0,6	1,6	<0,2	0,3
Pyrene	0,5	<2	<0,1	<1
Benzo(a)anthracene	<0,2	<0,5	<0,1	<0,1
Chrysene	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1
Benzo(b)fluoranthene	0,15	0,45	0,15	0,1
Benzo(k)fluoranthene	<0,1	2	0,05	0,04
Benzo(a)pyrene	0,15	0,25	0,15	<0,5
Benzo(ghi)perylene	0,2	3	0,2	0,1
Indeno(123cd)pyren	<0,1	0,2	0,1	0,06
Dibenzo(ah)anthracene	<0,1	<0,01	0,03	0,02
Sum PAH 16	1,9	3,7	0,7	0,8

mg/kg – milligram per kilogram.

**Tabell 26. Innhold av dioxiner og furan i støv fra feiemaskiner.**

Dibenzodioxiner & dibenzofuraner	Vegbanen 1 mg/kg	Vegbanen 2 mg/kg	Langs kant 3 mg/kg	Langs kant 4 mg/kg
Tetrachlorodibenzodioxin	<300	<300	<300	<400
Pentachlorodibenzodioxin	<1200	<1000	<1000	<1300
Hexachlorodibenzodioxin	<300	<300	<300	<300
Heptachlorodibenzodioxin	<50	<50	<50	<100
Tetrachlorodibenzofuran	<300	<300	<300	<300
Pentachlorodibenzofuran	<1000	<1000	<1000	<1000
Hexachlorodibenzofuran	<300	<300	<300	<300
Heptachlorodibenzofuran	<100	<100	<100	<100
2,3,7,8-TetraCDD	<5	<5	<5	<5
1,2,3,7,8-PentaCDD	<5	<5	<5	<5
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	<10	<10	<10	<10
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	<10	<10	<10	<10
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	<10	<10	<10	<10
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	<50	<50	<50	<50
Octachlordibenzodioxin	<100	<100	<100	<100
2,3,7,8-TetraCDF	<5	<5	<5	<5
1,2,3,7,8-PentaCDF	<5	<5	<5	<5
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	<10	<10	<10	<10
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	<10	<10	<10	<10
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	<10	<10	<10	<10
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	<50	<50	<50	<50
Octachlordibenzofuran	<100	<100	<100	<100
TEQ by NATO/CCMS upperbound	19,5	19,5	19,5	19,5

ng/kg – nanogram per kilogram.

**Tabell 27. Innhold av metyl –t- butylether (MTBE) fra i støv fra feiemaskiner.**

MTBE	Vegbanen 1 mg/kg	Vegbanen 2 mg/kg	Langs kant 3 mg/kg	Langs kant 4 mg/kg
MTBE	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

mg/kg – milligram per kilogram.

**Tabell 28. Innhold av dioxinliknende PCB komponenter i støv fra feiemaskiner.**

Dioxinlikende PCB komponenter	Vegbanen 1 mg/kg	Vegbanen 2 mg/kg	Langs kant 3 mg/kg	Langs kant 4 mg/kg
PCB-77	<50	<50	<50	<50
PCB-81	<40	<40	<40	<40
PCB-126	<25	<25	<25	<25
PCB-169	<15	<15	<15	<15
PCB-105	<600	<150	<150	<150
PCB-114	<100	<100	<100	<100
PCB-118	<2000	<2000	<1000	<1000
PCB-123	<100	<100	<100	<100
PCB-156	<150	<200	<200	<200
PCB-157	<150	<1500	<150	<150
PCB-167	<150	<150	<150	<150
TEQ WHO upperbound	3,12	3,10	3,00	3,00

ng/kg – nanogram per kilogram.

**Tabell 29. Innhold av Aromatiske løsningsmidler (BTEX) i støv fra feiemaskiner.**

PAH komponenter	Vegbanen 1 mg/kg	Vegbanen 2 mg/kg	Langs kant 3 mg/kg	Langs kant 4 mg/kg
Benzen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Toluen	0,1	0,2	0,1	0,1
Etylbenzen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
M,p-Xylen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ortoxylen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sum Xylener	Ikke bestemt	Ikke bestemt	Ikke bestemt	Ikke bestemt

mg/kg – milligram per kilogram.

Kildene for PAH komponentene i feiestøvet er bindemiddelet i asfalt, dekkslitasje, bremsebelegg, eksosutslipp og vedfyring. Normverdien for ren jord er 2 mg/kg for sum 16 PAH.

Toluen er påvist i feiestøvet. Konsentrasjonene er lavere enn normverdien for ren jord (0,5 mg/kg).

## 7. EFFEKTEN AV SALTING PÅ SLITASJE AV STEINMATERIALE – ET METODESTUDIUM

### 7.1 Problemstilling

Salting av veger har blitt mer vanlig i forbindelse med vintervedlikehold av hovedvegnettet i Norge. En antar at vegbanens overflate ved salting vil bli mer våt enn tørr, alternativt mer "snøslaps". Piggdekkforsøk viser at våt asfalt slites 3-5 ganger raskere enn tørr asfalt [13]. Man kan derfor stille spørsmål om salting har ekstra negativ effekt for slitasjen av vegbanen ved bruk av piggdekk som igjen kan medføre større støvproduksjonen. Ut over dette er det vist at salting har en positiv effekt ved at svevestøv dempes for en kortere periode [14].

Kulemølle- eller møllemetoden er innført som standard europeisk testmetode for å bedømme tilslagsmaterialets evne til å motstå piggdekkslitasje [15]. Metoden, men med et avvikende opplegg i forhold til standard prosedyre, er blitt benyttet som et metodestudium for å vurdere slitasjen av kun steinmateriale ved tilførsel av salt. I og med at det kun testes på tilslagsmateriale vil ikke resultatene direkte kunne overføres til å bedømme slitasjen av vegbanen (tilslag + bitumen) ved salting.

### 7.2 Gjennomføring

I forsøket ble det benyttet tilslag av knust fjell fra de tre vanligste bergartene som benyttes i Trondheimsregionen; jaspis fra Halsetåsen i Meldal, mylonitt fra Ottersbo på Ørlandet og gabbro fra Vassfjellet pukkverk i Trondheim.

Mølletesten utføres vanligvis på 1 kg testmateriale i fraksjonen 16/11.2 mm tilført 2 liter med vann. Stålkuler og riller i trommelen utsetter steinmateriale for slitasje ved rotasjon i 1 time [15]. I dette metodestudiet ble det gjennomført 4 separate testserier; tørr, våt og våt med tilført salt (saltlake med konsentrasjon 17,5%), henholdsvis natrimklorid (NaCl) og magnesiumklorid (MgCl<sub>2</sub>).

Disse 4 testseriene ble behandlet etter følgende opplegg:

- \* 30 minutters tromling i kulemølla
- \* sikting i våt/tørr tilstand (11.2, 2.0, 1.0, 0.50, 0.250, 0.125, 0.063 mm og bunn. Det ble benyttet 2 liter til skylling ved våtsikting)
- \* satt i fryseskap (-18 °C i ca. 20 timer)
- \* opphold i klimarom (rom temperatur, ca. 20 °C, med relativ fuktighet på ca. 75% i 24 timer)
- \* tørking i varmeskap (+40 °C) til at all fuktighet fordamper eller stabil vekt ved veiing.
- \* veiing av materialet på siktene
- \* materiale < 0.063 mm (bunnfraksjonen) ble dekantert for vann og kun tørket i varmeskap

Prøvematerialet ble deretter slått sammen og avhengig av type testserie eventuelt tilført vann, vann + NaCl eller vann + MgCl<sub>2</sub>, før samme syklus ble gjentatt med nye 30 minutters tromling. Dette ble gjentatt 4 ganger slik at total tromletid ble 30, 60, 90 og 120 minutt for de 4 testseriene.

I tillegg til mekanisk slitasje er denne prosedyren ment å simulere både mekanisk- og kjemisk forvitring som virker over tid. Om metodestudiet er reelt i forhold til virkelig belastning som et steinmateriale i asfaltdekket blir utsatt for, er dog et åpent spørsmål. På grunn av noe avvik i resultatene ble det utført parallelle kjøring for testseriene, men med noe ulikt antall for de

forskjellige bergartstypene (tabell 30). Møllemetoden bør i henhold til standardprosedyren utføres på minst 2 parallelle kjøringar.

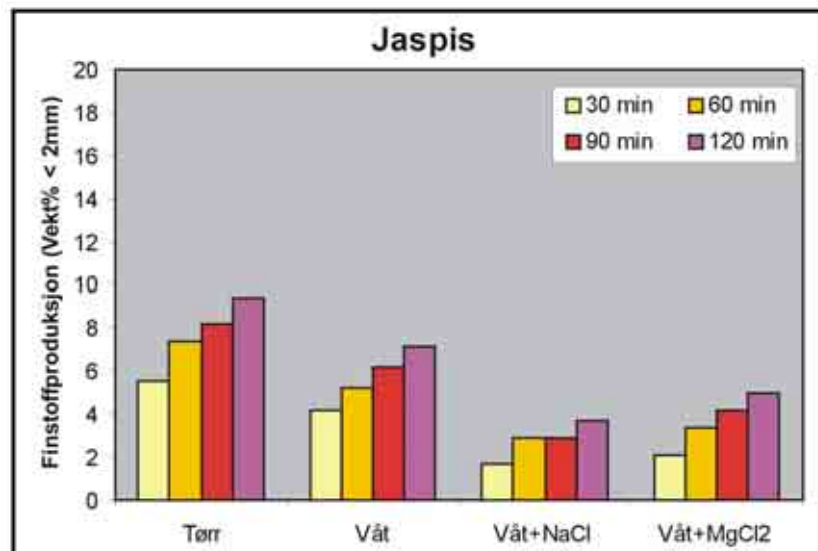
**Tabell 30. Antall parallelle kjøringar.**

Bergart	Tørr	Våt	Våt + NaCl	Våt + MgCl <sub>2</sub>
Jaspis*	3	2	1	1
Mylonitt	3	2	2	2
Gabbro	3	2	2	2

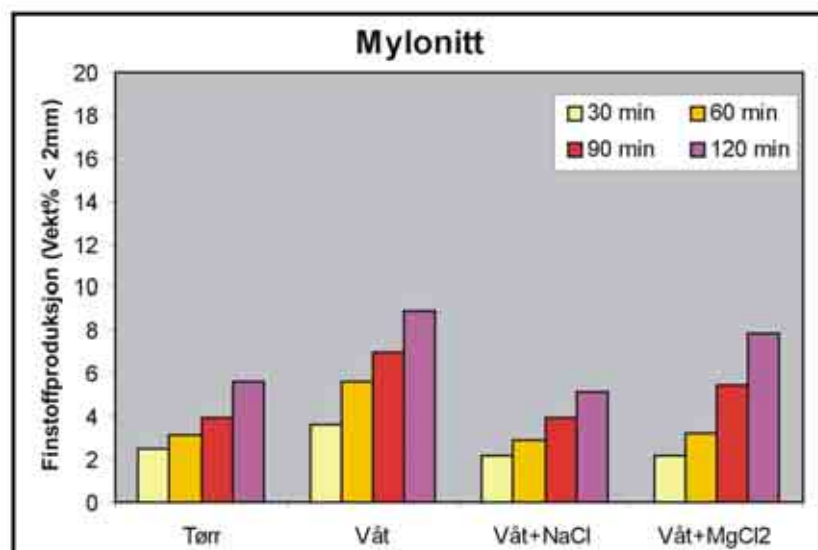
\* Det var ikke nok materiale for å kjøre flere parallelle for testserier tilført salt.

### 7.3 Resultater

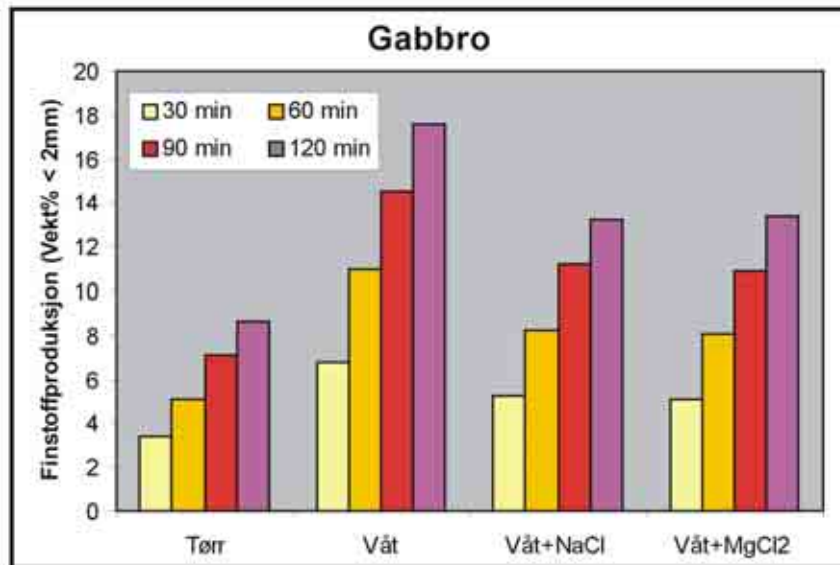
Figur 19 til 21 viser finstoffproduksjonen (vekt% < 2mm) for de tre undersøkte bergartene for de 4 testseriene ved økt tromlingstid, mens figur 22 til 25 viser hvordan finstoffproduksjonen varierer innbyrdes for de tre bergartene ved de ulike testseriene med økt tromlingstid.



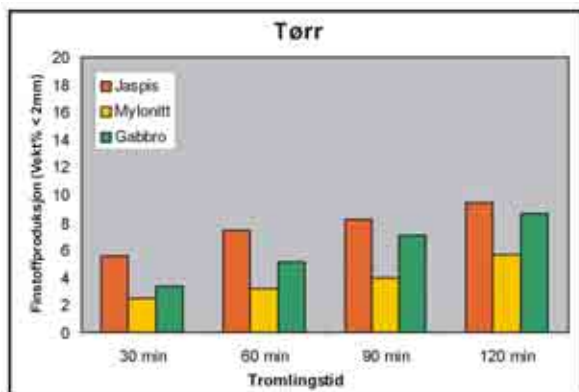
Figur 19.



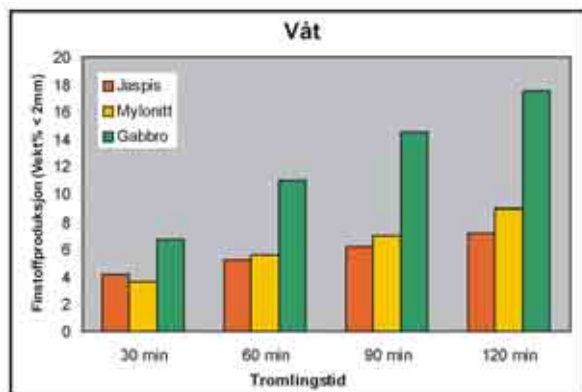
Figur 20.



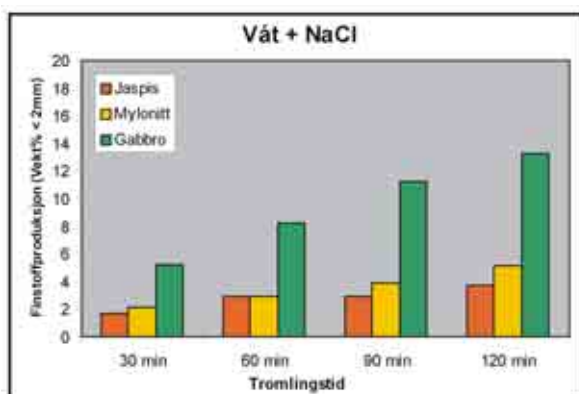
Figur 21.



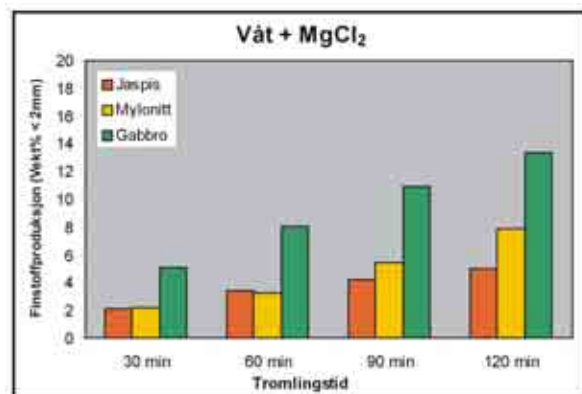
Figur 22.



Figur 23.



Figur 24.



Figur 25.

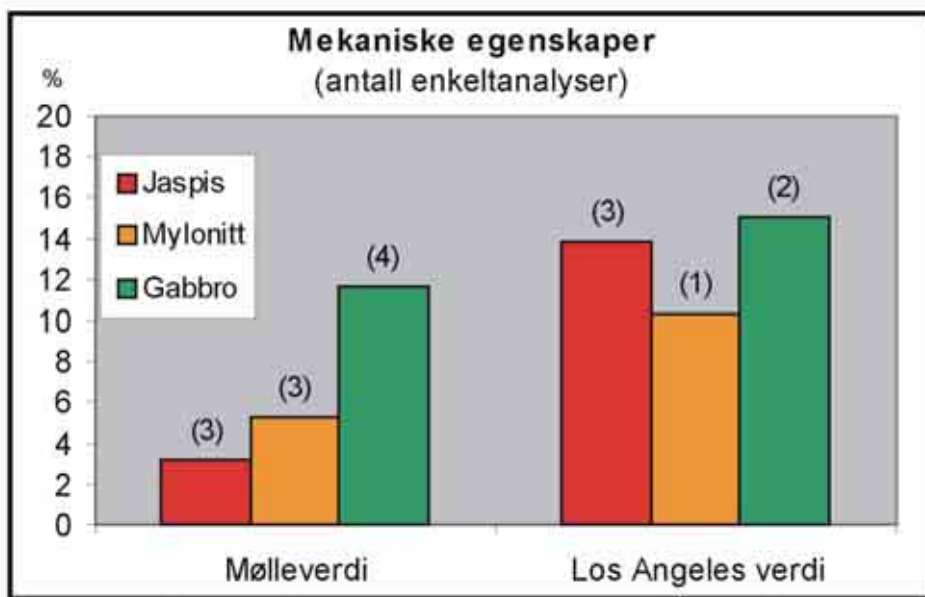
For hver av bergartene ble en av parallellene ved tørr kjøring forkastet og ikke tatt med i gjennomsnittsberegningene. Det var en åpenbar feil for disse parallellene ved at andelen grovt materiale (>11.2mm) økte ved økt tromling.

## 7.4 Vurderinger

Ved møllemetodene er det andel materiale < 2mm som blir benyttet for å beregne mølleverdien som igjen er ment å kunne relateres til piggdekkslitasje. Finstoffproduksjonen < 2mm er derfor benyttet som en indikator for å beskrive slitasjen til bergartsprøvene.

### Tørr – Våt prøve

Forholdet mellom tørr og våt testserie viser at både mylonitt og gabbro gir samme resultat som tidligere forsøk på asfalt [13] med at slitasjen er størst ved våt tilstand (figur 20 og 21). Jaspis derimot viser et avvikende mønster (figur 19). De tre bergartene sammenliknet under ett (figur 22-25) viser at jaspis har størst finstoffproduksjon ved tørr testing, men stort sett lavest for de tre øvrige testseriene, som er kjørt under våt tilstand. Forskjellen i finstoffproduksjonen mellom jaspis og mylonitt er ikke stor ved våt testing, men den øker med økende tromlingstid. Sammenliknet med tidligere utførte mekaniske analyser av de tre bergartene (figur 26) viser møllemetoden at den ved tørr kjøring gir et resultat som er mer lik Los Angeles metoden, som er ment å representere evnen til å motstå slagmotstand. For de tre testseriene kjørt under våt tilstand er resultatene innbyrdes for de tre bergartene i samsvar med mølleverdien. Møllemetoden er tross alt utviklet for å gjennomføres i våt tilstand for å kunne reflektere piggdekkslitasjen. Det kan derfor fastslås at møllemetoden ikke reflekterer slitasje ved tørr kjøring.



Figur 26.

### Våt prøve med eller uten salt

Ved tilførsel av salt, uavhengig av type salt, blir finstoffproduksjonen lavere for alle tre bergarter i forhold til testserien som kun er kjørt med vann (figur 19-21). Resultatene viser dermed, under forutsetning av at metodestudiet er beskrivende i forhold til hva som reelt skjer på vegbanen, at det ikke er noen indikasjoner på at salting har noen negativ effekt på slitasjen av selve tilslagsmaterialet. Det er ingen sporbar forskjell i finstoffproduksjonen i forholdet mellom bruk av natriumklorid eller magnesiumklorid for de tre undersøkte bergartene. En eventuell økt slitasje av vegbanene pga. salting, skulle man derfor anta var mer avhengig av mulige reaksjoner mellom salt/bitumen og saltinntregning langs kontaktflaten mellom bitumen og steintilslaget.

Det er ikke funnet noen fullgod forklaring til at testseriene med salt gir lavere finstoffproduksjon enn normal kjøring kun tilført vann. En forklaring kan være at vann med en såpass høy saltkonsentrasjon gir steinmaterialet en "høyere oppdrift", som gjør at slitasjen på materiale i trommelen får mindre effekt, som igjen fører til mindre finstoffproduksjon. Den høye saltkonsentrasjonen gjør at massen i trommelen får en "seig konsistens", som var spesielt utpreget for prøven med magnesiumklorid,

Det er kjent at salt har en "bindende effekt" på finstoff. Dette var tydelig å registrere for bunnfraksjonen (figur 27-29). Spesielt for prøvene tilført natriumklorid ble finmaterialet "steinhardt".



Figur 27. Kun vann.



Figur 28. Vann med NaCl.



Figur 29. Vann med MgCl<sub>2</sub>.

Forholdet mellom de tre bergartene ved våt testing viser at jaspis og mylonitt er jevn gode mht. finstoffproduksjon, men jaspisen gir noe lavere finstoffproduksjon når tromlingen øker. Gabbro gir ca. dobbelt så høy finstoffproduksjon i forhold til de to andre bergartene. Dette samsvarer godt med tidligere analyseresultat av mølleverdien for de tre bergartene (figur 26).

Det er mulig at metodestudiet ikke har fungert med hensyn til å simulere forvitring. Tidligere undersøkelser [16] har vist ved fryse-tineforsøk at spesielt leirrike bergarter, forvittrer mer ved tilførsel av lave saltkonsentrasjoner (1% NaCl) i forhold til bergartsprøver mettet med destillert vann. Faktorer som har betydning med hensyn til de "ytre betingelser" ved fryse-tineforsøk er; vannmetningsgrad, fraksjonsstørrelse, antall fryse-tine sykluser og frysehastighet, mens for selve tilslaget har følgende forhold innvirkning; mineralinnhold spesielt leirinnholdet, porøsitet, porestørrelse, permeabilitet, oppsprekking, materialets elastisitet, absorpsjon og adsorpsjon. Man antar at det ikke er selve vannet som fryser som igjen resulterer i forvitring, men at vannet binder seg til leirmineralene og at man dermed får svelling med påfølgende oppsprekking. Årsaken til at saltholdig vann forvittrer et materiale mer enn kun ved tilførsel av rent vann skyldes at vannmolekyler nedsetter kapillariteten og gir dermed redusert vannmetningsgrad. Ved tilførsel av salt øker den kapillære oppsugningen og hvis saltkonsentrasjonen er lav vil det føre til svelling ved fryse-tining.

Norske bergarter er med få unntak, bl.a. kalkstein og sandstein, lite utsatt for forvitring bl.a. på grunn av lav porøsitet og lav vann absorpsjon [17]. I vårt metodestudie ble det brukt bergarter som ikke inneholder leire, selv om mekanisk belastning og tilførsel av salter i seg selv kan resultere i dannelse av sekundære leirmineraler, og saltkonsentrasjonen var høyere i forhold til det som er optimalt (1%) for å oppnå forvitring ved fryse-tineforsøk [18]. Selv om forsøksbetingelsene ikke var optimale, må en anta at for de tre undersøkte bergartene vil slitasje ved bruk av piggdekk ha større og mer avgjørende betydning enn en eventuell forringelse av tilslaget ved forvitring som følge av tilførsel av salt.



## **8. SAMLET VURDERING AV RESULTATENE**

### **8.1 Feilkilder**

Det er mange feilkilder knyttet til prøvematerialet, prøveprepareringen og analyseprosessen. Det var en utfordring å skaffe nok svevestøv for de ulike analysemetodene og det er en viss usikkerhet i om prøvemengden er tilstrekkelig for å kunne være representativ for svevestøvet som opptrer naturlig langs vegbanen. Det er også en stor fare for "forurensing" av det mineralske støvet fra andre kilder enn støv generert fra tilslag i vegbanen (strøsand, mineralsk støv fra andre nærliggende kilder m.m.). Langs de undersøkte vegstrekningene skal det ikke forekomme strøing i vegbanen, men langs fortau (Elgeseter) er det observert strøing. Usikkerhet til prøveprepareringen av vegstøvet er beskrevet i kapittel 6.1.2.

Antall asfaltkjerner (Prøvenes representativitet-vedlegg 2) som er nødvendig for at både prøvematerialet og analysene (kunstig framstilt støv-Trøger, mikroskopiprøver og prøver for ekstrahert tilslag) skal være representative for vegbanens innhold av tilslag, er et annet usikkerhetsmoment. Det vil naturlig være variasjoner innenfor ett visst område av vegdekket. I tillegg vil det være feilkilder i selve bearbeidingsprosessen for disse prøvene og selve analysene.

På bakgrunn av mulige feilkilder og usikkerhet i feilkildenes betydning er det vanskelig å trekke klare konklusjoner. Våre vurderinger av resultatene vil derfor være indikasjoner på mulige årsakssammenhenger.

### **8.2 Plan- og tynnslip av asfaltkjerner / asfaltresept – avvik i tilslagssammensetningen**

Plan- og tynnslip av asfaltkjerner er på flere måter et nyttig verktøy, bl.a. for å registrere tilslagssammensetningen.

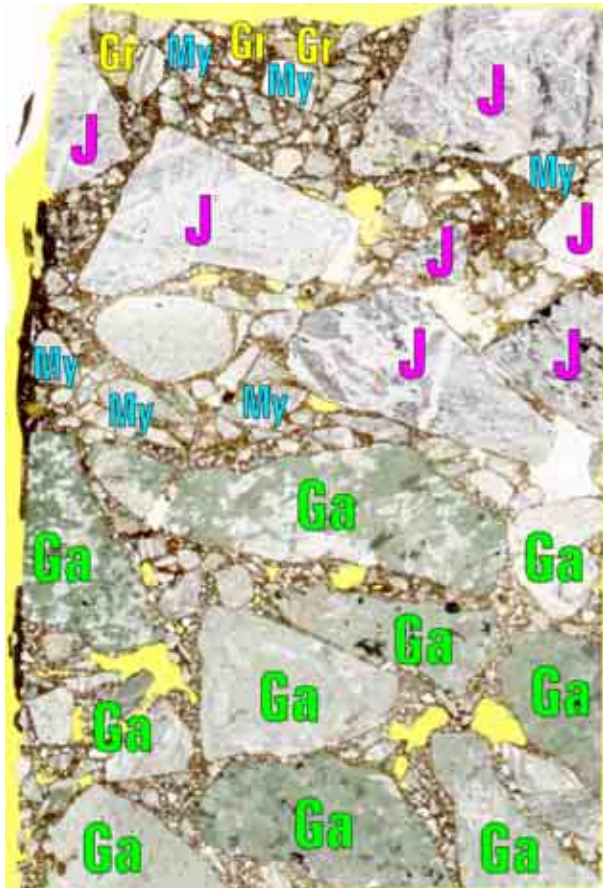
I og med at oppgitt asfaltresept for Rosendal (tabell 4 og 5) er noe usikker har vi ikke "fasit" for tilslagssammensetningen. Dog inngår en betydelig andel med grovtilslag med jaspis i vestgående felt ved Rosendal (figur 30), en bergart som ut fra de oppgitte resepter, i hvert fall ikke skulle ha vært benyttet.

For Omkjøringsveien er det funnet avvik mellom oppgitt asfaltresept (tabell 6) og observasjoner i tynnslip av asfaltkjernen (figur 31). I det øverste laget består grovtilslag av jaspis som oppgitt i resepten, mens fintilslaget som kan observeres i slippet består av mylonitt og ikke gabbro. Det må tas flere kjerner/slip for å avgjør om dette resultatet er representativt for det utlagte dekket (j.fr. kap. 8.1 og vedlegg 2). I øvre lag er det også ansamlinger med finstoff som er nærmere kommentert under kap. 8.4. I det eldre underliggende dekket består grovtilslaget av gabbro.

For Elgeseter er det ikke funnet avvik mellom tilslagsinnholdet oppgitt i asfaltresepten med observasjoner i plan- og tynnslip av prøvetatt asfaltkjerner.



Figur 30. Planslip av asfaltkjerne fra Rosendal, vestgående felt. Merk rødlige jaspis (J) i toppen av kjernen i en ellers mylonitt (My) dominert resept. Enkelte få korn med gabbro (Ga), tilkjennegitt med sjatteringsmønster, i bunn av kjernen. Diameter på kjernen er 75mm.



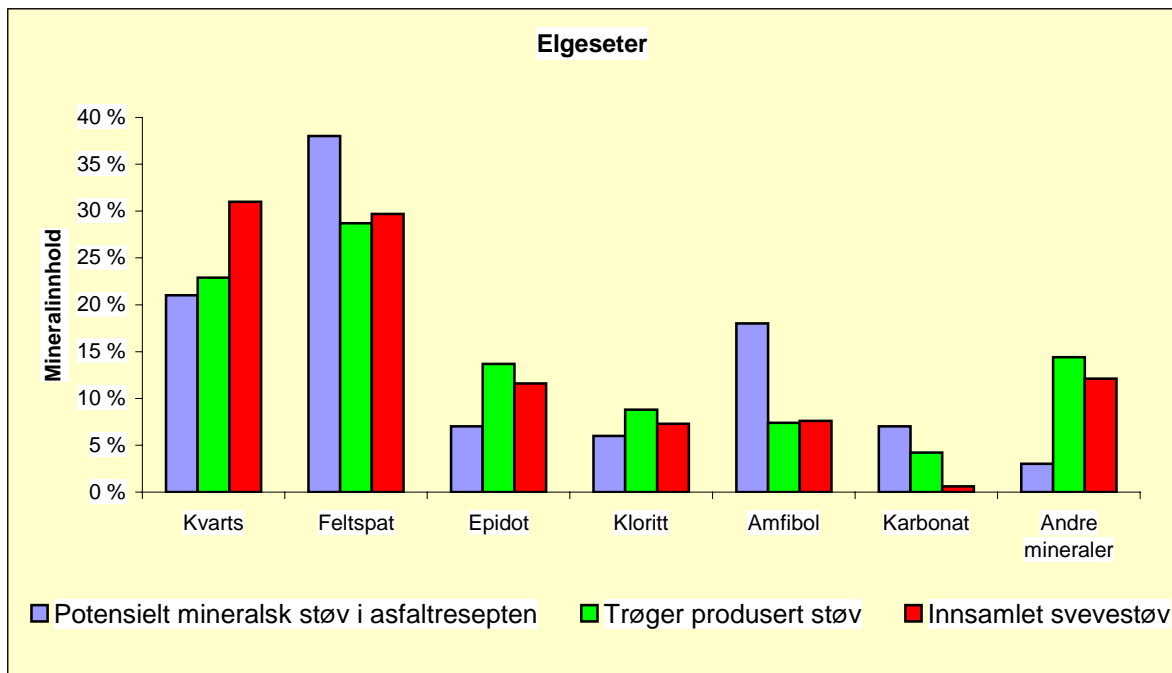
Figur 31. Tynnslip av asfaltkjerne fra Omkjøringsveien. To markerte lag; øverst med jaspis (J) som grovtilslag og mylonitt (My) som fintilslag. Nederst gabbro (Ga) som grovtilslag. I øvre lag er det ansamling av en del finstoff (Gr). Utsnittet er på 30\*45 mm.

### 8.3 Hvor kommer det mineralske støvet fra ?

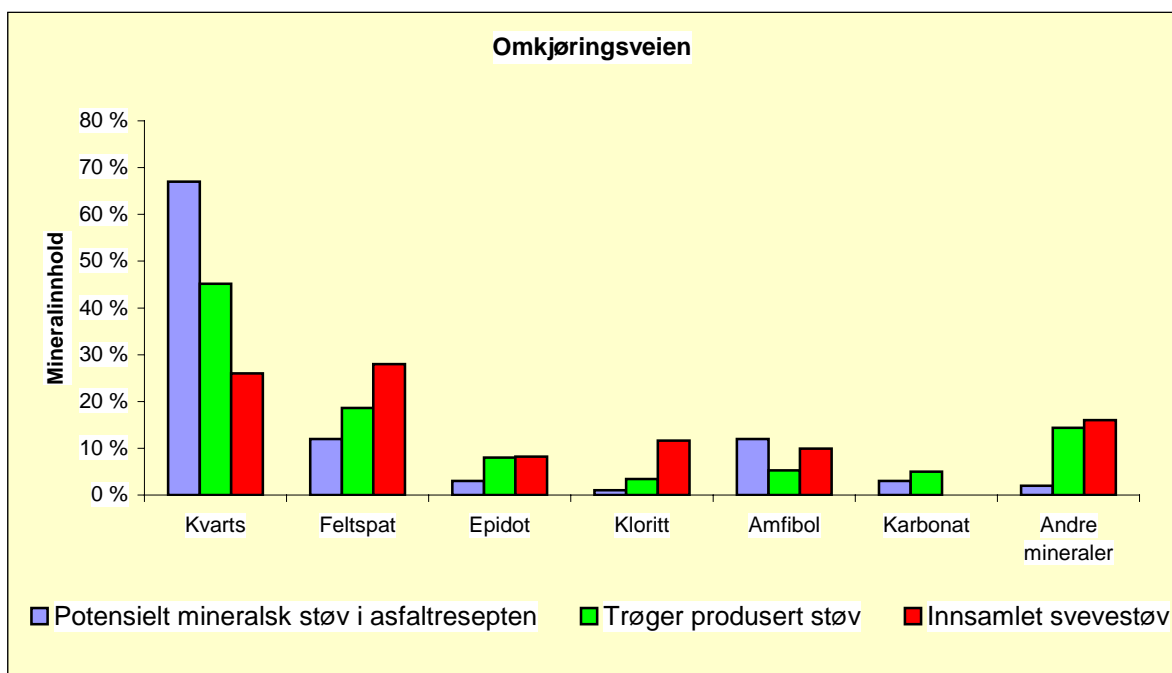
Potensialet for mineralsk støv (tabell 10) er sammenholdt med analyseresultatene for SEM med hensyn til mineralkorninnholdet i kunstig produsert støv (tabell 18) og innsamlet og filtrert (< 10µm) svevestøv (tabell 20) og vist i tabell 31 og i figur 32 og 33. Det forutsetter at prosentvis *mineralkorninnhold* kan sammenholdes med prosentvis *mineralinnhold* (volum %) som det potensielle mineralske støvet gir uttrykk for.

**Tabell 31. Mineralinnhold i støv.**

Mineraler	Elgeseter			Omkjøringsveien		
	Potensielt mineralsk støv i asfaltresepten	Trøger produsert støv	Innsamlet/ filtrert svevestøv	Potensielt mineralsk støv i asfaltresepten	Trøger produsert støv	Innsamlet/ filtrert svevestøv
Kvarts	21	23	31	67	45	26
Feltspat	38	29	30	12	19	28
Epidot	7	14	12	3	8	8
Kloritt	6	9	7	1	3	12
Amfibol	18	7	8	12	5	10
Karbonat	7	4	1	3	5	-
Andre mineraler	3	14	12	2	14	16
Sum	100	100	100	100	100	100



Figur 32. Sammenlikning av mineralinnhold i støv fra Elgeseter gate.



Figur 33. Sammenlikning av mineralinnhold i støv fra lokaliteten ved Omkjøringsveien (Motor-Trade).

Asfaltresepten for de to lokalitetene, Elgeseter (tabell 3) og Omkjøringsveien (tabell 6), viser at det bergartsmessig og mineralogisk er større kontrast mellom grov- (> 8mm) og fintilslaget (< 8mm) for resepten lagt ved Omkjøringsvegen (grov: jaspis / fint: grus, gabbro og kalkfiller) enn for Elgeseter (grov: mylonitt og grønnstein / fint: grønnstein, grus og kalkfiller). Spesielt at grønnstein opptrer både i grov- og fintilslaget vanskeliggjør tolkningen for Elgeseter.



Innsamlet og filtrert ( $< 10\mu\text{m}$ ) svevestøv fra Elgeseter viser (tabell 31, figur 32), med unntak for kvarts, relativ god overensstemmelse i mineralsammensetningen med støv produsert kunstig med Trøger apparatet. Noe av forklaringen med at kvarts er overrepresentert i svevestøvet skyldes reduksjonen av kalkfiller (karbonat) i Trøger støvet. I forhold til beregnet potensial for mineralsk støv er det for de to støvprøvene et underskudd på feltspat og amfibol og et overskudd på andre mineraler, epidot og til dels kloritt. Dette kan forklares ved at grønnstein både opptrer som grov- og fintilslag. Sannsynligvis er grønnsteinen i beregningen av potensialet blitt overrepresentert ved at det reelt sett er mindre av denne bergarten i grovandelen i forhold til mylonitten (Merk! man antar at grovandelen, som det gjerne er mest av i asfaltresepten, har størst innflytelse på svevestøvet mineralsammensetning). Dermed blir karakteristiske "mylonitt mineral" som epidot og kloritt overrepresentert i støvet i forhold til spesielt "grønnsteins mineralet" amfibol. Andre mineraler er summen av mineralene klinopyroksen, biotitt, jernoksyd og titanitt som enkeltvis opptrer med en liten andel og er dermed ikke blitt tatt hensyn til ved beregning av potensialet.

En kvantifisering av potensialet for mineralsk støv fra Omkjøringsveien viser en kontrast til støv produsert med Trøger testen. Det er mindre kvarts i Trøger støvet enn det asfaltresepten for dette "jaspisdekket" skulle tilsi. Noe av årsaken skyldes at andelen med hematitt (jernoksid i tabell 18, inngår som andre mineraler i tabell 31 og i figur 33), et mineral som opptrer ofte i tilknytning til jaspis, ikke er tilstrekkelig representert i det potensielle støvet (underrepresentert i tynnslipet).

Videre er det en markert forskjell mellom innsamlet svevestøv og kunstig produsert støv. Årsaken er at vegdekket ved målestasjonen er nedslitt i slitesporet (figur 34) slik at underliggende dekke er eksponert. Som det framgår av figur 5 består det underliggende



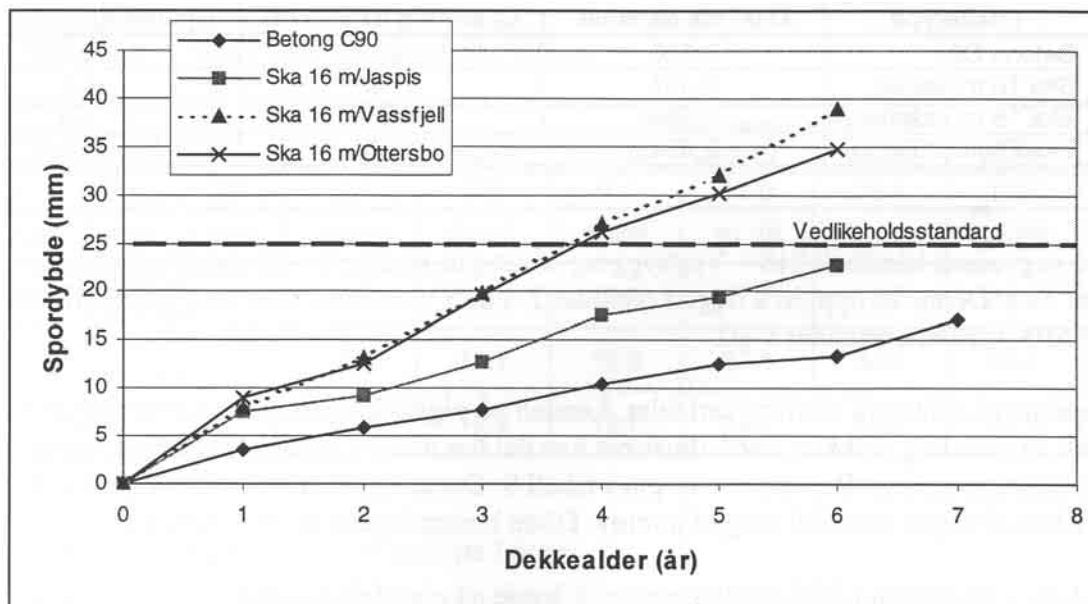
Figur 34. Bilde fra Omkjøringsveien ved prøvelokaliteten (Motor-Trade) som viser slitasje i slitesporet.

dekket av grovpukk med gabbro. Dette er sannsynligvis årsaken til at svevestøvet er underrepresentert med kvarts fra "jaspisdekket" på bekostning av mer "gabbro mineraler" som feltspat og amfibol i forhold til det kunstig produsert støvet. En del av disse "gabbro mineralene" kan også skyldes finpukken med gabbro i det øverste "jaspisdekket". Anrikning av kloritt kan tyde på at også mylonitt inngår i det øverste dekket (j.fr. kap. 8.2 og figur 31). Karbonat (kalkfller) mangler fullstendig i svevestøvet. Mangelen på karbonat tyder på at denne har blitt løst opp. Denne effekten kan ikke simuleres med Trøger testen.

Resultatene fra både Elgeseter og Omkjøringsveien gir en indikasjon på at mineralinnholdet i innsamlet svevestøv langs vegbanen kan relateres til tilslagssammensetningen i det lokale vegdekket. Resultatene fra Omkjøringsveien viser at mineralsammensetningen i støvet kan reflekterer meget lokale forhold, i dette tilfelle slitasje på veggen.

#### 8.4 Tilslagsmaterialets betydning ved vegslitasje

Slitestykken for et tilslag blir bedømt ut fra empiriske mekaniske testmetoder (nå møllemetoden, tidligere abrasjonsmetoden og sprøhetstallet/Sa-verdien). Erfaringer fra et forsøksfelt ved E6-Klett [19], viser at det nødvendigvis ikke alltid er noen gode relasjoner mellom testmetodene og reelle slitasjemålinger (figur 35). Testfeltene med grovtilslag bestående av henholdsvis gabbro (Vassfjell) og mylonitt (Ottersbo) viser omtrent lik slitasje over flere år selv om mylonitten ut fra sliteegenskapene (tabell 32) skal være bedre enn gabbroen, og i så måte omtrent like slitesterk som jaspisen. Feltet med jaspis gav minst sporslitasje av de tre undersøkte grovtilslagene som for så vidt er i overensstemmelse med slitasjeegenskapene.



Figur 35. Målinger av spordybde ved E6-Klett [19].

**Tabell 32. Analyser over slitestyrke til bergarter brukt på E6-Klett.**

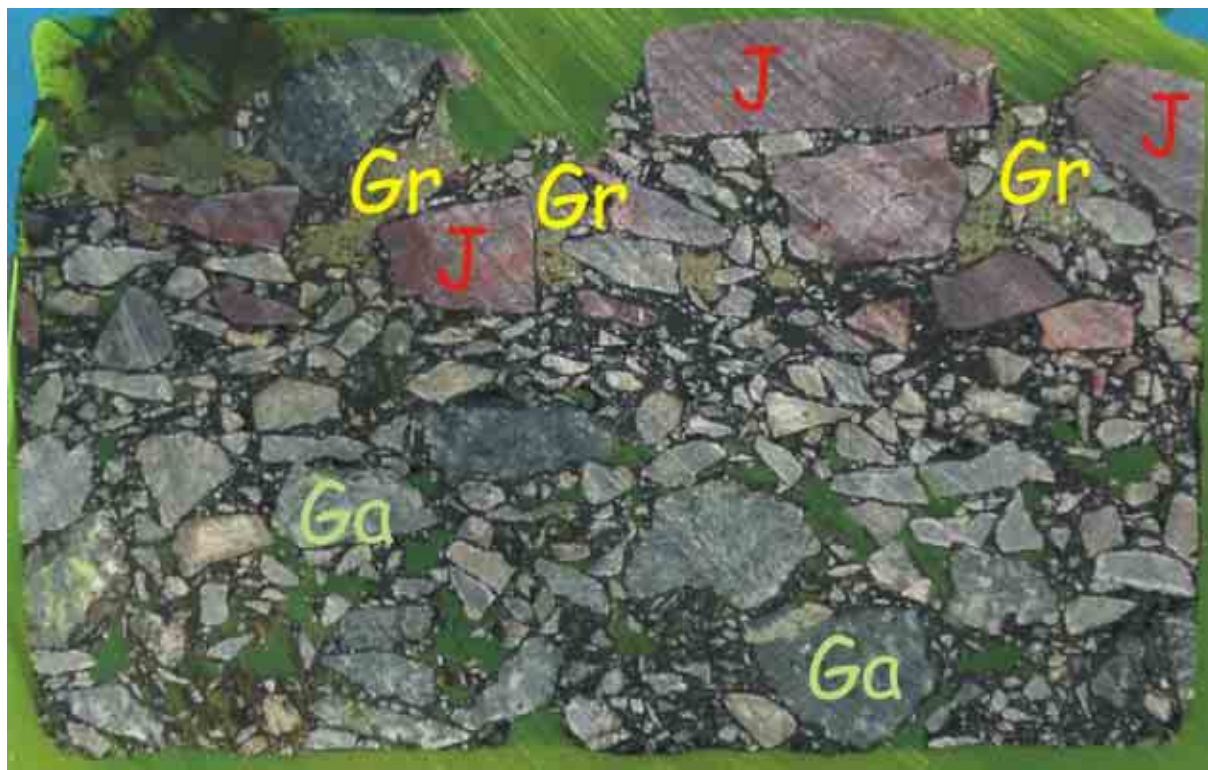
Bergart	Abrasjonsverdi	Slitasjemotstand (Sa-verdi)	Mølleverdi
Jaspis	0,20 - 0,32	1,3 - 2,1	3,1 - 3,7
Mylonitt	0,29 - 0,34	1,6 - 1,9	5,2
Gabbro	0,38 - 0,45	2,1 - 2,7	11,4

Lavest tallverdi angir best slitestyrke.

Ut fra disse resultatene må man være åpen for å stille spørsmål om de mekaniske testmetodene alene gir et korrekt bilde over reell slitasje på vegdekket. Plan- og tynnslip av impregnerte asfaltkjerne kan være et hjelpemiddel for å avsløre mulige årsakssammenhenger til slitasjen av asfaltdekker.

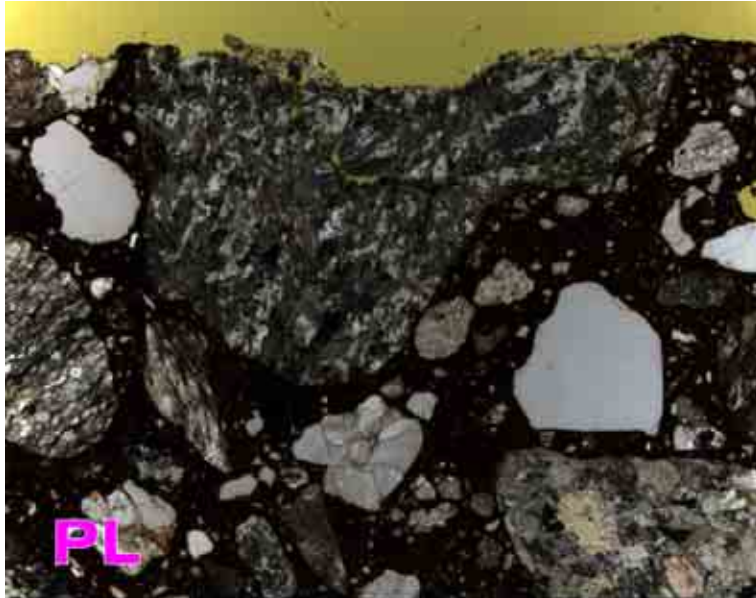
Planslip av asfaltkjerne fra Omkjøringsvegen (figur 31 og 36) viser i det øvre laget ansamling med svært fint materiale. Dette antas enten å være finstoff fra tilslagsmaterialet med grus som ikke er blitt vasket, eventuelt finstoff fra knuseprosessen som har festet seg på det grovere tilslagsmaterialet. Dette finstoffet vil pga. den konsentrerte ansamlingen gi redusert styrke og i tillegg gi redusert heft mellom tilslag og bitumen, som igjen kan medføre en høy andel "slipp".

Figurseriene 37-40 viser flere detaljer vedrørende nedbrytning av tilslag og forurensning i asfaltkjerne.

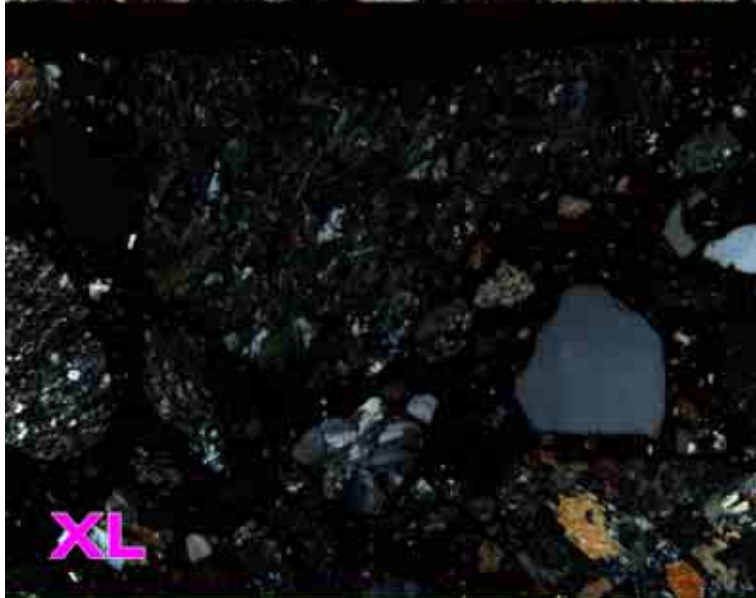


*Figur 36. Planslip av asfaltkjerne fra Omkjøringsveien. I øvre lag er det ansamling av en del finstoff (Gr). Jaspis (J) dominerer som grovtilslag i øvre lag, mens gabbro (Ga) opptrer i nedre lag. Diameter på kjernen er 75mm.*

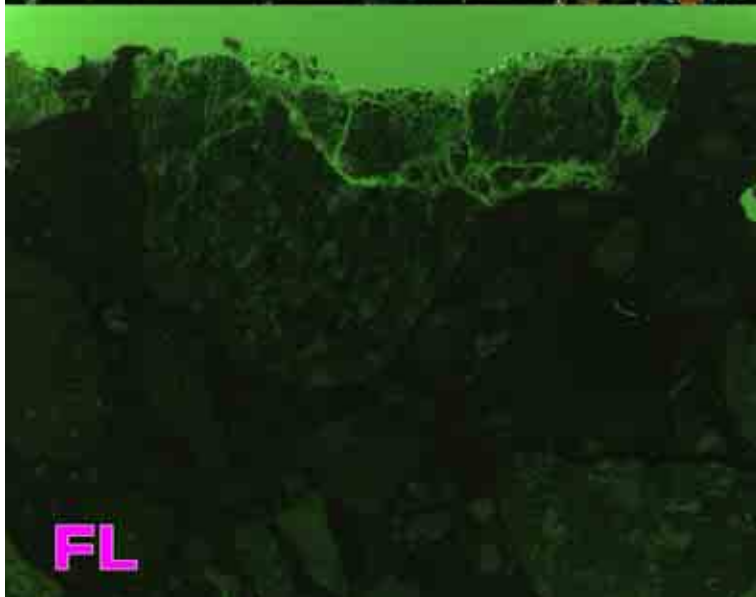




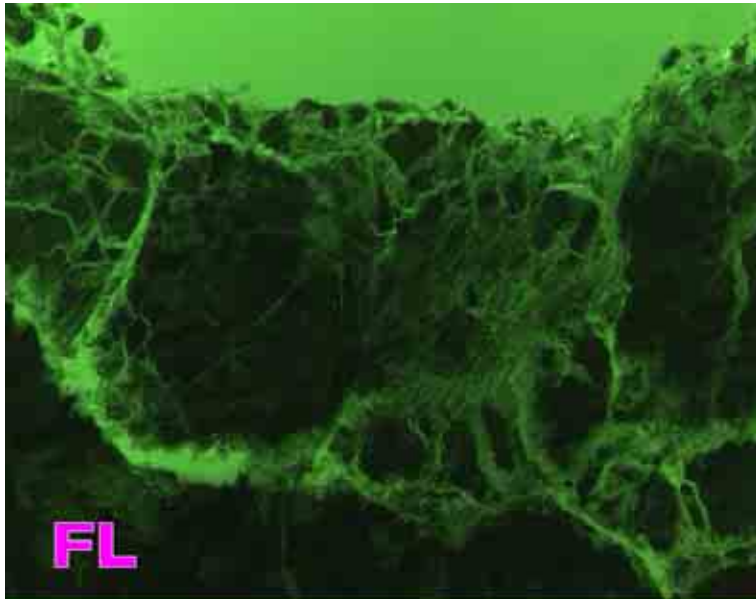
Figur 37a) Detalj av slitasje i grønnstein fra overflaten på Elgeseter. Bildebredde er 5.40mm. Vanlig planlys (PL).



b) Samme utsnitt med krysset lys (XL) som ikke viser detaljer i asfaltens struktur.



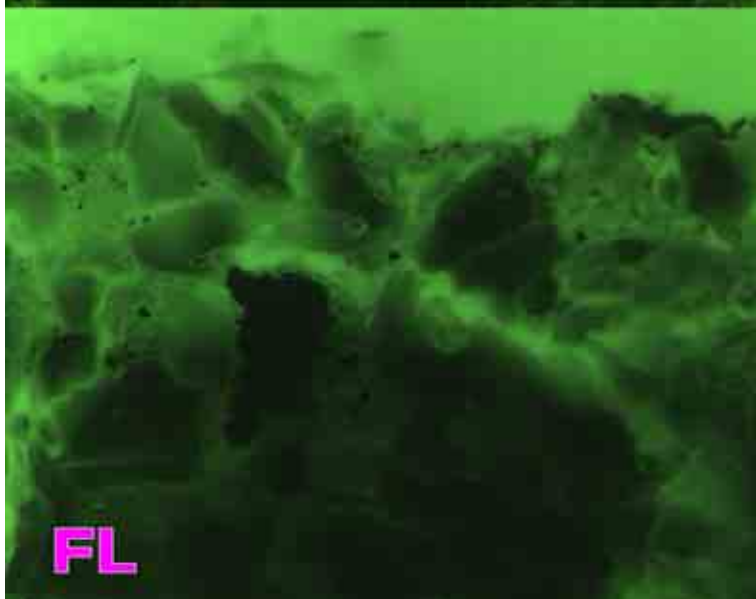
c) Samme utsnitt i fluorescens (FL) som viser intens oppsprekking langs mikrosprekk i grønnsteinskorner.



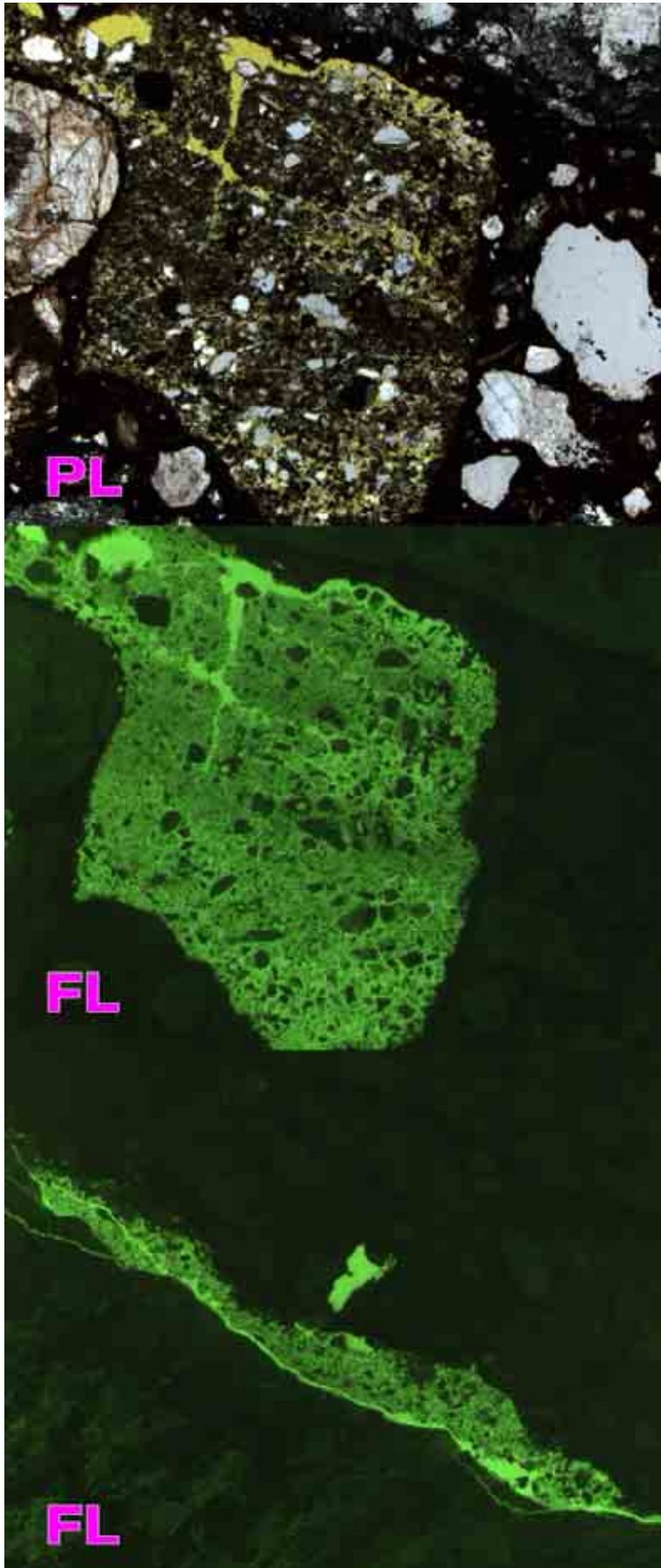
d) Detaljer av sprekke i grønnsteinskornet fra figur 37c i fluorescens (FL). Bildebredde 1.49mm.



e) Bildet viser svært lokal "oppsmuldring" langs spalteplan i mineralet amfibol i grønnsteinskornet. Bildebredde 0.73mm.



f) Sprekke synes å inneholde gummipartikler (svarte småprikker) samt andre støvpartikler. Bildebredde 0.376mm.

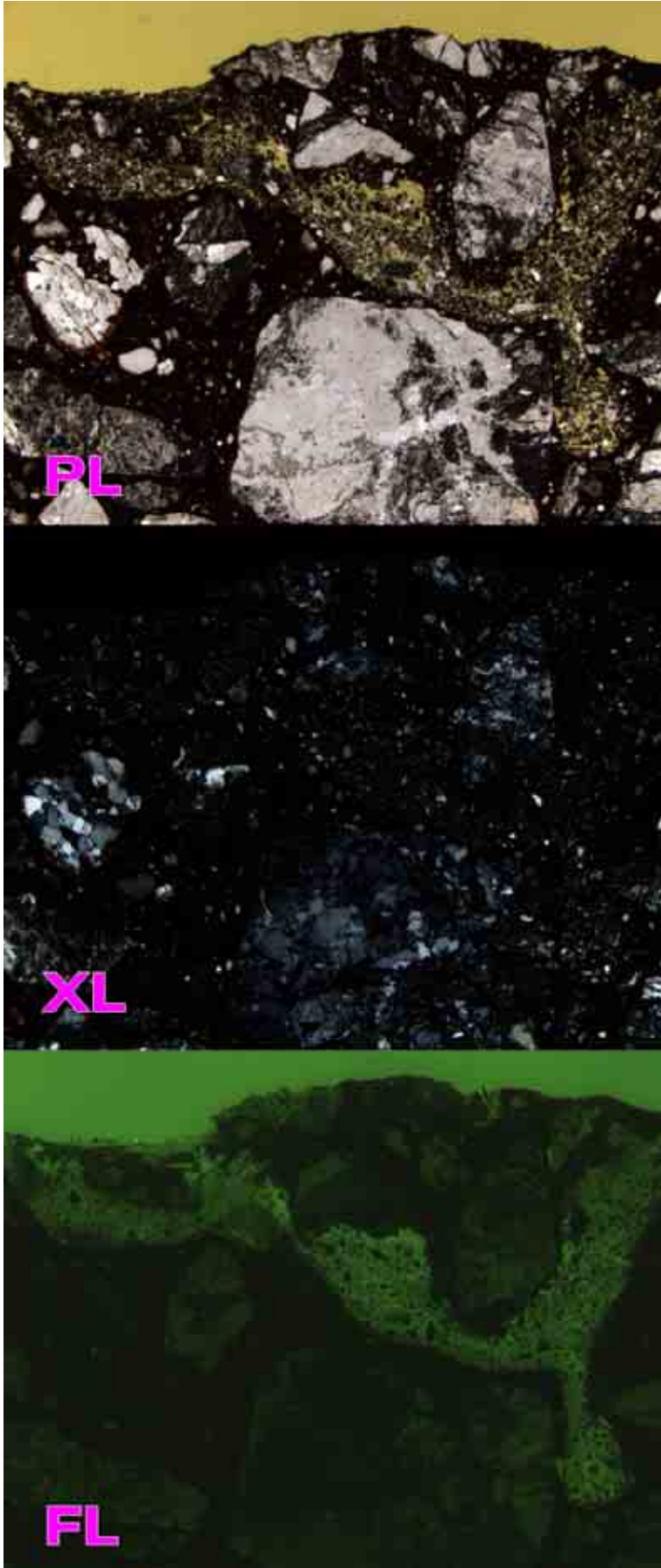


Figur 38a) Tynnslip fra Elgeseter i planlys (PL), fylt med finstoff som opptrer som forurensning i tilslagsmaterialet. Bildebredde 2.98mm.

b) Samme utsnitt i fluorescens (FL), som viser at det er løst materiale uten bindemiddel.

c) Et annet område i samme tynnslip som viser at finstoffet er "kittet" på et grovt tilslagskorn som nedsetter heftegenskapene mot bitumen.





Figur 39a) Asfaltkjerne fra Omkjøringsveien, også fylt med finstoff, i planlys (PL), med krysset lys (XL), og i fluorescens (FL). Bildebredde 5.40mm.

b) Finstoffet er knyttet til tilslagsmaterialet og det opptrer inne i kjernen og representerer ikke forurensing fra overflaten.

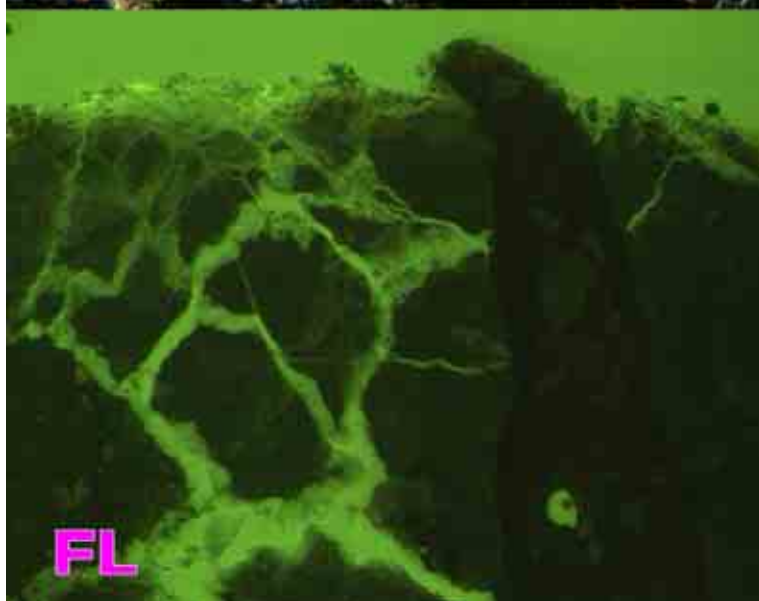
c) Finstoffet er porøst og inneholder ikke bindemiddel. Dermed mangler det all styrke.



Figur 40a) Detalj av slitasje av et mylonittkorn fra Omkjøringsveien, i planlys (PL). Bildebredde er 1.49mm. Bindemiddelet, sees som en mørkebrun søyle, gir heft til et fullstendig oppsmuldret mylonittkorn.



b) Samme utsnitt med krysset lys (XL)



c) Samme utsnitt i fluorescens (FL). Store sprekker trenger nedover og ødelegger hele mylonittkornet. Bindemiddelet løsner ikke fra tilslagskornet, og holder til og med fast små støvpartikler.

Tilsvarende oppsmuldring av bergartskorn som observert i asfaltkjerner med mylonitt er ikke registrert for de øvrige analyserte bergarten (jaspis, grønnstein og gabbro). Det er mulig at mylonitten har egenskaper (mineralogiske, teksturelle osv.) som ved bruk i asfaltdekker gir slitasjemessige svakheter som ikke framkommer og "skjules" i de tradisjonelle mekaniske testmetodene. For jaspis, grønnstein og gabbro er det kun observert sprekker lokalt og da langs overflaten av selve bergartskornet.

Det er tidligere stilt spørsmål [20] om mer slitesterke steinmaterialer, til tross for redusert vegslitasje og dermed mindre produsert totalt svevestøv, vil gi høyere andel av det fineste materiale i svevestøvet eksempelvis PM<sub>2.5</sub>. Ut fra et helsemessig perspektiv vil dette være uheldig. Selv om det er en viss usikkerhet i direkte å sammenlikne kornfordelingsanalysene for innsamlet og filtrert svevestøv (< 10µm) fra Omkjøringsveien og Elgeseter (kap. 6.1.4), viser resultatene at svevestøvet fra Omkjøringsveien består av betydelig mindre partikler (ca. 80% < 10µm) enn støvet fra Elgeseter (ca. 60% < 10µm). Dette kunne indikere at det slitesterke jaspisdekket gir mer av det støvet < 10µm. I og med at dekket ved Omkjøringsveien er såpass nedslitt er det vanskelig å relatere dette kun til jaspisinnholdet i asfalten. Det er derfor fortsatt et åpent spørsmål om slitesterke tilslag gir høyere andel av det fineste materiale (PM<sub>2.5</sub>) i svevestøvet.

Det er naturlig å anta at grovtilslaget (> 8mm), som det gjerne er mest av i asfaltresepten, har størst innflytelse på svevestøvet mineralsammensetning. Om og i hvilken grad fintilslaget (< 8mm) har innflytelse for svevestøvet mineralinnhold har, pga. tilslagssammensetningen i asfaltreseptene, ikke vært mulig å kartlegge i detalj. Resultatene fra Elgeseter med hensyn til potensialet for mineralogisk støv i forhold til innsamlet svevestøv (kap. 8.3, figur 32) kan gi indikasjoner på at alt tilslagmateriale i asfaltresepten kan spores i svevestøvet.

## 8.5 Tiltak for å redusere svevestøv ved vegslitasje

### Vegdekket

Generelt vil slitesterke vegdekker gi redusert total støvkonsentrasjon. Bruk av mer slitesterke tilslagmaterialer i asfaltdekket vil derfor være et målbart tiltak. Men, i og med at det fortsatt er uavklart om slitesterke bergarter kan gi mer av det fineste svevestøvet, som er uheldig ut fra et helseperspektiv, bør man på forhånd ha kartlagt kornfordelingen av svevestøvet for ulike tilslagmaterialer.

I Trøndelagsregionen har jaspis vært benyttet som et ekstremt slitesterkt tilslag. Indikasjoner tyder på at denne bergarten kan gi en forhøyet andel av det fineste støvet (kap. 8.4 og 6.1.4). I tillegg er det en viss risiko i bruk av kvartsrike bergarter mht. faren for silikose. I og med at jaspis hovedsakelig opptrer som kryptokrystallinsk, er denne bergarten mindre farlig mht. silikose i forhold til andre kvartsrike bergarter (muntlig meddelt Tom Myran). Alternative bergarter med lavt kvartsinnhold og høy slitestyrke er hornfels og enkelte anortositter som ikke er tilgjengelige i Trøndelag.

I og med at det nødvendigvis ikke er en sammenheng mellom slitasjeegenskapene gitt ved de mekaniske testmetodene (abrasjonsmetoden og møllemetoden) og andelen svevestøv som produseres for et gitt tilslag, bør det utarbeides analysemetoder eventuelt kriterier der svevestøvmengden og dens kornfordeling (andel finstøv) bedømmes. Bruk av et bestemt tilslag som ut fra erfaring gir lite svevestøv, kan være en kravspesifikasjon som kan benyttes ovenfor en asfaltentreprenør. En slik modell vil kunne medføre lang transport og dermed høy kostnad på "kvalitetstilslag" med gode egenskaper mht. lav støvproduksjon.

Det bør også avklares nærmere om og i hvor stor grad andelen med fintilslag (0-8mm) har for svevestøvet. I og med at det er indikasjoner på at alt tilslagsmateriale, både fin- og grovandelen, i vegdekket kan spores i svevestøvet, bør det vurderes om det er behov for å stille krav også til fintilslaget med hensyn til støvproduserende egenskaper. Mindre bruk av grus, som er et inhomogent materiale med ofte dårlige slitasjeegenskaper, bør i så måte undersøkes nærmere, for å avklare om det gir en positiv effekt.

Finstoffet som er observert i asfaltkjerne antas å være fra selve naturgrusen som er benyttet og/eller dannet ved produksjon gjennom knuse-/sikteprosessen for det anvendte tilslaget. Dette finstoffet kan være uheldig i asfaltblandingen (kap. 8.4), men som effektivt kan fjernes ved vasking ved prosessering av tilslaget.

#### Andre tiltak

Piggdekk er hovedårsaken til den store slitasjen på våre veier [20]. Innføring av redusert bruk av piggdekk i norske storbyer har derfor vært fornuftig og en ytterligere reduksjon bør vurderes. I hvor stor grad en mer optimal tilslags sammensetning har for å få redusert støvproduksjonen fra vegdekket, er uvisst. Muligens vil dette kun ha "marginal innvirkning" sett i forhold til gevinsten for å få redusert støvkonsentrasjon ved mindre bruk av piggdekk. Kunnskap om støvets mineralinnhold og kornfordeling er i så måte av større interesse sett i forhold til betydningen for helseaspektet, der det fortsatt er mye gjort.

Støvdempende tiltak i form av salting ( $MgCl_2$ ) kombinert med hyppig renhold av vegbanene i de verste "støvperiodene" vil også være effektivt. Til slutt vil det være summen av tiltak som gjør at støvkonsentrasjonen i bygatene kan reduseres.

### **8.6 Vurdering av organiske analyser**

Funn av PCB i asfaltkjerne ved Elgeseter er lavere enn normverdien for ren jord (10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) og representerer ingen helseisriko. Bruk av denne stoffgruppen har vært forbudt siden 1980. PCB-komponentene som er påvist har ukjent opprinnelse og kilden bør spores opp.

Ved tidligere miljøtekniske grunnundersøkelser på Fornebu [21], er det blitt påvist betydelige mengder PCB i "gammel" asfalt. Dette sammen med funn av PCB i asfaltkjerne i Elgeseter bør resultere i økt kjemisk fokus på asfaltprodukter. Mest mulig gjenbruk av asfalt er "flagget som et miljømål" så det bør snarest innføres krav til miljøanalyser av gjenbruksmasser.



## 9. FORSLAG TIL VIDEREFØRING AV STØVPROSJEKTET

### Identifisering av kilder til svevestøv

Prosjektet har dokumentert at svevestøvet langs Elgeseter gate er dominert av slitasje-produkter av tilslagsmateriale som er benyttet i asfaltdekket.

Metodikken som er benyttet kan også benyttes for å identifisere andre lokale forurensningskilder som har utslipp av svevestøv til luft (for eksempel energiproduksjon, forbrenning av avfall, biobrensel, vedfyring, oljefyring), industriprosesser og annen næringsvirksomhet, utslipp fra kjøretøy, fartøy og landbruk med mer. Basert på partikkelkarakterisering og kjemisk sammensetning av svevestøvet kan bidraget fra langtransportert forurensning estimeres.

I tillegg til partikkelkarakterisering, og kornfordeling, kan prøvenes innhold av uorganiske og organiske bestanddeler (bl.a. sot) bestemmes.

### Helsemessige konsekvenser

I mellom-Europa er støvproblem knyttet til materiale av organisk opprinnelse, eksempelvis sot, som kan være langtransportert. I Skandinavia består svevestøvet, i de mest støvrige periodene, hovedsakelig av mineralogisk materiale (85-95%) [2]. Kilden er lokal og skyldes piggdekksslitasje av vegbanen. Ved innføring av nye EU-krav til luftkvalitet (01.01.2005) vil man kunne risikere at f.eks. Trondheim kommune må ty til omfattende tiltak for å unngå at grenseverdiene overskrides. Det bør avklares hvilke helsemessige konsekvenser de nye normverdiene har avhengig om svevestøvet er dominert av organisk materiale framfor det som er et "Skandinavisk problem" med mineralogisk svevestøv.

### Miljøgifter i asfaltdekke og gjenbruk av asfalt

Gjennom "screening" analyser er det påvist en rekke organiske miljøgifter i asfaltdekket. En mer nøyaktig bestemmelse av utvalgte organiske miljøgifter bør gjennomføres på prøver av asfalt fra ulike leverandører. Prøvene bør kontrolleres fra innholdet av PAH, PCB, dioksiner/furaner, phthalater, benzonaphthathiphener.

PCB ble påvist i fersk asfalt fra Elgesetergate og senere i resirkulert asfalt på øvre Møllenberg. NGU anbefaler at det utarbeides nasjonale regler som sikrer at gammel asfalt blir undersøkt for mulig innhold av miljøgifter før den resirkuleres. Veganlegg hvor det er benyttet gammel resirkulert asfalt bør undersøkes for eventuelt innhold av miljøgifter og mulig spredning.

### Analyse av støvproduksjonen

Det bør etableres et standardisert analyseopplegg for å få kartlagt støvproduksjonen for ulike tilslagsrecepter i asfaltdekker. Viktige analyseparametere med hensyn til svevestøvet vil være:

- Total mengde produsert svevestøv ( $< 75\mu\text{m}$ )
- Kornfordeling der  $< 10\mu\text{m}$  (inhalerbart støv) og  $< 5\mu\text{m}$  (respirabelt støv) vil være viktige fraksjoner for videre analyser som;
- Kornformen til svevestøvet
- Mineralsammensetningen av de ulike kornfraksjonene av svevestøvet
- Analyse av bergartssammensetning og mineralinnhold til alt tilslagsmaterialet i asfaltblandingen samt kornstørrelse og tekstur for de forskjellige tilslagene.

Kunstig produksjon av støv med Trøger apparatet kan være en framgangsmåte for å få bedømt ulike asfaltresepter. Men i og med at Trøger testen ikke fullt ut gir et korrekt bilde av den reelle vegslitasjen vil man nødvendigvis ikke få et sannferdig resultat av støvmengden som produseres. Videre er det i denne undersøkelsen vist at kornformen til Trøger produsert støv ikke er sammenliknbar med analyser fra innsamlet svevestøv. Det beste vil være å få utført undersøkelser i et "lukket system" tilsvarende mulighetene i en ringbane. Ved en ringbane kan man kontrollere alle de variable parametrene (asfalttyper, tilslagsmaterialer osv.) og man får samlet støv mye raskere enn det som er mulig ved innsamling langs veg. Ved et slikt forsøk har man i tillegg lettere for å kartlegge hva slags innvirkning finandelen i tilslaget (< 8mm) har for svevestøvet sett i forhold til grovandelen (> 8mm) samt om tilsetning av grus framfor knust fjell vil gi et ekstra bidrag til svevestøvkonsentrasjonen. I tilknytting til ringbaneforsøk bør det også legges enkelte forsøksstrekninger for å kontrollere eventuelle avvik mellom støv produsert i et "lukket system" med reelle forhold der ytre forurensing, klima osv. kan gi et avvikende resultat. Ved slike forsøk bør det innledningsvis benyttes mest mulig monomineralsk tilslag, som kvartsitt eller anortositt, slik av mineralinnholdet i støvet blir lettere å tolke.

### **Kontroll av asfaltresepten**

Plan- og tynnslip av asfaltkjerner som er impregnert med et fluoriserende middel kan brukes for å kontrollere asfaltresepten for å sikre at vegeier har fått den asfaltkvalitet som er bestilt.

### **Kunnskapsformidling**

Trondheimprosjektet har overføringsverdi til andre kommuner og vegdistrikter. NGU anbefaler at det utarbeides informasjonsmateriale som formidles til andre brukere. Resultatene bør presenteres i norske/nordiske vegfaglige miljøer.

### **Vitenskapelig publisering av data fra rapporten**

Deler av rapporten bør publiseres i anerkjente internasjonale tidsskrift.

## 10. REFERANSER

- [1] Lundberg, I. 2004: Förslag till åtgärdsprogram för att klara miljö kvalitetsnormen för partiklar PM<sub>10</sub> i Stockholms län. Länsstyrelsen i Stockholms län, Miljö- og planeringsavdelingen.
- [2] Myran, T. og Hedalen, T. 1994: Vegstøvdepot i Trondheim – partikkelstørrelsesfordeling, kjemisk og mineralogisk sammensetning. SINTEF Bergteknikk STF36 A9403
- [3] Hedalen, T. 1996: Støvnedfall i Trondheim – partikkelstørrelsesfordeling, totalt organisk innhold og mineralogisk sammensetning. SINTEF Bergteknikk
- [4] Berg, P.O., Røkke, C. Og Soknes, S. 1993: Registrering av støvnedfall i Trondheim sentrum. Notat Statens Vegvesen Sør-Trøndelag.
- [5] Berg, T. 1991: Svevestøvsmålinger i Trondheim sentrum, Rapport Miljøpakke Trondheim
- [6] Berg, T. 1993: Svevestøvsmålinger langs omkjøringsveien vinteren 1992/93. Trondheim kommune Miljøavdelingen, rapport 93/15.
- [7] Ottesen, R.T. og medarbeidere 1994: Asbest i veistøv fra Trondheim. Trondheim kommune Miljøavdelingen Rapport 94/01.
- [8] Bækken, T. 1993: Miljøpåvirkninger av vegtrafikkens asfalt og dekkslitasje. Nordisk råd, 1993:628.
- [9] Miljøverndepartementet, 2004: Forskrift om begrenning av forurensning (forurensningsforskriftene). Kap. 7. Lokal luftkvalitet. FOR 2004-06-01 nr. 931.
- [10] Council Directive 1999/30/EC, 1999: Relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air.
- [11] Statens vegvesen 1997: Håndbok 014-Laboratorieundersøkelser. 14.5511 Binde-middelinnhold og korngradering, Strassentest ekstraksjonsmaskin.
- [12] Klausen, R. et. al. 2003: Veg, støv og helse. Ekspert i team. Prosjektoppgave NTNU.
- [13] Soknes, S. 1997: Måling av slitasje og støvanalyser. Miljødagene '97 13-15 mai 1997, NTNU.
- [14] Berthelsen, B.O. 2003: Bruk av magnesiumklorid som akutt tiltak for støvdemping på E6 gjennom Trondheim. Trondheim kommune. Rapport nr. TM2003/03.
- [15] NS-EN 1097-9: Bestemmelse av motstand mot piggdekkslitasje (møllemetoden).
- [16] Höbeda, P. och Jacobsen, T. 1981: Frytöväxlingsförsök på stenmaterial med svaga lösningar av halkbekämpningsmedel. VTI Meddelande nr. 244.

- [17] Alnæs, L.I. 1994: Kvalitet og bestandighet av naturstein : påvirkningsfaktorer og prøvemeter. Dr. ing. avhandling, NTNU.
- [18] Vogler, H. 1976: Automatisierte Frost-Tauwechseluntersuchungen an Splitten 8/10 mm unter Verwendung von Taumitteln. Strasse und Autobahn nr. 10.
- [19] Trøan, A.K. 2000: Piggdekkslitasje - forsøksfelt ved Ev 6 ved Klett. Sintef-rapport STF22 A00462.
- [20] Bakløkk, L.J. 1997: Piggdekkslitasje på vegnettet-Utviklingstrekk. Miljødagene '97 13-15 mai 1997, NTNU.
- [21] Ottesen, R.T. og Alexander, J: 2003: Forslag til akseptkriterier av PCB-forurenset grunn basert på helsevurderinger og forskrift om farlig avfall. NGU-rapport 2003.048

## Vedlegg 1 - Tynnslipanalyse av bergartsmateriale som benyttes i asfaltdekker i Trondheimsområdet.

### *Mylonitt/kataklasitt*

Riktig navn er kataklasitt, på grunn av tekstur som vitner om flere faser av sprø deformasjon. Ifølge definisjonen er en mylonitt duktil deformert og skal ha en sammenhengende '*parallel fluxion*' tekstur. Verken mylonitt eller kataklasitt er forbeholdt en viss avgrenset (littologisk, mineralogisk) sammensetning, men beskriver bare bergartens tekstur (Wimmenauer 1985).

Korn av kvarts, K-feltspat og (albitt-rik) plagioklas flyter i en meget finkornet matrise av lignende sammensetning. Aksessorisk forekommer aktinolitt-hornblendende amfibol, kloritt, epidot/klinozoisitt, muskovitt/serisitt, og kaolinitt. Selv om bergarten virker makroskopisk sett homogen er den ikke det i mikroskopet; det opptrer betydelige forskjeller i mineralfordeling mellom ulike partier som gjerne er skilt av sammensveidede senere sprekker. Kalsitt opptrer sporadisk som sprekkfylling. Aksessorisk opptrer zirkon/monazitt, ortitt, apatitt, og opak. Bergarten virker anisotrop, i motsetning til de øvrige.

### *Gabbro*

Gabbro er en massiv bergart; doleritt (amerikansk: diabas) er gangvarianten av samme bergart. Basert på mineralogisk sammensetning er materialet her en grønnstein av retrogradert gabbro/doleritt. Den opprinnelige ofittiske tekturen har blitt bevart etter omvandling. Hovedparten består av aktinolittisk amfibol med noen få innblandete kvartskorn, med andesittisk plagioklas ( $An_{35-50}$ ). Stedvis men sjelden er amfibol omvandlet til kloritt. Epidot/klinozoisitt opptrer gjerne i soner, muligens gamle sprekker. Aksessorisk forekommer titanitt, apatitt, og magnetitt, samt relikter av klinopyroksen og muligens biotitt. Karbonat opptrer hovedsakelig i sprekker. Bergarten virker makroskopisk isotrop.

### *Grønnstein*

Bergarten har den samme ofittiske tekturen som beskrevet for gabbroen, men med klart mindre kornstørrelse. Også her utgjør aktinolittisk-hornblendittisk amfibol hovedparten med andesittisk plagioklas ( $An_{30-40}$ ). Lokalt opptrer epidot/klinozoisitt, kloritt, med aksessorisk titanitt, apatitt, og magnetitt, samt relikter av klinopyroksen. Karbonat forekommer bare i sprekker, ikke i grunnmassen. Bergarten virker makroskopisk isotrop.

### *Jaspis*

Jaspis er en meget slitesterk og mekanisk motstandsdyktig bergart, og består av finkornet kvarts med innstrødde hematitt-flak. Kvarts er alltid mest finkornet i partier med hematitt. Avgrensning mellom partier med og uten hematitt er ofte stylolittisk. Stedvis opptrer kloritt i små isolerte flak, sideritt, pyritt, ofte delvis limonittisert, samt leukoksen. Bergarten virker makroskopisk isotrop, selv om den mikroskopisk ikke er det.

## Vedlegg 2 – Plan- og tynnslipanalyse av asfaltkjerner.

### Prøvenes representativitet

Asfaltreseptene (kap. 5.1) gir anledning for å se nærmere på prøvenes størrelse og representativitet. For å være representativ må en prøve inneholde et visst minimum antall av den mest sjeldne bestanddel i den groveste fraksjonen. Vanligvis er prøven da automatisk representativ for finere fraksjoner. Den mest brukte standarden i denne sammenheng er ASTM D75-97, som definerer minimum vekt for en representativ prøve av en gitt maksimal kornstørrelse. Hvis den aktuelle kornstørrelsen ikke er nevnt tas den nest største. For kombinert grovt + fint materiale defineres minimumstørrelse som "grov + 10kg".

Den grove fraksjonen består av partikler 8/11mm (Elgeseter, Prinsen, Rosendal) eller 11/16mm (Omkjøringsveien). For materiale med kornstørrelse 12.5mm (>11mm) er minimum prøvemengde 15kg, mens for 19mm (>16mm) mengden øker til 25kg. Ettersom det er kombinert materiale som inneholder både grovt og fint materiale, øker minimum prøvestørrelsen til 25kg, henholdsvis 35kg. Merk at det er et *minimum*.

Hvor mye asfalt tilsvarer disse prøvemengdene? Hvis asfalten (grov+fin+bindemiddel) veier 2.5kg/ℓ, da tilsvarer 25kg prøvemateriale et volum på 10ℓ, og 35kg materiale 14ℓ. I porøs materiale med lavere spesifikk vekt er volumet tilsvarende større.

De prøvene som ble tatt her har en diameter på 75mm. For å oppnå et volum på 1ℓ må en kjerne ha en lengde på over 226mm. For en total prøvevolum på 10ℓ eller 14ℓ er den totale kjernelengden da 22.6m, henholdsvis 31.65m. Altså, for representativ prøvetaking av et vegdekke på 50mm med borekjerner på 75mm tilsvarer det 452 kjerner, henholdsvis hele 633 kjerner for en enkel prøve. På samme vegdekke tilsvarer det 2m<sup>2</sup> (Elgeseter, Prinsen, Rosendal), henholdsvis 2.8m<sup>2</sup> (Omkjøringsveien). *Merk, for en eneste representativ prøve.*

Ut fra ovenstående er det klart at de her undersøkte prøver på ingen måte kan være representative for grovfraksjonen ettersom en materialmengde tilsvarende 1/452-del (Elgeseter, Prinsen, Rosendal) eller 1/633-del (Omkjøringsveien) av representativ mengde.

På samme måten kan representativitet av tynnslip betraktes. Et 30μm tynnslip på 30x45mm inneholder 39.5mm<sup>3</sup> materiale, ved 20μm tykkelse kun 27mm<sup>3</sup>. Uten annen prøvepreparering er denne mengden selvsagt heller ikke representativ, og en bør forvente betydelige avvik fra "fasit". Samtidig tjener nettopp dette avviket som indikator hvor stor lokal spredningen kan være.

### Grovt tilslagsmateriale (> ca. 8mm)

#### *Mylonitt/kataklasitt*

En betydelig del av mylonitt/kataklasitt korn i tynnslip viser hårtynne sprekker fyllt med asfalt; ingen av de øvrige bergarter gjør det samme. Begge bergarter kan være en og samme som ligger i ulike orienterte snitt i tynnslipene. Av alle bergarter er det denne som smuldrer i de fleste tilfeller. Mylonitt/kataklasitt er også den mest anisotrope bergarten.

#### *Retrogradert gabbro/doleritt eller grønnstein*

På grunn av gode spalteevner til amfibol og kalsitt er det mulig at mange av de amfibol- og karbonat-enkeltkorn i finfraksjon stammer fra retrogradert gabbro/doleritt.

### *Jaspis*

Jaspis er benyttet i asfalten ved Rosendal (blandet 1:1 med grønnstein og mylonitt) og som hovedbestanddel på Omkjøringsveien. I tillegg er den observert helt underordnet i den nylagte asfalten (2003) ved Elgeseter.

### *Sandstein, kvartsitt og gneis*

Sandstein opptrer i forholdsvis få enkeltpartikler av tettpakkede runde sandkorn som er blitt avlange på grunn av sammenpressing ved (geologisk) kompaktering. Sandkornene er oftest sammensveiset med kvarts- eller kalsittsement. Især sandsteinpartikler kan være porøse, og dermed mekanisk svake.

Kvartsitt har gjerne uregelmessige eller/og suturerte kornkontakter, kvartsrik gneis inneholder ofte noe biotitt i tillegg. Prosentandel sandstein, kvartsitt og gneis i tilslaget er lavt.

### *Ryolitt*

Ryolitt opptrer i mindre enkeltkorn med større feltspatkorn (sjelden kvarts) som flyter i en finkornet matriks av stort sett samme sammensetning. Prosentandel ryolitt i hele tilslagsmaterialet er lavt.

### **Fint tilslagsmateriale (< ca. 8mm)**

Finfraksjon av tilslagsmaterialet består av de samme bergartene som beskrevet ovenfor, med den forskjellen at materialet også inneholder mange enkeltkorn av kvarts, K-feltspat eller plagioklas, amfibol (aktinolittisk/hornblende), epidot/klinozoisitt, titanitt, noen få korn biotitt, muskovitt eller serisitt, kloritt, m.fl.

Særlig iøynefallende er de mange kalsittkorn, klart tilsatt som filler. På grunn av den mørke matriksen er det godt mulig at en del korn ligger skjult og er usynlige, slik at det virkelige innholdet kan være signifikant høyere enn det synes, avhengig av korngraderingen nedover og tynnslipets tykkelse (20µm).

### **Bindemiddel**

Det er observert organisk materiale i alle asfaltresepter, med unntak for Omkjøringsveien. Bindemiddelet inneholder dessuten en viss mengde flygeaskepartikler, samt at det opptrer en del metalliske partikler, muligens fra slitasje av produksjonsutstyr, steinknuser og sikter for tilslagsmateriale inkludert.

### **Struktur, kornfordeling, porøsitet, hulrom**

Grove og fine tilslagskorn er jevnt fordelt i asfalten. Flakete og stengelige korn kan vise en svak orientering, oftest parallelt toppoverflaten. Strukturen kan oppfattes som '*grain supported*' der grove tilslagskorn overfører sin last på et flertall mindre korn, slik at belastningen spres over et større område/volum. Kornfordeling er vanskelig å bestemme i plan- eller/og tynnslip, men virker tilsynelatende muligens bimodal ved mangel av en midtre fraksjon.

I noen av planslipene er det under fluorescens godt synlig at asfalten inneholder mange impregnerte hulrom, mens noen andre prøver er tilnærmet helt tett. På grunn av prepareringsmetoden antyder impregnering av porer at de er tilgjengelig for epoksy fra kjernens overflate; ikke-impregnerte porer er altså ikke tilgjengelig.



I prøvene er det store forskjeller mellom totalinnhold av hulrom og dens fordeling. Forskjellene opptrer både mellom ulike sjikt (asfaltbatcher) i en og samme kjerne, og innenfor et og samme sjikt. Det er imidlertid *ingen* sammenheng med prøvenes plassering i kant eller spor.

## **REFERANSER**

ASTM D75-97, 1997: Standard practice for sampling aggregates. American Society for Testing & Materials, West Conshohocken, Annual Book of ASTM Standards (04.03): Soil and rock, building stones, geotextiles: 16-20.

### Vedlegg 3 - Røntgendiffraksjon (XRD)

#### GENERELT

##### *Prinsipp og virkning*

Røntgendiffraksjon er en metode som kan brukes til både identifisering av mineraler og av relative mengder i en mineralblanding. Metoden daterer fra begynnelsen av 1900-tallet og ble utarbeidet av Bragg & Bragg (1924). Røntgendiffraksjon som metode (oftest antydnet som XRD for det engelske 'X-ray diffraction') bygger på prinsippet at det opptrer visse plan i krystallinske materialer. Disse plan er (vanligvis) ikke de som vises på utsiden av frivokste krystaller som for eksempel bergkrystall, men ligger gjømt i krystallens struktur.

Krystallinske materialer har en 3-dimensional repetisjonsmessig stabling av atomer, som kan tenkes forestilt som kuler. Avhengig av stablingmåten og kulenes ulike størrelser fins det plan som er relativt tettpakkede og andre plan som er relativt åpne. På grunn av gitterets repetitive symmetri opptrer de tettpakkede/åpne plan på en repetitiv avstand (intervall) i strukturen. En innkommende Røntgenstråle vil således ha en større sjanse for å passere rakt gjennom de hull i åpne plan, eller omvendt ha en større sjanse for å bli reflektert på tettpakkede plan. Avhengig av planenes orientering er refleksvinkelen lavere eller høyere, og refleksens intensitet er avhengig av planenes absolutte tetthet/åpenhet. Ved å fokusere monokromatiserte Røntgenstråler på den pulveriserte prøven kan refleksvinklene enkelt måles, og ut fra krystallgoniometriske betraktninger kan vinklene omregnes til planavstander (intervaller) i strukturen, som kalles for d-verdi, i Ångström ( $1=1 \cdot 10^{-10}\text{m}$ ).

Tidligere ble det anvendt analog film i et rundformet (såkalt 'Debye-Scherrer') kamera med 360mm omtrek slik at  $1^\circ$  i refleksjon (antydnet som " $^\circ 2\theta$ ") tilsvarer 1mm avstand på filmen. Per i dag brukes det fortrinnsvis en "solid-state detector" som har til fordel at den er kjappere enn film, at det er enklere å ta diffraktogrammer fra aktuelle områder (dvs., de mest interessante refleksvinkler) samt at dataene som samles inn er digitale slik at de er lett til å bearbeide. De litt eldre typer digitale detektorer 'kikker' gjennom en smal spalte for å forbedre oppløsningen og beveger således i en krets rundt fokuseringspunktet. De nyeste solid-state detektorer har derimot en bildevidde på  $25^\circ 2\theta$  og tar heller et 'snapshot' av hele området med en gang, med like høy oppløsning.

De her målingene er gjennomført med den førstnevnte typen solid-state detector. Dette gjør ingen forskjell for datakvaliteten, bare at det tar lengre tid å ta et opptak fra  $3-70^\circ 2\theta$  med  $0.01^\circ 2\theta/\text{s}$  oppløsning (totalt 6700s per opptak, 1t51m). En snapshot detektor kunne ha gjort det samme i under 600s (10m).

##### *Prøvepreparering*

Analysert pulverne ble strødd på Si-plater og analysert i en Philips X'pert MPD med en PW1775 sample changer. Med denne typen prøvepreparering på Si-plater får prøvene en viss orientering for flakete og fibrige mineraler. Cu-Røntgenrøret ble drevet på 40kV og 40mA ( $\lambda K_{\alpha 1}=1.54056\text{Å}$ ,  $\lambda K_{\alpha 2}=1.54439\text{Å}$ ). Diffraktogrammene ble tatt opp fra  $3-70^\circ 2\theta$ , step size  $0.02^\circ 2\theta$ , 2s måletid per step.

Avhengig av prøvetypen (for eksempel grovkornet håndstøff eller finkornet støv) og ønsket analyseresultat (se nedenfor) velger man den best egnede prøveprepareringen. Gjelder det identifisering av et eneste mineral som hovedformål holder det med enkel pulverisering i agatmørtel under aceton av håndplukket (ren) materiale for XRD-analyse med film eller digital. Pulveret presses inn et hull i en aluminium prøveholder og gjøres absolutt plan ved

hjelp av et glass. De individuelle korn i preparatet ligger til nærmest uorientert, som er vanligvis en fordel i en blandet mineralprøve.

Alternativt kan prøven strøs på en skive av ren silisium (Si) 'metall' som gir mye lavere bakgrunn, selv med kun lite tilgjengelig materiale. De her undersøkte prøvene ble preparert på denne måten. I motsetning til en presset prøve ligger materialet her orientert, det vil selvsagt si de flakete (mika, leirminerale) og stengelige korn (pyroksen, amfibol), ikke de mer eller mindre runde (kvarts, feltspat, plagioklas, granat, sfen/titanitt). Denne orienteringen leder til at noen av refleksene blir overeksponert på bekostning av de øvrige fra samme mineralet (de er liksom 'underbelyst'). For mika og leirminerale som i grunn er oppbygd av (alumino-) silikatsjikt betyr det at den karakteristiske (kraftigste) refleksjonen i området rundt 9-15 Å opptrer meget kraftig mens de øvrige reflekser er betydelig redusert. Vanligvis er dette en ulempe, men i tilfellet man er interessert i deteksjon av små mengder leirminerale er dette nettopp gunstig, særlig i en blandet prøve. Deteksjonsgrensen for leire eller mika forskyves dermed en god stykke nedover, fra noen prosenter til noen få tidels prosenter, forutsett at prøven inneholder ingen andre (forstyrrende) sjikt-silikater. På grunn av de små materialmengder ble de her undersøkte prøver preparert på silisiumskiver.

### *Diffraktogrammer*

En Røntgendiffraktogram er en grafikk der refleksvinkelen er avsatt vannrett og refleksens intensitet loddrett. Kombinasjonen av vinkler og intensiteter er unik for ethvert mineral og kan dermed tjene til identifikasjon av et ukjent materiale. Den kombinasjonen er såpass karakteristisk at den kreves i førstegangsbeskrivelsen av et mineral før det kan vurderes akseptert som et nytt.

Minerale som tilhører en viss gruppe har en lignende struktur ('kulestabling'), som for eksempel pyroksener, amfiboler, sjikt-silikater som mikaer og leirminerale, men ulik kjemisk sammensetning av hver enkelt gruppemedlem. Diopsid ( $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), hedenbergitt ( $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), jadeitt ( $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), jervisitt ( $\text{NaSc}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), spodumen ( $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ) alle tilhører pyroksen-gruppen men har svært ulik kjemisk sammensetning. Den felles pyroksenstruktur gjør at refleksjonene ligger på de samme vinklene i en diffraktogram, mens den ulike kjemien (for eksempel representert som 'snitt atomvekt') samtidig gjør at intensiteten av en og samme refleksjon er forskjellig for ethvert gruppemedlem. Det samme gjelder amfibolgruppen, mikagruppen, leirmineralgruppen, osv, osv, som hver har sin egen umiskjennelige signatur.

Ved hjelp av datamaskin og skreddersydd software kan en (digital) diffraktogram bearbeides matematisk, for eksempel at man får mindre støy fra bakgrunnen eller gjør refleksene mer diskrete slik at overlapp med nærliggende reflekser blir mindre. For en diffraktogram av en 'monomineralsk' prøve betyr det at det gjør identifisering enklere og i mindre tid. For en prøve som inneholder flere minerale betyr det i prinsippet at muligheten åpnes for ikke bare identifisering av de individuelle bestanddeler men også dens relative mengder, betinget at visse forutsetninger ble holdt, og helst at en kjent kalibreringsmateriale blandes inn med prøvemateriale, som for eksempel krystallinsk silisium 'metall' (Si) eller korund ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ). Egnede kalibreringsmateriale har kun få og samtidig kraftige og bratte topper, helst i et annet område enn karakteristiske topper fra det ukjente prøvematerialet.

Det er mulig å identifisere minerale i en gitt diffraktogram for hånd, men det er ganske tidkrevende når alle minerale må bestemmes en og en. Dessuten krever det petrologisk-mineralogiske kunnskaper, for systemet vet ikke at det er lite sannsynlig at en Na-rik amfibol (for eksempel riebeckitt) opptrer i en ellers Ca-rik bergart (for eksempel gabbro). Slike forskyvinger (både i refleksvinkel og toppenes høyde) i diffraktogrammer forresten helt

naturlig, men gjør uten tilsatt kalibreringsmateriale datavurdering vanskelig. Gjennom såkalt 'Rietveld-refinement' databearbeiding kan dette gjøres automatisk, mye kjappere og samtidig mye bedre enn for hånd. Da blir også effekter av de individuelle refleksene/mineralspektre på bakkgrunnsstøyen trukket inn i de (iterative) beregningene.

## REFERANSER

Bragg, WH, and Bragg, WL (1924): X rays and crystal structure. G Bell & Sons Limited, London: pp 322.

Kühnel, RA, and Van der Gaast, SJ (1995): Effects of sample preparation for XRD analysis on mineralogical composition of rocks: case study on clay minerals in basaltic rocks. In: Elsen, A, Grobet, P, Keung, M, Leeman, H, Schoonheydt, R, and Toufar, H (editors): Proceedings of the Euroclay Congress: 343-344.

## ANALYSERESULTAT

### Røntgendiffraksjon (XRD) for støv produsert kunstig med Trøger apparat.

Observerte mineraler	Prøvelokaliteter		
	Elgeseter	Prinsen	Omkjøringsveien
<b>Kvarts</b>	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	x
<b>K-feltpat</b>	-	-	-
<b>Pyroksen</b>	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	x	x
<b>Glimmer/illitt</b>	x	x	x
<b>Kloritt</b>	X	x	x
<b>Epidot</b>	x	-	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	-	-
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	halitt (strøsalt)	hematitt, turmalin

X=mye, x=noe

### Røntgendiffraksjon (XRD) for svevestøv fra støvbøtter.

Observerte mineraler	Prøvenavn	
	Elgeseter	Omkjøringsveien
<b>Kvarts</b>	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X
<b>K-feltpat</b>	-	x
<b>Pyroksen</b>	x	x
<b>Amfibol</b>	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X
<b>Epidot</b>	x	-
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	x	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-

X=mye, x=noe.

## Vedlegg 4 – Analyse av ekstrahert materiale fra asfaltkjerner

### Kornfordeling og bindemiddelinnhold etter Strassentest.

Prøvelokaliet	Kornfordeling kumulativ (%)				Bindemiddelinnhold (vekt%)
	8mm	4mm	2mm	0,075mm	
<b>Elgeseter, sør kant 2</b>	88,1	68,3	56,4	29,7	6,1
<b>Prinsen, nord spor 4</b>	90,2	67,9	57,0	33,5	6,8
<b>Rosendal, Vest kant 2</b>	89,7	68,7	59,8	34,9	6,0
<b>Rosendal, Vest kant 4</b>	89,7	70,7	59,9	35,3	6,0

Analysert av Statens vegvesen.

### Røntgendiffraksjon (XRD) for ekstrahert materiale fra asfaltkjerner.

Observerte mineraler	Elgeseter				
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm	500-1000µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X	X
<b>K-feltpat</b>	-	x	x	-	x
<b>Pyroksen</b>	-	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	-	x	x	x	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	X	X	X	X
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-	serpentin

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 millimeter

### Røntgendiffraksjon (XRD) for ekstrahert materiale fra asfaltkjerner.

Observerte mineraler	Prinsen				
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm	500-1000µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X	X
<b>K-feltpat</b>	-	-	-	-	x
<b>Pyroksen</b>	x	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	-	x	x	x	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	x	X	x	X	X
<b>Annet/aksessorisk</b>	chalcopyritt	-	-	-	-

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 millimeter

**Røntgendiffraksjon (XRD) for ekstrahert materiale fra asfaltkjerner.**

Observerte mineraler	Rosendal Vest Kant 4				
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm	500-1000µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X	X
<b>K-feltspat</b>	-	-	-	x	x
<b>Pyroksen</b>	-	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	x	x	x	x	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	X	X	X	X
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-	-

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 millimeter

**Røntgendiffraksjon (XRD) for ekstrahert materiale fra asfaltkjerner.**

Observerte mineraler	Rosendal Vest Kant 2				
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm	500-1000µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X	X
<b>K-feltspat</b>	-	-	x	-	x
<b>Pyroksen</b>	-	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	-	-	-	-	-
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	X	X	X	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-	serpentin

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 millimeter

## Vedlegg 5 – Scanning elektron mikroskopi (SEM) og energidispersiv røntgenspektrometri (EDS)

Elektronmikroskopilaboratoriet ved Norges geologiske undersøkelse består av et 1450VP scanning-elektronmikroskop fra LEO Electron Microscopy Ltd. med Røntgendetektorer (Energy 400 og Wave 500) fra Oxford Instruments. For kvantitative analyser og arbeid som krever høy oppløsning opereres mikroskopet ved fullt vakuum ( $< 5 \times 10^{-3}$  Pa) på prøver av ledende materialer eller prøver som i forveien har blitt belagt med en ledende film (karbon, gull mm.). På prøver av upreparerte, ikke-ledende materialer kan mikroskopet kjøres under reduserte vakuumbetingelser (1-300 Pa) med noe tap i oppløsning. Elektrondeteksjon foretas enten med en sekundær elektron (SE) detektor for topografisk kontrast, eller med en av de to detektorene for tilbakespredte elektroner (BSE) som primært avspeiler atomnummerkontrast. I tillegg er mikroskopet utstyrt med en katodeluminisensdetektor (CL) og for tiden også en detektor for absorbert strøm (ACD). Røntgendeteksjonssystemet består av et energidispersiv spektrometer (EDS) med 128 eV oppløsning, og et krystalspektrometer (WDS) som hovedsakelig benyttes for analyse av sporelementer og grunnstoffer utsatt for interferens i spektrene.

For analyse av støvprøver ble flere fremgangsmåter utprøvd med henblikk på kvalitativ og kvantitativ karakterisering av mineralstøvet. Det er viktig for den valgte metoden å oppnå god atomnummerkontrast i prøvene og så god kjemisk oppløsning som mulig. Analyse direkte på filtre innsamlet *in situ* er generelt problematisk pga tilstedeværelsen av sot på filter/støv-overflaten og til dels fordi de anvendte filtrene ikke tåler elektronbestrålingen. Analyse på upreparerte støvprøver gav godt inntrykk av kornformer, avrundingsgrader mm, men var lite anvendelig for representativ kjemisk karakterisering – mindre korn vil skjule seg under større korn og det ble større usikkerhet i de kjemiske analysene. Den valgte metoden baserer seg derfor på filtrerte separater av kunstig støv produsert med Trøgermetoden og innsamlet veistøv. De filtrerte støvfraksjonene ble støpt inn i epoksy og polert. Tilbakespredte elektronbilder (BSE-bilder) for billedbehandling ble tatt opp på SEM ved redusert arbeidsavstand, lav strålestrøm (50-100 pA), 15 kV akselerasjonsspending og med 15 Pa trykk i prøvekammeret. Før analyse med EDS ble prøvene pådampet karbon og deretter undersøkt/analysert med SEM/EDS. Analysene ble da fortatt under fullt vakuum, med 300 pA strålestrøm og 15 kV akselerasjonsspending.



## Vedlegg 6 – Billedanalyse

Støvet som var innsamlet fra Trøger testen var separert med et filter slik at kornfraksjon <10mikron ble samlet opp. Dette støvet ble støpt inn epoxy og polert slikt at overflaten av støvkorn ble eksponert. Etter backscatter bilde som dekket et området på ca. 1x.0.75 mm ble deretter analysert i et billedbehandlingsprogram (KS300). Ved bruk av billedbehandlingsprogrammer kan informasjon om størrelse og form samt kornfordelings data fra hver prøve måles. For å måle størrelsen av individuelle korn, brukte vi måleparameteren DCIRCLE som er definert som følger:

$$DCIRCLE = 2(\text{partikkelareal}/B)^{-1/2}$$

Det vil si at DCIRCLE angir diameteren til en sirkel med samme areal som den målte partikkel. På denne måten blir kornfordelingsdataene sammenlignbare med målinger gjort på annen måte for eksempel sedigraf eller coulter.

Billedbehandlingsprogrammet gir også mulighet for måle % prosent mengde av korn med en bestemt form. I dette studie ble det sett på som spesielt interessant å vite mengden av fibrige korn dvs. korn med lengde/bredde > 3.

Prøve id.	TOC [%]
Prøve 4 Nardo/Omkjøringsveien	4.10

**II) TOTAL SVOVEL (TS)**

 Nedre bestemmelses grense [% S]: **0.01**
**Analyse usikkerhet**

Måleområdet / %	Usikkerhet
0.01-1.0	± 20 % rel.
>1.0	± 10 % rel.

**III) TOTAL ORGANISK KARBON (TOC)**

 Nedre bestemmelses grense [% TOC]: **0.1**
**Analyse usikkerhet**

Måleområdet / %	Usikkerhet
0.1-3.0	± 15 % rel.
>3.0	± 10 % rel.

**PREISJON :** Det kjøres rutinemessig kontrollprøver, som føres i kontrollidiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

**ANTALL PRØVER:** 1

**ANMERKNINGER:** Ingen

**Rapporten må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning fra NGU-Lab.**

 Ferdig analysert | 10.05.04 | Anne Nordtømme  
 Dato | 71 | OPERATØR

## Vedlegg 8 - XRD analyse av støv fra feiemaskiner

### Røntgendiffraksjon (XRD) for støv fra feiemaskin DuLevo 200.

Observerte mineraler	Støv i vegbanen innsamlet 20/3-2003			
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X
<b>K-feltspat</b>	-	-	-	-
<b>Pyroksen</b>	x	x	x	x
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	-	x	x	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	x	x	x	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 meter.

### Røntgendiffraksjon (XRD) for støv fra feiemaskin DuLevo 200.

Observerte mineraler	Støv i vegbanen innsamlet 21/3-2003			
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X
<b>K-feltspat</b>	-	-	-	-
<b>Pyroksen</b>	x	x	-	x
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	x	x	-	-
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	X	x	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 meter.

**Røntgendiffraksjon (XRD) for støv fra feiemaskin DuLevo 5000.**

Observerte mineraler	Støv langs vegkanten innsamlet 20/3-2003			
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X
<b>K-feltspat</b>	-	-	-	-
<b>Pyroksen</b>	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	-	-	x	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	X	x	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 meter.

**Røntgendiffraksjon (XRD) for støv fra feiemaskin DuLevo 5000.**

Observerte mineraler	Støv langs vegkanten innsamlet 21/3-2003			
	<60µm	60-150µm	150-250µm	250-500µm
<b>Kvarts</b>	X	X	X	X
<b>Plagioklas</b>	X	X	X	X
<b>K-feltspat</b>	-	x	x	x
<b>Pyroksen</b>	-	-	-	-
<b>Amfibol</b>	X	X	X	X
<b>Glimmer/illitt</b>	X	X	X	X
<b>Kloritt</b>	X	X	X	X
<b>Epidot</b>	x	-	-	x
<b>Kalsitt/dolomitt</b>	X	X	x	x
<b>Annet/aksessorisk</b>	-	-	-	-

X=mye, x=noe, µm – mikrometer=1/1000 meter.

Det er ikke store avvik i observerte mineraler mellom prøver tatt henholdsvis langs vegkanten og i vegbanen. For de to fineste fraksjonene (<60 og 60-150µm) er observert mer kalsitt i vegbanen for prøven tatt den 21. mars i forhold til prøven tatt dagen før. Om dette kan relateres til salting mellom den 20. og 21. mars er uvisst. Tilsvarende effekt er ikke registrert for feieprøvene som er tatt langs vegkanten.