



Statens vegvesen

Miljøvennlige vegdekker Sluttrappert for arbeidspakke 3: Støv

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2544



Geo- og tunnelseksjonen
Dato: 2009-02-16



Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2544

Tittel

Miljøvennlige vegdekker Sluttrapport for arbeidspakke 3: Støv

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Dato:

Saksbehandler

Prosjektnr:

2009-02-16

Nils Uthus og Brynhild Snilsberg

Kontrollert av

Antall sider og vedlegg:

Jostein Aksnes

Sammendrag

Statens vegvesen, Vegdirektoratet (Tek-T) har i perioden 2004 - 2008 gjennomført et prosjekt med tittelen "Miljøvennlige vegdekker". Prosjektet har hatt følgende effektmål:

- Færre støyplagede langs norske veger og gater.
- Bedre luftkvalitet i tettbygde strøk.

Prosjektet har vært organisert i 9 arbeidspakker. Denne rapporten oppsummerer arbeidet som er utført i arbeidspakke 3: Støv. Følgende konklusjoner kan trekkes etter gjennomført prosjektperiode:

- Støvproduksjon skyldes hovedsaklig bruk av piggdekk.
- Utenom asfaltdekkers egenskaper påvirkes produksjon av svevestøv fra et asfaltdekke av trafikkhastighet og piggdekkandel.
- For tette asfaltdekker, med hulrom < 6 %, påvirkes produksjon av svevestøv av steinkvalitet uttrykt gjennom Mølleverdi. En bør derfor, hvor en ønsker å redusere støvproduksjon, vurdere strengere krav til steinkvalitet enn hva som er beskrevet i håndbok 018.
- For tette asfaltdekker, med hulrom < 6 %, påvirkes produksjon av svevestøv av mengde materiale > 2 mm. Det er viktig at mengden er så høy som mulig for å redusere støvproduksjon. En konsekvens av dette er at dekketyper med øvre steinstørrelse < 8 mm ikke bør anvendes på veger med høy piggdekkandel.
- For porøse dekker, med hulrom > 6 %, ser en at det er flere faktorer som påvirker produksjon av svevestøv. I tillegg til steinkvalitet og materiale > 2 mm påvirkes åpne dekker av hulrom, bindemiddeltype (PMB) og bindemiddelinhold.
- Salt brukt til vintervedlikehold påvirker i første rekke bestandighet til porøse dekker. Tette dekker påvirkes lite.
- Salt medfører våt vegbane over større tidsperiode. Våt vegbane gir økt slitasje.

Summary

Emneord:



Statens vegvesen

Miljøvennlige vegdekker

Sluttrapport for arbeidspakke 3: Støv

Januar 2009



Innhold

1	<u>BAKGRUNN</u>	3
2	<u>INNLEDNING</u>	4
3	<u>HOVEDUTFORDRINGER</u>	5
4	<u>GJENNOMFØRTE UNDERSØKELSER</u>	6
4.1	FELTFORSØK	6
4.2	RINGBANEFORSØK	8
4.2.1	GENERELT	8
4.2.2	GJENNOMFØRTE FORSØK	9
4.3	METODESTUDIE	10
4.3.1	GENERELT	10
4.3.2	TESTING AV ASFALTKJERNER	11
4.3.3	TESTING AV STEINMATERIALET	12
4.3.4	ANALYSEMETODER FOR STØVKARAKTERISERING	15
5	<u>RESULTATER</u>	18
5.1	GENERELT	18
5.2	FELTFORSØK	18
5.3	RINGBANEFORSØK	19
5.4	METODESTUDIET	23
5.5	FORSØKSFELT	27
6	<u>VURDERINGER AV RESULTATENE</u>	29
6.1	FELTMÅLINGER	29
6.2	RINGBANEFORSØK	29
6.3	SAMMENHENG SLITASJE - SVEVESTØV	31
6.4	FORSØKSFELT	31
6.5	VINTERVEDLIKEHOLD	36
7	<u>KONKLUSJONER</u>	38
8	<u>VIDERE ARBEID</u>	39

1 Bakgrunn

”Miljøvennlige vegdekker” er et FoU-prosjekt i tråd med Statens vegvesens visjon: *På veg for et bedre samfunn*. Vegtrafikken gir en betydelig miljøbelastning og Statens vegvesen har ansvar for å begrense og forebygge plager og skader som følge av trafikkøkning. Med dette som utgangspunkt har Statens vegvesen vedtatt en egen miljøvisjon som sier at: *Transport skal ikke føre til alvorlige skader på mennesker eller miljø*. Disse visjonene er styrende for Statens vegvesens aktiviteter og danner grunnlag for gjennomføring av prosjektet Miljøvennlige vegdekker. Prosjektet ble startet i 2004 og ferdigstilles i 2008.

Vegtrafikken i Norge medfører at 1.3 millioner mennesker eksponeres for støynivåer over 55dB(A) og er i mange områder hovedkilden til svevestøvforurensningen. Mer enn 200.000 personer utsettes for luftforurensning høyere enn den nasjonale målsetningen, og svevestøv representerer flere steder et alvorlig helseproblem. Svevestøvet fra vegtrafikk har to hovedkilder; forbrenning av drivstoff og slitasje av vegdekker. Støv fra piggdekkbruk er den dominerende kilden i vinterhalvåret. Som tiltak mot svevestøv er det innført piggdekkrestriksjoner, bedre renhold, salting og nedsatt hastighet, uten at de nasjonale målene hittil er nådd.

Prosjektet ”Miljøvennlige vegdekker” skal ut fra dette ha fokus på optimalisering av vegdekkers miljøegenskaper slik at miljøbelastningen på omgivelsene reduseres og dermed bidrar til at de nasjonale miljømål med hensyn på støv og støv oppfylles. Effektmålene for prosjektet er:

- Færre støypenger langs norske veier og gater
- Bedre luftkvalitet i tettbygde strøk

For å kunne gjennomføre prosjektet på en best mulig måte i følge oppsatte mål ble det laget en arbeidsstruktur med i alt 9 arbeidspakker. Denne rapporten oppsummerer arbeidet som er utført i arbeidspakke 3: Støv.

Arbeidet som er igangsatt i arbeidspakke 3 er nært knyttet opp til prosjekter som tidligere er gjennomført. Dette er først og fremst følgende prosjekter:

- Veggreps-prosjektet /1/
- TOMS-prosjektet /2/
- SIV-prosjektet /3/
- Vegdekker – svevestøv og helse /4/

I tillegg er det gjort en omfattende oppsummering av hva det er forsket på innen vegstøv i en litteraturundersøkelse for både Norge, Sverige og Finland. Dette arbeidet er gitt ut i egne rapporter. /5/

Trondheim, januar 2009
Nils Uthus og Brynhild Snilsberg

2 Innledning

Denne rapporten oppsummerer arbeidet som er gjort i prosjektets ”Miljøvennlige vegdekker” arbeidspakke 3: Støv. Målsettingen har vært å:

- Skaffe oversikt over kunnskap i de nordiske land og avklare hovedutfordringer i forhold til svevestøv fra vegtrafikk
- Dokumentere kilder til svevestøv og hvordan svevestøv dannes (karakterisering)
- Gjennom tester i felt og lab finne ut hvilke faktorer som er sentrale i forhold til generering av svevestøv
- Komme med råd og anbefalinger med hensyn på massesammensetning for miljøvennlige vegdekker

Som en integrert del av prosjektet har Brynhild Snilsberg gjennomført sitt dr.ing-studium med tittel ”Pavement wear and airborne dust pollution in Norway - Characterization of the physical and chemical properties of dust particles” /6/. Dette arbeidet har stått sentralt i forhold til å oppnå målsetningene for arbeidspakken.

Innledningsvis beskriver rapporten de utfordringer prosjektet har stått overfor. Videre kommer hoveddelen med en kort gjennomgang av forsøksopplegg for gjennomført felt- og laboratorietesting samt presentasjon og drøfting av resultatene. Til slutt kommer konklusjoner, råd og anbefalinger basert på den kunnskap som har kommet fram gjennom prosjektarbeidet. Rapporten peker også ut områder hvor det fortsatt er en del uavklarte spørsmål og kommer med forslag til videre forskning.

3 Hovedutfordringer

Arbeidspakkens hovedoppgave har vært å peke på hvordan man kan holde svevestøvnivået på støysvake dekker på et akseptabelt nivå. Dette må gjøres gjennom redusert slitasje og derav mindre støvproduksjon fra biltrafikken. Denne støvproduksjon skyldes i første rekke slitasje på vegbanen fra bilenes dekk, først og fremst piggdekk.

Fokus i dekkeutviklingen de siste 20-30 år har vært på å utvikle mest mulig slitesterke vegdekker med lang levetid. Dette har man oppnådd med å bruke mye, grovkornet og sterk/hard stein i asfalten. Å komme opp med nye dekketyper basert på dette konseptet som er enda mer slitesterke er derfor omtrent umulig. En litt annen veg å gå er å utvikle slitesterke finkornige dekker. Slike dekketyper er ønskelig å ta i bruk først og fremst ut fra støymessige hensyn. Fokus må da rettes mer over på det å få til en slitesterk mørtel i asfalten, samtidig som at steinmaterialene som brukes fortsatt er av beste kvalitet.

Økt andel piggfrie vinterdekk er et svært effektivt tiltak for å redusere asfaltslitasje, og det har også effekt på støynivået. Noen byer har innført piggdekkavgift for å øke piggfriandelen. Dette har for eksempel vært gjort i Oslo og Trondheim, og har gitt en betydelig nedgang i piggdekkbruk, som igjen har bidratt til redusert slitasje. Man har færre ekstremt høye svevestøvverdier, men har fortsatt et problem i forhold til for mange overskridelser av døgnmiddelverdien for PM10. Prosjektets hovedutfordring har derfor vært å finne frem til vegdekketyper og tiltak som bidrar til å redusere mengden svevestøv ytterligere.

Når det gjelder tidligere kunnskap vet en altså at asfaltdekketypers slitasjeegenskaper først og fremst avhenger av steinmaterialene. Både mengde grovt steinmateriale og kvaliteten har stor betydning.

Ved reduksjon av piggdekkbruk ser en at polering av steinmaterialene kan gi redusert friksjon. Undersøkelser som er gjort viser at redusert polering og bedret friksjon oppnås best ved å redusere steinstørrelsen. Miljøvennlige vegdekkers delprosjekt "Støy" viser så langt at et av hovedtiltakene for å redusere støynivået er å redusere steinstørrelsen i asfaltdekkene. Med dette som utgangspunkt blir en av hovedutfordringene til delprosjekt "Støy" å finne løsninger som opprettholder friksjonen og reduserer støvproduksjonen fra asfaltdekkene, på tross av redusert steinstørrelse.

4 Gjennomførte undersøkelser

4.1 Feltforsøk

Feltforsøk ble gjennomført for å få samlet inn støvprøver fra bymiljø. Disse prøvene ble sammenlignet med laboratorieproduserte støvprøver fra Trøger. Nærmere beskrivelse av dette finnes i avsnitt 4.3.2 Testing av asfaltkjerner.

I feltforsøkene ble det samlet støvnedfall fra E6 som går gjennom Trondheim. Standardiserte bøtter for støvnedfall ble brukt, og metoden for oppsamling var basert på norsk standard NS 4852. Støvnedfall vil her være støv som i løpet av en viss måleperiode er samlet i en beholder av spesifisert form med horisontal åpning. Støvnedfall omfatter partikler som faller ned av egen tyngde (sedimentasjon av store partikler), støv som avsettes på målebøttens innvendige vegger og støv som bringes ned med nedbør. Eksponeringstiden er på en måned, og resultatene angis som mengde nedfall per arealenhet per 30 dager. Sammensetningen deles inn i en uorganisk og en organisk del der uorganisk materiale består hovedsaklig av mineralpartikler. Den organiske andelen består av karbon og andre forbrenningsprodukter, deler av planter og insekter, sporer, pollen, fiber osv.

Formålet med forsøket var å måle støvnedfall i forskjellige høyder for å se på spredning og hvordan støvmengden endrer seg i vertikal retning. Det er ikke funnet noe i litteraturen på hvordan nivået av støv utvikler seg i høyden. Dette er viktig med tanke på spredning av slitasjestøv fra veg. Innsamlet støvnedfall ble analysert med tanke på kornstørrelsesfordeling, sammensetning og overflateareal. Det ble også tatt borprøver av vegdekket i Elgeseter gate ved støvmålingspunktet. Dette ble gjort for å sammenligne sammensetningen av støvet i forhold til materialer brukt i vegdekket. Derav kan en få indikasjoner på hvor mye av støvet som kan tilskrives vegslitasje. Målinger av støvnedfall kan ikke knyttes direkte til grenseverdier eller retningslinjer for luftkvalitet, men er velegnet til å analysere støvsammensetning med tanke på kildeidentifikasjon. De gir også et bilde av midlere utbredelse av forurensning.

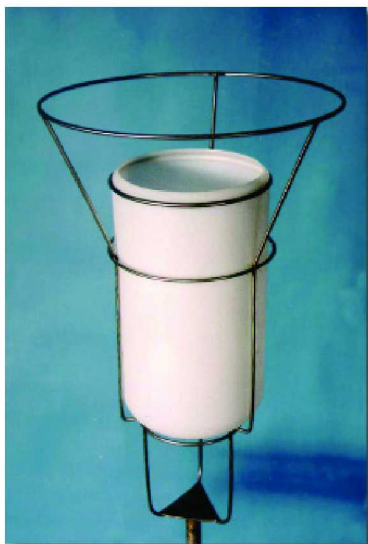
Fire måleperioder for prøvetaking ble valgt basert på erfaringer om høye støvverdier. Den første perioden i hvert år var ment å representere en vintermåling og den andre perioden var ment å representere en sommermåling. Disse periodene ble valgt ut ifra tidspunkt for skifte fra vinterdekk til sommerdekk.

Prøveperiodene var:

- 2005
 - 17. mars – 18. april
 - 18. april – 18. mai
- 2006
 - 24. mars – 24. april
 - 24. april – 24. mai

I hver prøvetakingsperiode ble prøvene samlet i 12 støvbøtter på fasaden til et høybygg i Trondheim ca 30 m i horisontal avstand fra Elgeseter gate. Figur 1 viser en støvnedfallssamler. Bøttene ble montert på rekkverket på fasaden ut mot vegen fra 7 meter over bakkenivå og opp til

37 meter over bakkenivå (i 3., 5., 7., 9., 11. og 13. etasje), med to parallelle samlere på hvert prøvetakssted for å få nok materiale til videre karakterisering. Trafikkmengden på prøvetaksstedet er på omtrent 35 000 biler/dag med fartsgrense på 50 km/t. Tellingene i vintersesongen 2004/2005 viste at 38 % av bilene brukte piggdekk i Trondheim. Til sammenligning brukte 25 % piggdekk i Oslo i samme periode, og den gjennomsnittlige andelen i Norge utenom byene var på 55 %.



Figur 1: Støvnedfallssamler

Denne type prøvetaking ble brukt fordi metoden er enkel å utføre og lite ressurskrevende sammenlignet med andre støvmålinger, og den har en lang prøvetakingstid som både gir store mengder materiale for videre analyse og sammensetning over en lengre prøvetakingsperiode. Materialet som ble samlet inn ble videre karakterisert med metoder beskrevet i avsnitt 4.3.4 Analysemetoder for støvkarakterisering.

4.2 Ringbaneforsøk

Ringbaneforsøk ble gjennomført for å teste slitasjeegenskapene til to norske dekketyper og for å få produsert støv under kontrollerte forhold.

Ringbane er en storskala testmetode for slitasje av vegdekker, som gjennom mange års forskning har vist en meget god sammenheng med slitasje på veg. Metoden består i at relativt små plater med asfaltdekker (0,5x0,75 m) limes på en sirkulær bane hvor vegdekket trafikkeres under forskjellige dekkutrustninger, klima og hastigheter. I Norge har vi ikke lenger et slikt utstyr, men på VTI i Sverige har de en ringbane fra 1940-tallet som fremdeles er i bruk. Hastigheter opp til 70 km/t kan kjøres. Ringbanen er utstyrt med fire bildekk.

4.2.1 Generelt

For å registrere støvkonsentrasjoner ble det i lokalet montert forskjellige typer av luftmåleutstyr: en TEOM, to DustTrak, en APS og en SMPS. I tillegg ble det tatt prøver for videre karakterisering av støvet med petriskåler og en våtstøvsuger som ble montert bak ett av bildekkene under kjøring. Det er også et klimaanlegg i rommet hvor temperatur og luftfuktighet kan reguleres. Figur 2 viser bilde av VTIs ringbane.



Figur 2: Ringbane

For å kunne samle opp støv for karakterisering ble det i samarbeid med VTI utviklet og montert et innsamlingsutstyr som vist i figur 3.



Figur 3: Støvinnsamlingsutstyr

4.2.2 Gjennomførte forsøk

Det er i prosjektet gjennomført to ringbaneforsøk med to forskjellige massetyper.

Ringbaneforsøk 1

Første ringbaneforsøk ble gjennomført i desember 2006/januar 2007 på dekketyperen Ska 11 Durasplitt m/Lyngåsgrus. Forsøket ble kjørt med hastighetene 30, 50 og 70 km/t. Man ønsket også å teste ut hvilken effekt forskjellige andeler av piggdekk ville ha for støvproduksjon, og følgende andeler ble testet ut:

- 100 % piggdekk (4 piggdekk)
- 75 % piggdekk (3 piggdekk + 1 friksjonsdekk)
- 50 % piggdekk (2 piggdekk + 2 friksjonsdekk)
- 25 % piggdekk (1 piggdekk + 3 friksjonsdekk)
- 0 % piggdekk (4 friksjonsdekk)

Ringbaneforsøk 2

Andre ringbaneforsøk ble gjennomført høsten 2007 på dekketyperen Ska 8 Durasplitt m/Lyngåsgrus. I forhold til første ringbaneforsøk var kun maksimal steinstørrelse og mengde stein større enn 4 mm redusert. Resten av sammensetningen var den samme.

For dette forsøket ble hastighetene 30, 50 og 70 km/t benyttet som i første forsøk. I tillegg ble det ved støvoppsamling benyttet hastighetene 20, 40, og 60 km/t.

Når det gjelder dekkonfigurasjon ble det for dette forsøket benyttet følgende:

- 100 % piggdekk (4 piggdekk)
- 100 % friksjonsdekk (4 friksjonsdekk)
- 100 % sommerdekk (4 sommerdekk)

4.3 Metodestudie

4.3.1 Generelt

Ringbaneforsøk er både tid- og kostnadskrevende. Det var derfor ønskelig å finne en enklere laboratoriemetode som kunne brukes i prosjektet for å undersøke støvgenerering av de støyvennlige forsøksdekkene som er lagt.

I prosjektet ble det satt i gang et metodestudium på støvgenerering i laboratoriet. Det ble produsert støv fra forskjellige laboratoriemetoder for å finne det utstyret som best produserte støv med samme kornkurven som støv produsert i ringbanen. Dette ble gjort på grunn av at ringbaneforsøk kan simulere slitasjen på vegen uten at resultatene blir influert av andre faktorer (feilkilder som forbrenningspartikler, langtransportert forurensning osv.).

Asfalttypen som ble brukt i metodestudiet er en Skjelettasfalt SKA FIB 11 (NCC sin resept med Durasplitt, Bitufill og Lyngås grus, bindemiddeltipe 70/100). Fullstendig resept og siktekurver er gitt av NCC. Resepten bestod av:

- Tilslag (Durasplitt): 52 % 8/11 mm, 20 % 2/4 mm, 16 % 0/2 mm
- Filler (Bitufill): 7 %
- Grus (Lyngås): 5 % 0/9 mm

I studiet ble det produsert støv fra denne dekketypen med forskjellige testmetoder, se tabell 1. Fraksjonen 0,063 mm ble skilt ut for videre analyse.

Tabell 1: Testmetoder i metodestudiet

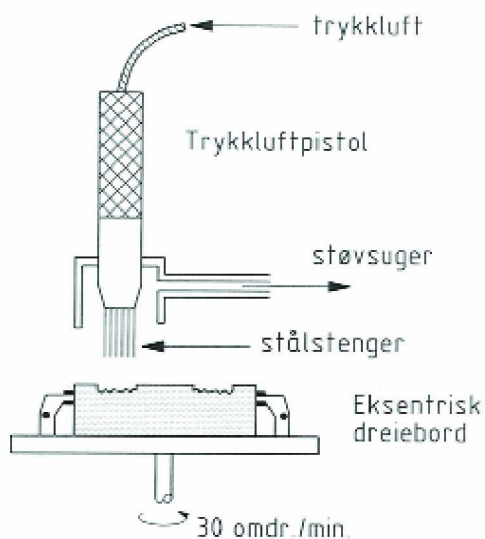
Storskala testing av vegdekke	Ringbane (testing under tørre forhold) <ul style="list-style-type: none">▪ Støv ble samlet ved 50 km/t bak det ene hjulet med våtstøvsuger▪ Støv ble samlet i petriskåler på gulvet under hele kjøringen
Testing av asfaltprøver	Trøger (testing under tørre forhold) <ul style="list-style-type: none">▪ Støv ble produsert med Trøger fra prøver som ble tillaget for ringbanekjøring
	Prall (testing under våte forhold) <ul style="list-style-type: none">▪ Støv ble produsert med Prall fra prøver som ble tillaget for ringbanekjøring
Testing av steinmaterialet	Kulemølle (kjøres både vått og tørt) <ul style="list-style-type: none">▪ Finstoff ble produsert fra fraksjon 8/11,2 mm av steinmaterialet▪ Finstoff ble produsert fra fraksjon 4/11,2 mm av steinmaterialet▪ Finstoff ble produsert fra hele steinfraksjonen (0/11,2 mm), minus filler
	Los Angeles mølle (kjøres tørt) <ul style="list-style-type: none">▪ Finstoff ble produsert fra fraksjon 8/11,2 mm av steinmaterialet▪ Finstoff ble produsert fra fraksjon 4/11,2 mm av steinmaterialet▪ Finstoff ble produsert fra hele steinfraksjonen (0/11,2 mm), minus filler
	MicroDeval (kjøres vått og tørt) <ul style="list-style-type: none">▪ Finstoff ble produsert fra fraksjon 8/11,2 mm av steinmaterialet▪ Finstoff ble produsert fra fraksjon 4/11,2 mm av steinmaterialet▪ Finstoff ble produsert fra hele steinfraksjonen (0/11,2 mm), minus filler

Metodene for testing av asfaltkjerner og steinmaterialer er nærmere beskrevet i de følgende kapitler.

4.3.2 Testing av asfaltkjerner

Trøger

Metoden går ut på å kartlegge hvor slitesterk en asfaltblanding er med hensyn til piggdekkslitasje. Slitasjetesten utføres i et såkalt Trøgerapparat på ferdig utstøpte prøveklosser, se figur 4. Slitasjen utføres av en trykkluftdrevet nålepistol som slår mot prøveflaten. Standardtesten er noe videreutviklet for dette prosjektet. Normal testprosedyre er mengden bortslitt materiale registrert ved veiing før og etter hver periode, og det totale vekttapet for de siste 9 perioder omregnet til volumtap. Normalt ble det utført undersøkelse på 3 prøveklosser og middelverdien ga uttrykk for materialets slitasjeegenskaper etter Trøger, $DK = \dots \text{ cm}^3$. I Miljøvennlige vegdekker prosjektet var man interessert i å få samlet opp partiklene som slås løs under forsøket for bruk i videre karakterisering av partiklene. En våstøvsuger fylt med destillert og deionisert vann ble derfor montert, og støvprøver ble tatt under kjøring.



Asfaltprøvene for Trøger kan være produsert i laboratoriet eller tatt ut som borprøver fra felt. Prøvene er sylindriske med en diameter på 100 mm og tykkelse 30 mm.

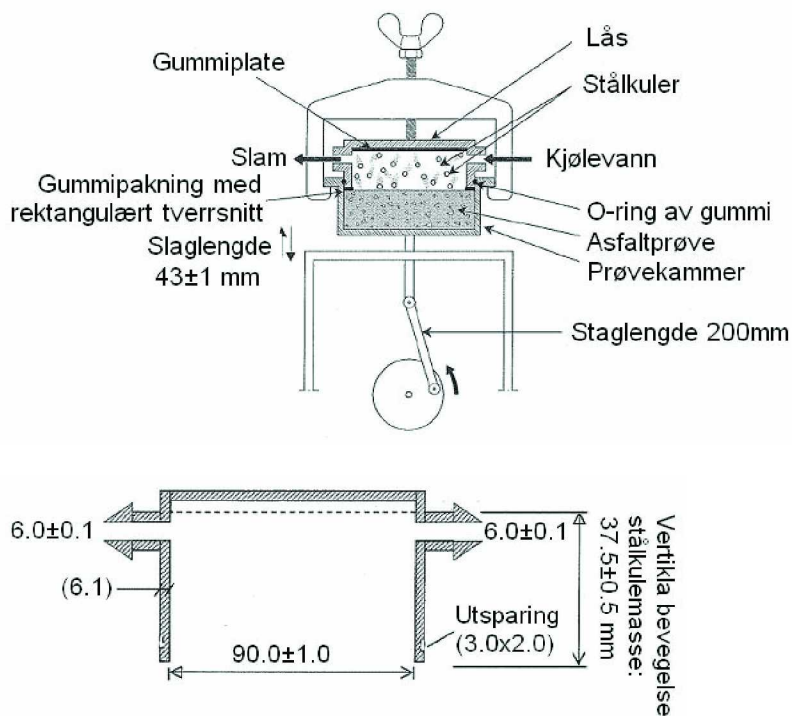
Det ble gjort testing på borprøver tatt fra Elgeseter gate fra feltforsøkene, og fra asfaltplatene som ble laget for ringbanen.

Figur 4: Trøger

Prall

Metoden er av samme prinsipp som Trøgermetoden; den tester en asfaltprøves motstand mot piggdekkslitasje. Men her er det 40 stålkuler som slås mot prøven i stedet for stålstenger. I tillegg foregår den vått, vann skylles gjennom prøvekommeret under kjøring. Dette slammet (vann og slitasjepartikler) blir samlet opp og tørket.

Asfaltprøvene kan være produsert i laboratoriet eller tatt ut som borprøver fra felt. Prøvene er sylindriske med en diameter på 100 mm og tykkelse 30 mm. Testtemperaturen er +5 °C. Etter temperering utsettes prøvene for slitasje i 15 minutter av 40 st stålkuler. Det bortslitte volumet i cm^3 bestemmes og benevnes slitasjeverdien. En prinsippskisse av Prall er vist i figur 5.



Figur 5: Prall

4.3.3 Testing av steinmaterialet

I metodestudiet ble det produsert finstoff (fraksjon < 63 μm siktet ut) ved bruk av Los Angeles trommel, kulemølle og micro-Deval mølle. Standardtestene ble litt modifisert ved at følgende fraksjoner ble undersøkt:

- Fraksjon 8/11,2 mm av steinmaterialet
- Fraksjon 4/11,2 mm av steinmaterialet
- Hele steinfraksjonen (0/11,2 mm), minus filler

Under blir standardtestene beskrevet.

Los Angeles

Metoden går ut på å bestemme et tilslags motstandsevne mot nedknusning ved at tørt tilslag tromles med stålkuler. Vekttapet forteller om materialets motstandsevne mot nedknusning. Det kan benyttes to analysemetoder, henholdsvis for finpukk med fraksjon 10/14 mm (referansem metode) og for grovpukk med fraksjon 31,5/50 mm. Testen simulerer den påkjenning et tilslag utsettes for i en veg. En prøves Los Angeles-verdi (eller Los Angeles-koeffisient) er prosent gjennomgang på 1,6 mm sikten etter tromlingen.

Los Angeles-metoden er opprinnelig amerikansk, men har i dag stor internasjonal utbredelse, og er innført som standard metode i flere europeiske land. Uttestingen kan utføres etter den amerikanske standardprosedyren ASTM C131 (fin pukk) og ASTM C535 (grov pukk), eller etter den europeiske CEN-prosedyren prEN 1097-2.

Etter CEN-prosedyren siktes 5 kg av steinmaterialet ut i fraksjonen 10,0-14,0 mm. Testmaterialet legges sammen med 11-12 stålkuler i en trommel som roterer om en horisontal akse. I trommelen finnes en metallflens som løfter kuler og materiale for hver omdreining opp til et bestemt nivå, før alt faller ned. Prøvematerialet utsettes for både slagpåkjenning og slitasje under denne prosessen. Etter ca. 15 minutter (500 omdreininger med en gitt hastighet) blir materialet tatt ut, våtsiktet og tørket. Den produserte finstoffmengden $\leq 1,6$ mm i vektprosent av totalt prøvemateriale, gir Los Angeles-metodens "sprøhetstall" (LA). Materialet deles inn i kategorier avhengig av LA-verdien:

Kategorier	LA	Kategorier	LA
LA ₁₅	≤ 15	LA ₄₀	≤ 40
LA ₂₀	≤ 20	LA ₅₀	≤ 50
LA ₂₅	≤ 25	LA _{Dekklert}	> 50
LA ₃₀	≤ 30		

LA-metoden er kjent for å gi pålitelige resultater med liten spredning, og er en metode som synes å være godt egnet til å bestemme mekanisk styrke hos inhomogent grusmateriale. Grunnet metodens virkemåte blir de svake kornene ikke beskyttet på samme måte som tilfellet er ved fallprøven og abrasjonstesten. Kornene bidrar til finstoffproduksjon ($\leq 1,6$ mm) og analyseverdien er i større grad representativ for bergartens "sanne" styrke. Siden materialet blir utsatt for både knusing og abrasjon får LA-verdien bidrag fra begge prosesser.

Kulemølle

Metoden går ut på at tilslag tromles med stålkuler og vann en time. Vekttapet forteller om materialets motstandsevne mot piggdekkslitasje. Alle typer tilslag kan benyttes i denne analysen. Kulemøllemetoden gir som abrasjonsmetoden uttrykk for steinmaterialets slitestyrke. Den er innført som en nordisk metode i samband med det europeiske standardiseringsprogrammet for tilslagsmaterialer (CEN/TC 154). Metoden gir uttrykk for tilslagets motstand mot slitasje ved bruk av piggdekk.

Trommelen er formet på en bestemt måte og er utstyrt med tre «løftere» som blander innholdet ved rotasjon. Steinmaterialet blir utsatt for både slag og slitasje, men med hovedvekt på slitasje. Etter forsøket blir materialet våtsiktet og tørket. Etter veiing beregnes prosentvis del som passerer et 2 mm kvadratsikt. Dette gir uttrykk for slitasjen, og kalles Mølleverdien (A_N).

Følgende klassifisering blir brukt:

Kategorier	A_N	Kategorier	A_N
A	≤ 7	D	≤ 19
B	≤ 10	E	≤ 30
C	≤ 14	F	Ingen krav

Kategori A er best og kategori F dårligst.

Micro Deval

Kulemøllemetoden og micro-Deval testen er europeiske standardmetoder som er ment å gi uttrykk for abrasive egenskaper eller slitasjeegenskaper. Kulemøllemetoden er utviklet for å bestemme motstand mot piggdekkslitasje i vegdekket og er mest aktuell for nordiske land. I henhold til den nye EU-standard for ubundne materialer skal imidlertid micro-Deval benyttes som standard testmetode for å bestemme slitasjeegenskapene for grovt materiale.

I utførelse er metoden på mange måter lik møllemetoden, se tabell 2.

Som for Los Angeles testen er det for micro-Deval mulig å teste på en grovere sortering tilpasset jernbaneballast.

Tabell 2: Sammenligning mellom kulemølle og micro-Deval

Testprosedyre	Møllemetoden ¹⁾	micro-Deval ²⁾	micro-Deval ³⁾
Standard testfraksjon	11,2/16 mm	10/14 mm	31.5/50 mm
Mellomsikt	14 mm	12.5 – 11.2 mm	40 mm
Prøvemengde	1000 g (korr. ift. densitet)	500 ± 2 g	10000 ± 20 g
Fordeling vekt	35% < 14 mm 65% > 14 mm	60-70% < 12.5 mm 30-40% < 11.2 mm	50% < 40 mm 50% > 40 mm
Kulevekt	7000 ± 10 g	5000 ± 5 g	Brukes ikke
Vannmengde	2.0 ± 0.01 l	2.5 ± 0,05 l	2.0 ± 0.05 l
Rotasjonshastighet	90 ± 3 omdr./min	100 ± 5 omdr./min	100 ± 5 omdr./min
Rotasjonstid	5400 ± 10 omdr. (60 min)	12000 ± 10 omdr. (120 min)	14000 ± 10 omdr.
Antall paralleller	2 (4 ved stort avvik)	2	2
Fraksjon for bestemmelse av mølleverdi (Mv) – micro-Deval	2 mm	1.6 mm	1.6 mm

Apparatur	Møllemetoden ¹⁾	micro-Deval ²⁾	micro-Deval ³⁾
Trommeldiameter, innside	206.5 ± 2 mm	200 ± 1 mm	200 ± 1 mm
Trommellengde, innside	335 ± 1 mm	154 ± 1 mm	400 ± 2 mm
Tykkelse på gods i trommelen	6 mm	3 mm	3 mm
Ribber i trommelen	3 stk. Krav til bytte ift vekt	Ingen	Ingen
Kuler	15 + 0.1/ - 0.5 med mer	10 ± 0.5 mm	Brukes ikke

1) - NS-EN 1097-9: Prøvsingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 9: Bestemmelse av motstand mot piggdekkslitasje. Nordisk metode, 1998.

2) – NS-EN 1097-1: Prøvsingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval), 1993.

3) - pr-EN 13450: Tilslag for jernbaneballast, jan. 1999.

4.3.4 Analysemetoder for støvkarakterisering

Partikkelstørrelsesfordeling

Analyser av partikkelstørrelsesfordeling utføres med Coulter LS, og kan suppleres med Sedigraf. Det ble bare brukt Coulter for bestemmelse av korngradering.

Coulter LS

Det kan benyttes to typer Coulter. Coulter LS 230 er basert på våt analyse, og har et måleområde fra 0,04 til 2000 mikrometer. Coulter LS 200 er basert på tørr analyse, og har et måleområde på 0,4 til 2000 mikrometer. Den våte analysen Coulter LS 230 ble brukt for å få mest nøyaktig bestemmelse av finstoffet i prøvene.

Coulter fungerer etter prinsippet om laserdiffraksjon. Spredningen av laserstrålen som treffer partiklene øker med minkende partikkelstørrelse. Lysspredningsmønsteret som avtegner seg på detektoren tilsvarer dermed en gitt partikkelfordeling. Prøvene blir først løst opp i 10 ml Calgon (natriumhexametafosfat) (0,5 %) som er et dispergeringsmiddel og satt i ultralydbad i 5-15 minutter før de blir analysert. Dette blir gjort for å løse opp agglomererte partikler.

Teorien bak coulter-analysen er at når en partikkel bestråles av en lyskilde (laser), vil lyset opptre på ulike måter. Dette avhenger av partikkelens form, størrelse og homogenitet, lysets bølgelengde, og i hvilken grad partikkelen kan gjennomlyses.

Coulter-analysen gir som resultat diameteren til kuler av samme volum som målte partikler. Dersom formen på partiklene i prøvemateriale avviker mye fra kuleform, vil dette påvirke resultatet. Med partikler som ikke er kuleformede vil det være av betydning hvordan de ulike partiklene er orientert når de diffrakterer lyset. Det diffrakterte lyset vil variere om det opprinnelig treffer en bredside eller en langside på partikkelen.

Coulter (laserteknikken) er følsom for variasjoner i innhold av grove partikler. En tilblending på 2 vektprosent i materiale med partikler større enn 20 mikron til materiale med partikler mindre enn 20 mikron gir tydelige utslag. Coulter er også følsom for variasjon i innholdet av partikler mindre enn 1,2 mikron.

Sammensetning

Glødetap

For prøver av støv produsert av trafikk, og som inneholder både en mineralsk (uorganisk) fraksjon og en organisk fraksjon (bl.a. sotpartikler/carbon black og gummipartikler) utføres glødetapsanalyser. Dette vil gi forholdet mellom de to ulike partikkelfraksjonene angitt i vekt-%. Prøvematerialet blir overført til porselens- eller evt. platinadigler, og deretter satt i eksikkator i 24 timer. Diglene med prøvematerialet blir deretter veid og så brent i ovn ved 700 °C i én time. Diglene blir så avkjølt i 24 timer i eksikkator på nytt, hvoretter diglene med prøvematerialet veies på nytt. Diglens vekt før og etter gløding (glødetapet) gir et samlet uttrykk for prøvens innhold av hovedsakelig organisk materiale og vann.

Ved produksjon av støv i laboratorium (for eksempel ved bruk av Trøger, Prall, LA-mølle, kulemølle eller micro-Deval), vil organisk fraksjon stort sett være svært liten pga sammensetningen på vegdekket (ca 95 % steinmateriale og ca 5 % bindemiddel) og liten påvirkning utenifra (insekter, planterester osv.). Utføring av glødetapsanalyse vil i disse tilfellene ikke være nødvendig.

Mineralsammensetning (XRD)

XRD eller røntgendiffraksjon bestemmer mineralogien til krystalline faser. Metoden baseres på at ulike mineraler har forskjellig avstand mellom gitterplatene slik at diffraksjon av røntgenstrålen vil være forskjellig.

Apparaturen som er brukt er Philips PW 1830. Prøvematerialet ble preparert ved å legge det på en glassplate, dryppe sprit over, og gni det utover med en glasstav til en tynn hinne. Denne prepareringsmetoden er vanlig ved små prøvemengder og har sine begrensninger da kvantitative analyser blir vanskelige. Metoden er å oppfatte som semi-kvantitativ.

Elementsammensetning (ICP-MS)

Elementanalysene er en kjemisk analyse av prøvene som viser innholdet av ulike elementer (grunnstoffer). Undersøkelsen er basert på ICP-AES, etter partiell ekstrahering i kongevann (ca. 0,5 gram oppløst i 3 ml 3:1:2 HCl:HNO₃:H₂O ved 90 °C i en time). Løsningen fortynnes deretter i 10 ml vann. ICP-AES kan benyttes i samsvar med NS 4770 for undersøkelse av geologisk materiale.

Ved ønske om større nøyaktighet (lavere deteksjonsgrenser) kan HR-ICP-MS (Høyoppløselig Indusert Koblet Plasma – Massespektroskop) benyttes. Antallet av elementer som bestemmes kan variere fra 30 til over 40 etter behov.

Spesifikt overflateareal (BET)

Ved BET-analysen måles den spesifikke overflaten til en pulverprøve ved at det registreres en kvantitativ gassmengde som absorberes som et enkelt lag av molekyler (monomolecular layer) på partikkeloverflaten. Ved denne metoden fåes et uttrykk for det totale arealet av en partikkel. Også porer og ujevnheter i overflaten blir med i det totale areal pr. vektenhet.

Det blir benyttet apparatur av type Flowsorb II 2300 som foretar en automatisk utregning av spesifikk overflate.

Prøvematerialet veies inn på en Mettler P 1200 N-vekt med en veienøyaktighet på 0,01 g, og overføres til en prøvesylinder. Under prøveprepareringen (100 °C) gjennomstrømmes prøven av en gassblanding (70 % He og 30 % N) som trekker med seg fukt og eventuelle andre gasser i prøven. Prøvebeholderen overføres til analyseringsposisjon. Der blir den senket ned i flytende nitrogen, hvor nitrogenet i gassblandingen absorberes av prøven. Apparaturen gir arealet (m²) på display. Ved hjelp av innveid vekt av prøvematerialet beregnes spesifikk (overflate) i m²/g.

En nøyaktig kalibrering av analyseutstyret er nødvendig for at de kalkulerte verdier skal være riktige. Nøyaktig innveining av prøvematerialet er også viktig for å få et riktig resultat.

Det er viktig at det bygges opp et enkelt lag av gassmolekyler på partikkeloverflaten. Ved trykk- og temperaturforhold der det bygges opp mer eller mindre enn ett lag av gassmolekyler, vil ikke målingen bli korrekt.

Spesifikk overflate gir et mål for hvor stor flaten til en partikkel er i forhold til massen (m^2/g). Den spesifikke overflaten er avgjørende for mengden av andre forurensningskomponenter som kan sette seg på partikkeloverflaten, og er derfor interessant i helsesammenheng. Det er f.eks. et kjent fenomen at SO^2 -komponenter som setter seg på støvpartikler gir synergistiske helseeffekter. Det betyr at effekten ved eksponering er større enn summen av effektene hver for seg.

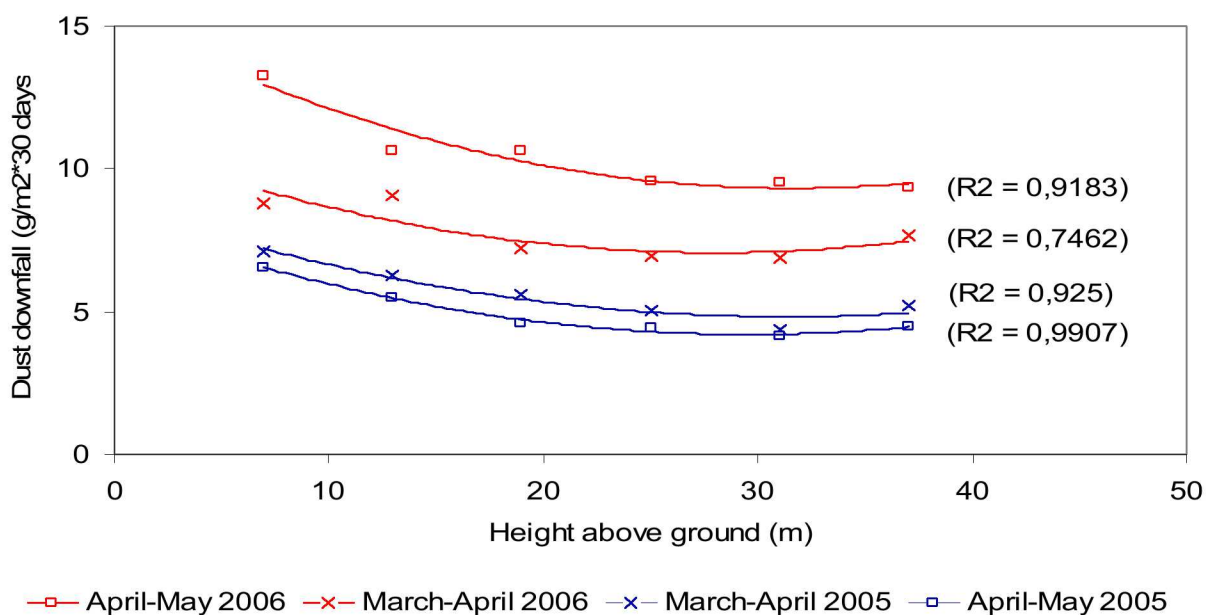
5 Resultater

5.1 Generelt

Mange av resultatene er presentert i Brynhild Snilsbergs doktoravhandling /6/. Denne rapporten gir en oppsummering av resultatene som er funnet.

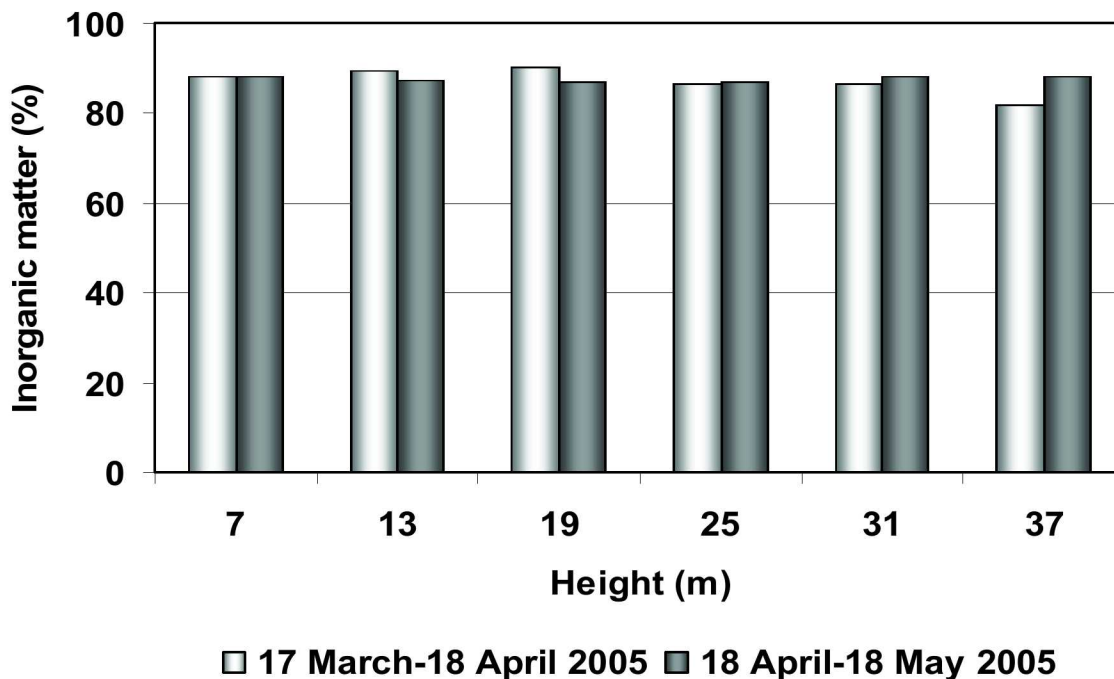
5.2 Feltforsøk

Feltmåling av svevestøv ble utført gjennom to måleperioder i 2005 og to måleperioder i 2006, begge år periode i piggdekk sesong og periode utenom piggdekk sesongen. Målingene ble foretatt gjennom registrering av støvnedfall i forskjellige høyder over bakken. Resultatene viser en klar trend, støvkonsentrasjonen reduseres etter at piggdekkene er tatt av. I tillegg viser resultatene en liten nedgang i støvkonsentrasjonen ved økende høyde. Resultatene fra målingene er vist grafisk i figur 6.



Figur 6: Resultater av støvnedfall ved feltforsøk – mengde (gram/m² og 30 dager)/6/

Videre ble støvprøvene fra feltmålingene analysert for å bestemme innhold av uorganiske materialer. Resultatet av disse målingene er vist i figur 7.



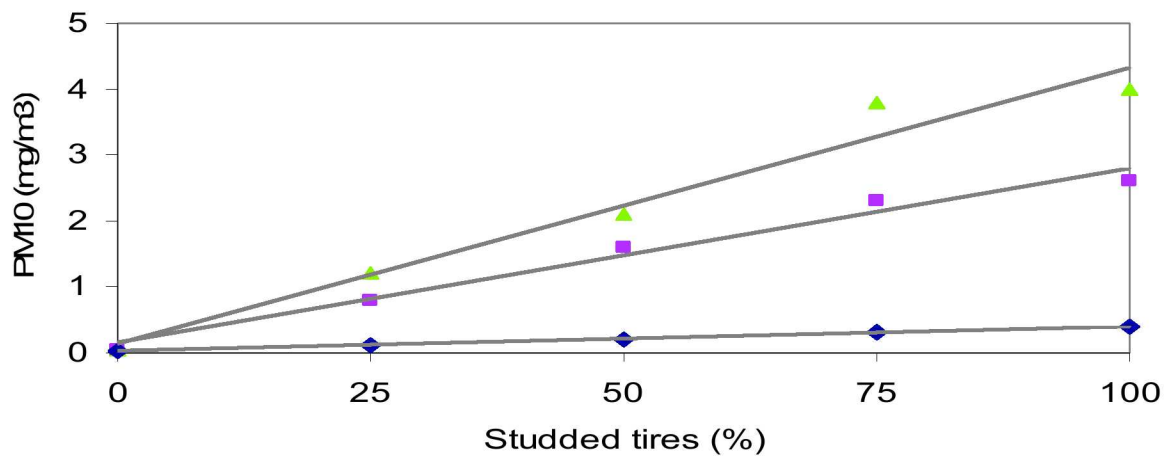
Figur 7: Resultat fra analyse av støvnedfall ved feltforsøk – andel uorganisk materiale /6/

Resultatene fra analysene viser at andel uorganisk materiale er mellom 80 og 90 % både før og etter at piggdekkene er tatt av.

5.3 Ringbaneforsøk

Første ringbaneforsøk ble gjennomført på Ska 11. I dette forsøket ble hastighet og dekkkonfigurasjon variert. Resultatene er vist i figur 8 og 9.

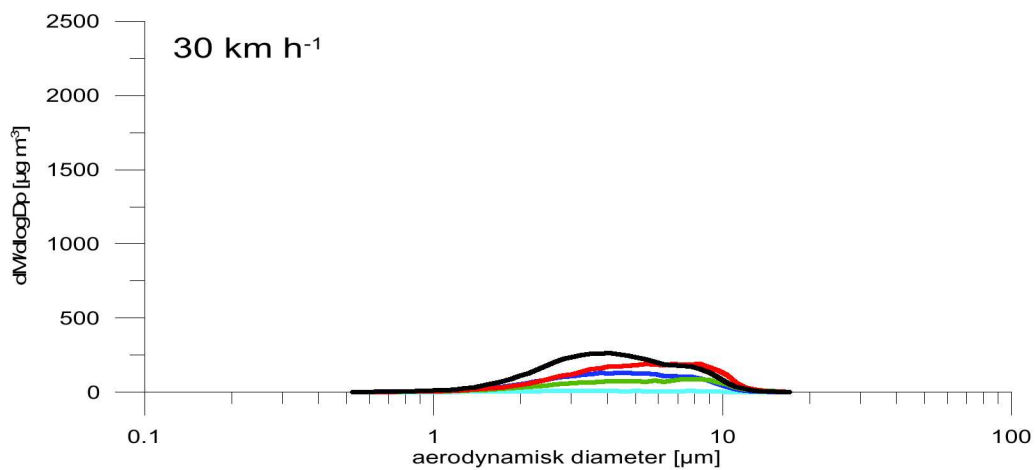
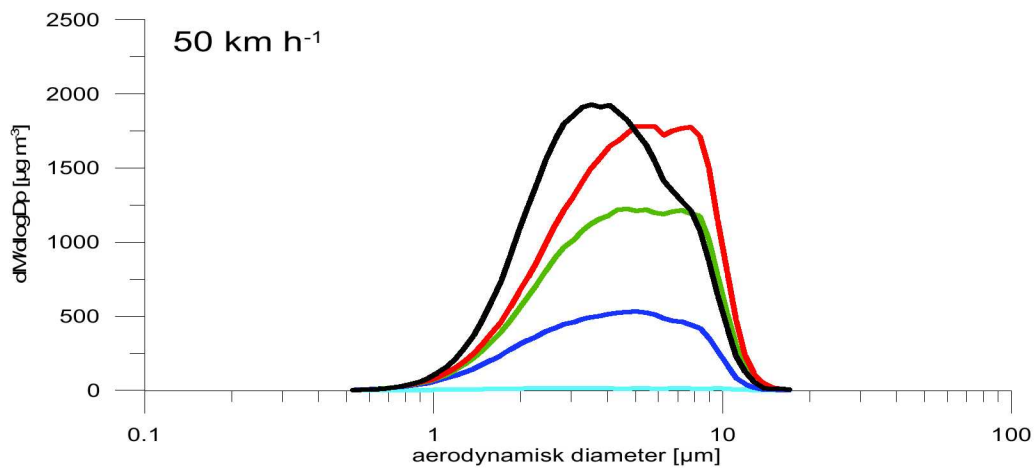
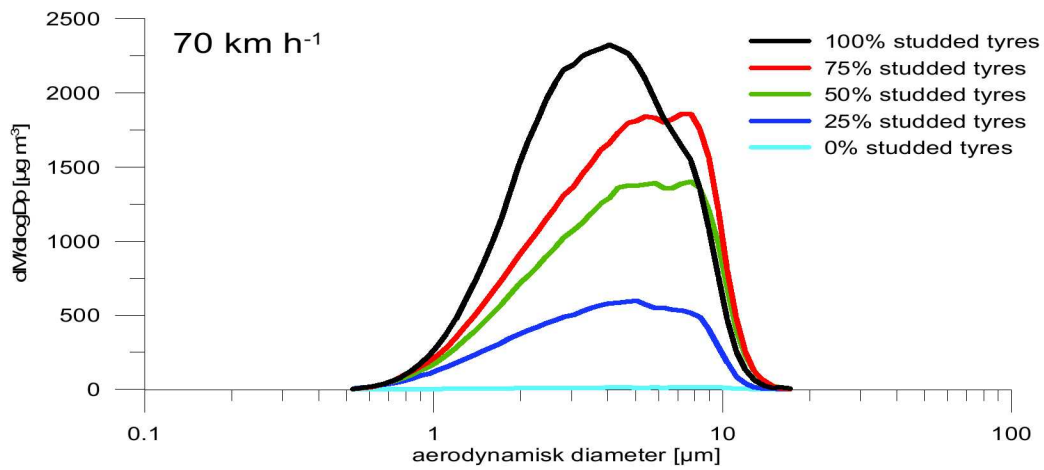
I figur 8 ser en sammenhengene mellom støvkonsentrasjon (PM10) og prosentandel piggdekk for forskjellige hastigheter.



- ▲ 70 km/h $PM_{10} = 0.0402 * \text{Studded tires} + 0.19$ $R^2=0.9859$
- 50 km/h $PM_{10} = 0.0274 * \text{Studded tires} + 0.125$ $R^2=0.9898$
- ◆ 30 km/h $PM_{10} = 0.0044 * \text{Studded tires} + 0.04$ $R^2=0.9918$

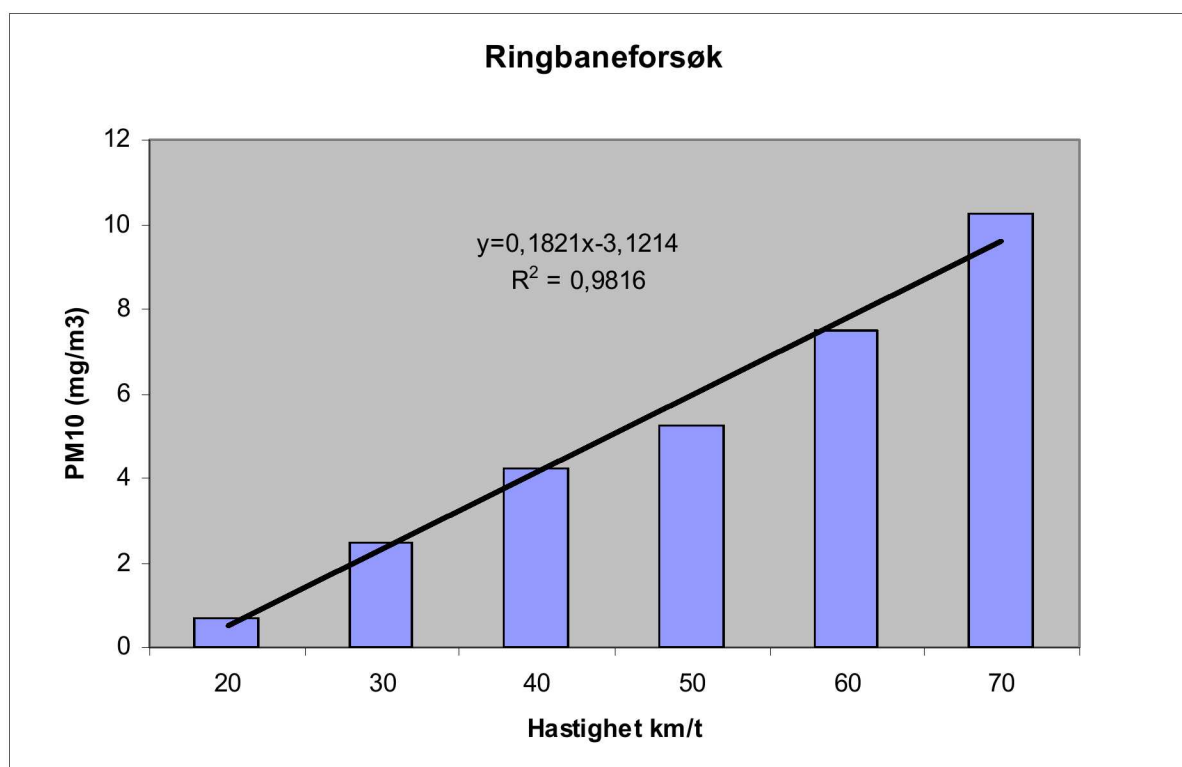
Figur 8: Støvkonsentrasjon (PM10) som funksjon av piggdekkandel ved forskjellige kjørehastigheter/9/

I figur 9 ser en kornstørrelsesfordelinger for PM10 støv ved forskjellige hastighetsnivå og forskjellig piggdekkandel.



Figur 9: Kornstørrelsesfordeling for PM₁₀ støv ved forskjellige hastighetsnivåer og forskjellig piggdekkandel /9/

I det andre ringbaneforsøket, som ble gjennomført på en Ska 8 masse, ble støvkonsentrasjonen målt ved flere hastighetsnivåer. Resultatet fra disse målingene er vist i figur 10. Målingene er gjort med en piggdekkandel på 100 %.



Figur 10: Støvkonsentrasjon (PM10) ved forskjellige hastighetsnivåer

Resultatene viser en klar sammenheng mellom hastighet og støvgenerering.

5.4 Metodestudiet

Metodestudiet hadde som målsetting å komme frem til enkle testmetoder for å produsere støv. Målsettingen var å produsere støv i laboratoriet mest mulig sammenlignbart med det støvet som produseres ute på vegen. Både metoder for testing av asfalt og metoder for testing av tilslag ble utprøvd og evaluert.

Asfalttestmetodene var: Ringbane(PTM)-, Trøger og Prall.

Testmetodene for tilslagsmaterialer var: Los Angeles, Kulemølle og Micro-Deval.

Undersøkelsen ble gjennomført på en Ska 11 med Mylonitt fra Norstone (durasplitt) i grovfraksjon, og tilslagstesting ble gjennomført på samme materiale.

Gjennom mange års forskning på piggdekkslitasje både i Sverige og Norge har en sett en meget god sammenheng mellom slitasje målt på veg og slitasje målt i ringbane. Sist ble dette vist gjennom undersøkelser gjort i SIV prosjektet /3/. Ut fra disse erfaringene ble derfor ringbanen (PTM) for disse forsøkene brukt som referanse.

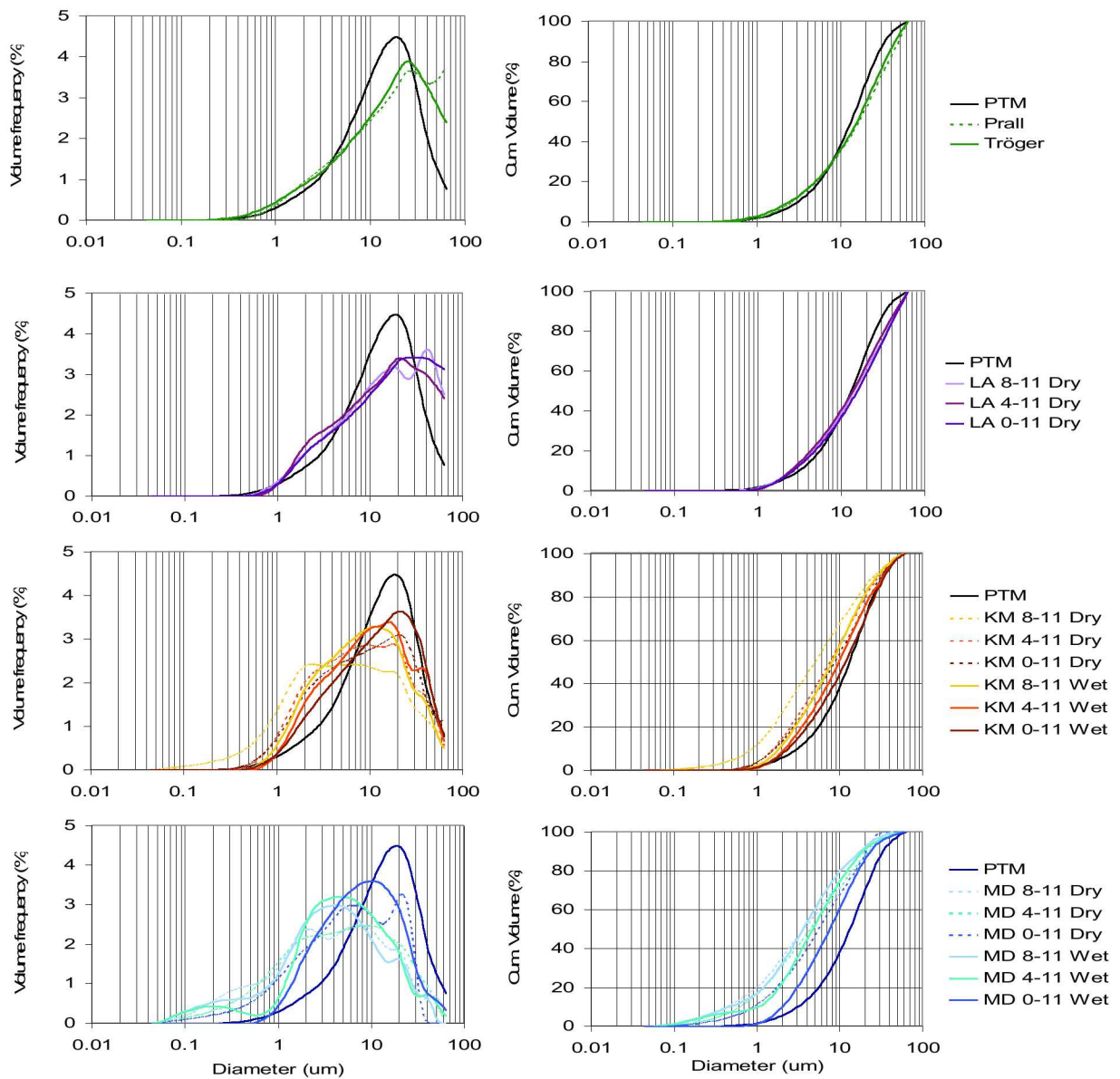
I alle forsøkene ble alt finstoff tatt vare på for videre analyser.

Når det gjaldt støvproduksjon var det stor forskjell på de forskjellige metodene: Los Angeles-metoden var klart den metoden som produserte raskest og mest støv. Tabell 3 viser mengde finstoff produsert med de forskjellige testmetodene.

Tabell 3: Finstoffproduksjon med forskjellige testmetoder

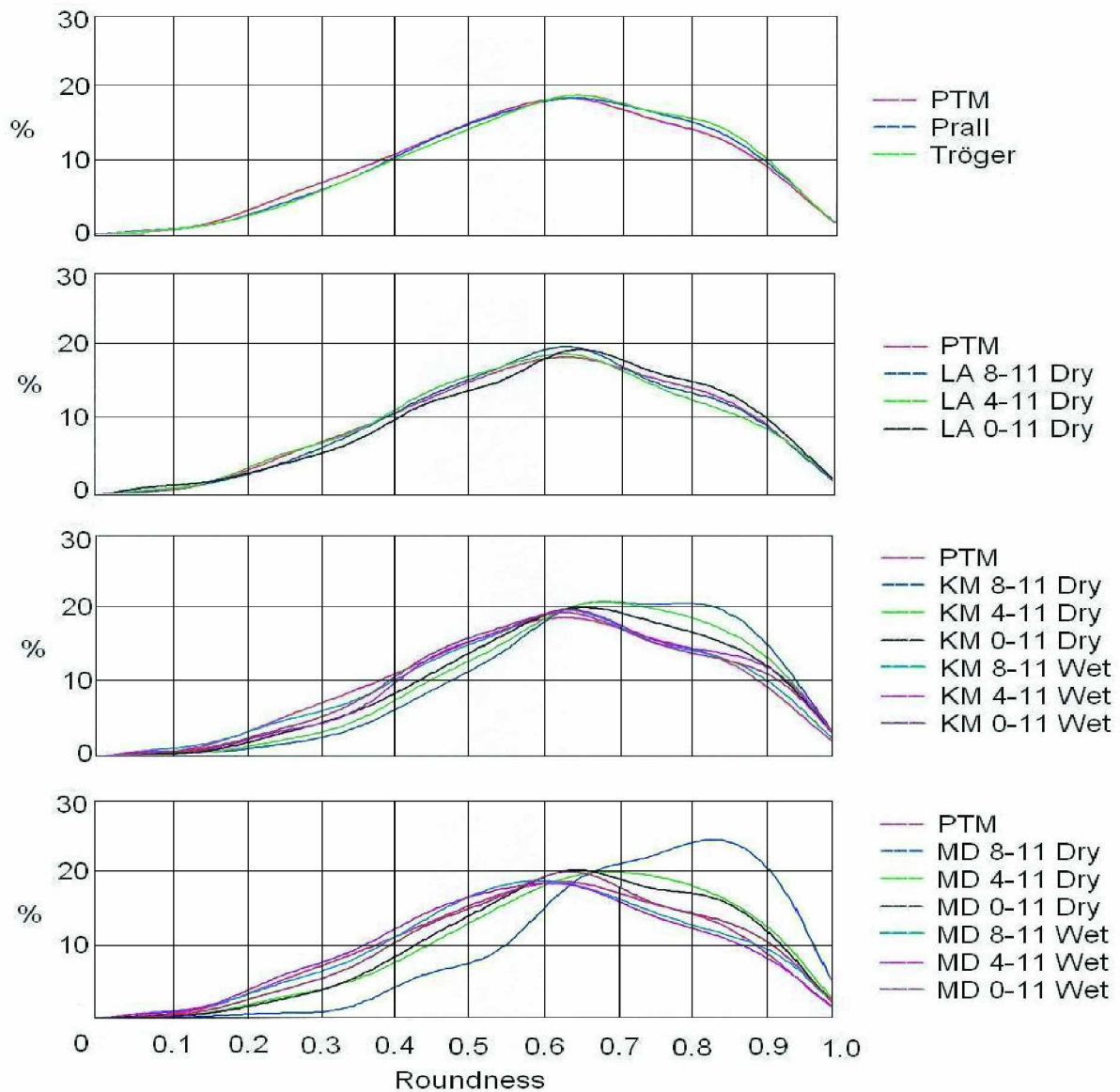
Method	Produced material	Time (min)	Amount			
			Total (g)	> 63 um	< 63 um	g/min
PTM	All	30	10			0.33
Prall	All	5	17			3.40
Trøger	All	5	18			3.60
LA 8-11 Dry	< 1.6 mm	15	630	39 %	61 %	42.00
LA 4-11 Dry	< 1.6 mm	15	739	33 %	67 %	49.29
LA 0-11 Dry	< 1.6 mm	15	1448	28 %	72 %	96.51
KM 8-11 Dry	< 2 mm	60	57	88 %	12 %	0.94
KM 4-11 Dry	< 2 mm	60	183	94 %	6 %	3.04
KM 0-11 Dry	< 2 mm	60	443	98 %	2 %	7.39
KM 8-11 Wet	< 2 mm	60	94	86 %	14 %	1.57
KM 4-11 Wet	< 2 mm	60	209	98 %	2 %	3.48
KM 0-11 Wet	< 2 mm	60	471	98 %	2 %	7.85
MD 8-11 Dry	< 1.6 mm	120	3	89 %	11 %	0.02
MD 4-11 Dry	< 1.6 mm	120	19	88 %	12 %	0.16
MD 0-11 Dry	< 1.6 mm	120	273	97 %	3 %	2.27
MD 8-11 Wet	< 1.6 mm	120	55	99 %	1 %	0.45
MD 4-11 Wet	< 1.6 mm	120	77	100 %	0 %	0.64
MD 0-11 Wet	< 1.6 mm	120	312	96 %	4 %	2.60

Videre analyser av støvet viste at de fleste metodene ga god korrelasjon med ringbane (PTM) både når det gjelder kornstørrelsesfordeling og korngradering, kornform og mineralsammensetning. Figur 11 viser kornstørrelsesfordelingen og korngradering for støv produsert med de forskjellige testmetodene.



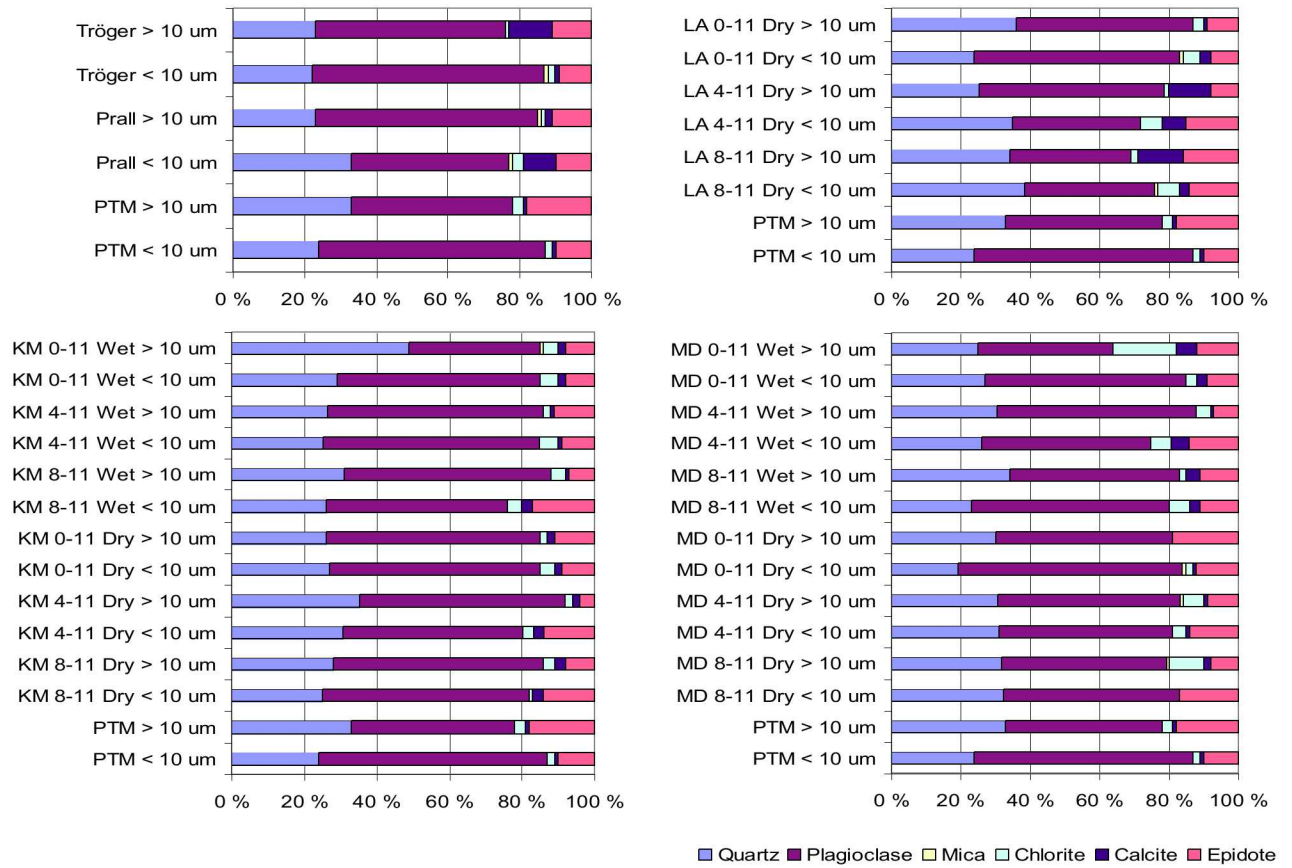
Figur 11: Kornstørrelsesfordeling og korngradering (%) på volumbasis for støv produsert med de forskjellige testmetodene /6/

Figur 12 viser partikkelkornform uttrykt som rundhetsgrad. Rundhetsgrad måles som sammenheng mellom lengde og bredde med verdier fra 0 til 1, hvor en perfekt sirkel har verdien 1. For hver prøve er 10.000 korn karakterisert.



Figur 12: Rundhetsgradfordeling ut fra telling /6/

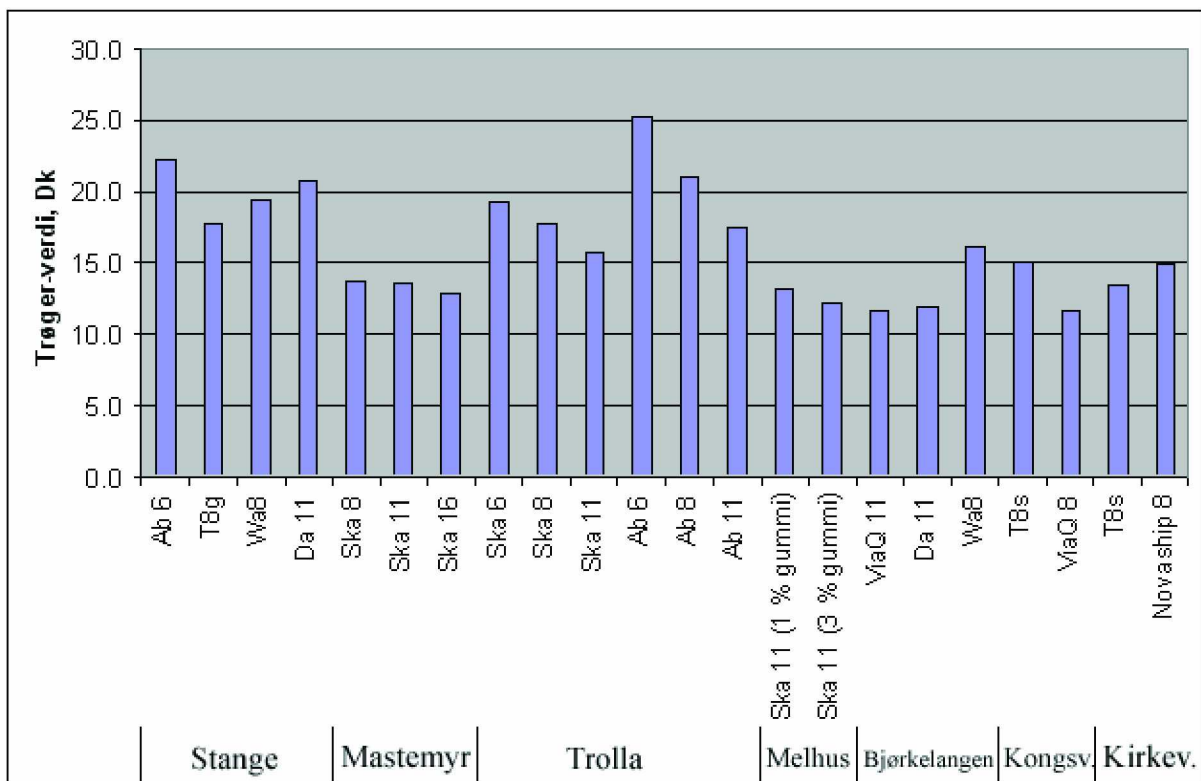
Figur 13 viser mineralogisk sammensetning for produsert støv (PM10) fra de forskjellige testmetodene.



Figur 13: Mineralogisk sammensetning /6/

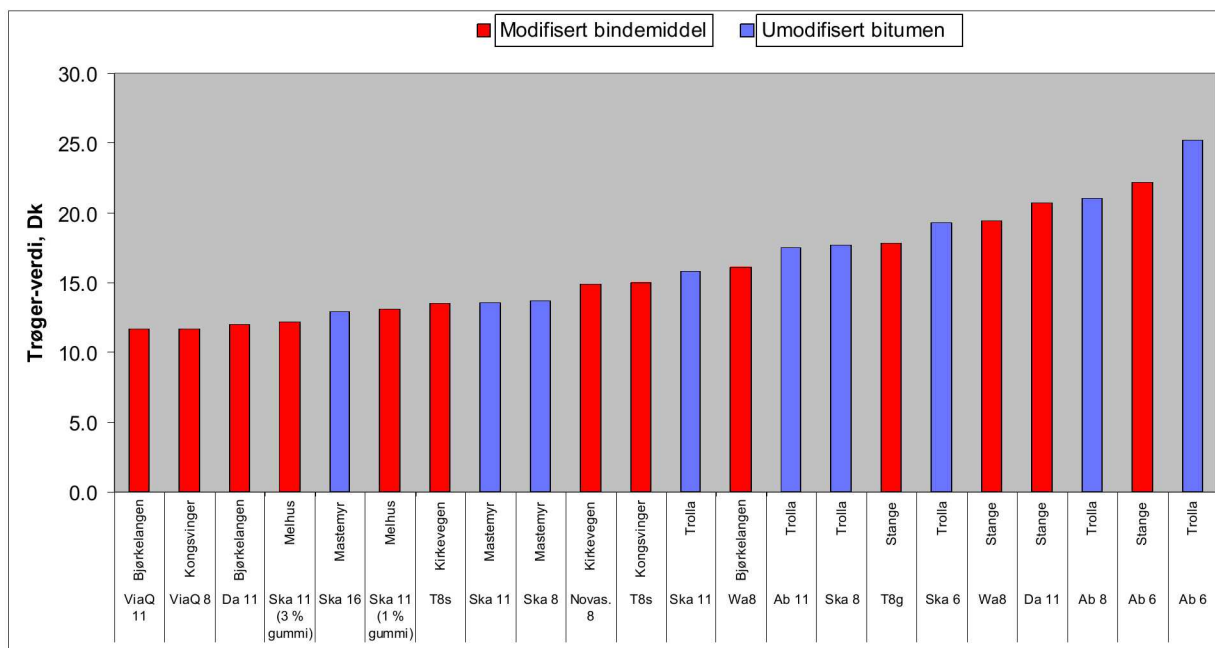
5.5 Forsøksfelt

Som en viktig del av prosjektet ble det i 2005 og 2006 lagt ut forsøksfelt med støysvake dekker rundt om i Norge. Dette var dekketyper med redusert steinstørrelse og åpne graderinger (drensasfalt). Disse forsøksfeltene er nærmere beskrevet i egen sluttrapport i prosjektet /8/. Ut fra erfaring vet en at disse dekketyperne kan være lite motstandsdyktige mot piggdekksslitasje. For å få en oversikt over disse dekketypernes slitasjeegenskaper ble det derfor fra alle forsøksfeltene tatt ut borpøver for testing i laboratorium. Slitasjetesting ble gjennomført ved bruk av Trøger. Resultatene fra undersøkelsene er grafisk fremstilt i figur 14.



Figur 14: Slitasjeresultater for forsøksfelt

Forsøksfeltene har mange variabler både når det gjelder sammensetning, steinkvalitet og bindemiddeltipe. I figur 15 har en derfor rangert resultatene ut fra slitasjeegenskaper.



Figur 15: Slitasjeresultater for forsøksfelt rangert etter slitasjeegenskaper

6 Vurderinger av resultatene

6.1 Feltmålinger

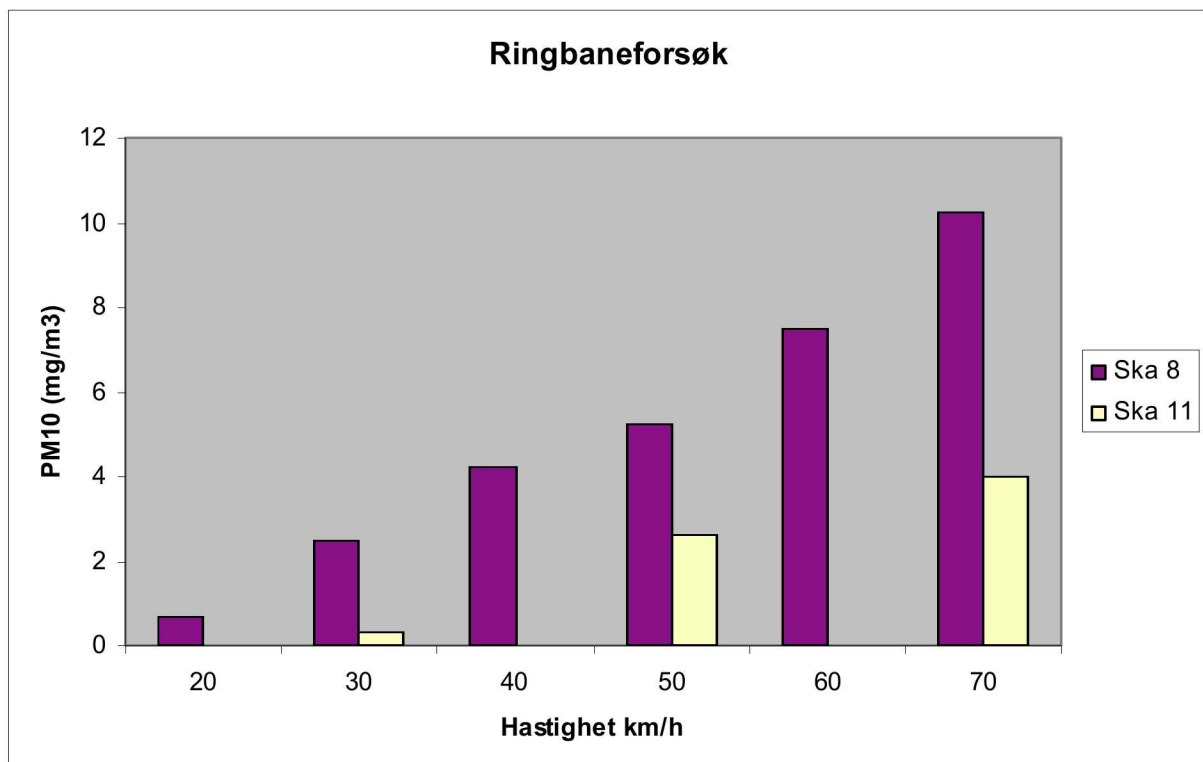
Resultatene fra feltmålinger gjort i Trondheim 2005 og 2006 viser at svevestøvkonsentrasjonen er høyest i perioder med bruk av piggdekk. Undersøkelsen viser også at 80 – 90 % av svevestøvet består av mineralogisk material. Dette viser at piggdekk er en vesentlig årsak til svevestøv og at det aller meste av svevestøvet stammer fra steinmaterialer.

6.2 Ringbaneforsøk

Ut fra de innledende feltundersøkelsene ble det bestemt å foreta ringbaneforsøk på VTI's ringbane. Dette ut fra mange års forskning på piggdekksslitasje både i Sverige og Norge hvor en fant en meget god sammenheng mellom slitasje målt på veg og slitasje målt i ringbane. Sist ble dette vist gjennom undersøkelser gjort i SIV prosjektet /3/.

Det ble gjennomført to ringbaneforsøk hvor fokus var steinmateriale, piggdekk og kjørehastighet. Det ble valgt å benytte samme steinkvalitet i begge forsøkene. Variabelen for de to dekketyperne var derfor kun maks steinstørrelse og mengde stein større enn 4 mm. Resultatene fra disse undersøkelsene viser klare sammenhenger.

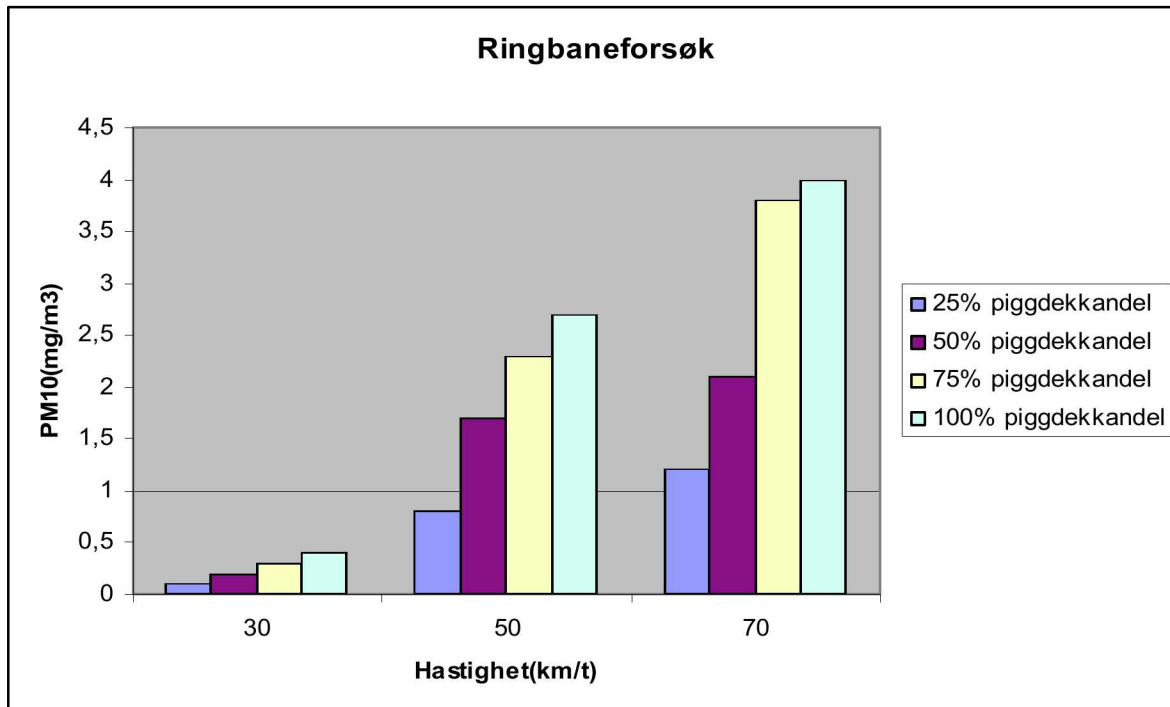
Figur 16 viser sammenheng mellom svevestøvproduksjon og hastighet for de to dekketyperne. Alle forsøkene er kjørt med 100 % piggdekk.



Figur 16: Sammenheng mellom svevestøv og kjørehastighet for Ska 11 og Ska 8

Ut fra dette ser en at både kjørehastighet, steinstørrelse og steinmengde har stor betydning for svevestøvproduksjonen.

Videre ble det gjort undersøkelser for å se på piggdekkandelens betydning for svevestøvproduksjonen. Disse undersøkelsene ble gjennomført kun for en dekketype, Ska 11. Undersøkelsene ble gjennomført med 100 %, 75 %, 50 % og 25 % andel piggdekk ved forskjellige hastighetsnivåer. Figur 17 viser sammenheng mellom svevestøvproduksjon og kjørehastighet for forskjellige piggdekkandeler.



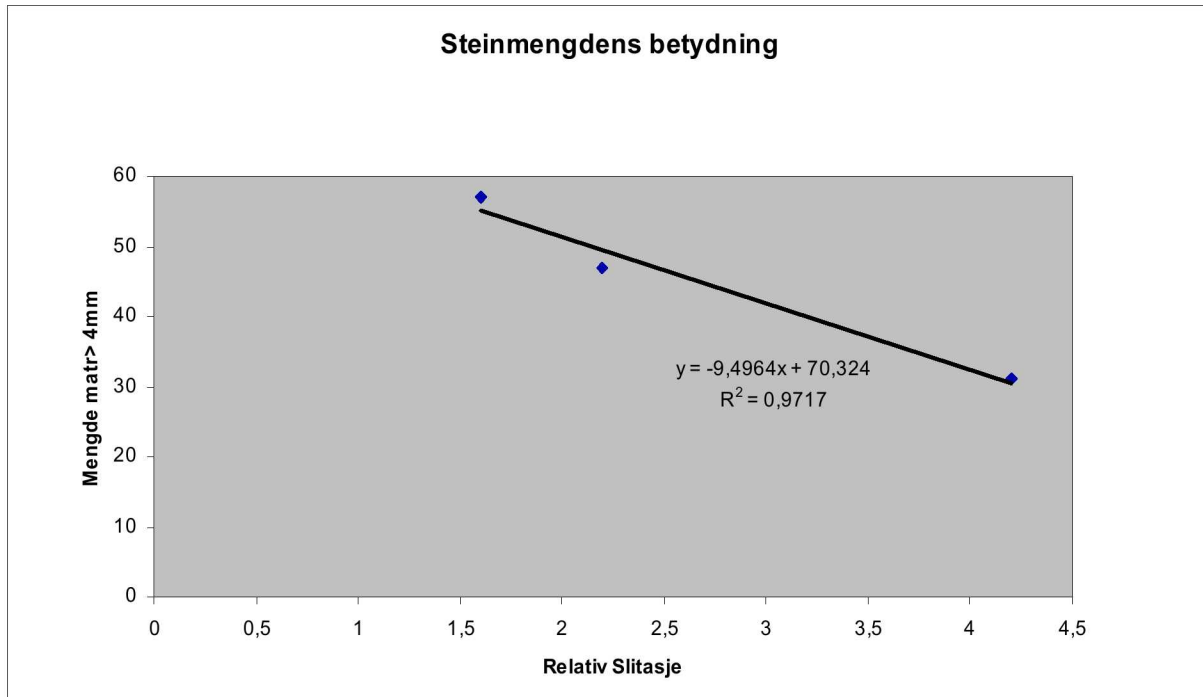
Figur 17: Sammenheng svevestøv og kjørehastighet for forskjellige piggdekkandeler

Resultatene viser en klar reduksjon i svevestøvproduksjon ved redusert piggdekkandel. En ser også at kjørehastigheten har stor betydning.

Videre viser ringbaneforsøkene at steinstørrelse og steinmengde har stor betydning for svevestøvproduksjonen. I disse to forsøkene ble det benyttet dekketyper Ska 11 og Ska 8. Mengde steinmateriale > 4 mm i disse to dekketyper var henholdsvis 65 % for Ska 11 og 55 % for Ska 8.

6.3 Sammenheng slitasje - svevestøv

Tidligere undersøkelser gjort på ringbanen (SIV prosjektet) /3/ viste at mengde stein > 4 mm hadde stor betydning for slitasjen. Resultatene fra de undersøkelsene er vist i figur 18.



Figur 18: Sammenheng mellom slitasje og materiale > 4 mm /3/

Resultatene viser at reduksjon i mengde materiale > 4 mm gir økning i slitasjen. Ved reduksjon i steinmengden med 10 % fra 60 – 50 %, øker den relative slitasjen fra 1 til 2, altså en dobling i slitasje.

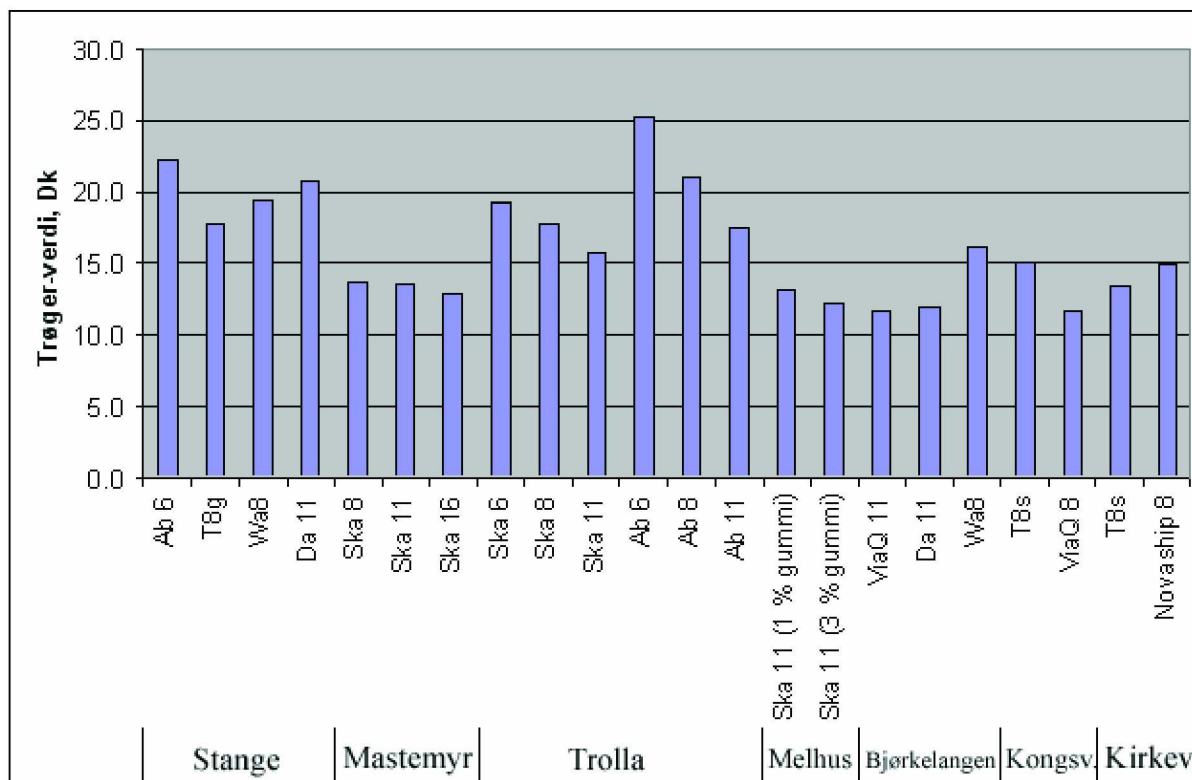
Disse forsøkene ble kjørt med kjørehastighet 50 km/t og med 100 % piggedekk.

Sammenligner en disse resultatene med ringbaneforsøkene for støvproduksjon, på Ska 11 og Ska 8, jamfør figur 16, ser en at det er en god sammenheng. Disse forsøkene viser at reduksjon i steinmengde > 4 mm med 10 % gir ved 50 km/t en dobling i støvmengde.

Ut fra disse resultatene har vi i det videre valgt å gjøre våre vurderinger ut fra at endring i relativ slitasje er lik endring i svevestøvproduksjon.

6.4 Forsøksfelt

Støydelen i prosjektet har gjennom FoU- arbeid kommet frem til at tiltak for å redusere støy først og fremst er redusert steinstørrelse og bruk av åpne dekker. For å teste ut dette ble det i 2005 og 2006 lagt ut forsøksfelt rundt om i Norge med varierende steinstørrelse og med både tette og åpne dekker. For å vurdere disse dekkene også mot støvproduksjon, ble det fra alle dekkene tatt ut borprøver for testing av slitasjeegenskapene. Resultatene fra disse undersøkelsene er vist i figur 19.



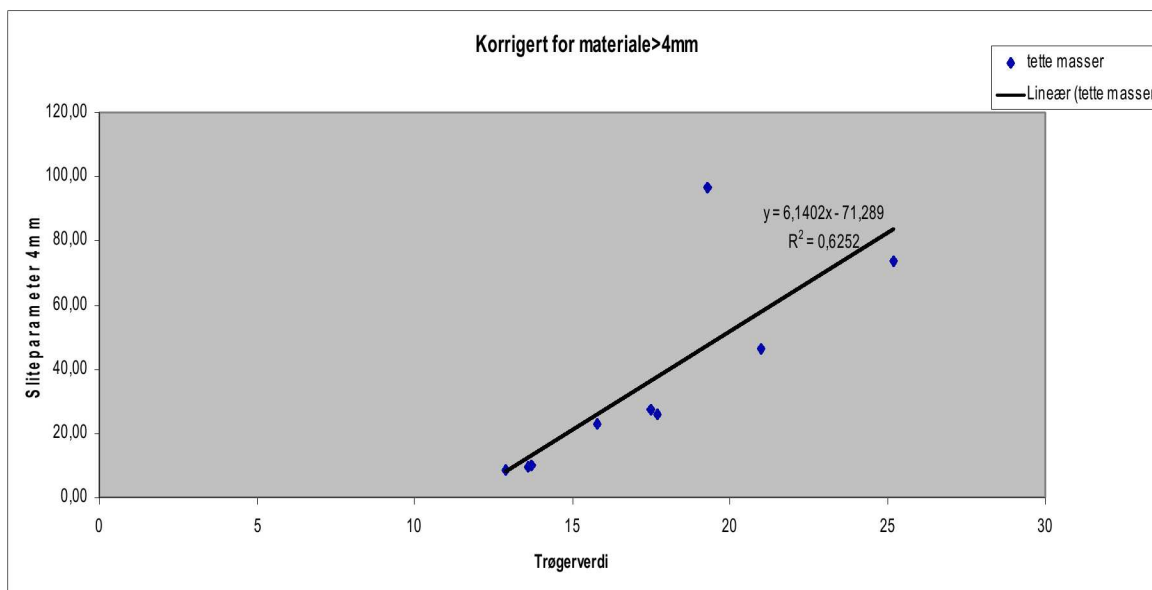
Figur 19: Slitasje målt med Trøger for forsøksdekker

Ut fra disse resultatene ser en at det er stor forskjell i slitasje for de forskjellige dekketyper. En ser også en klar tendens til at de dekketyperne med lavest D_{maks} får større slitasje.

For å se nærmere på denne sammenhengen har en først tatt for seg de tette dekkene uten tilsetning av polymermodifisert bindemiddel. Disse strekningene ligger på Rv. 715 Trolla i Trondheim og på E18 Mastemyr i Oslo. Resultatene er vist i figur 20.

Tidligere undersøkelser har vist at steinkvalitet er en viktig faktor for slitasje. I tillegg har undersøkelser gjort i SIV-prosjektet /3/ vist at steinmengden har stor betydning. En har derfor i denne undersøkelsen valgt å benytte et begrep kalt sliteparameter, som består av både steinkvalitet og steinmengde.

$$\text{Sliteparameter}(4\text{mm}) = (\text{steinkvalitet (Mølleverdi)} / \text{steinmengde (materiale > 4mm)}) * 100$$



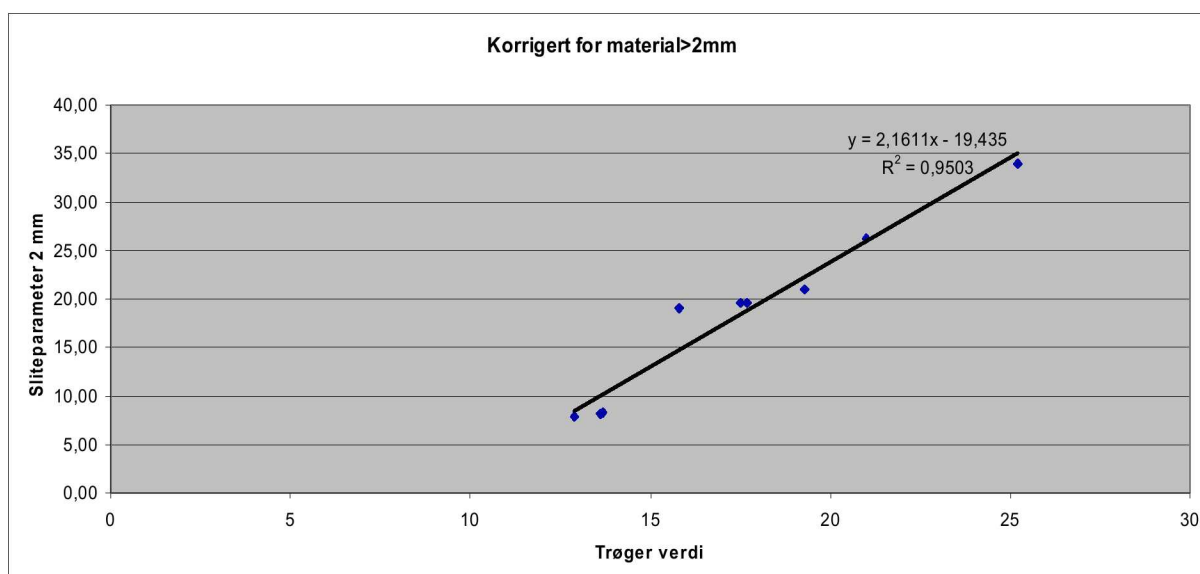
Figur 20: Sliteparameter for materiale > 4 mm som funksjon av Trøgerverdi for tette dekker

Resultatene viser en god sammenheng for de fleste dekketyperne. Det er kun en dekketype, Ab 6 Rv.715 Trolla, som skiller seg ut. Dette skyldes lite materiale > 4 mm. En valgte derfor å se om det ga en bedre sammenheng dersom en så på materiale > 2 mm.

Formelen for sliteparameter ble da

Sliteparameter (2mm) = (steinkvalitet (Mølleverdi) / steinmengde (materiale > 2 mm)) * 100

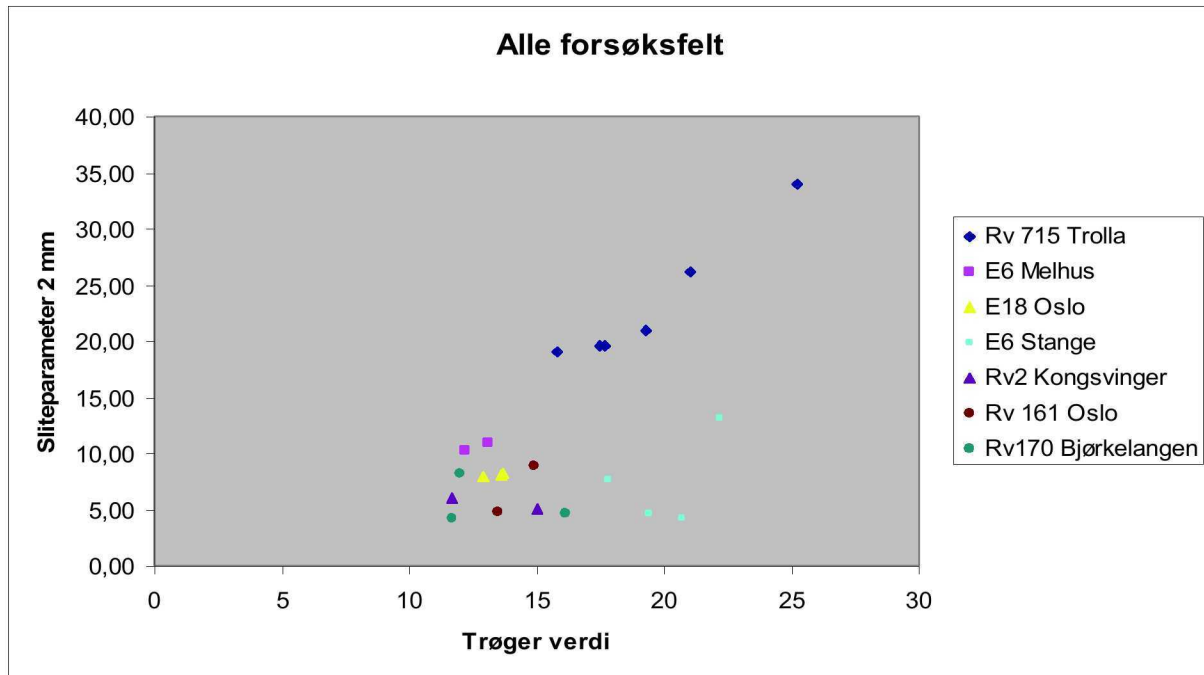
Resultatet fra denne sammenhengen er vist i figur 21.



Figur 21: Sliteparameter for materiale > 2 mm som funksjon av Trøgerverdi for tette dekker

Resultatene viser at det er en meget god sammenheng mellom slitasje målt med Trøger og steinkvalitet og steinmaterial > 2 mm.

Ut fra denne sammenhengen har en i figur 22 forsøkt å ta inn alle forsøksdekketyper som er testet /8/.



Figur 22: Sliteparameter for materiale > 2 mm som funksjon av Trøgerverdi for alle forsøksfelt

Ut fra Trøger-resultatene vist i figur 19 og beregnet sliteparameter ser en ingen klar sammenheng, mellom slitasje uttrykt ved Trøgerverdi og steinmengde/steinkvalitet uttrykt som sliteparameter, for åpne dekker og dekker med polymermodifiserte bindemidler.

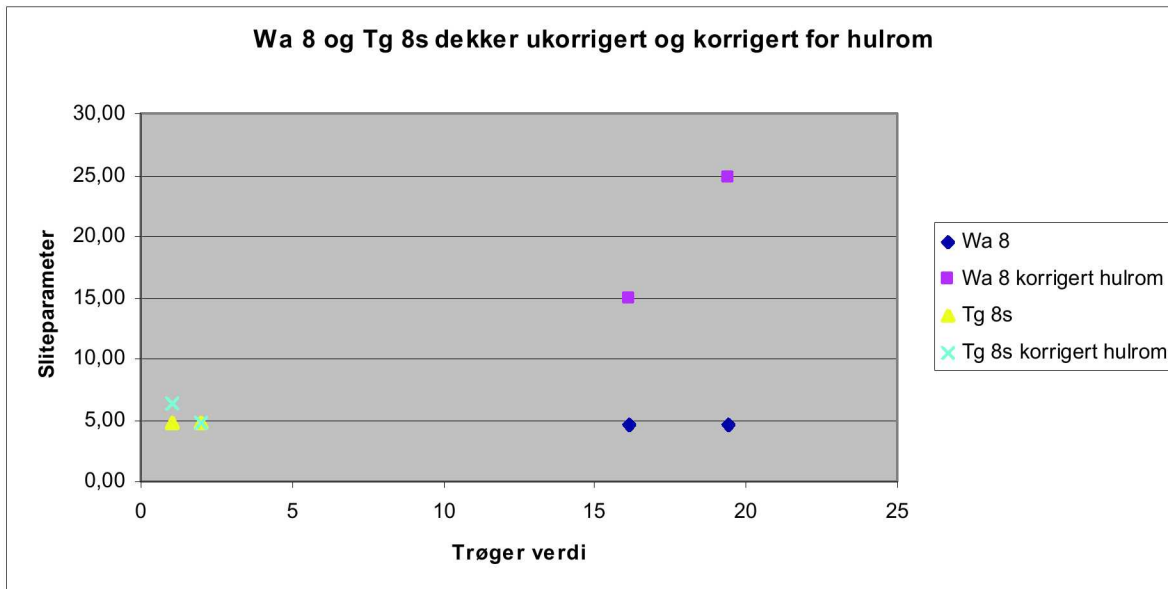
For å se nærmere på hva som påvirker slitasjen for åpne dekketyper har en sett på to dekketyper med lik sammensetning og samme steinmateriale, men har ulike slitasjeresultater.

De to valgte dekketyper er Wa8 som er lagt på E6 Stange og Rv. 170 Bjørkelangen og T8s som er lagt på Rv. 161 i Oslo og Rv. 2 på Kongsvinger.

Både for Wa8 dekkene og T8s dekkene var sliteparameteren den samme, mens det var stor forskjell i målt slitasje. Nærmere undersøkelse viste at forskjellen i målt slitasje i første rekke skyldes forskjell i hulrom. For å korrigere for dette har en valgt å utvide begrepet sliteparameter ved å si at for åpne dekker har, i tillegg til steinkvalitet og steinmengde, hulrommet stor betydning for slitasjen. Dette gjelder for hulrom større enn 6 %. I figur 23 har en fremstilt resultatene for de to dekketyper før og etter korreksjon for hulrom.

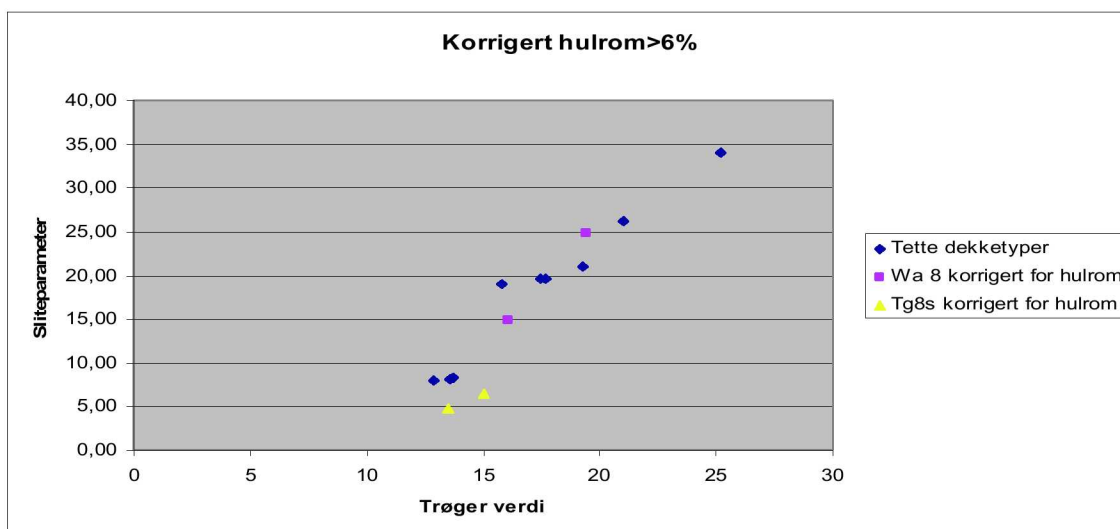
Formel for sliteparameter korrigert for hulrom er:

$$\text{Sliteparameter(korr)} = (((\text{steinkval.}(\text{Mølleverdi}) + (\text{hulrom} - 6)) / \text{steinm.}(\text{materiale} > 2\text{mm})) * 100$$



Figur 23: Sliteparameter for materiale > 2 mm som funksjon av Trøgerverdi før og etter korreksjon for hulrom for dekketyperne Wa8 og T8s

I figur 25 har en fremstilt de to dekketyperne Wa8 og T8s korrigert for hulrom sammen med resultatene for de tette dekkene.



Figur 25: Sliteparameter for materiale > 2 mm som funksjon av Trøgerslitasje for tette dekker og dekketyperne Wa8 og T8s korrigert for hulrom

Ut fra resultatene gjort i disse undersøkelsene ser en for tette dekker en klar sammenheng mellom steinkvalitet/mengde steinmateriale > 2 mm og slitasje. For tette dekker vil derfor steinmengde og steinkvalitet ha meget stor betydning for slitasje og derav svevestøvproduksjon. Videre ser en at hulrommet vil kunne ha betydning for slitasjen for åpne dekker. Høyere hulrom vil kunne gi større slitasje og derav større svevestøvproduksjon. Tidligere undersøkelser gjort ved SINTEF viser også at åpne dekker kan ha dårligere deformasjonsegenskaper. En har også sett fra denne undersøkelsen, og fra tidligere undersøkelser, at bruk av polymermodifiserte bindemidler vil kunne ha positive effekter både på slitasje- og deformasjonsegenskaper.

6.5 Vintervedlikehold

På grunn av økt andel piggfrie vinterdekk brukes salt i stadig større grad som friksjonsforbedrende tiltak i forbindelse med vintervedlikeholdet. Saltets virkninger på selve asfaltdekket har lenge vært oversett i den tro at det trolig ikke har noen innvirkning. Det ble derfor igangsatt en masteroppgave /7/ som hadde som mål å avdekke om dette var riktig.

Opgaven testet bestandigheten i laboratorium hos en tett Ab11-masse og en åpen Da11-masse mot påvirkning fra salt (NaCl), brukt til vintervedlikehold. Dette ble gjort ved å måle strekkfastheten etter en forholdsvis ny testmetode (NS-EN 12697-41, Bestandighet mot avisingsvæsker), stivhet med NAT og vedheft/vannømfintlighet med Cantabro-testen. Prøveklosser fra de to massene ble kondisjonert i luft, i vann og i en 20 % saltløsning over en 3 ukers periode.



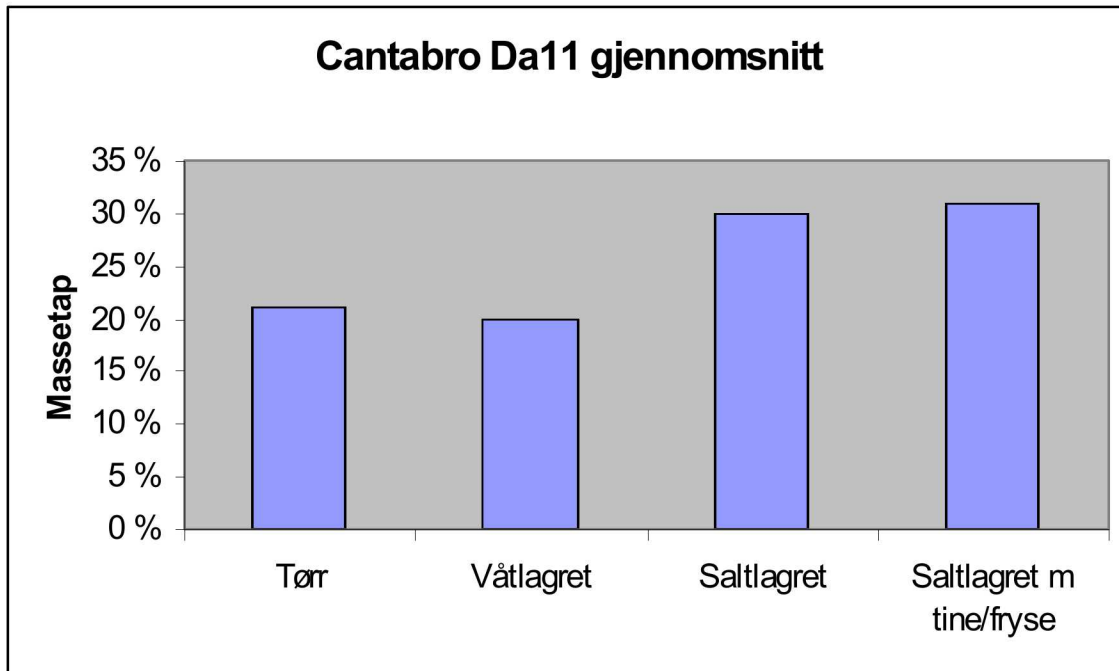
Figur 25: Da11 prøve kappet i to



Figur 26: Ab11 prøve kappet i to

Strekktestingen gav ingen klar indikasjon på om salt har en innvirkning på bestandigheten for de testede massene. Resultatene verken bekreftet eller avkreftet hvorvidt salt påvirker bestandigheten. Strekktestingen viste derimot at Ab-massen tålte betydelig høyere strekkspenninger enn Da-massen. Den svakere Da-massen kan dermed være mer utsatt for krakelering og oppsprekking på grunn av vanlige lastpåkjenninger, noe som resulterer i kortere levetid.

Cantabro-testen gir indikasjoner på at saltet har en innvirkning på bestandigheten hos en åpen masse. Testen brukes hovedsakelig til testing av åpne dekker med tanke på for eksempel vannømfintlighet og vedheft. Kondisjoneringen hadde liten innvirkning på Ab-massen i denne oppgaven, men de saltkondisjonerte prøvene av Da-massen hadde betydelig høyere massetap enn de kondisjonert i vann og de tørrlagrede, se figur 27.



Figur 27: Massetap for Da11

Ut fra resultatene ser en at salt ikke påvirker bestandigheten hos tette dekker. For åpne dekker ser en imidlertid at saltet kan redusere levetiden.

Når det gjelder slitasje har en ingen indikasjoner på at salt øker slitasjen. Det er imidlertid tidligere vist at salt holder vegbanen fuktig over en lengre tidsperiode enn om veggen ikke er saltet. Forskning har også vist at piggdekkslitasjen øker betydelig på vått vegdekke i forhold til tørt.

7 Konklusjoner

Denne rapporten har først og fremst sett på hva som påvirker produksjon av støv fra et asfaltdekke. Når det gjelder analyse av støv er det gjennomført i et eget dr.ing-studium som er rapportert i en egen avhandling /6/.

Når det gjelder støvproduksjon har en kommet fram til følgende konklusjoner:

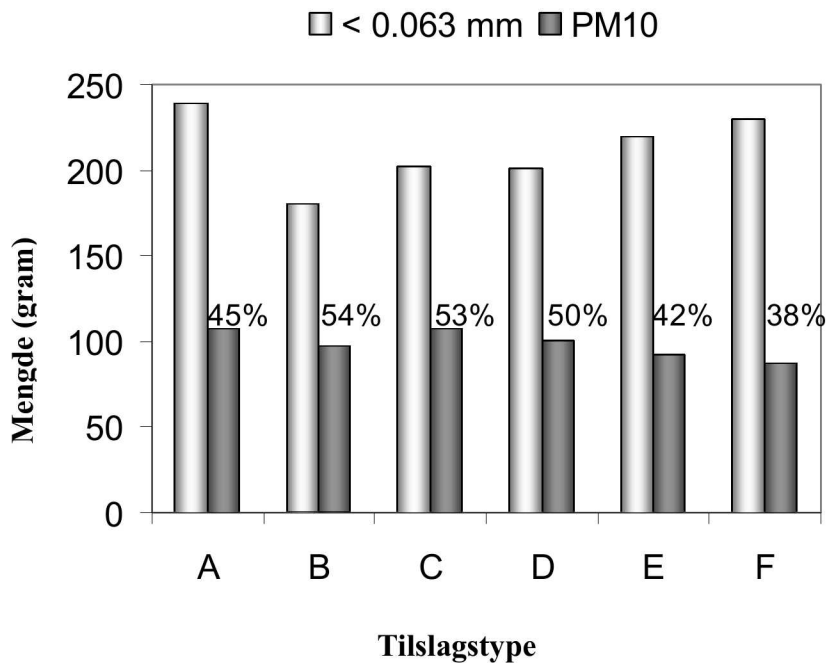
- Støvproduksjon skyldes hovedsaklig bruk av piggdekk.
- Utenom asfaltdekkens egenskaper påvirkes produksjon av svevestøv fra et asfaltdekke av trafikkhastighet og piggdekkandel.
- For tette asfaltdekker, med hulrom $< 6\%$, påvirkes produksjon av svevestøv av steinkvalitet uttrykt gjennom Mølleverdi. En bør derfor, hvor en ønsker å redusere støvproduksjon, vurdere strengere krav til steinkvalitet enn hva som er beskrevet i håndbok 018.
- For tette asfaltdekker, med hulrom $< 6\%$, påvirkes produksjon av svevestøv av mengde materiale > 2 mm. Det er viktig at mengden er så høy som mulig for å redusere støvproduksjon. En konsekvens av dette er at dekketyper med største steinstørrelse < 8 mm ikke bør anvendes på veger med høy piggdekkandel.
- For åpne dekker, med hulrom $> 6\%$, ser en at det er flere faktorer som påvirker produksjon av svevestøv. I tillegg til steinkvalitet og materiale > 2 mm påvirkes åpne dekker av hulrom, bindemiddeltype (PMB) og bindemiddelinnhold
- Salt brukt til vintervedlikehold påvirker i første rekke bestandighet til åpne dekker. Tette dekker påvirkes lite.
- Salt medfører våt vegbane over større tidsperiode. Våt vegbane gir økt slitasje.

8 Videre arbeid

Ut fra det arbeidet som er gjort i arbeidspakke støv, ser en behov for å utføre supplerende undersøkelser for å verifisere både steinkvalitet og steinmengde. Dette for å kunne sette riktige kravspesifikasjoner ved bruk av miljøvennlige vegdekker.

I det arbeidet som er gjort i arbeidspakken har en hatt fokus på å teste de steinmaterialene som normalt benyttes for asfaltdekker på høytrafikkerte veger. Dette er de mest slitesterke steinmaterialene, ofte med finkornig mineralkornstørrelse.

Gjennom et innledende arbeid gjort i en masteroppgave ved NTNU, hvor en ønsket å se på mineralkornstørrelsens betydning for svevestøvproduksjon, så en at mindre slitesterke materialer med større mineralkornstørrelse vil kunne gi lavere andel svevestøv. Dette er vist i figur 28.



Figur 28: Ulike tilslagsmaterialers innhold av materiale < 0,063 mm og PM 10 /6/

Denne undersøkelsen gir kun en trend som det kan være interessant å se videre på. Det bør derfor vurderes å gjennomføre en mer omfattende undersøkelse for å stadfeste eller avkrefte om dette har betydning for støvproduksjon.

Referanser

1. Sluttrapport fra Veg-grepsprosjektet "Veggrep på vinterveg" Publikasjon nr 90, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 1998, Jon Krokeborg.
2. Rapport fra TOMS - prosjektet. Delprosjekt "Støvkarakteristikk" STF22 F97045, Sintef Bygg og miljøteknikk, Bergteknikk, 1998, Ivar Horvli og Tom Myran.
3. Oppsummeringsrapport fra SIV-prosjektet "Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker" SBF53 A06013, 2006, Ivar Horvli og Einar Værnes
4. Rapport "Vegdekker – svevestøv og helse" Rapport 2004:4 Nasjonalt folkehelseinstitutt, M. Låg, T. Myran, M. Refsnes, P.E.Schwarze og J Øvrevik
5. Statusrapport for støv for Norge, Sverige og Finland. Teknologirapport nr 2513, 2008, Brynhild Snilsberg
6. Dr.ing avhandling "Pavement wear and airborne dust pollution in Norway. Characterization of the physical and chemical properties of dust particales" 2008, Brynhild Snilsberg
7. Masteroppgave 2007, Bestandighet av asfaltdekker, 2008, Vegard Opsahl
8. Miljøvennlige vegdekker. Sluttrapport forsøksstrekninger, Teknologirapport nr 2546, 2008, Bjørn Ove Lerfald
9. "PM Partikelmätningar" Swedish National Road and Transport Research Institut, VTI, 2007, M. Gustafsson, G. Blomqvist, A. Dahl, A Gudmunsson og P Jonsson.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005