

Prosjekt LavTemperaturAsfalt 2011

Hovedrapport



Støttet av NHOs Arbeidsmiljøfond

Sammendrag

Generelt

Foreningen Asphalt og Veiservice (FAV), representert ved Veidekke Industri, Lemminkäinen Norge, NCC Roads, Nordasfalt og Oslo Vei, gjennomførte i 2011 et større forsøksprosjekt med LavTemperaturAsfalt (LTA2011). Ved produksjon av LTA reduseres produksjonstemperaturen med ca 30 grader i forhold til ordinær asfalt. Målsettingen har vært å redusere arbeidernes eksponering for asfaltrøyk uten å øke den mekaniske belastningen eller forringe asfaltkvaliteten. NHOs Arbeidsmiljøfond har bidratt med NOK 1 300 000 som prosjektstøtte, noe som har vært avgjørende for gjennomføringen av prosjektet.

Prosjektet har vært to-delt. Det ene delprosjektet har hatt fokus på kjemisk og ergonomisk arbeidsmiljø mens det andre har fokusert på asfaltkvalitet. Vi har utarbeidet én rapport for hvert av delprosjektene. Begge rapportene inngår i sin helhet i den samlede rapportering FAV gjør fra prosjektet.

Statens Arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) har hatt hovedansvaret for arbeidsmiljørapporten, mens en arbeidsgruppe med representanter fra Statens vegvesen, fem av FAVs medlemsbedrifter, Veiteknisk Institutt samt oljeselskapet Nynas har utarbeidet delrapporten om asfaltkvalitet.

Det er utført 11 forsøksstrekninger, hver med parallelle felt med referansemasse og LTA-masse. Til sammen er 6 ulike teknikker utprøvd, 3 basert på tilsetningsstoffer og 3 på skumming av bindemidlet i mikse. Referansemasse og LTA-masse har samme sammensetning med unntak av eventuelle tilsetningsstoffer i små mengder.

Arbeidsmiljø

Kartleggingen av det kjemiske arbeidsmiljøet omfattet stasjonære målinger av asfaltrøyk/-damp, organisk og elementært karbon, aminer og polyaminer og respirabelt, torakalt og inhalerbart støv (aerosol), samt personlige målinger av asfaltrøyk/-damp og torakalt støv (aerosol) ved 11 forsøk på vei med utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Resultatene viste en gjennomsnittlig (aritmetisk middelværdi) statistisk signifikant reduksjon i asfaltrøyk på 58-67 % avhengig av målemetode ved en gjennomsnittlig reduksjon i asfalttemperaturen på 29 °C. For aminer ble det ikke funnet en statistisk signifikant endring ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt. Studien viser at eksponeringen for asfaltrøyk/-damp er lavere ved utlegging av lavtemperaturasfalt sammenlignet med varmasfalt. Kartleggingen av de mekaniske belastningene omfattet målinger av hjertefrekvens (puls) og kraftbruk målt med en kraftsensor i asfaltrake ved seks forsøk med håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt på egne testfelt. Resultatene viste ingen statistisk eller fysiologisk signifikant forskjell i hjertefrekvens eller mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Studien viser ingen forskjell i mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt, men antall forsøk som ble utført var noe begrenset.

Asfaltkvalitet

Det forventes at dersom senket temperatur ikke gjør dekket vanskeligere å komprimere vil referanse og LTA-dekke bli identiske og få lik levetid. I forbindelse med kvalitetsoppfølgingen har det derfor blitt fokusert på oppnådd hulrom, deformasjonsegenskaper (wheel track og initialverdier for jevnhet på langs og tvers (spor)) og vedheftsegenskaper. Kvalitetsoppfølgingen så langt har vist at LTA-dekkene ikke skiller seg fra referansedekkene mhp de aktuelle kvalitetsparametrene. Det er derfor ikke avslørt noe som indikerer at LTA-dekker vil få kortere levetid enn referansedekkene. Dekketilstanden vil bli fulgt opp av Statens vegvesen i årene som kommer.

Eventuelle ulikheter i oppherding av bindemidlet over tid pga. lavere temperaturpåkjenning under produksjonen med LTA-masse blir fulgt opp av Statens vegvesens etatsprogram «Varige veger». I forbindelse med LTA2011 er også erfaringer fra andre land vurdert, spesielt Sverige og USA.

FAV ønsker å takke deltagende bedrifter og personer og NHOs arbeidsmiljøfond som har bidratt økonomisk til prosjektet.

Innhold

Del 1

Kartlegging av kjemisk arbeidsmiljø og mekanisk belastning ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt

Del 2

Undersøkelse av konsekvenser for asfaltkvaliteten ved overgang til lavtemperaturasfalt

Del 1

Kartlegging av
kjemisk arbeidsmiljø
og
mekanisk belastning
ved utlegging av varmasfalt
og lavtemperaturasfalt



Kartlegging av kjemisk arbeidsmiljø og mekanisk belastning ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt

Forfattere: Raymond Olsen, Hanne Line Daae, Kristin Halgard, Merete Hersson, Syvert Thorud, Rune A. Madsen, Stein Knardahl og Dag G. Ellingsen

Prosjektleder: Raymond Olsen

Dato: 16.08.2012

Nr. 3 Årgang 13

ISSN nr. 1502-0932



1. SAMMENDRAG

Det er gjennomført en undersøkelse av kjemisk arbeidsmiljø og mekanisk belastning ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt i løpet av asfaltseongen 2011. Hensikten med studien var å sammenligne kjemisk eksponering ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt, samt å sammenligne mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt.

Kartleggingen av det kjemiske arbeidsmiljøet omfattet stasjonære målinger av asfaltrøyk/-damp, organisk og elementært karbon, aminer og polyaminer og respirabelt, torakalt og inhalerbart støv (aerosol), samt personlige målinger av asfaltrøyk/-damp og torakalt støv (aerosol) ved 11 forsøk på vei med utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Resultatene viste en gjennomsnittlig (aritmetisk middelværdi) statistisk signifikant reduksjon i asfaltrøyk på 58-67 % avhengig av målemetode ved en gjennomsnittlig reduksjon i asfalttemperaturen på 29 °C. For aminer ble det ikke funnet en statistisk signifikant endring ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt. Studien viser at eksponeringen for asfaltrøyk/-damp er lavere ved utlegging av lavtemperaturasfalt sammenlignet med varmasfalt.

Kartleggingen av de mekaniske belastningene omfattet målinger av hjerterefrekvens (puls) og kraftbruk målt med en kraftsensor i asfaltrake ved seks forsøk med håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt på egne testfelt. Resultatene viste ingen statistisk eller fysiologisk signifikant forskjell i hjerterefrekvens eller mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Studien viser ingen forskjell i mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt, men antall forsøk som ble utført var noe begrenset.

Stikkord:

Asfalt
Eksponeringsmålinger
Ergonomi
Mekanisk belastning
Aerosoler

Key terms:

Asphalt
Exposure measurements
Ergonomics
Aerosols

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. SAMMENDRAG	3
FORKORTELSER	6
2. FORORD	7
3. INTRODUKSJON/BAKGRUNN.....	8
3. MÅLSETNING/HYPOTESER	10
4. METODER, RESULTATER OG DISKUSJON	11
4.1. <i>DEL 1: KJEMISK ARBEIDSMILJØ</i>	11
4.1.1 METODER/MÅLEOPPLEGG	11
4.1.2 PRØVETAKINGS- OG ANALYSEMETODER	13
4.1.3 VÆRSTASJON- OG ASFALTTEMPERATURMÅLINGER	18
4.1.4 STASJONÆRE MÅLINGER	19
4.1.5 PERSONLIGE MÅLINGER	27
4.2. <i>DEL 2: MEKANISK BELASTNING</i>	28
4.2.1 METODER.....	28
4.2.2 ASFALTTEMPERATURER.....	31
4.2.3 HJERTEFREKVENSMÅLINGER OG ALDER.....	31
4.2.4 KRAFTMÅLINGER	31
5. KONKLUSJON	35
REFERANSER	36
APPENDIKS	37
DEFINISJONER.....	37

Forkortelser

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists
AD	analog-til-digital
ADN	administrativ norm
CEN	Comité Européen de Normalisation
FAV	Foreningen Asfalt og Veiservice
GC-FID	gasskromatografi med flammeionisasjonsdeteksjon
IARC	International Agency for Research on Cancer
IR	infrarød
ISO	International Organization for Standardization
LC-MS-MS	væskekromatografi med massepektrometrisk deteksjon
LTA	Lavtemperaturasfalt
mg	milligram (10^{-3} gram)
ml	milliliter (10^{-3} liter)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health, USA
PAH	Polysykliske aromatiske hydrokarboner
PIMEX	picture mix exposure
ppm	parts-per-million
PTFE	polytetrafluoreten, handelsnavn: Teflon
STAMI	Statens arbeidsmiljøinstitutt
μm	mikrometer (10^{-6} m)

2. FORORD

Denne rapporten oppsummerer resultatene fra prosjektet ”Kartlegging av kjemisk arbeidsmiljø og mekanisk belastning ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt”. Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) ble sommeren 2010 kontaktet av Foreningen asfalt og veiservice (FAV) med anmodning om å gjennomføre en undersøkelse av det kjemiske arbeidsmiljøet og den mekaniske belastningen ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt (LTA). Bakgrunnen for henvendelsen fra FAV var International Agency for Research on Cancer (IARC) anbefaling til asfaltindustrien om fortsatt å arbeide for å redusere eksponering for bitumen.

Kartleggingen er gjennomført som en del av bransjeprosjektet LTA2011, som er et samarbeid mellom FAV-bedriftene Veidekke Industri, Lemminkäinen Norge, NCC Roads, Nordasfalt og Oslo Vei, berørte fagforeninger, Statens vegvesen, Veiteknisk Institutt og Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI). Kartleggingen ble gjennomført i løpet av asfaltsesongen 2011. Resultatene er nå til sammenskriving for publisering i internasjonale fagtidsskrifter.

I denne rapporten har vi valgt å presentere målinger av det kjemiske arbeidsmiljøet og den mekaniske belastningen hver for seg. En oversikt over relevante definisjoner finnes i appendiks, slik at leseren kan slå opp ved behov.

STAMI ønsker å takke deltagende bedrifter og personer og NHOs arbeidsmiljøfond som har bidratt økonomisk til prosjektet.

Oslo, 16.08.2012

3. INTRODUKSJON/BAKGRUNN

Asfalt eller asfaltbetong som benyttes som veidekke består av en blanding av bitumen, som er et brunsvart, klebrig materiale bestående av høymolekylære hydrokarboner, sand og steinmateriale. Bitumenandelen i ferdig asfalt som legges på vei ligger vanligvis på 5-6 vekt % av totalmassen, noe som tilsvarer 15-18 volum % av totalvolumet. Filler og/eller fibre kan også bli tilsatt asfalten for å modifisere egenskapene til asfalten, mens alifatiske aminer blir benyttet for å øke vedheftet mellom bitumen og steinmaterialet. Temperaturen på asfalten som legges ut på vei varierer avhengig av type asfalt fra 140 – 180 °C. Asfalten transporteres til utleggingsstedet med lastebiler og tømmes i fronten av asfaltutleggeren. Asfalten passerer under maskinen og blir spredd til den ønskede tykkelse og bredde av en ”screed” (glatteplate). To asfaltører jobber vanligvis rundt ”screeden” og kontrollerer asfaltutstrømningen fra ”screeden” sammen med føreren av utleggeren, samt justerer ”screeden” til ønsket asfalttykkelse og asfaltbredde. I tillegg ordner og avrunder asfaltørene kantene på asfalten manuelt ved hjelp av asfaltraker og spader ved for eksempel avkjøringer, kumlukk, rundkjøringer etc. Asfalten blir tilslutt komprimert ytterligere ved hjelp av en vals. Asfaltsesongen i Norge er kort og varer fra april til oktober.

Asfaltører blir potensielt eksponert for asfaltrøyk og damp bestående av langkjedede hydrokarboner, samt mindre konsentrasjoner av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). I tillegg blir asfaltører eksponert for eksos fra motorer og passerende trafikk (Burstyn *et al.* 2000). Fra tidligere studier vet man at flere determinanter i forbindelse med asfaltrelatert eksponering er viktige med tanke på eksponeringsnivå (Burstyn *et al.* 2000). Disse inkluderer:

- Type jobb
- Type asfalt
- Utleggingsmetode
- Utleggingstemperatur
- Flyktigheten til asfalten
- Meteorologiske forhold
- Arbeidsoppgaver
- Grad av innelukking (f.eks. tunell eller parkeringshus)

I Norge er det ca 2000 sesongarbeidere i asfaltbransjen som potensielt blir utsatt for denne risikoen (Arbeidstilsynet 2010). En studie av asfaltører i Norge har funnet økt risiko for redusert lungefunksjon hos asfaltører (Randem *et al.* 2004, Ulvestad *et al.* 2007, Ehlin *et al.* 2008). I tillegg

har bitumen som blir benyttet til asfaltutlegging på vei nylig blitt klassifisert som type 2B (possibly carcinogenic to humans) karsinogen av International Agency for Research on Cancer (IARC). Et tiltak som lenge har vært lansert i asfaltbransjen for å redusere eksponeringen til asfaltører, er å senke temperaturen på asfalten ved produksjon og utlegging. Lavtemperaturasfalt er en betegnelse på asfalt som utlegges på vei ved temperaturer 20-30 °C lavere enn ordinær varmasfalt og er bl.a. et resultat av ønsket om eksponeringsreduksjon. Lavtemperaturasfalt inneholder i hovedsak de samme komponentene som varmasfalt, men mengde og type additiver som tilsettes vil kunne være forskjellig fra varmasfalt. Lavtemperaturasfalt kan deles inn i to hovedteknikker; skumming og tilsetning (additiver).

Skummingsteknikker

I skummingsteknikker sprøytes vann vanligvis inn i varm bitumen før bitumen blandes med sand og steinmaterialer, slik at det dannes mikroporer av damp i bitumen. Dette fører til en volumøkning og en lavere viskositet på den ferdige asfalten. Tidspunktet for innsprøyting av vann i bitumen kan variere fra produsent til produsent. Ved å skumme bitumen kan en redusere temperaturen på asfalten med 20-40 °C (se rapporten ”FAVs prosjekt LTA 2011 – Delprosjekt asfaltkvalitet” for en nærmere beskrivelse av skummingsteknikkene).

Tilsettingsteknikker

Det mest vanlige additivet som tilsettes bitumen er parafiner (vokser). Ved å tilsette parafiner, som består av langkjedede hydrokarboner, endres viskositetsegenskapene til bitumen. Dette er noen ganger en ønsket effekt ut over det å legge ut asfalten ved en lavere temperatur. Parafinene krystalliserer mellom 80 og 120 °C og endrer egenskapene til ren bitumen i dette temperaturintervallet. Ved temperaturer lavere enn 80 °C blir bitumen tilsatt parafiner og er derfor mer viskøs enn ren bitumen, mens det motsatte er tilfelle ved temperaturer over 80 °C. Bitumen kan også tilsettes kjemiske additiver kalt ”wetting agents” som belegger og smører aggregat partiklene på en slik måte at det er mulig å håndtere asfalten ved en lavere temperatur. Ved å tilsette additiver til bitumen kan man redusere temperaturen på asfalten ved utlegging med 20 – 40 °C (se rapporten ”FAVs prosjekt LTA 2011 – Delprosjekt asfaltkvalitet” for en nærmere beskrivelse av tilsettingsteknikkene).

3. MÅLSETNING/HYPOTESER

Prosjektets målsetning var å sammenligne det kjemiske arbeidsmiljøet til asfaltører ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. I tillegg søkte prosjektet å sammenligne den mekaniske belastningen for asfaltører ved å gå over fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt. Følgende hypoteser ble formulert og testet:

- Det er ingen forskjell i målte luftkonsentrasjoner av utvalgte kjemiske stoffer ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt.
- Det er ingen forskjell i mekanisk belastning for asfaltører ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt.

For å teste den første hypotesen har vi valgt ut følgende kjemiske eksponeringsindikatorer:

- Asfaltrøyk/damp
- Organisk og elementært karbon
- Aminer og polyaminer (additiver)
- Respirabelt, torakalt og inhalerbart støv (aerosol)

For å teste den andre hypotesen har vi valgt ut følgende mekaniske belastningsindikatorer:

- Hjerterefrekvens (puls)
- Kraftbruk

4. METODER, RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. DEL 1: KJEMISK ARBEIDSMILJØ

4.1.1 METODER/MÅLEOPPLEGG

Asfaltbransjen med bransjeforeningen FAV identifiserte i dialog med Statens veivesen 11 veistrekninger hvor lavtemperaturasfalt kunne benyttes som et ledd i et prøveprosjekt i asfaltsesongen 2011. Disse veistrekningene ble identifisert i ulike deler av landet, hvor asfaltprodusentenes utviklingsavdelinger/fabrikker er lokalisert. Det ble lagt asfalt på disse veistrekningene både med varmasfalt (referanseasfalt) og lavtemperaturasfalt i løpet av samme dag. Det ble lagt minimum 3 timer med hver asfalttype og kjemiske arbeidsmiljømålinger ble utført ved legging av begge typer asfalt på de valgte strekningene. Det ble gjennomført totalt 11 forsøk; 6 forsøk med skummingsteknikk og 5 forsøk med tilsettingsteknikk (additiver).

Prøvetakingsstrategi – Meteorologiske forhold og asfalttemperatur

Værforholdene under prøvetaking, samt temperaturen på asfalten, vil ha stor betydning for resultatet av målingene. Vindhastighet, vindretning og temperatur ble derfor kontinuerlig logget med en profesjonell værstasjon (MetPak II, Gill Instruments) i løpet av måleperioden. I tillegg ble temperaturen på overflaten av asfalten målt manuelt med et Fluke 561 IR-termometer hvert 10 minutt i løpet av måleperioden. Værstasjonen ble plassert på motsatt side av førersiden, og over taket på asfaltutleggeren, slik at den skulle bli minst mulig påvirket av asfaltutleggeren. Fronten på asfaltutleggeren ble benyttet som referanseretning og satt til 0°. Det ble i forkant av forsøkene bestemt at forsøk ikke skulle igangsettes ved vindhastigheter over 4 m/s og ved kraftig regn. Likeledes ville forsøk som var igangsatt bli avbrutt dersom vindforholdene oversteg 4 m/s i gjennomsnitt og ved kraftig regn. Forsøk med en forskjell i gjennomsnittlig (aritmetisk middelvei) vindhastighet større enn 1 m/s mellom varmasfalt og lavtemperaturasfalt ble ekskludert.

Prøvetakingsstrategi – kjemiske arbeidsmiljømålinger

Det ble benyttet stasjonær prøvetaking for å sammenligne det kjemiske arbeidsmiljøet ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Det ble konstruert en justerbar prøvetakingsrigg som kunne festes til de ulike asfaltutleggerne, slik at de stasjonære prøvene kunne tas i samme høyde (180-200 cm over asfalten) og posisjon i forhold til asfaltleggingen (se bilde 1.A og 1.B). Forsøket skulle gjennomføres i løpet av en arbeidsdag. Tre timer prøvetakingstid per asfalttype ble vurdert som en

tilstrekkelig prøvetakingstid med tanke på bestemmelsesgrensene til de ulike prøvetakings- og analysemetodene. Det ble utført 3 parallelle stasjonære målinger med hver prøvetype per asfalttype. Det ble også utført personlige målinger på 1-2 asfaltører som arbeidet i umiddelbar nærhet av screeden bak på asfaltutleggeren (se bilde 2).

Det ble i tillegg målt partikkelstørrelsesfordeling som konsentrasjonen i mg/m^3 som funksjon av tid over hele måleperioden med en Direktevisende Respicon prøvetaker og en direktevisende DustTrak DRX aerosolprøvetaker (PM_{10} , respirabel fraksjon, PM_{10} , totalstøv). Respicon er en flertrinns, virtuell impaktor som samler opp partikler (aerosoler) fra lufta på tre forskjellige filtre. Prøvetakeren har en utforming som gjør det mulig å bestemme de helsedefinerte (respirable, torakale og inhalerbare) aerosolfraksjonene. DustTrak DRX aerosolprøvetakeren måler konsentrasjoner og størrelsene på partiklene i aerosolen (PM_{10} , respirabel fraksjon, PM_{10} , totalstøv) ved hjelp av laser-lysspredningsdeteksjon. I den direktevisende Respicon-prøvetakeren er det tre fotodetektorer for bestemmelse av aerosol. Gravimetrisk bestemmelse av de tre filterne kombineres med detektorsignalene, og man får dermed partikulære konsentrasjoner i mg/m^3 som funksjon av tid. Tidsoppløste målinger ble brukt til å skaffe informasjon om toppeksposering.



Bilde 1.A og 1.B: Plassering av prøvetakingsrigg med stasjonære prøver.



Bilde 2: Plassering av personlige prøver.

4.1.2 PRØVETAKINGS- OG ANALYSEMETODER

En oversikt over prøvetakingsutstyr og prøvetakingshastigheter er oppsummert i Tabell 1.

Gravimetri

Gravimetri er analysemetode basert på veiing av analytten med en analysevekt.

Masse på filter ble bestemt med en mikroanalysevekt (Sartorius MC5, Sartorius AG) ved å veie filtret før og etter prøvetaking. Gjennomsnittlig aerosolkonsentrasjon i arbeidslufta over måleperioden kan så beregnes ved at man kjenner luftvolumet som har gått igjennom filtret. Vekten er plassert i klimatiserte veierom (temperatur 20 ± 1 °C og relativ luftfuktighet 40 ± 2 %). En veieprosedyre inkluderer også kondisjonering av filter i veierom i 5 dager, fjerning av statisk elektrisitet med en radioaktiv kilde, veiing av blindfiltre (ueksponerte filtre) for blindverdikorreksjon og referanselodd/referansefiltre som kvalitetskontroll.

En gravimetrisk bestemmelse gir ingen informasjon om hvilke komponenter aerosolen inneholder. For å karakterisere aerosolen må det gjøres en kjemisk analyse av aerosolen som er samlet opp på filtret.

Asfaltrøyk/-damp

Det ble benyttet en kombinert prøvetaker for asfaltrøyk/-damp med 37 mm totalstøvkassett (Millipore) med teflonfilter (Pall Zefluor, porestørrelse 2,0 µm) med laminert teflonsupport og support pad etterfulgt i serie av adsorbentør med aktivt kull.

Asfaltrøyk oppsamlet på teflonfilter (PTFE) ble først bestemt gravimetrisk ved at filtret ble veid før og etter prøvetaking. De gravimetriske bestemmelsene hadde en bestemmelsesgrense på 0,41 mg/m³ ved en prøvetakingshastighet på 2 liter/minutt og 180 minutter prøvetakingstid. Etter veiing ble filtret overført til 4 ml prøveglass, ekstrahert med 3,0 ml karbondisulfid (CS₂) og analysert ved hjelp av gaskromatografi med flammeionisasjonsdetektor (GC-FID).

Asfaltdamp oppsamlet på kullrør ble analysert på følgende måte: Kullet ble overført til 4 ml prøveglass (hoveddel og kontrolldel hver for seg) og desorbent med 3,0 ml karbondisulfid. Ekstraktet ble analysert ved hjelp av GC-FID. Bestemmelsesgrensen til enkeltkomponenter i prøvene var 0,00035 mg/m³ (0,00005 ppm) for både asfaltrøyk og asfaltdamp kvantifisert mot n-dodekan (C₁₂H₂₆) ved en prøvetakingshastighet på 2 liter/minutt og en prøvetakingstid på 180 minutter.

Asfaltrøyk

Det ble benyttet Respicon prøvetakere med teflonfilter (Pall Zefluor, porestørrelse 2,0 µm) til stasjonær prøvetaking av de helsebaserte aerosolfraksjonene (respirabel, torakal og inhalerbar fraksjon). De helsebaserte aerosolfraksjonene av asfaltrøyk ble bestemt gravimetrisk ved at filtrene ble veid før og etter prøvetaking. Respicon prøvene ble veid inn og klargjort til prøvetaking i to omganger, og dette gir noe forskjellige bestemmelsesgrenser siden blindfiltrene (de ueksponerte filtrene) er forskjellige. I tillegg er bestemmelsesgrensen til torakal og inhalerbar fraksjon basert på at en slår sammen massen fra henholdsvis 2 og 3 filtre, noe som resulterer i en litt høyere bestemmelsesgrense for torakal og inhalerbar fraksjon enn for respirabel fraksjon (1 filter). Deteksjonsgrensene for de gravimetriske bestemmelsene av Respicon prøvene var 0,016 og 0,065 mg, 0,023 og 0,092 mg og 0,028 og 0,113 mg for henholdsvis den respirable, torakale og inhalerbare aerosolfraksjonen. Dette gir bestemmelsesgrenser på henholdsvis 0,033 og 0,135 mg/m³, 0,048 og 0,192 mg/m³ og 0,058 og 0,235 mg/m³ for den respirable, torakale og inhalerbare aerosolfraksjonen ved 180 minutter prøvetakingstid.

Det ble benyttet en torakal sykklon prøvetaker (GK2.69, BGI) med 37 mm teflonfilter (Pall Zefluor) med laminert teflonsupport og support pad til personlig prøvetaking av torakal aerosolfraksjon. De personlige torakale sykklonprøvene hadde en gravimetrisk bestemmelsesgrense på 0,169 mg, noe som gir en konsentrasjonsdeteksjonsgrense på 0,47 mg/m³ ved en prøvetakingshastighet på 2 liter/minutt og 180 minutter prøvetakingstid.

Organisk og elementært karbon

Organisk karbon er grunnstoffet karbon som stammer fra organiske forbindelser, som for eksempel organiske forbindelser i asfaltrøyken fra bitumen, mens elementært karbon er grunnstoffet karbon som stammer fra ufullstendig forbrenning av diesel fra dieselmotorer (mål på dieseleksos).

Organisk og elementært karbon ble prøvetatt med en 25 mm totalstøvkassett med kvartfilter og rustfritt stålgerist som filtersupport. Kvartfilteret ble tatt ut av kassetten, og det ble deretter stanset ut en del av filteret (1,5 cm²) som ble analysert ved hjelp av termo-optisk instrumentering (Sunset Laboratories). Bestemmelsesgrensen til metoden ved en prøvetakingstid på 180 minutter og en prøvetakingshastighet på 2 liter/min var henholdsvis 0,009 mg/m³ og 0,0011 mg/m³ for organisk og elementært karbon. Organisk karbon omregnet til hydrokarbonet n-heksacosan (C₂₆H₅₄) gir en bestemmelsesgrense på 0,011 mg/m³.

Aminer i aerosolfasen

Aminer i aerosolfasen ble prøvetatt med en 25 mm totalstøvkassett med et glassfiberfilter impregnert med 1-naftylisotiocyanat. Det impregnerte glassfiberfiltret tas ut av filterkassetten og over i 4 ml prøveglass og ekstraheres med 3,0 ml acetonitril. Ekstraktet analyseres ved hjelp av væskechromatografi med massespektrometrisk detektor (LC-MS-MS).

Aminer i dampfasen

Aminer i dampfasen ble prøvetatt med et XAD-2 adsorbentør impregnert med 1-naftylisotiocyanat. Den impregnerte adsorbenten tas over i 2 ml prøveglass (hoveddel og kontroll del i hvert sitt glass) og desorberes med 1,5 ml acetonitril. Ekstraktet analyseres ved hjelp av væskechromatografi med massespektrometrisk detektor (LC-MS-MS). Det ble kvantifisert mot de flyktige aminene; metylamin, etylamin, n-propylamin, n-butylamin, dimetylamin, dietylamin, di-n-propylamin, etylendiamin og 1,3-diaminopropan som hadde en bestemmelsesgrense på henholdsvis 0,0024, 0,0033, 0,0040, 0,0047, 0,0065, 0,0094, 0,0084, 0,0070 og 0,0028 mg/m³ ved prøvetaking i 180 minutter og en prøvetakingshastighet på 0,1 liter/minutt.

Prøvetakingshastighet

Prøvetakingshastigheten (liter/min) for alle typer prøver, både stasjonære og personlige, ble målt før og etter prøvetaking med DryCal DC-Lite flowmeter (Bios International Corp.)

Statistiske beregninger

En tosidig paret Student t-test ble benyttet til å teste om gjennomsnittet av målingene prøvetatt under legging av varmasfalt (referanse) var signifikant forskjellig fra gjennomsnittet av målingene prøvetatt under legging av lavtemperaturasfalt. Et signifikansnivå på 5 %, dvs. p-verdi på 0,05, ble satt som grense for å forkaste nullhypotesen (H_0) om at det ikke er noen forskjell mellom gjennomsnittene. Dataene ble logtransformert i de tilfellene hvor dataene som ga grunnlaget for gjennomsnittet ikke var normalfordelt.

Tabell 1. Oversikt over prøvetakingsutstyr og prøvetakingsbetingelser

Prøvetype	Prøvetaker	Filtertype	Pumpetype	Pumpeflow liter/min.
Stasjonære prøver:				
Respirabel, torakal og inhalerbar aerosolfraksjon	Respicon og Direktevisende Respicon	37 mm PTFE Pall Zefluor SKC 225-17-07	SKC High Flow **	3,11
Asfalttrøyk/damp	Totalstøvkasset Millipore M000037AO + kullrør SKC 226-09	37 mm PTFE Pall Zefluor SKC 225-17-07	SKC High Flow **	2,0
Organisk og elementært karbon (OC/EC)	Totalstøvkasset Millipore M000025AO	25 mm kvartfilter Whatman Q-MA VWR 512-0430	STAMI PS 101	2,0
Polyaminer	Totalstøvkasset Millipore M000025AO	25 mm NITC* impregnert Munktell MG160 glassfiberfilter	STAMI PS 101	2,0
Aminer	XAD-2 rør impregnert med NITC* SKC 226-30-18	-	STAMI PS 101 m/SKC low-flow adapter	0,1
Personlige prøver:				
Asfalttrøyk/damp	Totalstøvkasset Millipore M000037AO + kullrør SKC 226-09	37 mm PTFE Pall Zefluor SKC 225-17-07	SKC High Flow **	2,0
Asfalttrøyk (torakal aerosolfraksjon)	GK2.69 syklon BGI, USA	37 mm PTFE Pall Zefluor SKC 225-17-07	STAMI PS 101	1,6

* NITC = 1-naftylisotiocyanat

** SKC kat. nr. 224-PCXR8

4.1.3 VÆRSTASJON- OG ASFALTTEMPERATURMÅLINGER

Vindhastighet, vindretning og temperatur ble kontinuerlig logget med en profesjonell Metpak II værstasjon i løpet av måleperioden. I tillegg ble temperaturen på overflaten av asfalten målt manuelt med et Fluke 561 IR-termometer hvert 10 minutt i løpet av måleperioden. De gjennomsnittlige vindhastighetene, vindretningene og temperaturene er oppsummert i Tabell 2. Ett forsøk ble avbrutt på grunn av en vindhastighet som var på 8,9 m/s i gjennomsnitt over en time under utlegging av varmasfalten (referanse). Dette forsøket ble dermed ekskludert, siden vindforholdene ikke var sammenlignbare (forskjell i gjennomsnittlig vindhastighet > 1 m/s) under utlegging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt. Et annet forsøk ble avbrutt etter 140 minutter under utlegging av lavtemperaturasfalt på grunn av kraftig regn, men her var værforholdene ellers sammenliknbare. De gjennomsnittlige temperaturene (aritmetisk middelværdi) på overflaten av asfalten var 126 °C (n=10, range 112-135 °C) for lavtemperaturasfalten og 155 °C (n=9, range 146-164 °C) for varmasfalten. Den gjennomsnittlige reduksjonen i asfalttemperatur var 29 °C (range 20-39 °C) ved overgang fra varmasfalt (referanse) til lavtemperaturasfalt. Reduksjonen i temperaturen på overflaten av asfalten var statistisk signifikant ($p < 0.001$).

Tabell 2. Vindhastighet (m/s), vindretning (°) og temperatur (°C) under gjennomføringen av målingene ved alle forsøk.

Forsøk	Vindhastighet (m/s)			Vindretning (°)*	Temperatur (°C)		
	Gj.snitt	Min	Maks	Gjennomsnitt	Gj.snitt	Min	Maks
LTA 1-1L	0,86	0,01	3,63	188	16,4	14,1	20,0
LTA 1-1R	1,11	0,01	4,83	161	18,3	16,7	20,8
LTA 1-2L	1,39	0,01	5,02	165	19,5	15,9	22,6
LTA 1-2R**	-	-	-	-	-	-	-
LTA 1-3L	0,95	0,01	3,35	196	16,1	14,7	18,0
LTA 1-3R	0,67	0,01	3,58	207	12,6	9,2	14,8
LTA 2-1L	1,64	0,08	5,90	159	15,6	13,5	19,9
LTA 2-1R***	6,25	0,06	19,70	116	16,0	14,0	20,3
LTA 2-2L	0,72	0,01	3,16	260	17,0	12,3	20,9
LTA 2-2R	1,50	0,03	5,32	177	19,1	16,9	22,1
LTA 3-1L	0,55	0,01	1,99	147	19,3	14,5	23,8
LTA 3-1R	1,21	0,03	3,65	98	18,7	16,4	23,2
LTA 3-2L	1,32	0,05	5,82	60	18,4	17,0	21,2
LTA 3-2R	0,61	0,01	1,77	162	17,1	15,4	20,5
LTA 3-3L	0,58	0,01	4,04	116	16,4	13,3	20,1
LTA 3-3R	0,71	0,01	2,88	116	13,1	10,3	17,2
LTA 3-4L	0,66	0,01	3,33	190	18,6	15,4	21,9
LTA 3-4R	0,64	0,01	1,80	173	12,1	8,8	15,2
LTA 4-1L	1,73	0,02	8,06	146	21,2	18,6	25,5
LTA 4-1R	1,02	0,01	4,22	101	18,7	17,3	20,6
LTA 5-1L****	0,81	0,01	2,99	160	24,9	21,1	28,4
LTA 5-1R	0,95	0,01	3,63	159	20,4	15,2	26,8

* Vindretning i forhold til front på asfaltutlegger, som er benyttet som referanseretning og satt til 0°

** Det ble ikke gjennomført utlegging av varmasfalt (referanse) denne dagen

*** Forsøk avbrutt på grunn av vindhastighet > 4 m/s

**** Forsøk avbrutt på grunn av kraftig regn

4.1.4 STASJONÆRE MÅLINGER

Ett forsøk (LTA 2-1L og LTA 2-1R) ble ekskludert på grunn av for høy vindhastighet under legging av varmasfalten (referansen). Prøvene og resultatene fra dette forsøket er derfor ikke tatt med i beregningene av resultatene under. En oversikt over resultatene fra de stasjonære målingene er vist i Tabell 3.

Måling av asfalttrøyk; respirabel, torakal og inhalerbar fraksjon

Det er foretatt 57 stasjonære aerosolmålinger fordelt på 10 forsøk med Respicon prøvetakeren med teflonfiltre (PTFE). Fem forsøk hadde nivåer under bestemmelsesgrensen både for varmasfalten og

lavtemperaturasfalten og er dermed ikke tatt med i beregningene. De gjennomsnittlige nivåene av respirabel, torakal og inhalerbar aerosolfraksjon er beregnet ut fra de resterende 5 forsøk bestående av 30 Respicon prøver jevnt fordelt på varmasfalt og lavtemperaturasfalt. De gjennomsnittlige nivåene (aritmetisk middelverdi) av respirabel, torakal og inhalerbar aerosolfraksjon var henholdsvis 0,328 (range 0,050-1,121) mg/m³, 0,333 (range 0,054-1,055) mg/m³ og 0,381 (range 0,071-1,208) mg/m³ for varmasfalten (referansen) og 0,135 (range <0,033-0,362) mg/m³, 0,159 (range 0,060-0,371) mg/m³ og 0,219 (range 0,064-0,439) mg/m³ for lavtemperaturasfalten. Den gjennomsnittlige reduksjonen i asfalttrøyk ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt var dermed 59, 52 og 42 % for respirabel, torakal og inhalerbar aerosolfraksjon. Reduksjonen var statistisk signifikant for respirabel aerosolfraksjon (p=0,02), men ikke statistisk signifikant for torakal og inhalerbar aerosolfraksjon (p=0,08 og p=0,20).

Asfalttrøyk/damp

Det ble utført 57 stasjonære målinger fordelt på 10 forsøk med en kombinert prøvetaker for asfalttrøyk med 37 mm totalstøvkassett etterfulgt i serie av adsorbenttrør med aktivt kull. I ett forsøk stoppet pumpene ved legging av varmasfalten (referansen) og alle målingene (n=6) fra dette forsøket ble derfor ekskludert. I ett annet forsøk ble det ikke lagt varmasfalt (referanse) samme dag, men her er resultatene fra legging av lavtemperaturasfalt tatt med i beregningene med unntak av ved beregning av statistisk signifikans. De gravimetriske bestemmelsene viste at de fleste stasjonære prøvene hadde nivåer av asfalttrøyk som var lavere enn bestemmelsesgrensen på 0,41 mg/m³. Det er derfor ikke mulig å beregne en gjennomsnittlig reduksjon i asfalttrøyk ut i fra de gravimetriske bestemmelsene. Det ble heller ikke påvist hydrokarboner på noen av de samme filtrene som etter den gravimetriske bestemmelse ble ekstrahert og kjemisk bestemt ved hjelp av GC-FID. Det betyr at konsentrasjonen av enkeltkomponenter i asfalttrøyken var mindre enn 0,00035 mg/m³ (0,00005 ppm) kvantifisert mot n-dodekan (C₁₂H₂₆). De gjennomsnittlige konsentrasjonene (aritmetisk middelverdi) av asfaltdampen, som ble oppsamlet på kullrør, var 0,139 ppm (n=24, range 0,001-0,520 ppm) for varmasfalten (referansen) og 0,096 ppm (n=27, range 0,002-0,440 ppm) for lavtemperaturasfalten, noe som gir en gjennomsnittlig reduksjon på 31 % ved overgang fra varmasfalt (referanse) til lavtemperaturasfalt. Reduksjonen i eksponering var statistisk signifikant for asfaltdamp (p=0,02).

Organisk og elementært karbon (OC/EC)

Det ble utført 57 stasjonære målinger fordelt på 10 forsøk med 25 mm totalstøvkassett med kvartfilter. I ett forsøk ble det ikke lagt varmasfalt (referanse) samme dag, men her er resultatene

fra legging av lavtemperaturasfalt (n=3) tatt med i beregningene med unntak av ved beregning av statistisk signifikans. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen (aritmetisk middelværdi) av organisk karbon omregnet til heksacosan ved legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) var henholdsvis 0,279 (n=27, range 0,054-1,264) og 0,116 (n=30, range 0,012-0,318) mg/m³, noe som gir en gjennomsnittlig reduksjon på 58 % ved overgang til lavtemperaturasfalt. Reduksjonen var statistisk signifikant for organisk karbon (p<0,001). Nivåene av elementært karbon lå i området 0,0006 til 0,0045 mg/m³ (median 0,0024 mg/m³, n=57).

Aminer

Det ble utført 57 stasjonære målinger fordelt på 10 forsøk både av aminer i aerosolfasen med 25 mm totalstøvkassett med glassfiberfilter impregnert med 1-naftylisotiocyanat og aminer i dampfasen med XAD-2 adsorbentør impregnert med 1-naftylisotiocyanat. Det ble ikke detektert noen aminer eller polyaminer i prøvene som ble tatt av aerosolfasen, mens aminene; metylamin, etylamin og dietylamin ble detektert i prøvene som ble tatt av dampfasen. Metylamin og etylamin ble detektert i prøvene fra 4 av 10 forsøk både i forbindelse med legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA). Dietylamin ble detektert i én prøve i ett forsøk både i forbindelse med legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt. Beregninger er derfor gjort ut i fra de forsøkene hvor aminer ble detektert. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen (aritmetisk middelværdi) av metylamin ved legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) var henholdsvis 0,0028 (n=12, range <0,0024-0,0053) og 0,0023 (n=12, range <0,0024-0,0036) mg/m³, noe som gir en gjennomsnittlig eksponeringsreduksjon på 19 % ved overgang til lavtemperaturasfalt. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen av etylamin ved legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) var henholdsvis 0,0157 (n=12, range <0,0034-0,0324) og 0,0136 (n=12, range <0,0034-0,0187) mg/m³, noe som gir en gjennomsnittlig eksponeringsreduksjon på 13 % ved overgang til lavtemperaturasfalt. Reduksjonen var ikke statistisk signifikant for metylamin og etylamin (p=0,13 og 0,38). De detekterte nivåene av dietylamin ved ett forsøk var henholdsvis 0,0140 og 0,0206 mg/m³ ved legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt.

Direktevisende måling av aerosoler

Det er foretatt 20 stasjonære aerosolmålinger fordelt på 10 forsøk med DustTrak DRX aerosol sampler. I ett forsøk ble det ikke lagt varmasfalt (referanse) samme dag, men her er resultatene fra legging av lavtemperaturasfalt tatt med i beregningene med unntak av ved beregning av statistisk signifikans. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen (aritmetisk middelværdi) av PM₁ og PM₁₀ fraksjonene av asfaltrøyk ved utlegging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) var

0,379 (n=9, range 0,112 - 5,395) og 0,384 (n=9, range 0,113 – 5,430) mg/m³ for varmasfalten og 0,124 (n=10, range 0,014 – 0,759) og 0,127 (n=10, range 0,015 – 0,909) mg/m³ for lavtemperaturasfalten, noe som gir en gjennomsnittlig eksponeringsreduksjon på 67 % for begge fraksjoner ved overgang fra varmasfalt (referanse) til lavtemperaturasfalt. Denne reduksjonen er noe høyere enn målt med Respicon og organisk og elementært karbon prøvetakerne. Dette skyldes trolig at deteksjonsmetoden til det direktevisende DustTrak DRX instrumentet er mindre spesifikk og at en vil kunne få et bidrag som påvirker målingene fra vanndamp ved våt veibane, lett regn eller valsing og at en høyere temperatur på asfalten som legges i slike tilfeller vil kunne gi mer vanndamp. Dette vil relativt sett kunne gi noe høyere måleverdier ved legging av varmasfalt (referanse) og dermed gi en litt større eksponeringsreduksjon. Det er også verdt å merke seg at asfaltrøyken som genereres under utlegging av asfalt hovedsaklig består av partikler som har en d_{ae} mindre enn 1 μm , noe som gjenspeiles av at PM₁ fraksjonen utgjør 99 % av PM₁₀ fraksjonen både ved legging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA). Reduksjonen i eksponering var statistisk signifikant både for PM₁₀ og PM₁ fraksjonen (p<0,001). Direktevisende instrumenter vil også kunne gi informasjon om hvordan eksponeringen varierer i løpet av en måleperiode. Resultatene fra de direktevisende instrumentene viser at toppeksposeringen reduseres betydelig ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt og at det er dette som gir størst bidrag til at den gjennomsnittlige eksponeringen reduseres. Figur 1.A og B viser hvordan eksponeringen (PM₁₀ aerosol fraksjon målt med direktevisende DustTrak DRX) varierte under leggingen av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt som funksjon av tid under forsøk LTA 2-2L og LTA 2-2R. Figur 2.A og B viser hvordan eksponeringen for de helsedefinerte (respirabel, torakal og inhalerbar) aerosolfraksjonene målt med direktevisende Respicon prøvetaker varierte som funksjon av tid under leggingen av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt under forsøk LTA 4-1L og LTA 4-1R.

Diskusjon

I denne undersøkelsen har vi funnet en statistisk signifikant forskjell i gjennomsnittlige eksponeringsnivåer for asfaltrøyk (respirabel fraksjon), asfaltdamp og organisk karbon ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Generelt så ligger alle de målte verdiene av asfaltrøyk lavt sammenlignet med nivåene en vanligvis finner ved utlegging av varmere asfalt på 160-180 °C. Sammenligning av resultater mellom varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt basert kun på gravimetrisk metode, hvor en benytter totalstøvkassetten, er derfor vanskelig, da bestemmelsesgrensen til disse metodene ligger i området 0,41-0,47 mg/m³ med en prøvetakingstid på 180 minutter. Grunnen til at reduksjonen i torakal og inhalerbar asfaltrøyk målt med Respicon prøvetakeren ikke er statistisk signifikant skyldes trolig at vi kun sammenligner resultatene fra 5

forsøk som var over bestemmelsesgrensen, noe som gir mindre ”power” i den statistiske analysen, samtidig som torakal og inhalerbar fraksjon bestemmes ved å legge sammen massen fra henholdsvis 2 og 3 filtre, noe som også bidrar til større variabilitet i resultatene. Alle resultatene fra målingene av organisk karbon var høyere enn bestemmelsesgrensen på 0,011 mg/m³ (dvs. organisk karbon omregnet til heksacosan) og organisk karbon kan ut i fra kartleggingen se ut som et godt mål på asfaltrøyk ved korte prøvetakingstider (< 3 timer). Reduksjon av toppeksposering er vanligvis en god strategi for å redusere den gjennomsnittlige eksponeringen. De direktevisende målingene med DustTrak DRX og Respicon viser at både den gjennomsnittlige eksponeringen og toppeksposeringen for asfaltrøyk reduseres ved en overgang fra varmasfalt (referanse) til lavtemperaturasfalt. Nivåene av aminer var gjennomgående lave både for varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt. Ut i fra de 11 forsøkene som har blitt gjennomført, ser det ut til at en overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt verken vil føre til en reduksjon eller økning i eksponering for aminer i partikkel- og dampfase. I denne studien er det gjennomført et begrenset antall forsøk med de ulike lavtemperaturasfaltteknikkene (1-3 forsøk per teknikk), noe som ikke gjør det mulig å sammenligne de ulike lavtemperaturteknikkene som har blitt benyttet i studien.

Tabell 3. Oversikt over resultater fra kartleggingen av det kjemiske arbeidsmiljøet.

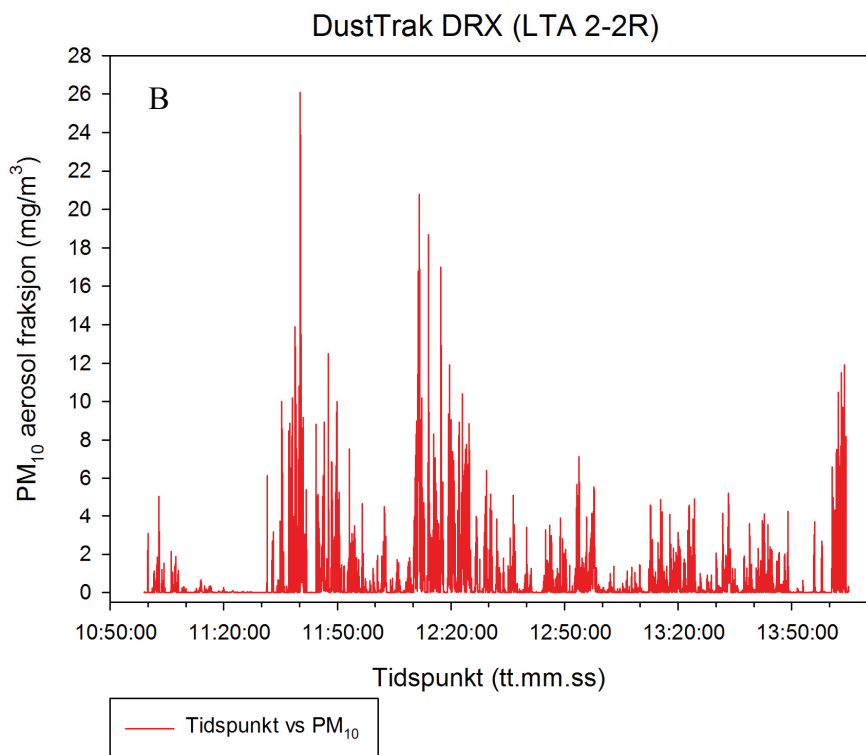
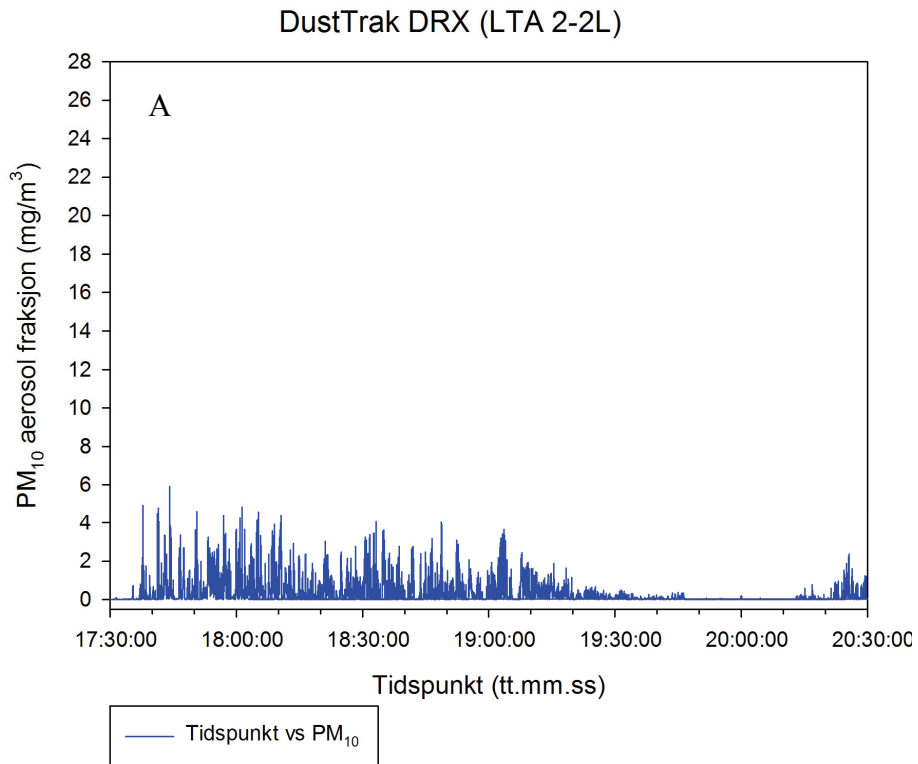
Type prøve	Varmasfalt (referanse)		Lavtemperaturasfalt (LTA)		Gjennomsnittlig reduksjon (AM) i %	Statistisk signifikant (p<0,05)
	Gj.snitt (AM) (mg/m ³)	Minimum (mg/m ³)	Maksimum (mg/m ³)	Gj.snitt (AM) (mg/m ³)		
Stasjonære prøver						
Asfalttrøyk/-damp	-	-	-	-	-	
- <i>Asfalttrøyk</i> *	0,139 ppm	0,001 ppm	0,520 ppm	0,096 ppm	0,002 ppm	0,440 ppm
- <i>Asfaltdamp</i>	0,279	0,054	1,264	0,116	0,012	0,318
Organisk karbon **	0,328	0,050	1,121	0,135	<0,033	0,362
Asfalttrøyk (respirabel)	0,333	0,054	1,055	0,159	0,060	0,371
Asfalttrøyk (torakal)	0,381	0,071	1,208	0,219	0,064	0,439
Aminer						
- <i>Metylamen</i>	0,0028	<0,0024	0,0053	0,0023	<0,0024	0,0036
- <i>Etylamen</i>	0,0157	<0,0034	0,0324	0,0136	<0,0034	0,0187
Direktevisende						
DustTrak DRX						
PM ₁	0,379	0,112	5,395	0,124	0,014	0,759
PM ₁₀	0,384	0,113	5,430	0,127	0,015	0,909
Personlige prøver						
Asfalttrøyk/-damp	-	-	-	-	-	-
- <i>Asfalttrøyk</i> *	0,094 ppm	0,007 ppm	0,277 ppm	0,075 ppm	0,007 ppm	0,248 ppm
- <i>Asfaltdamp</i>	-	-	-	-	-	-
Asfalttrøyk (torakal)***	-	-	-	-	-	-

* De fleste prøvene hadde nivåer av asfalttrøyk som var lavere enn bestemmelsesgrensen på 0,41 mg/m³.

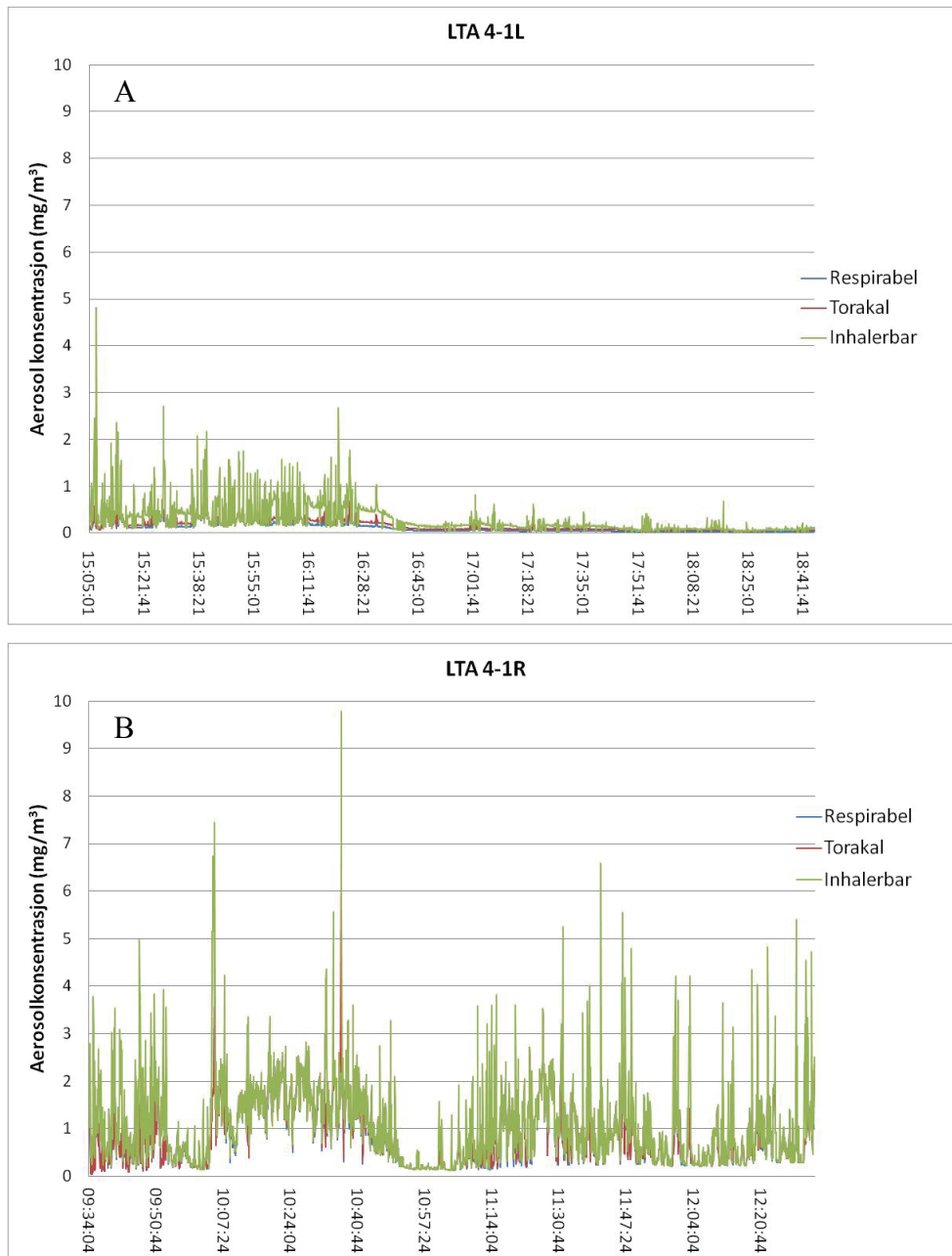
En sammenligning av nivåene av asfalttrøyk ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt med denne metoden var derfor ikke mulig.

** Organisk karbon omregnet til hydrokarbonet heksacosan.

*** De fleste prøvene hadde nivåer av asfalttrøyk (torakal fraksjon) som var lavere enn bestemmelsesgrensen på 0,47 mg/m³.



Figur 1.A. og 1.B. Eksempler på variasjonen i konsentrasjonen til PM₁₀ aerosolfraksjonene som funksjon av tid i forsøk LTA 2-2



Figur 2.A. og 2.B. Eksempler på variasjonen i konsentrasjonen til de helsedefinerte (respirabel, torakal og inhalerbar) aerosolfraksjonene som funksjon av tid i forsøk LTA 4-1

4.1.5 PERSONLIGE MÅLINGER

Ett forsøk (LTA 2-1L og LTA2-1R) ble ekskludert på grunn av for høy vindhastighet under legging av varmasfalten (referansen). Prøvene og resultatene fra dette forsøket er derfor ikke tatt med i beregningene av resultatene under.

Aerosolmålinger med torakal sykklon (GK2.69, BGI, USA)

Det ble utført 38 personlige eksponeringsmålinger fordelt på 10 forsøk med en torakal sykklon-prøvetaker med 37 mm teflonfilter. De gravimetrisk bestemte viste at de fleste personlige prøvene hadde nivåer av asfaltrøyk som var lavere enn bestemmelsesgrensen på 0,47 mg/m³. Det er derfor ikke mulig å beregne en gjennomsnittlig reduksjon i asfaltrøyk ut i fra de gravimetrisk bestemte.

Asfaltrøyk/damp

Det ble utført 38 personlige eksponeringsmålinger fordelt på 10 forsøk med en kombinert prøvetaker for asfaltrøyk med 37 mm totalstøvkassett etterfulgt i serie av adsorbenttrør med aktivt kull. I ett forsøk ble det ikke lagt varmasfalt (referanse) samme dag og i ett annet forsøk stoppet pumpene ved legging av varmasfalten (referansen), og disse målingene er dermed også ekskludert, men resultatene fra legging av lavtemperaturasfalt er tatt med i beregningene med unntak av ved beregning av statistisk signifikans. De gravimetrisk bestemte viste at de fleste personlige prøvene hadde nivåer av asfaltrøyk som var lavere enn bestemmelsesgrensen på 0,41 mg/m³. Det er derfor ikke mulig å beregne en gjennomsnittlig reduksjon i asfaltrøyk ut i fra de gravimetrisk bestemte. Det ble heller ikke påvist hydrokarboner på noen av de samme filtrene som etter den gravimetrisk bestemmelse ble ekstrahert og kjemisk bestemt ved hjelp av GC-FID. Det betyr at konsentrasjonen av enkeltkomponenter i asfaltrøyken var mindre enn 0,00035 mg/m³ (0,00005 ppm) kvantifisert mot n-dodekan (C₁₂H₂₆). De gjennomsnittlige konsentrasjonene av asfaltdampen, som ble oppsamlet på kullrør, var henholdsvis 0,094 ppm (n=16, range 0,007-0,277 ppm) og 0,075 ppm (n=18, range 0,007-0,248 ppm) for varmasfalten (referansen) og lavtemperaturasfalten, noe som gir en gjennomsnittlig reduksjon på 20 % ved overgang fra varmasfalt (referanse) til lavtemperaturasfalt. Reduksjonen i personlig eksponering var ikke statistisk signifikant for asfaltdampen (p=0,78).

Diskusjon

Sammenlignet med den administrative normen for asfaltrøyk (totalstøv) på 5 mg/m³ ligger de målte nivåene av asfaltrøyk gjennomgående lavt (mindre enn 25 % av ADN) både for varmasfalten

(referanse) og lavtemperaturasfalten. Sammenligning av resultater mellom varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt basert kun på gravimetrisk metode, hvor en benytter totalstøvkassetten, er derfor vanskelig, da bestemmelsesgrensen til disse metodene ligger i området 0,41-0,47 (dvs. omtrent på 10 % av ADN), men resultatene viser at asfaltørene som arbeidet rundt "screeden" hadde gjennomgående en lavere eksponering for asfaltrøyk/-damp enn det som ble målt ved den stasjonære prøvetakingen.

4.2. DEL 2: MEKANISK BELASTNING

4.2.1 METODER

Testprosedyre for sammenligning av mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) ble utarbeidet av STAMI i samarbeid med bransjeforeningen FAV. Det ble bestemt at det skulle gjennomføres et forsøk per lavtemperaturasfalt-teknikk som ble lagt på vei og at denne skulle sammenlignes mot en varmasfalt (referanse). Entreprenørene kunne selv velge om de ville sammenligne asfalt med mykere bindemiddel og finere stein beregnet for håndlegging eller om de ville benytte de samme asfaltmassestypene som ble lagt på vei. Det ble videre bestemt at det skulle legges 3 x 20 minutter med hver asfalttype, at arealet på forsøksfeltet måtte være minst 2 x 100 m² og at forskjellen i helningsgraden mellom hvert forsøksfelt måtte være mindre enn 2 %. Mengden asfalt per asfaltmassestype som det ville være behov for ble beregnet til 10 m³. Temperaturene på de ulike asfalttypene ble målt av entreprenørene med en penetrasjonsmålesonde direkte i asfaltmassen. I hvilken rekkefølge varmasfalten (referansen) og lavtemperaturasfalten ble lagt varierte.

Det ble valgt to eksponeringsindikatorer for å beskrive den mekaniske belastningen; hjerterefrekvens og kraft.

Hjertefrekvens

Hjertefrekvensen ble målt hvert 5 sekund med Polar RS 800CX multisportklokke med Polar WearLink+ pulsbelte. Gjennomsnittlig hjerterefrekvens (antall slag/minutt) per 20 minutters periode ble beregnet.

Kraft

Kraften som ble benyttet til å skyve og trekke asfalten under håndleggingen ble målt med en standard asfaltrake (Karlstad produkter, Sverige (skaft) og Melhus Vekst, Melhus (trefjøl med

metall); vekt ca 1,8 kg; lengde (skaft) 180 cm ; lengde (trefjøl) 60 cm; bredde (trefjøl) 6 cm) som ble modifisert med en innebygget kraftsensor (DDE-1kN, Applied Measurements Ltd) i skaftet (se bilde 3). Kraftsensoren målte inntil ± 100 kg belastning ($100 \text{ kg} \approx 1000 \text{ Newton}$). Skyving med asfaltraken ga et negativt utslag i signalet fra kraftsensor, mens trekking med asfaltraken ga et positivt utslag i signalet fra kraftsensor. Kraftsensor ferdig montert på asfaltrake ble kalibrert i området 0-50 kg. Kraftsensoren økte vekten på asfaltraken med omtrent 0,75 kg. Signalet fra kraftsensoren i asfaltraken ble konvertert med en AD konverter (PIC16F876A , Microchip) og overført digitalt via en radiomodul til en PIMEX 2008 sender, som overførte signalet videre til en PIMEX 2008 mottakerenhet hvor bilde og kraftutslag ble synkronisert og lagret hvert 0,4 sekund (se bilde 4). Nullkraftverdi ble målt med asfaltraken liggende vannrett på bakken uten belastning i ca 15 sekunder i forkant av hver måleperiode.

Den trådløse overføringen mellom kraftsensoren i asfaltraken og PIMEX 2008, resulterte i at signalet periodevis ble påvirket av signalstøy både med negativt og positivt fortegn. Disse periodene med signalstøy var svært kortvarige ($\sim 0,4$ sekund) og ga vanligvis et negativt signal > 60 kg. Videoene er gjennomgått for å finne perioder med pauser i arbeidet, samt perioder hvor asfaltøren lente seg på asfaltraken. Data ble ekskludert ved følgende situasjoner;

- Signal $< - 500$ mV (≈ 56 kg skyving) og > 200 mV (≈ 22 kg trekking) ble erstattet med et gjennomsnitt av grunnlinjen målt i starten av hver måleperiode.
- Måledata fra pauser i arbeidet ble ekskludert (rengjøring av utstyr etc.).
- Måledata fra korte pauser i arbeidet, hvor asfaltøren lente seg på asfaltraken ble ekskludert.

Måledataene ble normalisert ved å trekke fra et gjennomsnitt av grunnlinjen målt i starten av hver måleperiode. Tiden som totalt ble benyttet til å håndlegge 10 m^3 asfalt varierte fra 27-60 minutter. Forsøket ble avsluttet etter 60 minutter selv om det var mer asfalt igjen. Prosent av tid med belastning på henholdsvis; mindre enn 5 kg, 5-10 kg, 10-15 kg, 15-20 kg og mer enn 20 kg, og arealet under kurven i kg korrigert for totaltid, ble beregnet for måleverdiene fra hver asfalttype (varmasfalt og lavtemperaturasfalt) og asfaltrake. Arealet under kurven i kg korrigert for totaltid gir en indikasjon på totalbelastningen, mens prosent tid med ulike belastninger indikerer tid med større (10-20 kg) eller høy belastning (> 20 kg).



Bilde 3: Ombygd asfaltrake med kraftsensor (Fotograf Dag Steinar Tønder, Nordasfalt).



Bilde 4: PIMEX 2008 mottakerenhet (Fotograf Dag Steinar Tønder, Nordasfalt).

4.2.2 ASFALTTEMPERATURER

Den gjennomsnittlige temperaturen på asfalten målt med penetrasjonsmålesonde direkte i asfaltmassene var 161 (range 156-166) °C for varmasfalten (referanse) og 119 (range 108-130) °C for lavtemperaturasfalten. Det gir gjennomsnittlig reduksjon på 42 °C (range 27-59 °C) i asfalttemperatur. Den gjennomsnittlige reduksjonen i asfalttemperatur var 13 °C høyere under håndleggingsforsøkene enn reduksjonen i asfalttemperatur målt under forsøkene på vei.

4.2.3 HJERTEFREKVENSMÅLINGER OG ALDER

Hjertefrekvensmålingene både for håndlegging av varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt ble delt inn i 20 minutters perioder, hvor det ble beregnet gjennomsnittlig hjertefrekvens (antall slag/minutt). Tiden som totalt ble benyttet til å håndlegge 10 m³ asfalt varierte fra 27-60 minutter. Hjertefrekvensmålingene ble derfor delt inn i fortrinnsvis 20 minutters perioder og deretter i restperioder mindre enn 20 minutter. Den gjennomsnittlige hjertefrekvensen var henholdsvis 118 (range 90-149) slag/minutt ved legging av varmasfalten (referanse) og 121 (range 90-153) slag/minutt ved legging av lavtemperaturasfalten, noe som gir en gjennomsnittlig økning i hjertefrekvens på 2,4 % ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt. Økningen i hjertefrekvens ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt var ikke statistisk signifikant ($p=0,08$). Den gjennomsnittlige alderen (aritmetisk middelværdi) til asfaltørene som deltok ($n=9$) var 41 (range 26-62) år.

4.2.4 KRAFTMÅLINGER

Ett forsøk ble utført ved bruk av ”skruebil” med fjernstyring som påvirket og blokkerte signalet fra kraftsensoren i asfaltraken. Det resulterte i at det mangler måledata fra store deler av dette forsøket. Resultatene fra dette forsøket er derfor ekskludert og dermed ikke tatt med i beregningene under. Resultater av kraftmålingene vist som prosent tid med de ulike belastningene per asfalttype (varmasfalt og lavtemperaturasfalt) og asfaltrake er vist i figurene 3 til 6, mens arealene under kurven i kg korrigert for totaltid er vist i Tabell 4.

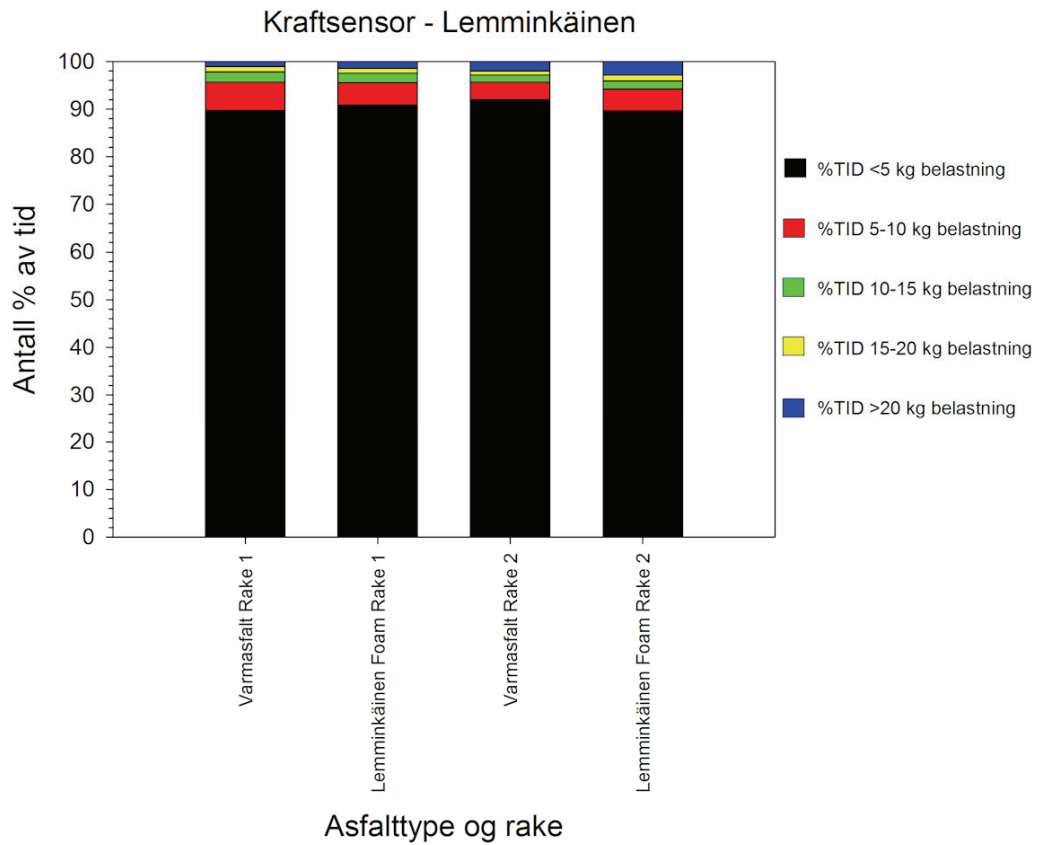
Resultatene viser at prosentvis tid ved de ulike belastningene øker ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt for noen personer, mens den reduseres for andre personer, også innenfor samme forsøk. En belastning som var høyere enn 10 kg ble vurdert som høy og valgt som indikator på forskjellen i belastning mellom varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Den gjennomsnittlige % av tiden med belastning mer enn 10 kg ble beregnet til 6,7 (range 4,1-9,2) % og 7,5 (range 4,5-11,5) % for varmasfalten (referanse) og lavtemperaturasfalten, noe som gir en gjennomsnittlig økning i tiden

med belastning mer enn 10 kg på 12,3 % ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt. Denne økningen i belastning var ikke statistisk signifikant ($p=0,28$).

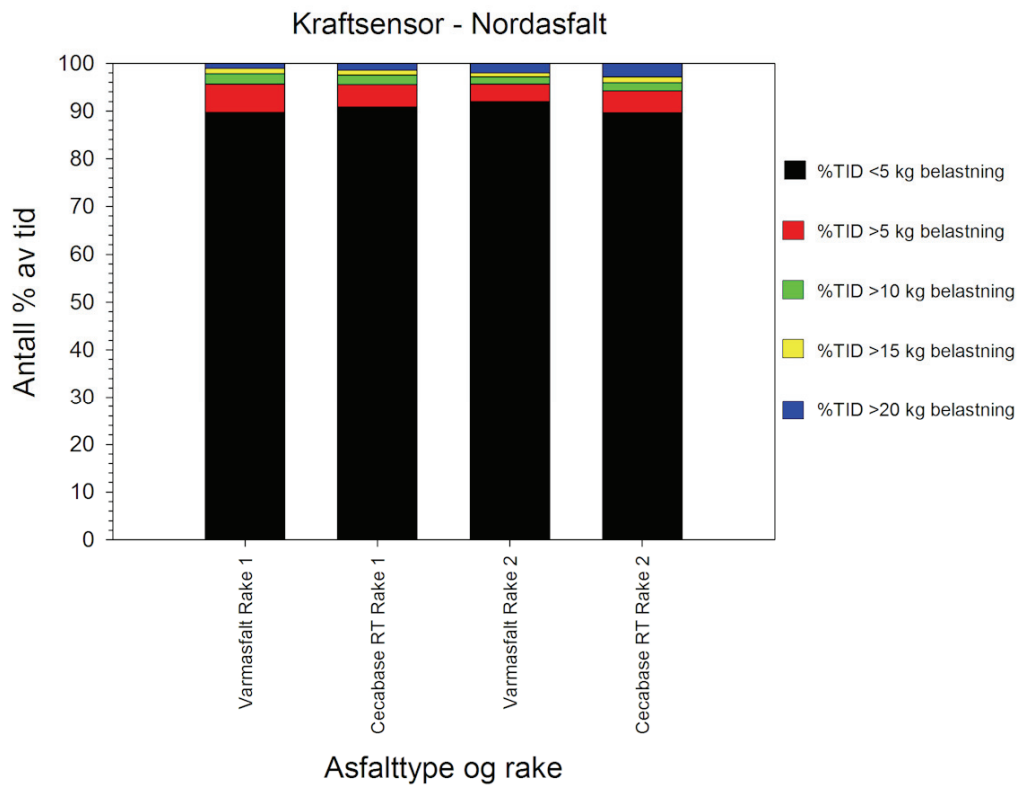
Totalbelastningen kan indikeres med arealet under kurven i kg korrigert for totaltid. Resultatene viser at belastningen øker ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt for noen personer, mens den reduseres for andre personer, også innenfor samme forsøk. Det gjennomsnittlige arealet under kurven i kg korrigert for totaltid ble beregnet til 1,16 (range 0,84-1,48) kg for varmasfalten (referanse) og 1,20 (range 0,86-1,55) kg for lavtemperaturasfalten, noe som gir en gjennomsnittlig økning (aritmetisk middelværdi) i belastning på 3,5 % ved overgang fra varmasfalt til lavtemperaturasfalt. Denne økningen i belastning var ikke statistisk signifikant ($p=0,59$).

Diskusjon

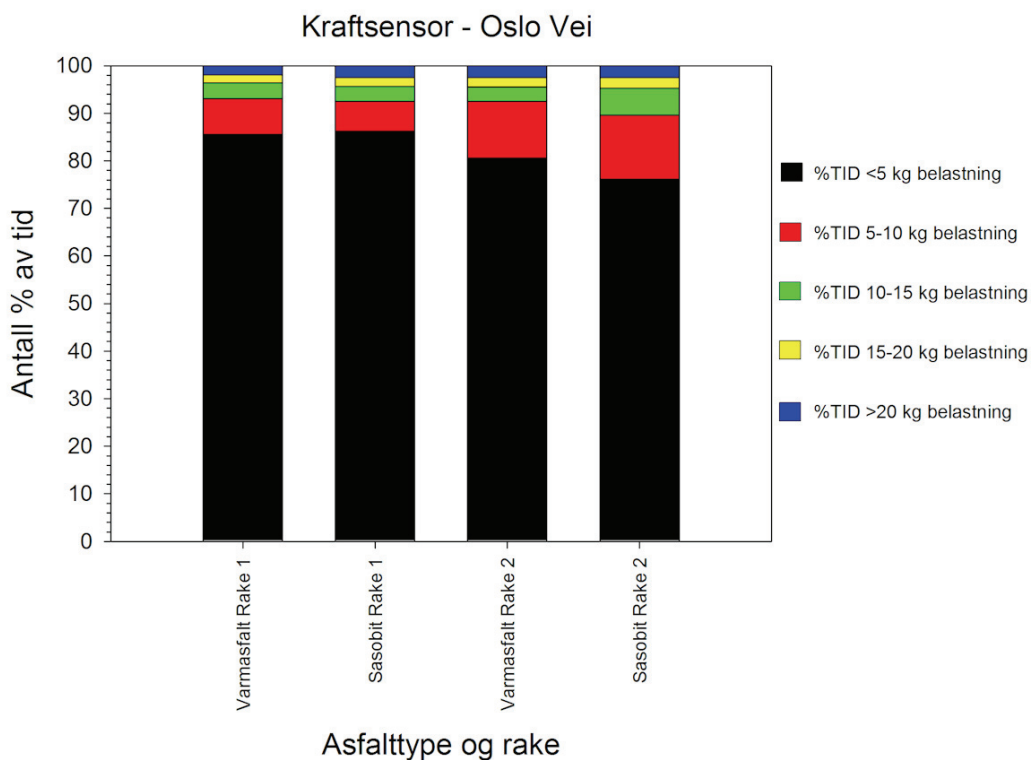
Generelt viser resultatene korte perioder med høy belastning. En rekke determinanter vil påvirke belastningen som fall i temperaturen på asfalten i løpet av håndleggingsperioden, arbeidsmåte (for eksempel hvordan man holder asfaltraken, samt vinkel på asfaltrake) og rekkefølgen på utleggingen av de ulike asfalttypene. Dette ble ikke undersøkt i denne studien. Vi vet heller ikke nok om personene som deltok (for eksempel høyde og muskelstyrke). Antall forsøk som ble gjennomført med håndlegging var noe begrenset (dvs. ett forsøk per lavtemperaturasfalttype), noe som gjør det vanskelig å konkludere. Kraftmåleren i asfaltraken vil siden vinkelen på asfaltraken under bruk ikke ble undersøkt, sannsynligvis ikke gi et fullgodt mål på bearbeidbarheten til asfalten, men den vil gi et godt mål på hvilke belastninger armer og skuldre blir utsatt for. Resultatene viser videre at prinsippet med innebygd kraftsensor i asfaltraken egner seg for å måle kraftbruken til asfaltører ved håndlegging, og det anbefales derfor til bruk ved fremtidige undersøkelser.



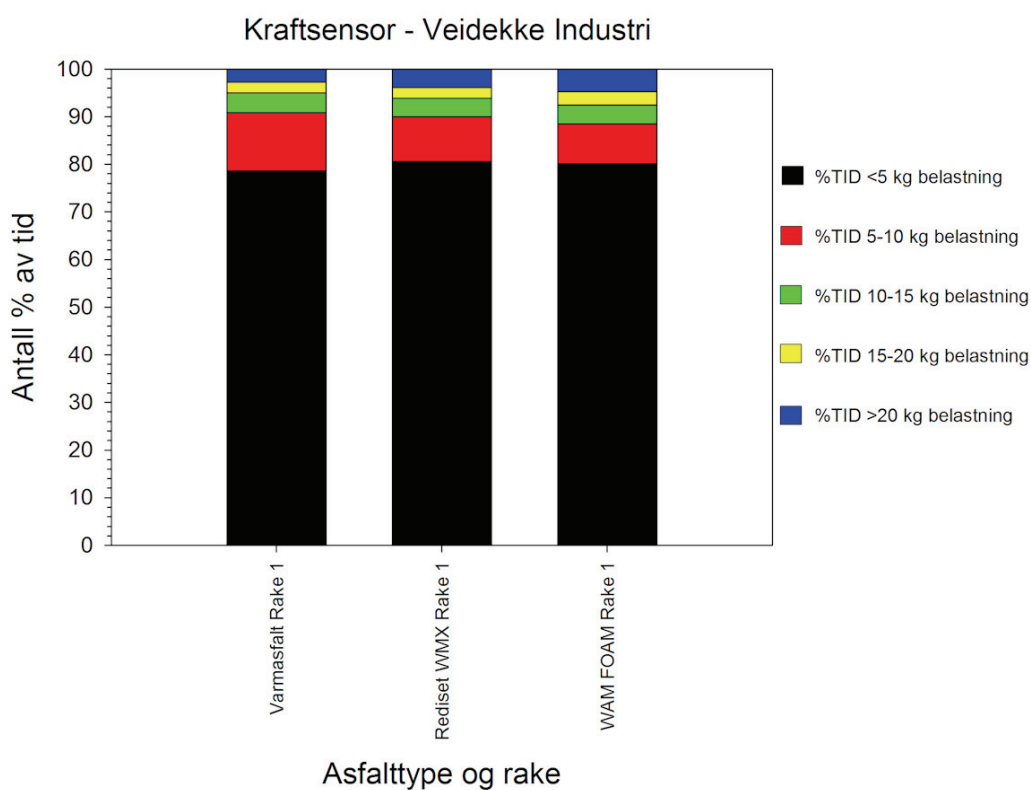
Figur 3. Prosent tid med de ulike belastningene per asfalttype (varmasfalt og lavtemperaturasfalt) og rake fra forsøket hos Lemminkäinen.



Figur 4. Prosent tid med de ulike belastningene per asfalttype (varmasfalt og lavtemperaturasfalt) og rake fra forsøket hos Nordasfalt.



Figur 5. Prosent tid med de ulike belastningene per asfalttype (varmasfalt og lavtemperaturasfalt) og rake fra forsøket hos Oslo Vei.



Figur 6. Prosent tid med de ulike belastningene per asfalttype (varmasfalt og lavtemperaturasfalt) og rake fra forsøket hos Veidekke Industri.

Tabell 4. Arealet under kurven i kg korrigert for totaltid.

Nordasfalt	Arealet under kurven i kg korrigert for totaltid
Varmasfalt Rake 1	1,37
Cecabase RT Rake 1	1,02
Varmasfalt Rake 2	0,97
Cecabase RT Rake 2	1,26
Lemminkäinen	Arealet under kurven i kg korrigert for totaltid
Varmasfalt Rake 1	0,84
Lemminkäinen Foam Rake 1	0,86
Varmasfalt Rake 2	0,86
Lemminkäinen Foam Rake 2	1,08
Oslo Vei	Arealet under kurven i kg korrigert for totaltid
Varmasfalt Rake 1	1,02
Sasobit Rake 1	0,98
Varmasfalt Rake 2	1,26
Sasobit Rake 2	1,44
Veidekke Industri	Arealet under kurven i kg korrigert for totaltid
Varmasfalt Rake 1	1,48
Rediset WMX Rake 1	1,41
WAM Foam Rake 1	1,55

5. KONKLUSJON

Kjemisk arbeidsmiljø

Studien viser at eksponeringen for asfaltrøyk/-damp er lavere ved utlegging av lavtemperaturasfalt sammenlignet med varmasfalt, mens det ikke ble funnet noen forskjell i eksponeringen for aminer.

Mekanisk arbeidsmiljø

De mekaniske belastningsmålingene som ble gjennomført under legging av både varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) viser ingen statistisk eller fysiologisk signifikant forskjell i hjerterefrekvens eller statistisk signifikant forskjell i belastning målt med kraftsensor i asfaltrake ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Studien viser dermed ingen forskjell i mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt, men antall forsøk som ble utført var noe begrenset.

REFERANSER

Burstyn, I., Kromhout H., Boffetta P, A literature review of levels and determinant of exposure to potential carcinogens and other agents in the road construction industry, *AIHA journal*, 2000, 61, 715-726.

Elihn K, Ulvestad B, Hetland S, Wallen A, Randem BG. Exposure to ultrafine particles in asphalt work. *J Occup. Environ. Hyg.*, 2008, 5 (12) 771-779.

Ulvestad B (a), Randem BG, Hetland S, Sigurdardottir G, Johannessen E, Lyberg T. Exposure, lung function decline and systemic inflammatory response in asphalt workers. *Scand J Work. Environ. Health*, 2007, 33 (2) 114-121.

Ulvestad B (b), Randem BG, Andersson L, Ellingsen DG, Barregard L. Clara cell protein as a biomarker for lung epithelial injury in asphalt workers. *J Occup. Environ. Med.* 2007, 49 (10) 1073-1078.

Randem BG, Ulvestad B, Burstyn I, Kongerud J. Respiratory symptoms and airflow limitation in asphalt workers. *Occup. Environ. Med.* 2004, 61(4) 367-369.

Arbeidstilsynet 2010, Strategi for reduksjon av yrkesbetinget KOLS 2010 - 2011, Arbeidstilsynet, <http://www.arbeidstilsynet.no/nyhet.html?tid=213723>

William C. Hinds in *Aerosol Technology – properties, behaviour, and measurement of airborne particles*, 2nd ed., pp. 53, 1999, Wiley-Interscience, New-York, NY, USA

Nieboer E., Thomassen Y., Chashchin V., Odland J.O., Occupational exposure assessment of metal, *J. Environ. Monit.*, 2005, 7, 411-415

Norseth, T., Waage, J., Dale, I., Acute effects and exposure to organic compounds in road maintenance workers exposed to asphalt, *Am. J. Ind. Med.*, 1991, 20, 737-744.

Foreningen asfalt og veiservice (FAV), rapporten "FAVs prosjekt LTA 2011 – Delprosjekt asfaltkvalitet, 2012", tilgjengelig på www.fav.net og www.eba.no

Wikipedia 2012a, tilgjengelig på http://no.wikipedia.org/wiki/Statistisk_signifikans. Hentet 05.06.2012.

Wikipedia 2012b, tilgjengelig på <http://no.wikipedia.org/wiki/P-verdi>. Hentet 05.06.2012.

Store Norske Leksikon 2012a, tilgjengelig på <http://snl.no/hypotesetesting/statistikk>. Hentet 05.06.2012.

Wikipedia 2012c, tilgjengelig på <http://no.wikipedia.org/wiki/T-test>. Hentet 05.06.2012.

APPENDIKS

DEFINISJONER

Aerosol

En aerosol er definert som et hvilket som helst disperst system av væske- eller fast fase partikler i en gass (Vincent 2007), med andre ord alle partikler, i væske eller fast form, som eksisterer i luft (eller i en annen gassblanding).

Aerodynamisk diameter (d_{ae})

Aerodynamisk diameter er diameteren til en sfærisk partikkel med tetthet 1 g/cm^3 (tettheten til en vanddråpe) som har samme slutfart i fritt fall som den aktuelle partikkelen (Hinds 1999).

Totalstøv

Totalstøv er et begrep som er innarbeidet i sammenheng med arbeidsmiljømålinger og betegner den fraksjonen som måles med en såkalt totalstøvkasset. Flere typer prøvetakere har vært konstruert for å samle opp totalstøv, og noen av dem er fremdeles i utstrakt bruk. Det har i ettertid vist seg at oppsamlingskarakteristikken til de forskjellige prøvetakerne varierer mye, noe som kan føre til ulike resultater av målinger utført i samme atmosfære. Den såkalte totalstøvkassetten er tradisjonelt blitt brukt ved de fleste eksponeringsmålinger i Norge, også i oljeindustrien. I dag er fortsatt mange norske administrative normer basert på bruk av ”totalstøvkassetten”.

Helserelaterte aerosolfraksjoner

I starten av 1970-årene begynte man å undersøke penetrasjonseffektiviteten av partikler gjennom nese og munn. Ut fra eksperimenter ble det funnet at inhalasjonseffektiviteten til en partikkel kunne forklares ut fra den aerodynamiske diameteren (d_{ae}) til den individuelle partikkelen. Disse arbeidene kuliminerte i midten av 1990-tallet med en internasjonal enighet om et sett harmoniserte anbefalinger som involverte International Organization for Standardization (ISO), Comité Européen de Normalisation (CEN) og American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Disse organisasjonene identifiserte tre kurver som representerer helserelaterte aerosolfraksjoner; hver av kurvene definerer hvilke krav som skal stilles til oppsamlingseffektiviteten til en luftprøvetaker som funksjon av aerodynamisk diameter. Disse tre fraksjonene er alle identifiserte med bakgrunn i aerosolfysikk og lungefysiologi. Fig. 1 viser oppsamlingseffektiviteten i prosent for

de ulike helserelaterte aerosolfraksjonene. I fig. 2 er det gitt en skisse over hvor i luftveiene man får avsatt de ulike aerosolfraksjonene.

Inhalerbar aerosolfraksjon (f_{inh})

Inhalerbar aerosolfraksjon er den fraksjonen/delen av den totale mengden partikler i lufta (både faste og væske-partikler) som kommer inn i kroppen gjennom nese og/eller munn ved pusting. Den aerodynamiske diameteren er mindre eller lik $100\ \mu\text{m}$. Denne fraksjonen er viktig for helseeffekter i alle deler av respirasjonssystemet, som f.eks. ved rhinitis, kreft i nese og lunge og andre luftveislidelser.

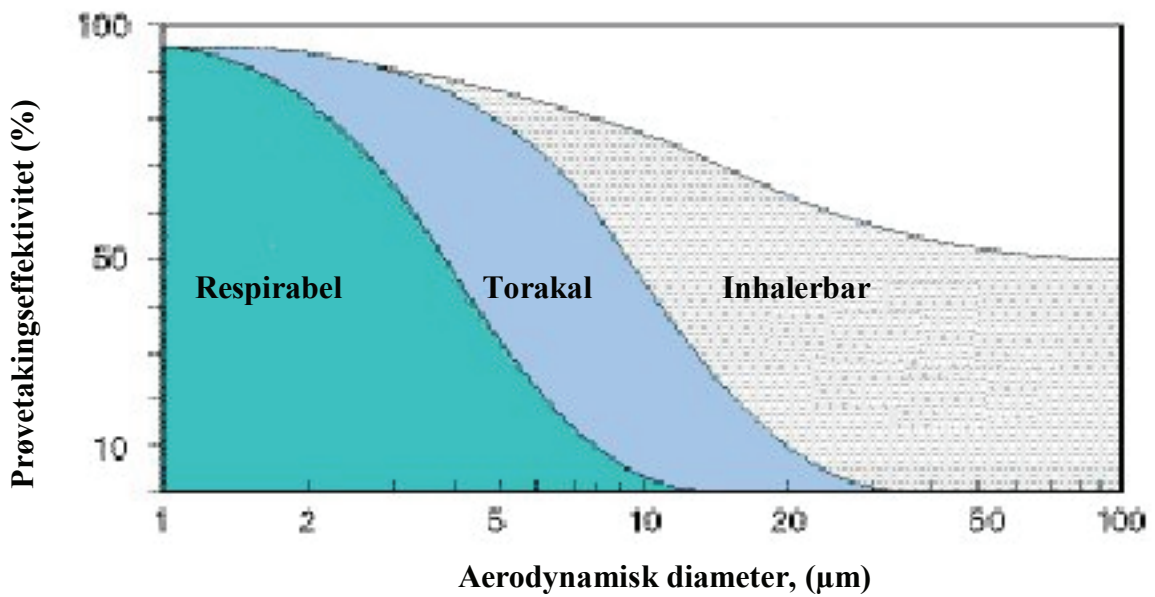
Torakal aerosolfraksjon (f_{tor})

Denne fraksjonen inneholder partikler som kan avsettes nedenfor strupehodet (larynx), dvs. at de trenger inn i den trakeobronkiale delen av lungene. Denne fraksjonen er viktig når det gjelder helseeffekter som astma, obstruktive lungesykdommer (OLS og kroniske; KOLS), bronkitt og lungekreft. Partikkelstørrelsen tilsvarer fraksjonen av den inhalerbare aerosolen som har et 50 % ”cut-off” ved en aerodynamisk diameter på $10\ \mu\text{m}$ og 1 % ”cut-off” ved $d_{ac}=28\ \mu\text{m}$.

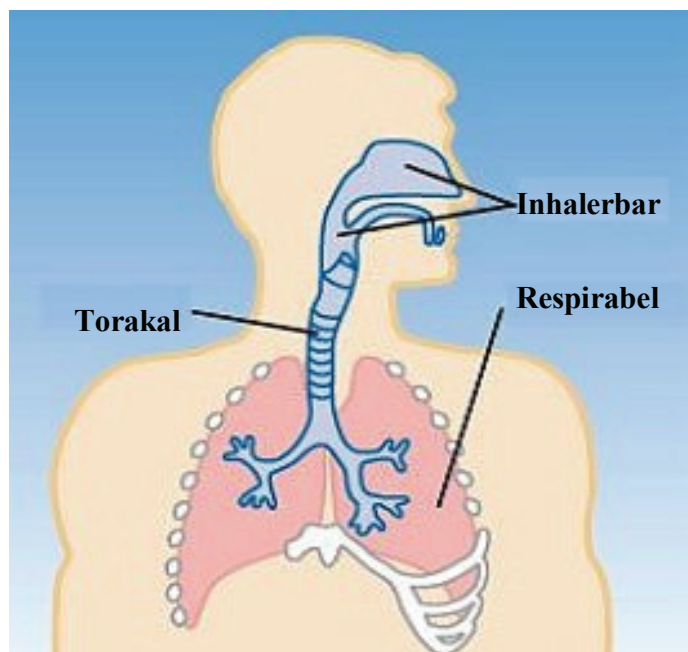
Respirabel aerosolfraksjon (f_{res})

Denne fraksjonen inneholder de partiklene som trenger ned i den alveolære delen av lungene, dvs. til bronkioler og alveolære blærer og kanaler. Fraksjonen er viktig ved f. eks. utvikling av kroniske sykdommer som emfysem og støvlungesykdommer. Partikkelstørrelsen svarer til 50 % ”cut-off” ved en $d_{ac}=4\ \mu\text{m}$ og 1 % ”cut-off” ved $d_{ac}=10\ \mu\text{m}$ for inhalerbar aerosol.

Torakal og respirabel aerosolfraksjon er begge underfraksjoner av den inhalerbare fraksjonen.



Figur 1. Kurver som viser respirabel- og torakal aerosolfraksjon som funksjon av aerodynamisk diameter, og som underfraksjon av inhalerbar fraksjon, NS-EN 481.



Figur 2. Skisse over luftveiene med plassering av de ulike helsesrelaterte regionene av luftveissystemet.

PM₁₀

Denne fraksjonen benyttes ofte i aerosolmålinger i det ytre miljøet og er definert som en underfraksjon av totalaerosol. Den har en 50 % ”cut-off” ved $d_{ac}=10 \mu\text{m}$. Prøvetakerne som benyttes til PM₁₀-målinger er konstruert slik at de utelukker de fleste partikler over 10 μm . Dette gjør at kurvene for PM₁₀ og torakal fraksjon er nesten identiske opp til 10 μm , men deretter marginalt forskjellige (Nieboer *et al.* 2005).

PM₁

Denne fraksjonen benyttes ofte i aerosolmålinger i det ytre miljøet og er definert som en underfraksjon av totalaerosol. Den har en 50 % ”cut-off” ved $d_{ac}=1 \mu\text{m}$.

Hypotesetesting

Hypotesetesting er en metode for testing av hypoteser (teorier) om ukjente størrelser på bakgrunn av innsamlet datamateriale. Metoden brukes innen statistisk analyse av data beheftet med usikkerhet og variasjon. Man stiller opp en nullhypotese, kalt H_0 , og en alternativ hypotese H_1 . Formålet med en test er å undersøke om datamaterialet gir grunnlag for å forkaste nullhypotesen med høy grad av sikkerhet, for derved å kunne påstå at det er tilstrekkelig bevis for at den alternative hypotesen er sann (Store Norsk Leksikon 2012a).

Statistisk signifikans

Statistisk signifikans er et begrep som brukes for å beskrive sannsynligheten for at noe er et resultat av tilfeldigheter. Et resultat av en statistisk analyse betegnes som statistisk signifikant dersom det er lite sannsynlig at resultatet har oppstått tilfeldig. Begrepet signifikans i statistisk sammenheng betegner ikke nødvendigvis at noe er viktig, slik det ofte kan i andre sammenhenger. Det betegner kun at noe sannsynligvis ikke er tilfeldig. Uttrykket signifikansnivå benyttes ofte for å beskrive hvor statistisk signifikant et resultat må være for å være akseptabelt. Statistisk signifikans kan blant annet måles som p-verdi eller uttrykkes ved konfidensintervaller. Statistisk signifikans er et sentralt begrep innen Hypotesetesting, metoder som ofte brukes når man skal benytte en statistisk analyse til å ta avgjørelser (Wikipedia 2012a).

P-verdi

I statistisk hypotesetesting er p-verdien sannsynligheten for å oppnå et resultat minst like ekstremt som det observerte hvis nullhypotesen (H_0) er sann. Jo lavere verdien er, jo mer sannsynlig er den

alternative hypotesen. For eksempel kan man i en hypotesetest utført på signifikansnivå lik 5 % ikke forkaste H_0 dersom p-verdien er større enn 0,05 (Wikipedia 2012b).

T-test

En t-test (også kalt Students t-test) er en statistisk hypotesetest basert på Students t-fordeling. Den brukes gjerne for å teste om gjennomsnittsverdien i et normalfordelt datasett er signifikant forskjellig fra en nullhypotese, om det er signifikant forskjell mellom gjennomsnittsverdiene i to datasett, eller om stigningstallet til en regresjonslinje er signifikant forskjellig fra null.

En t-test kan gjøres på enten et utvalg (ensidig t-test) eller to utvalg (tosidig t-test), enten uparet (forskjellige utvalg) eller i par (samme utvalg) Testen er en av de mest kjente og brukte testene blant annet innen psykologisk arbeid og forskningsmetode. (Wikipedia 2012c).

Del 2

Undersøkelse av konsekvenser
for asfaltkvaliteten ved
overgang til
lavtemperaturasfalt

Undersøkelse av konsekvenser for asfaltkvaliteten ved overgang til lavtemperaturasfalt

Til: FAV
v/: Arne Aaberg
Kopi:
Fra:
Dato: 2012-08-30
Dokumentnr.: V3.0
Prosjekt: LTA 2011
Utarbeidet av: Ragnar Bragstad
Prosjektleder: Roar Telle
Kontrollert av: Torbjørn Jørgensen, Roar Telle

Sammendrag

Foreningen Asfalt og Veiservice (FAV) med økonomisk støtte fra Næringslivets Hovedorganisasjons (NHO) arbeidsmiljøfond har gjennomført et større forsøk med lavtemperaturasfalt (LTA) i 2011. Forsøkene har hatt som formål å redusere arbeidernes eksponering for asfaltrøyk ved å senke produksjonstemperaturen, samtidig som ergonomien ikke forverres og kvaliteten forringes.

Det er utført 11 forsøksstrekninger, hver med parallelle felt med referansemasse og LTA-masse. Til sammen er 6 ulike teknikker utprøvd, 3 basert på tilsetningsstoffer og 3 på skumming av bindemidlet i mikse. Asfaltkvaliteten dokumenteres i denne rapporten mens kjemisk og fysisk arbeidsmiljø vil bli rapportert av Statens Arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) i egne rapporter.

Referansemasse og LTA-masse har samme sammensetning med unntak av eventuelle tilsetningsstoffer i små mengder. Det forventes at dersom senket temperatur ikke gjør dekket vanskeligere å komprimere vil referanse og LTA-dekke bli identiske og få lik levetid. I forbindelse med kvalitetsoppfølgingen har det derfor blitt fokusert på oppnådd hulrom, deformasjonsegenskaper (wheel track og initialverdier for jevnhet på langs og tvers (spor)) og vedheftsegenskaper.

Kvalitetsoppfølgingen så langt har vist at LTA-dekkene ikke skiller seg fra referansedekkene mhp de aktuelle kvalitetsparametrene. Det er derfor ikke avslørt noe som indikerer at LTA-dekker vil få kortere levetid enn referansedekkene. Dekketilstanden vil bli fulgt opp av Statens vegvesen i årene som kommer.

Eventuelle ulikheter i oppherding av bindemidlet over tid pga. lavere temperaturpåkjenning under produksjonen med LTA-masse blir fulgt opp av Statens vegvesens etatsprogram «Varige vegger».

I forbindelse med LTA2011 er også erfaringer fra andre land vurdert, spesielt Sverige og USA.

Innhold

Sammendrag	1
0 Bakgrunn.....	3
1 Typer LTA.....	4
1.1 Tilsetningsmidler:	4
1.2 Asfaltfabrikk modifisert for å kunne tilsette bindemidlet i form av skumbitumen:	4
2 Strekninger	5
3 Forutsetninger for oppfølgingsstrategi	5
4 Resultater	6
4.1 Temperatur.....	6
4.2 Hulrom.....	8
4.3 Wheel track	9
4.4 Initialspor/-jevnhet.....	11
4.5 Vedheftsanalyser.....	13
4.6 Bindemiddelanalyser	14
5 Reduksjon i utslipp fra produksjon.....	14
6 Konklusjon	15
Referanser	15
Vedlegg.....	16
1 Utenlandske erfaringer/praksis.....	16
2 Stedfesting av forsøksstrekninger	16
3 Bindemiddelresultater.....	16
4 Temperaturmålinger	16
5 Initialspor og -jevnhet	16

0 Bakgrunn

Den internasjonale kreftunion (IARC), som er en del av Verdens helseorganisasjon (WHO) har anbefalt asfaltindustrien å fortsette arbeidet for å redusere eksponering for bitumen og asfaltrøyk. Arbeidstilsynet har fokus på den norske asfaltbransjen gjennom sitt prosjekt på kartlegging og reduksjon av yrkesrelatert KOLS. FAV har derfor ønsket å se hvilke muligheter som gis for å forbedre arbeidsmiljøet. I følge EAPA (EAPA, 2005) sier en tommelfingerregel at en senkning av masstemperaturen med 10 °C reduserer asfaltrøyken med 50 %. I de senere årene har det blitt utviklet metoder i Norge og andre land som skal gjøre det mulig å produsere og legge ut asfalt ved ca. 30 °C lavere temperatur enn det som er normalt i dag, enten ved kjemikalietilsetninger eller ved mindre endringer av asfaltfabrikken for f.eks. å skumme inn bindemidlet. Enkelte teknikker kan gi en enda større temperatursenkning.

En senkning av produksjonstemperaturen vil også gi et lavere forbruk av fossilt brensel og derved også senke CO₂-utslippene fra asfaltproduksjon. Dette er helt i tråd med FAVs ambisjoner i forbindelse med prosjektet Klimaveien.

Det er en forutsetning at temperatursenkningen ikke skal medføre reduksjon i asfaltens kvalitetsmessige egenskaper.

For å dokumentere at denne teknologien er moden for å bli tatt i bruk i stor utstrekning i Norge, satte FAV i gang prosjektet LTA2011 med støtte fra NHOs Arbeidsmiljøfond. Alle FAVs medlemsbedrifter ble invitert til å delta med sine løsninger og 5 bedrifter bidro med til sammen 11 forsøksstrekninger.

Prosjektdeltakere har vært:

- FAV – Foreningen Asfalt og Veiservice
- NHO
- STAMI – Statens ArbeidsMiljøInstitutt
- Veidekke Industri
- NCC Roads
- Lemminkäinen Norge
- Nordasfalt
- Oslo Vei
- Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- Veiteknisk Institutt

1 Typer LTA

LTA-masser kan enten produseres ved hjelp av tilsetningsmidler eller ved å modifisere blandeverket/-prosessen. I LTA2011-prosjektet er det benyttet følgende varianter:

1.1 Tilsetningsmidler:

Cecabase RT (Nordasfalt og Lemminkäinen)

- Overflateaktivt stoff som tillater senkning av produksjonstemperaturen med opp til 40 °C
- Fungerer også som vedheftningsmiddel
- Dosering 0,2 til 0,5 % av bitumenmengden og tilsettes bindemidlet gjennom amintilsetningsanlegget

Rediset WMX (Veidekke)

- Tillater en senkning av produksjonstemperaturen med opp til 40 °C
- Fungerer også som vedheftningsmiddel.
- Skal også bedre deformasjonsegenskapene
- Leveres i form av pellets som ble tilsatt i bitumentanken og det ble kjørt rundpumping over flere timer for å sikre full oppløsning. Dosering 1 – 2 % av bitumenmengden (2 – 3 % dersom en ønsker økt bearbeidbarhet ved håndlegging)

Sasobit (Oslo Vei)

- Fischer-Tropsch voks (syntetisk fremstilt) som tillater opp til 30 °C senkning av produksjonstemperaturen.
- Stabiliserende effekt som ved dette forsøket er benyttet til å bruke et mykere basisbindemiddel som etter modifisering har samme stabilitet som referansebitumen, gir lavere produksjons-/utleggingstemperatur.
- Fungerer ikke som vedheftningsmiddel
- Dosering 3 % av bindemiddelmengden. Forblandes med bindemidlet på tank.

1.2 Asfaltfabrikk modifisert for å kunne tilsette bindemidlet i form av skumbitumen:

WAM-foam (Veidekke)

- Man kan senke produksjonstemperaturen med opp til 45 °C for masser som tradisjonelt produseres ved 170 – 180 °C
- Bindemidlet tilsettes i form av to bindemiddelgrader. Steinmaterialet blandes med den myke på vanlig måte før den harde bindemiddelgraden skummes i. Bindemiddelgraden i ferdig dekke avgjøres av mengdeforholdet mellom den myke og harde komponenten.
- Vedheftningsmiddel tilsettes til det myke bindemidlet.

Green Asphalt (NCC)

- Produksjonstemperaturen kan senkes opp til 40 °C
- Bindemidlet tilsettes steinmateriale uten filler i miksen og blandes med skummet en kort stund før filler tilsettes i slutten på blandingen
- Tilsetning av gjenbruk for å senke temperaturen
- Vedheftningsmiddel tilsettes i tillegg

LMK foam (Lemminkäinen)

- Produksjonstemperaturen kan senkes opp til 40 °C
- Bindemidlet tilsettes ved skumming, for øvrig som konvensjonell blanding.
- Vedheftningsmiddel tilsettes i tillegg.

2 Strekninger

Tabell 1 viser hvilke varianter som er lagt hvor. Se vedlegg 2 for en nøyaktigere stedfestelse.

Tabell 1 Forsøksstrekninger

Entreprenør	LTA-strekning	Ref-masse Bitumen	LTA-masse ¹⁾	Fylke (kommune) / Sted Veg	Lengde [m]	Legge-dato	Skiltet hastighet	ÅDT ²⁾
Veidekke	LTA 1-1	Ab11 70/100	Rediset WMX	Akershus (Ski) / Skoglia KV7040	767	24/8-11	50	5700
Veidekke	LTA 1-2	Ab11 70/100	WAM	Akershus (Ski) / Skoglia KV7040	723	26/8-11	50	5700
Veidekke	LTA 1-3	Agb11 160/220	WAM	S-Trøndelag / Vinjeøra EV39	1190	21/9-11	80	743
NCC	LTA 2-1	Agb11 160/220 8 % gjenbruk	Green Asphalt 8 % gjenbruk	Møre og Romsdal / Ålesund FV658	851	6/7-11	80	1700
NCC	LTA 2-2	Ab16 70/100 10 % gjenbruk	Green Asphalt 30 % gjenbruk	V-Agder / Høie - Stemmen RV9	955	1/9-11	70	3482
Lemminkäinen	LTA 3-1	Ab11 70/100	Cecabase RT	Vestfold / Horten FV310	935	29/6-11	80	8984
Lemminkäinen	LTA 3-2	Ab11 160/220	Cecabase RT	Vestfold / Horten FV310	863	29/6-11	80	9000
Lemminkäinen	LTA 3-3	Agb11 160/220	LMK skum	Telemark / Valebøv. FV44	1247	7/9-11	80	650
Lemminkäinen	LTA 3-4	Agb11 160/220	LMK skum	Telemark / Valebøv FV44	1822	8/9-11	80	650
Nordasfalt	LTA 4-1	Ab16 70/100	Cecabase RT	Nordland / Mjønes Øst RV80	861	15/6-11	80	3300
Oslo Vei	LTA 5-1	Ab11 70/100 m/forvarmet gjenbruk	160/220 Sasobit m/forvarmet gjenbruk	Akershus / Løken i Høland FV115	1035	8/6-11	60	4500

- 1) Samme bindemiddel som referansen dersom annet ikke er oppgitt
- 2) Trafikkmengde (Årsdøgntrafikk)

3 Forutsetninger for oppfølgingsstrategi

Prosjektet har forutsatt at LTA-masse og referansemasse har identisk sammensetning mht. tilslag, kurve og bindemiddelinhold og at dekker med de to massene vil oppfylle de samme kravene og ha samme levetid dersom de legges ut under like forhold og komprimeres til samme hulrom. Det forutsettes også at referansemassen er riktig valg for vegen.

For å bekrefte forutsetningene er det derfor tatt ut prøver og kontrollert sammensetning på masseprøver og hulrom på borkjerner.

På grunn av vesentlig lavere produksjonstemperatur for LTA vil bindemidlet herde opp mindre enn for referansen og det er derfor mulig at initiell deformasjonsmotstand blir lavere for LTA. For å teste dette ble det kjørt wheel track på borkjerner tatt fra veg etter dekkelegging. Initialspor og jevnhet ble fulgt opp på nylagt dekke.

Lavere produksjonstemperatur og tilstedeværelsen av vann ved skumming er faktorer som kan antas å gi dårligere vedheft. Det er derfor foretatt vedheftsanalyser for å sammenligne LTA- og referansemasser.

Det planlegges også å gjenvinne bitumen fra utlagt asfalt for å se om det er forskjell i oppherding og om denne forskjellen holder seg over tid. Dette legges inn under Statens vegvesens etatsprogram "Varige veger"

I tillegg til at det er testet produkter med ulike egenskaper, så er laboratorieanalysene gjort ved forskjellige laboratorier, og for en del av metodene kan reproduserbarheten være relativt dårlig. Ved vurdering av resultatene vektlegges derfor forskjellen i resultat for parene av LTA- og referanse-dekke høyere enn nivåforskjeller mellom ulike dekker.

4 Resultater

4.1 Temperatur

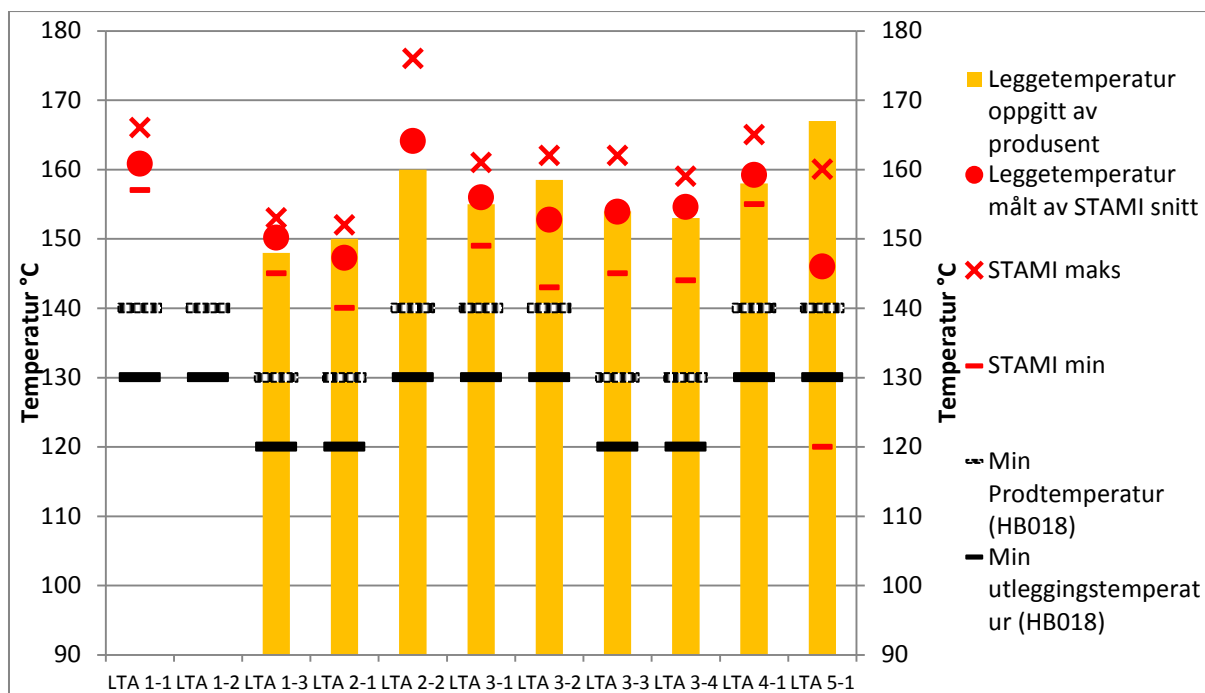
Tabell 2 viser gjennomsnittlig oppgitt produksjonstemperatur og utleggingstemperatur sammen med utleggingstemperaturer målt av STAMI i forbindelse med miljøoppfølgingen. Den ønskede temperatursenkningen synes oppnådd. I vedlegg 4 er alle temperaturmålinger samlet i en tabell.

Tabell 2 Produksjons- og utleggingstemperatur

	Referanse	LTA	Differanse
Opgitt produksjonstemperatur, °C	161	130	31
Opgitt utleggingstemperatur, °C	156	127	29
Utleggingstemperatur målt av STAMI, °C	154	126	28

I Figur 1 nedenfor er det angitt leggetemperaturer for de ulike referansemassene sammen med krav. De gule stolpene er de oppgitte verdiene fra entreprenør ved leggingen og de røde markørene angir hhv maksimal, gjennomsnittlig og minimal temperatur målt med IR-måler av STAMI i forbindelse med utlegging av referansemasser. De svarte markørene viser krav til minimum produksjonstemperatur og minimum utleggingstemperatur i henhold til HB018. Siden LTA 1-1 og 1-2 har samme referansemasse utførte STAMI bare miljømåling på referansen til LTA 1-1.

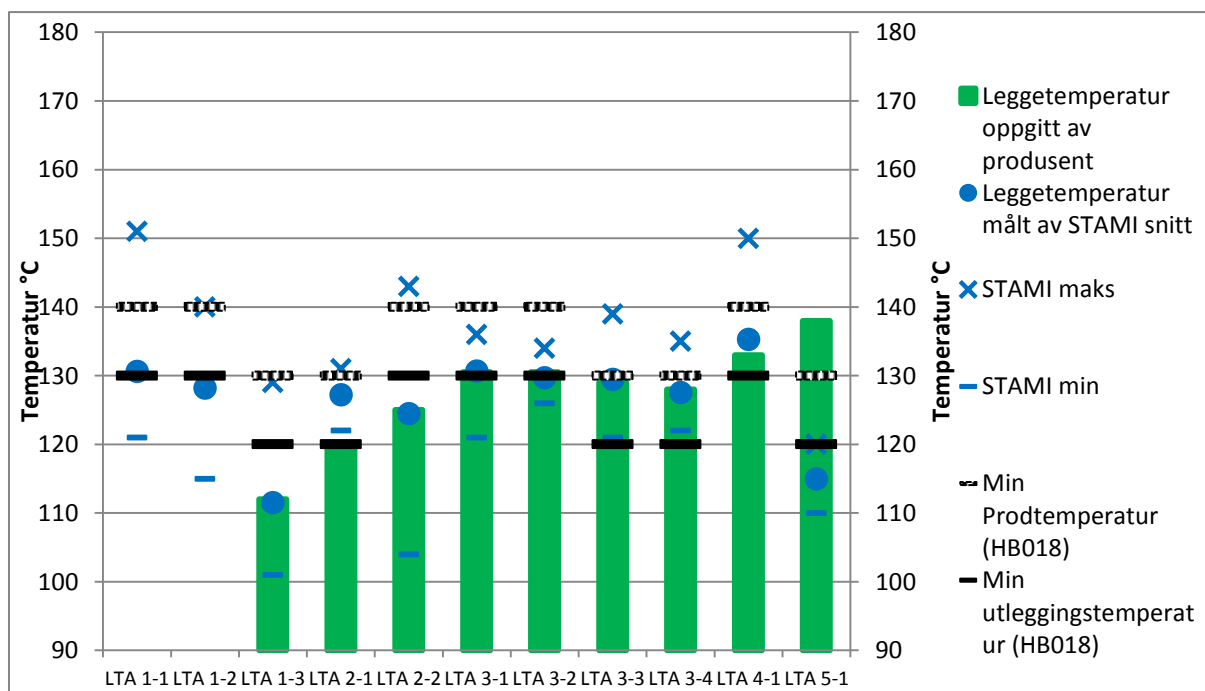
Som figuren viser ligger gjennomsnittlig utleggingstemperatur fra 5 til 25 °C over minimum produksjonstemperatur, og bare LTA 5-1 har noen målinger opptil 10 °C under nedre utleggingstemperatur.



Figur 1 Leggetemperatur og krav for referansemassene

I Figur 2 nedenfor er det angitt leggetemperaturer for LTA-massene sammen med krav. De grønne stolpene er de oppgitte verdiene fra entreprenør ved leggingen og de blå markørene angir hhv maksimal, gjennomsnittlig og minimal temperatur målt med IR-måler av STAMI i forbindelse med utlegging av LTA-masser. De svarte markørene viser krav til minimum produksjonstemperatur og minimum utleggingstemperatur i henhold til HB018.

Seks av LTA-dekkene har gjennomsnittlig leggetemperatur over nedre utleggingstemperatur og de fem med snittemperatur under varierer fra 1 til 8 °C under.



Figur 2 Leggetemperaturer og krav for LTA-massene

4.2 Hulrom

Tabell 3 viser at gjennomsnittlig hulrom for referansemassene ligger høyere enn for tilsvarende LTA-masse både for laboriestede prøver og for borkjerner tatt ut på veg. Ved sammenligning av hvert par med henholdsvis LTA- og referansemasse kommer også referansemassen ut med flest tilfeller hvor den har høyest hulrom. Figur 3 viser enkeltresultater, og tar man i betraktning at LTA 3-3 og 3-4 er samme dekke ser man hvilken variasjon man må regne med. Det er derfor ingen signifikant forskjell mellom referanse- og LTA-strekning mht. hulrom.

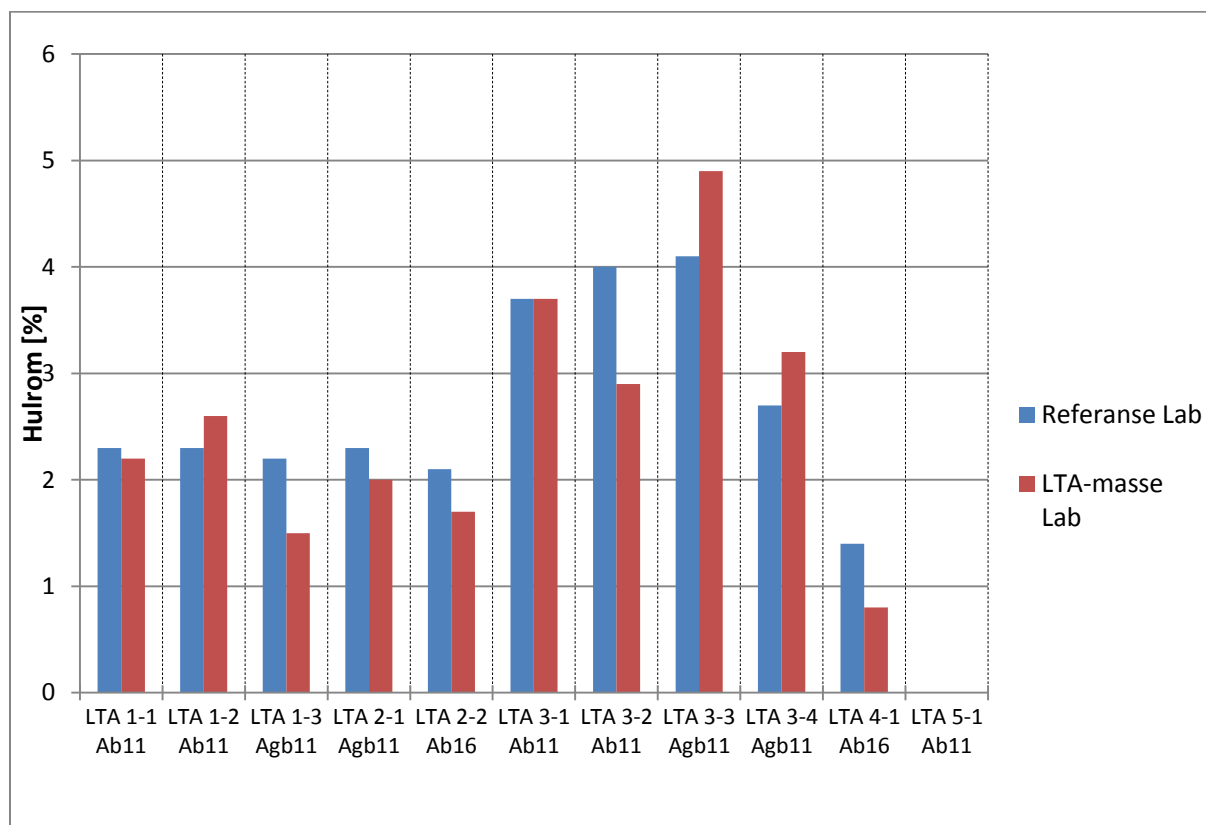
Tabell 3 Gjennomsnittlig hulrom og antall tilfeller der en variant er høyere enn den andre

	Laboriestede prøver		Borkjerner fra felt	
	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-dekke
Gjennomsnittlig hulrom [%]	2.7	2.6	3.6	3.3
Antall høyest hulrom *)	6	3	7	4

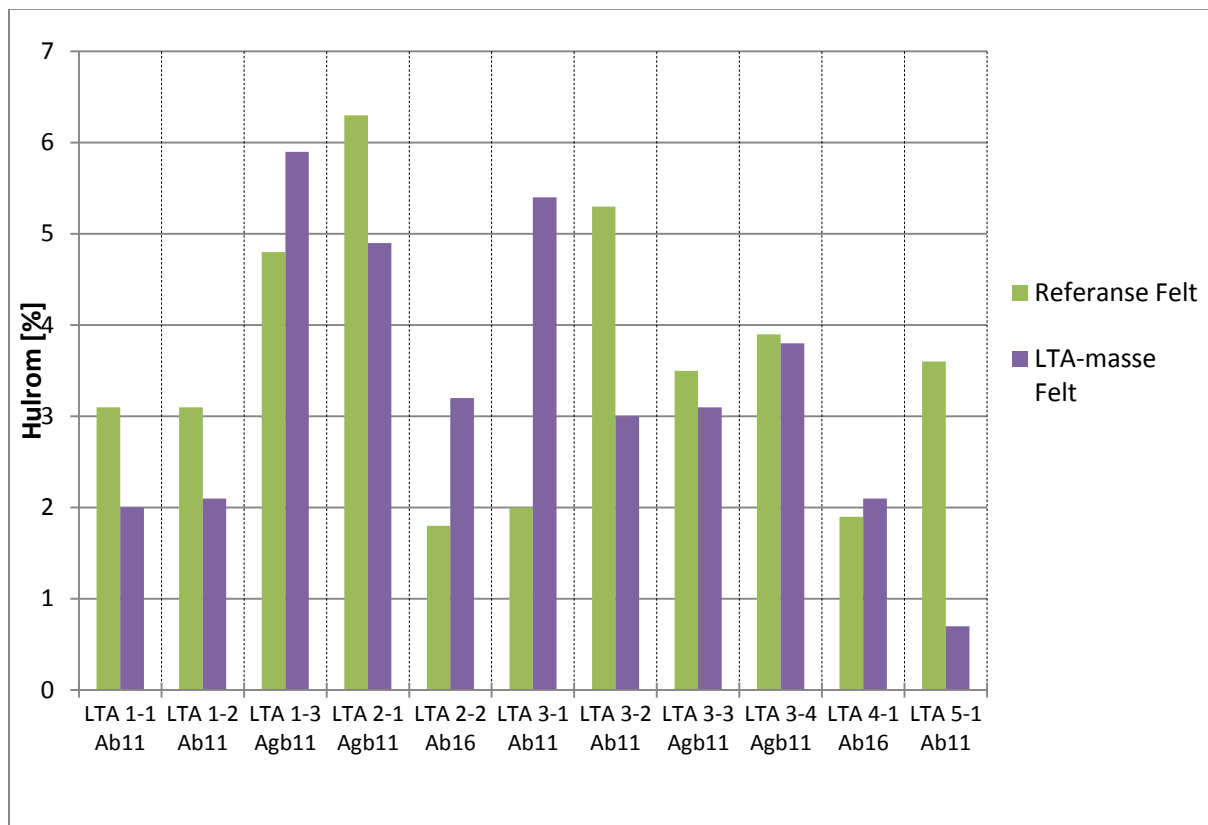
*) Summen av antallet med høyest hulrom for laboriestede prøver blir ikke 11 pga. en manglende verdi og ett tilfelle av sammenfallende verdi

Figur 3 og Figur 4 viser enkeltresultater for hulrom bestemt på henholdsvis Marshallklosser stampet i laboriet og borkjerner fra feltforsøkene.

I Statens vegvesens håndbok 018, Vegbygging (Statens vegvesen, 2011), er kravet til hulrom for laboriestede prøver for Ab11 mellom 2,0 og 5,5 % (2,5 til 5,5 % for ÅDT >5000) og for Agb 11 mellom 2,0 og 6,0 %. For borkjerner fra vei er kravet mellom 2 og 5 % for begge massetyper. En del laborieprøver er blitt for tette, dvs under 2,0 %. Prøvene fra felt er ikke fullt så tette, men til gjengjeld har noen blitt for åpne. For forsøkets del har det lite å si da det er jevnt fordelt mellom referanse og LTA-masse.



Figur 3 Hulrom i laboriestede prøver



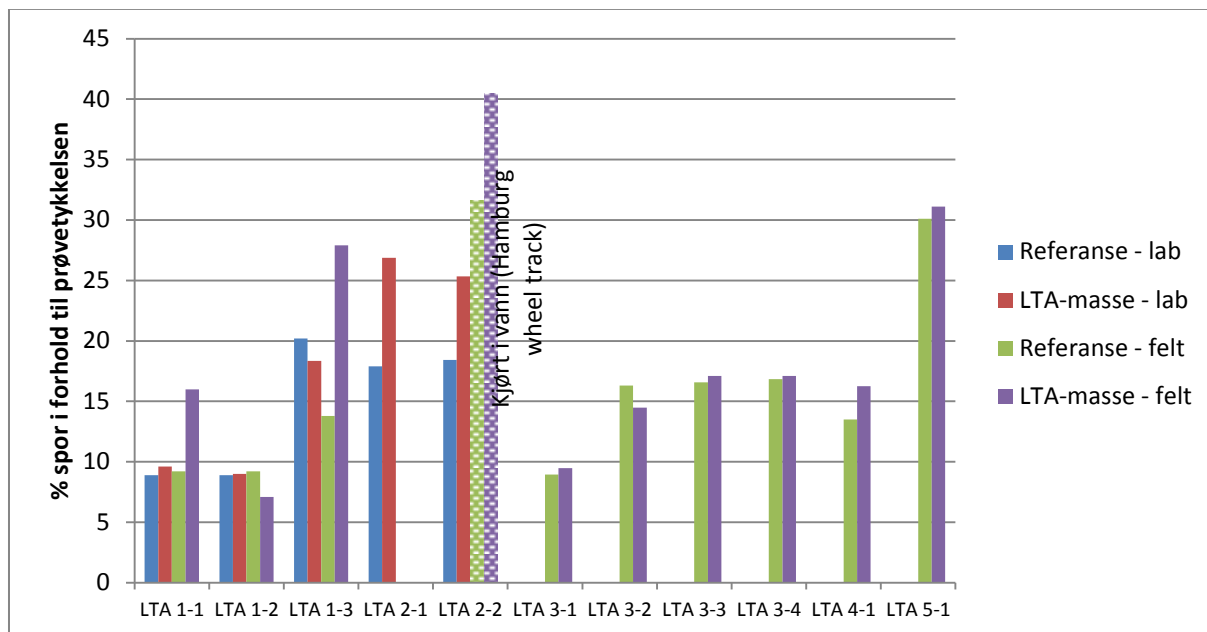
Figur 4 Hulrom i prøver fra felt

4.3 Wheel track

Figur 5 nedenfor viser resultatene fra wheel track-kjøringen i form av % spor i forhold til prøvetykkelsen etter 10 000 sykler (20 000 passeringer). De røde og blå seriene er resultater for prøver tillaget i laboratoriet og de grønne og fiolette er for borkjerner med diameter 200 mm tatt ut på veien. Prøve 2-2 fra felt er kjørt vått i Hamburg wheel track pga. problemer med å bygge prøvene inn i wheel track for tørr prøving.

Sammenligner man resultatene med foreslåtte krav til prøver fra vei i Håndbok 018 så er det bare LTA-dekket i LTA1-2 og laboratorietillaget prøve for referansen i LTA 2-1 som ligger innenfor. Fire strekninger har så lav ÅDT at det ikke er foreslått krav til deformasjonsmotstand målt med wheel track.

Bortsett fra dekkeprøvene fra LTA1-1, LTA1-3 og både laboratorie- og dekkeprøvene for begge LTA 2-massene er resultatene for referansene og LTA-massene å regne som like. Faktorer som kan spille inn er økt variasjon i resultater for utborede prøver samt at LTA 2-2 inneholder 30 % gjenbruk mens referansen inneholder 10 %. For LTA 2-1 og 2-2 var det også en del problemer i forbindelse med wheel track testingen, bl.a. måtte LTA 2-1 for borkjerner fra ferdig dekke avbrytes fordi 20 mm spor ble nådd før 10 000 sykler. Det gjaldt både referanse- og LTA-dekke.



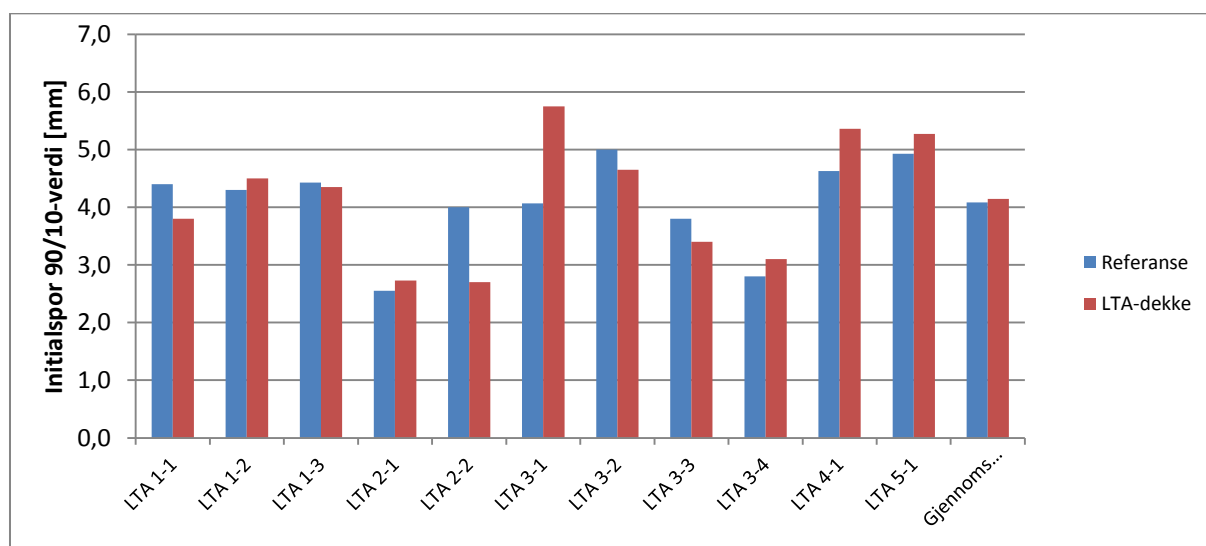
Figur 5 Wheel track resultater: Laboratorietillagde prøver og prøver fra felt

4.4 Initialspor/-jevnhhet

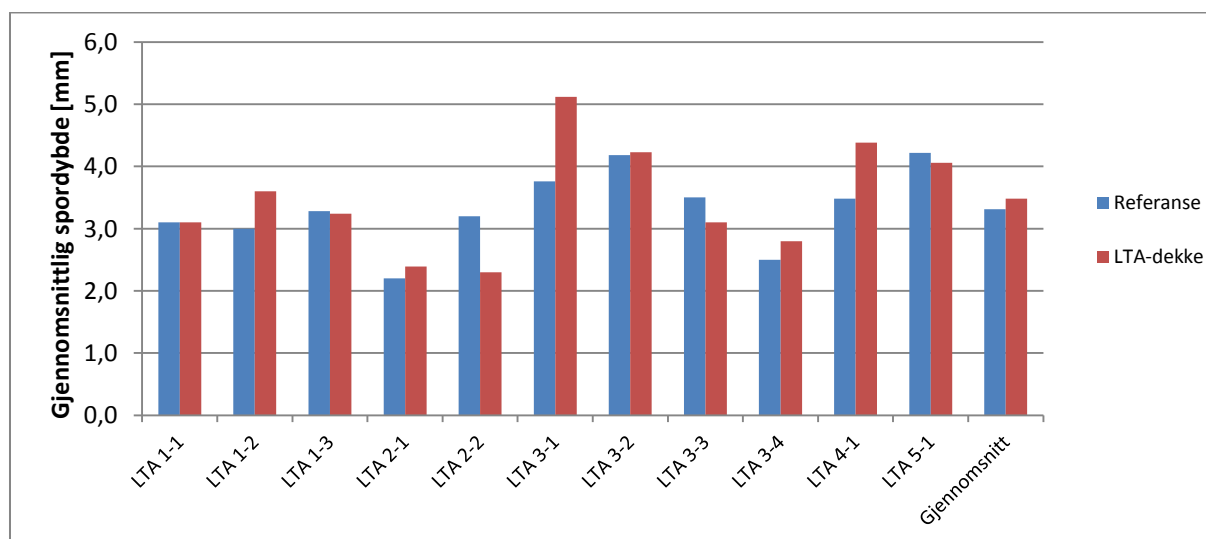
Tabell 4 viser gjennomsnittlig 90/10-verdi og gjennomsnittsverdi for initialspor og -jevnhhet for referanse- og LTA-dekkene. Figur 6 og Figur 7 viser enkeltresultater for initialspor presentert som henholdsvis 90/10-verdi og gjennomsnittlig spordybde. En ser av figurene at det er 1 mm forskjell i initialspor mellom referansen for LTA 3-3 og 3-4 som er identiske masser, så er det ingen signifikant forskjell i resultatene. Generelt ligger mange av dekkene opp mot tillatt grense på 5 mm for 90/10-verdi og noen tippet over.

Tabell 4 Initialspor og initialjevnhhet (på langs)

	Initialspor [mm]				Initialjevnhhet [IRI]			
	90/10		Gj.snitt		90/10		Gj.snitt	
	Referanse	LTA-dekke	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse
Gjennomsnittlig verdi	4,1	4,1	3,3	3,5	1,9	1,9	1,2	1,2
Antall høyest	5	6	4	6	5	5	2	5

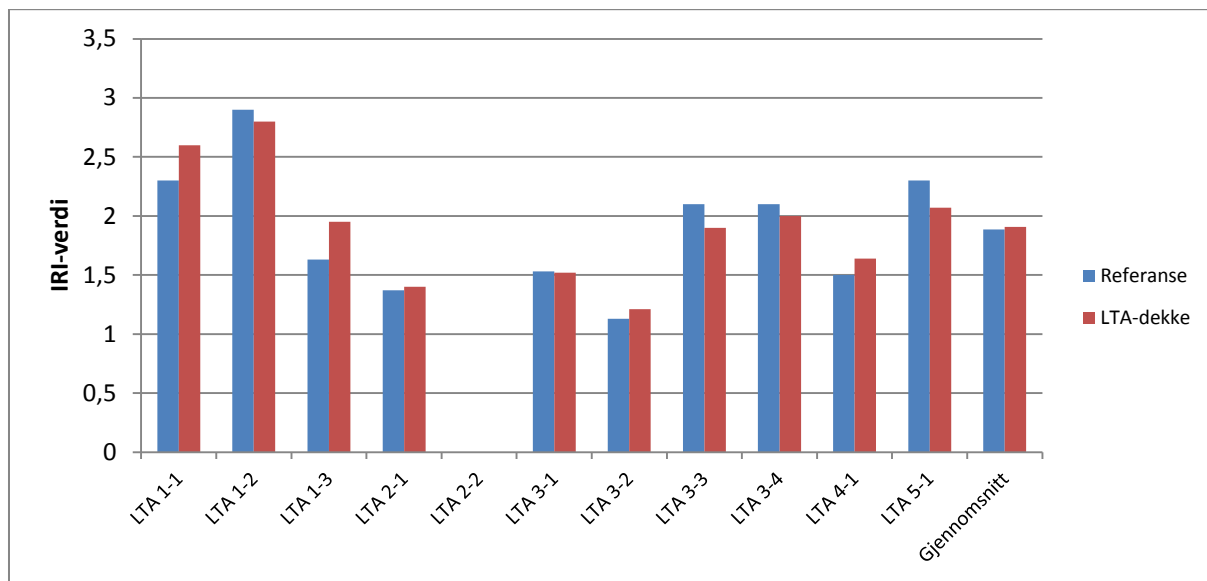


Figur 6 Initialspor, 90/10-verdi [mm]



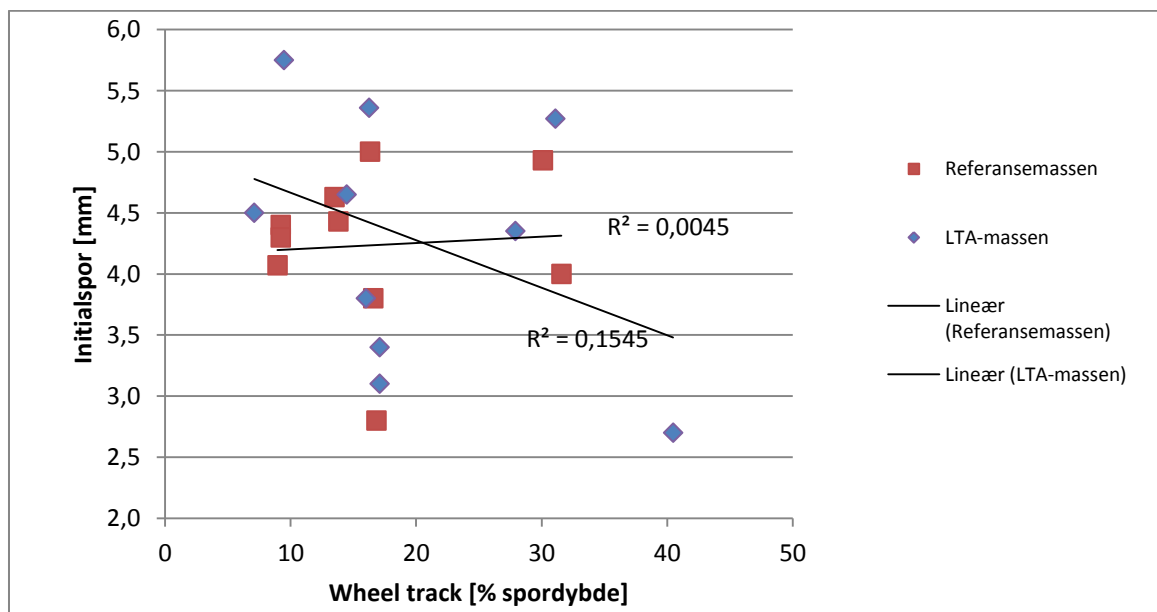
Figur 7 Initialspor gjennomsnitt [mm]

Figur 8 viser enkeltresultater for initialjevnhet på langs (IRI). LTA 1-1 og 1-2 ligger over IRI 2,0 som ville vært kravet dersom det var på en riksvei med tilsvarende ÅDT, men veien er kommunal og med fartshumper som det bare delvis er korrigert for.



Figur 8 Initialjevnhet på langs, IRI 90/10-verdi

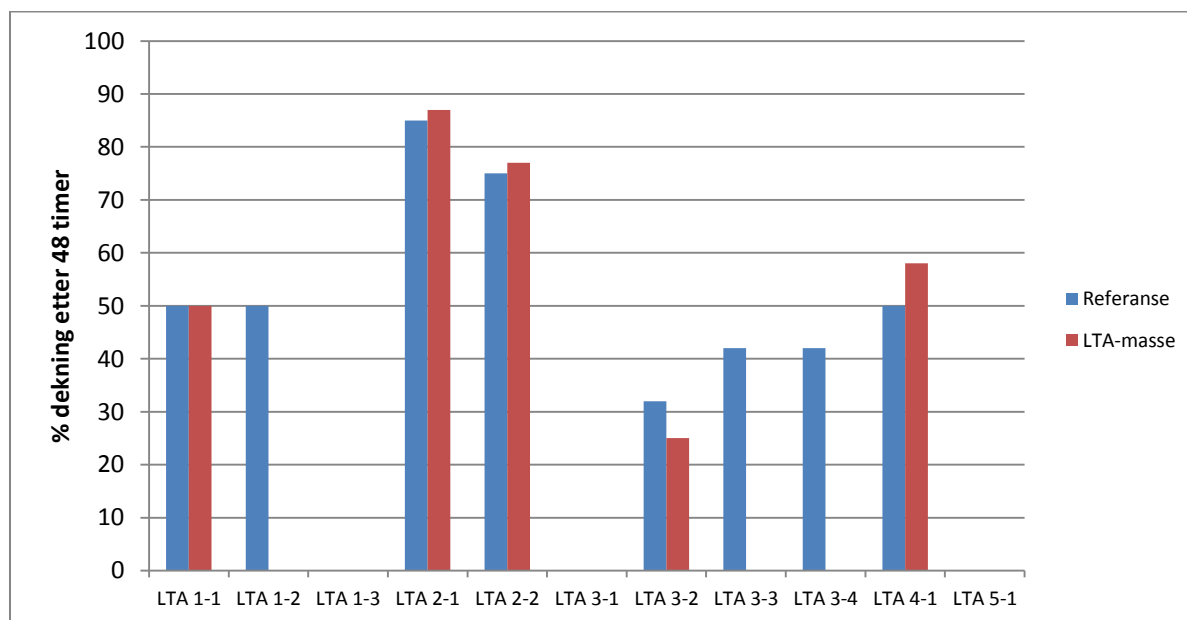
Figur 9 viser initialspor plottet mot wheel track resultater. Det er ikke noen signifikant sammenheng, og det virker sannsynlig siden wheel track skal måle egenskaper ved massen under noenlunde definerte forhold, mens initialspor avhenger av mange faktorer i forbindelse med legging og tiden som går før trafikk settes på.



Figur 9 Wheel track-verdier plottet mot initialspor

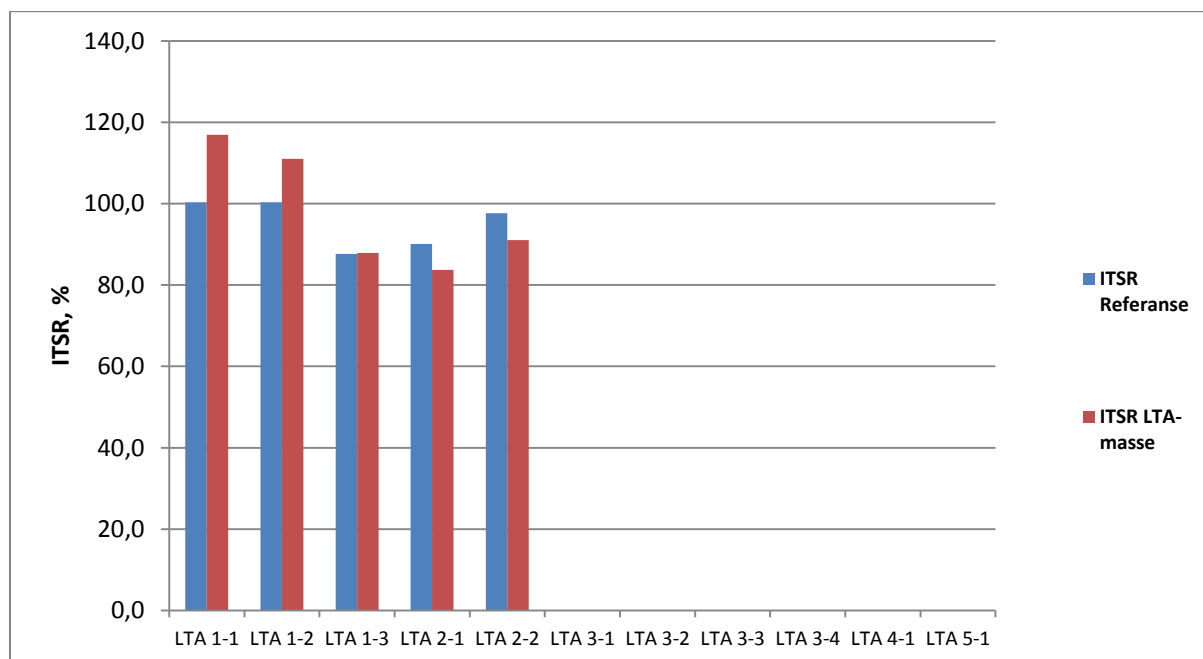
4.5 Vedheftsanalyser

Figur 10 viser resultatene etter testing av vedheft med rulleflaskemetoden. Det er ingen signifikant forskjell mellom referanse og LTA-masse. Prøve LTA 3-2 er helt nede på grensen på 25 % dekning etter 48 timer. Det er benyttet samme resept i referansemassene i henholdsvis LTA 1-1 og 1-2 og LTA 3-3 og 3-4, og det er derfor samme rulleflaskeresultat som er rapportert i figuren for hver av dem.



Figur 10 Resultater rulleflaske etter 48 timer

Det er også testet vedheft på laborietillagede prøver ved å se på forholdet i indirekte strekkstyrke (ITSR) på prøver som er kondisjonert hhv tørt og vått. Figur 11 viser resultatene. Ingen av massene viste signifikant forskjell i ITSR mellom referanse og LTA. Alle ligger innenfor krav i Håndbok 018 på minimum 70 %.



Figur 11 Vedheftstesting med indirekte strekkstyrke, ITSR

4.6 Bindemiddelanalyser

Det er tatt ut bindemiddelprøver ved fabrikk og sendt til Nynas for analyse av bindemiddelegenskaper som angitt i Tabell 5. Før oversendelse tilsatte entreprenøren aktuelt amin og/eller LTA-tilsetning til bindemiddelet. Bitumen fra skumteknikker med mer enn ett bitumen baseres på ekstrahert prøve. En oversikt over resultater er gitt i vedlegg 2.

Tabell 5 Utførte bindemiddelanalyser

	Original	e/RTFOT
Penetrasjon 25 °C, 0,1 mm	X	X
Mykningspunkt, °C	X	X
Fraass bruddpunkt, °C	X	X
Vekttap %		X
Flammepunkt CoC, °C	X	X

5 Reduksjon i utslipp fra produksjon

Reduksjon i utslipp fra fabrikk er ikke vurdert i forbindelse med LTA2011-prosjektet.

På oppdrag fra Veidekke Industri har Veritas i august 2002 målt endringen i forbruket av fyringsolje og utslippet av støv, CO₂, CO og NO_x i avgassene i skorsteinen på et trommelblandeverk ved produksjon av Agb 11 med henholdsvis konvensjonell blandeteknikk og WAM-teknikk med en temperaturreduksjon på ca 40 °C. Begge massene inneholdt 15 % gjenbruk. Støvutslippene ble redusert med ca. 50 %, og de andre måleresultatene er gitt i Tabell 6 (Larsen et al., 2004).

Tabell 6 Forbruk av fyringsolje og utslipp av CO₂, CO og NO_x fra et trommelverk ved produksjon av Agb 11 med konvensjonell teknikk og WAM-teknikk

Asfalttype	Dieselforbruk [liter/tonn masse]	CO ₂ [kg/time]	CO [kg/time]	NO _x [kg/time]
Agb 11	ca. 4,5	2888	49	1,5
Wagb 11	ca. 2,7	1980	35	0,3
Reduksjon	40 %	31,5 %	28,5 %	61,5 %

6 Konklusjon

I forbindelse med forsøkene i LTA 2011 er det produsert og lagt ut lavtemperaturasfalt med ca 30 °C reduksjon som oppnår samme hulrom og har samme sammensetning som referansemassen.

Deformasjonsmotstanden målt i form av wheel track verdi og initialspor viser stort sett ingen forskjell på LTA-dekkene og referansedekkene. Noen dekker har tendens til høyere wheel track-verdier for LTA-dekker enn for tilhørende referanse, men initialspor for de tilsvarende LTA-dekkene er blant de laveste. Wheel track-verdi og initialspor viser for øvrig ingen korrelasjon, og det virker sannsynlig siden wheel track skal måle egenskaper ved massen under noenlunde definerte forhold, mens initialspor avhenger av mange faktorer i forbindelse med legging og tid før trafikk settes på.

Initialjevnhhet på langs (IRI) kan være et mål på bearbeidbarheten av massen. LTA-massen var lik med referansen og det virker derfor ikke som om det er forskjeller i leggbarhet som vil gi problemer ved maskinutlegging.

Ingen av vedheftsanalysene gir indikasjoner på at lavere produksjonstemperatur og eventuell restfukt har ført til dårligere vedheft for LTA-masser så lenge vedheftningsmidler tilsettes.

Ved hjelp av LTA-teknologi er det produsert og lagt ut 11 forsøksstrekninger med asfalt med ca. 30 °C lavere produksjonstemperatur enn konvensjonell asfalt. LTA-asfalten har samme sammensetning som referansen som ble produsert som tradisjonell varmasfalt og lagt i motgående kjørebane i forhold til LTA-dekket. Oppfølgingen har vist at den kontrollerte senkningen av temperaturen ikke har vært til hinder for å oppnå lik kvalitet på LTA-dekke og referanse. Det er derfor grunn til å anta at de vil ha lik levetid.

Statens vegvesen vil følge opp utviklingen over tid gjennom etatsprogrammet Varige veger samt ordinær dekketilstandsregistrering.

Referanser

EAPA. (2005, June). *Low Temperature Asphalt*. Bryssel: European Asphalt Pavement Association.

Larsen et al., O. R. (2004). WAM FOAM ASPHALT PRODUCTION AT LOWER OPERATING TEMPERATURES AS AN ENVIRONMENTAL FRIENDLY ALTERNATIVE TO HMA. *Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004*.

Lundqvist, L. (2011). NCC Green Asphalt. *FAVs LTA-seminar 17. november 2011*. Oslo.

PEAB. (2010). *SBUF Rapport 12127 Lågtempererad Varmasfalt - LTA*. Malmö: SBUF.

Statens vegvesen. (2011). *Håndbok 018, Vegbygging*. Oslo: Vegdirektoratet.

Telle, R. (2011). *Rapport fra Studietur til Missouri, inkludert deltakelse på "2nd International Warm-Mix Conference" i St.Louis*. Statens vegvesens etatsprogram "Varige veger".

Vedlegg

- 1 Utenlandske erfaringer/praksis
- 2 Stedfesting av forsøksstrekninger
- 3 Bindemiddelresultater
- 4 Temperaturmålinger
- 5 Initialspor og -jevnheter

Vedlegg 1 Utenlandske erfaringer/praksis

USA

Det er innen prosjektet gjennomført en studietur til USA og det følgende er en oppsummering av erfaringene der (Telle, 2011).

- Produksjonen i USA av LTA-asfalt (WMA Warm Mix Asphalt) lå i 2010 på 47,6 millioner tonn, dvs 13,2 % av den totale asfaltproduksjonen. Det var en økning på 7,8 % fra året før. Det har skjedd en gradvis overgang fra tilsetningsstoffer til skumming, som nå utgjør over 80 % av lavtemperaturasfalt-produksjon.
- For mange tilsetningsstoff er det smøreegenskaper (lubrication) og ikke viskositetsendring som gir bearbeidbarhet ved lavere temperatur.
- Samme bindemiddelstivhet benyttes for lavtemperaturasfalt som for varmasfalt.
- Volumetrisk proporsjonering er tilnærmet den samme som for varmasfalt, med noe større fokus på vannfølsomhet.
- Kompakterbarheten er bedre for lavtemperaturasfalt.
- Utmattingsegenskaper er like.
- Vannfølsomheten er større for lavtemperaturasfalt målt i laboratorietester.
- Motstand mot deformasjon er noen ganger bedre, noen ganger lik og noen ganger dårligere.
- Det er ofte vanskelig å gjenskape skummingprosessen i laboratoriet.

Sverige

Oppsummering av innlegg holdt av Lorentz Lundqvist, NCC Roads AB, på FAVs LTA-seminar 17/11-2011 (Lundqvist, 2011):

- I Sverige defineres LTA som asfalt produsert over 120 °C for å skille det fra mykasfalt og sikre helt tørket steinmateriale. Kvalitetskrav er for øvrig de samme som for ordinær varmasfalt.
- NCC har gjennomført et større motorveisprosjekt med LTA på ny E4 Enånger-Hudiksvall:
 - Strekningen er 24,5 km med fire kjørebaneler
 - skiltet hastighet 110 km/t
 - ÅDT 15 000
 - 65 % pigger
 - 23 % tunge kjøretøy (>3,5 tonn)
- Til sammen har det gått med 124 000 tonn LTA-masse og 17 000 tonn ordinær asfalt. 36 000 tonn var slitelagsmasser. Det er benyttet 5, 20 og 30 % gjenbruk i henholdsvis slite- bind- og bærelag.

PEAB har med støtte fra SBUF og Vägverket gjennomført laboratorie- og feltforsøk med LTA-masser basert på tilsetningsstoffer (PEAB, 2010). De undersøkte tilsetningsstoffene var Rediset WMX, Cecabase RT, Sasobit og Aspha-min («syntetisk zeolitt» som avgir krystallvann som danner skum med smørende effekt).

Konklusjonen er at tilsetningsstoffene gjør det mulig å produsere og legge ut masser som oppfyller kravene til ferdig dekke ved 30 °C temperatur.

Vedlegg 2 Stedfesting av forsøksstrekninger

Entreprenør	LTA-strekning	Ref/Felt	LTA/Felt	Fylke (kommune)/Veg	HP/km fra	HP/km til	Skiltet hastighet/ÅDT
Veidekke	LTA 1-1	Ab11 / F1	Rediset / F2	Ski/KV7040/Skoglia	01/0,000	01/0,767	50/5700
Veidekke	LTA 1-2	Ab11 / F1	WAM/WAb11 / F2	Ski/KV7040/Skoglia	01/0,767	01/1,490	50/5700
Veidekke	LTA 1-3	Agb11 / F2	Agb11 WAM / F1	S-Trøndelag/EV39/Vinjeøra	05/5,500	05/6,690	80/743
NCC	LTA 2-1	Agb11 / F1 8% gjenbruk	Agb11 GA / F2 8% gjenbruk	Møre og Romsdal/FV658/Ålesund	04/0,155	04/1,006	80/1700
NCC	LTA 2-2	Ab16 / F1 10% gjenbruk	Ab16 GA / F2 30% gjenbruk	V-Agder/RV9/Høie - Stemmen	04/1,371 R 04/1,371 L	04/2,326 04/2,343	70/3482
Lemminkäinen	LTA 3-1	Ab11 / F2	Ab11 Cecabase 70/100 / F1	Vestfold/FV310/Horten	01/0,965	01/1,900	80/8984
Lemminkäinen	LTA 3-2	Ab11 / F1	Ab11 Cecabase 160/220 / F2	Vestfold/FV310/Horten	01/2,768	01/3,631	80/9000
Lemminkäinen	LTA 3-3	Agb11 / F1	Agb11 LMK skum / F2	Telemark/FV44/Valebøv.	03/8,553	03/9,800	80/650
Lemminkäinen	LTA 3-4	Agb11 / F1	Agb 11 LMK skum / F2	Telemark/FV44/Valebøv.	03/1,576	03/3,398	80/650
Nordasfalt	LTA 4-1	Ab16/F2	Ab16 Cecabase / F1	Nordland/RV80/Mjønes Øst	03/12,975 L 03/13,025 R	03/12,164 03/12,164	80/3300
Oslo Vei	LTA 5-1	Ab11 70/100 / F1 m/forvarmet gjenbruk	Ab11 160/220 Sasobit /F2 m/forvarmet gjenbruk	Akershus/FV115/Løken i Høland	02/0,717 L 02/0,670 R	02/1,752 02/1,711	60/4500

Vedlegg 3 Bindemiddelresultater

		Prøve / Resultat										Krav	
Analyse	Enhet	LTA-ref. Metode	LTA 1-1 R & 1-2R VI	LTA 1-1L VI	LTA 1-1L VI	LTA 1-1L VI	LTA 1-2L VI	LTA 1-3L VI*)	LTA 1-3R VI	LTA 2-1	LTA 2-2	70/100	160/220
Penetrasjon 25 °C	mm/10	EN 1426	80	74	74	73	69	87		166	90	70-100	160-220
Mykningspunkt	°C	EN 1427	46.8	49.0	48.8	49.8	49.2	45.4		39	45.8	43-51	35-43
Fraass bruddpunkt	°C	EN 12593	-13	-15	-16	-16	-17	-15		-22	-17	maks -10	maks -15
Flammepunkt, C oc	°C	EN-ISO 2592	354	334	338	338	310	254				min 230	min 220
Resultat e/ RTFOT 163 °C		EN 12607-1											
Masseendring	%		0.09	0.01	0.01	0.01	-0.28	-0.43		-0.07	-0.01	maks 0,8	maks 1,0
Penetrasjon 25 °C	mm/10	EN 1426	51	46	49	49	47	55		104	60		
Mykningspunkt	°C	EN 1427	51.2	53.4	52.6	53.8	54	49.2		44	49.8		
Økning i mykningspunkt	°C	EN 1427	4.4	4.4	3.8	4.0	4.8	3.8		5.0	4.0	maks 9	maks 11
Fraass bruddpunkt	°C	EN 12593	-13	-16	-15	-15	-15	-16		-23	-16		
Flammepunkt, COC	°C	EN-ISO 2592	348.0	340	338.0	334.0	314.0	342.0					
Amintilsetning													

*) Gjenvunnet bindemiddel.

Vedlegg 3 Bindemiddelresultater

		Prøve / Resultat										Krav	
		LTA-ref.	LTA 3-1 LMK	LTA 3-1 LMK	LTA 3-2 LMK	LTA 3-2 LMK	LTA 3-3 LMK	LTA 4-1 NA	LTA 4-1 NA	LTA 5-1 OV	LTA 5-1 OV	70/100	160/220
Analyse	Enhet	Metode	70/100	70/100 Cecabas e	160/220	160/220 Cecabas e	160/220	70/100	70/100 Cecabas e	70/100	160/220 Sasobit	70/100	160/220
Penetrasjon 25 °C	mm/10	EN 1426	90	88	176	182	167	86	91	73	43	70-100	160-220
Mykningspunkt	°C	EN 1427	45	45.0	38.4	38.2	38.6	45.2	44.6	53.4	82	43-51	35-43
Fraass bruddpunkt	°C	EN 12593	-19	-19	-23	-26	-21	-19	-19	-19	-12	maks -10	maks -15
Flammepunkt, Coc	°C	EN-ISO 2592	324?	318	228	292	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt	ikke målt	min 230	min 220
Resultat e/ RTFOT 163 °C		EN 12607-1											
Masseendring	%		-0.12	-0.01	-0.11	-0.04	-0.2			0.07	0.12	maks 0,8	maks 1,0
Penetrasjon 25 °C	mm/10	EN 1426	55	51	106	112	103	56	60	44	29		
Mykningspunkt	°C	EN 1427	50.2	50	44.8	43.2	43.6	50.4	49.8	57.4	84.0		
Økning i mykningspunkt	°C	EN 1427	5.2	5.0	6.4	5.0	5.0	5.2	5.2	4.0	2.0	maks 9	maks 11
Fraass bruddpunkt	°C	EN 12593	-17	-15	-23	-23	-20	-18	-17	-18	-12		
Flammepunkt, Coc	°C		302.0	322			342.0	350	324.0	288.0	320.0		
Amintilsetning			0,3 % AD- Here Lof x-light	0,5 % Cecabase RT	0,3% AD- here Lof x-light	0,5? % Cecabase RT 975	Ja	0,4 % Cecabase 200 P	0,5 % Cecabase RT 975				

Vedlegg 4 Temperaturmålinger

	LTA 1-1		LTA 1-2		LTA1-3		LTA 2-1		LTA2-2	
	Veidekke Ski Rediset Ab11		Veidekke Ski WAM Ab11		Veidekke S-Tr.lag WAM Agb 11		NCC Ålesund Green Asphalt Agb 11		NCC Rugsland Green Asphalt Ab16	
Produksjonstemperatur	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse
Temperaturspenn aktuelt bindemiddel i HB018	140 - 180		140 - 180		130 - 170		130 - 170		140 - 180	
Tilsiktet produksjonstemperatur	165	135	165	120	160	115	160	130	160 resept	130 resept
Gjennomsnittlig produksjonstemperatur	157	130	162	121			160	130		
Maks produksjonstemperatur	164	149	171	137	170	130	162	133		
Minimum produksjonstemperatur	137	121	152	112	130	100	155	128		
Leggetemperatur										
Massetemp utlegger målt og oppgitt av produsent					148	112	ca 150	ca 120	150-170	110-140
STAMI IR-måling snitt	161	131		128	150	112	147	127	164	125
STAMI IR-måling median	161	128		128	150	110	148	128	167	124
STAMI IR-måling minimum	157	121		115	145	101	140	122	140	104
STAMI IR-måling maks	166	151		140	153	129	152	131	176	143
Dekketemp avsluttet valsing					ca 50	ca 50			40-50	40-50
Dekketemp trafikk settes på					15-20	15-20			20-30	20-30
Uleggingsparametre										
Leggehastighet							5	5	3,3	3,3
Antall overfarter med vals	6	6	6	6	2 (1 vanlig 1 vibro)	2 (2 vibro)	5-7	5-7	6	8
Slippmiddel	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	GreenRoad		Bio 3010 HF	

Vedlegg 4 Temperaturmålinger

	LTA3-1		LTA3-2		LTA3-3		LTA3-4		LTA 4-1		LTA5-1	
	LMK Vestfold Cecabase RT Ab11 70/100		LMK Vestfold Cecabase RT Ab 11 160/220		LMK Telemark LMK Foam Agb11 DG		LMK Telemark LMK Foam Agb11 DG		Nordasfalt Cecabase RT Ab16		Oslo Vei Sasobit Ab 11	
Produksjonstemperatur	Referanse	LTA- masse	Referanse	LTA- masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse	Referanse	LTA-masse
Temperaturspenn aktuelt bindemiddel i HB018	140 - 180		140 - 180		130 - 170		130 - 170		140 - 180		140 - 180	
Tilsiktet produksjonstemperatur	160	135	150	125	160	130	160	130	160	135		
Gjennomsnittlig produksjonstemperatur									163	136		
Maks produksjonstemperatur	162	129	164	133	163	138	173	135	168	140		
Min produksjonstemperatur	160	128	160	132	160	132	163	130	158	133		
Leggetemperatur												
Massetemp utlegger målt og oppgitt av produsent	155	129-132	153-164	126-135	148-162	121-135	144-158	122-135	158	133		
STAMI IR-måling snitt	156	131	153	130	154	129	155	128	159	135	146	115
STAMI IR-måling median	156	132	153	129	153	129	157	129	159	134	150	115
STAMI IR-måling minimum	149	121	143	126	145	121	144	122	155	130	120	110
STAMI IR-måling maks	161	136	162	134	162	139	159	135	165	150	160	120
Dekketemp avsluttet valsing									115 Veldig varmt i været. Ventet før påsett trafikk	90-95		
Dekketemp trafikk settes på									65 I underkant	50-60		
Uleggingsparametre												
Leggehastighet	4,5	4,5	4,5	4,5	7,5	7,5	7,5	7,5	4-5	4-5		
Antall overfarer med vals									Vals 1: 4 Vals 2: 2-3			
Slippmiddel	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF	Bio 3010 HF		

Vedlegg 5 Initialspor og -jevnhet

LTA-strekning	Initialspor [mm]				Initial-IRI [mm/m]			
	Referanse		LTA-masse		Referanse		LTA-masse	
	Gjennom-snitt	90/10	Gjennom-snitt	90/10	Gjennom-snitt	90/10	Gjennom-snitt	90/10
LTA 1-1	3,1	4,4	3,1	3,8	1,6	2,3	1,6	2,6
LTA 1-2	3,0	4,3	3,6	4,5	1,8	2,9	1,8	2,8
LTA 1-3	3,3	4,4	3,2	4,4	1,05	1,63	1,33	1,95
LTA 2-1	2,2	2,6	2,4	2,7	0,97	1,37	0,94	1,4
LTA 2-2	3,2	4,0	2,3	2,7	For dårlige værforhold under måling.			
LTA 3-1	3,8	4,1	5,1	5,8	0,92	1,53	0,98	1,52
LTA 3-2	4,2	5,0	4,2	4,7	0,66	1,13	0,74	1,21
LTA 3-3	3,5	3,8	3,1	3,4	1,2	2,1	1,1	1,9
LTA 3-4	2,5	2,8	2,8	3,1	1,4	2,1	1,4	2
LTA 4-1	3,5	4,6	4,4	5,4	1,09	1,5	1,16	1,64
LTA 5-1	4,2	4,9	4,1	5,3	1,19	2,3	1,36	2,07
Gjennom-snitt	3,3	4,1	3,5	4,1	1,2	1,9	1,2	1,9