

RAPPORT FOR DEMONSTRATIONSSTRÆKNINGER  
MED GUMMIMODIFICERET ASFALT MED PRODUKTET  
ROAD+ (GENAN A/S)

# GUMMIMODIFICERET ASFALT

VEJDIREKTORATET,  
RAPPORT 432, 2013



## **GUMMIMODIFICERET ASFALT**

Rapport for demonstrationsstrækninger med gummimodificeret asfalt med produktet ROAD+ (Genan A/S)

**FORFATTER:**

Erik Nielsen

**DATO:**

Maj 2013

**LAYOUT:**

Vejdirektoratet

**FOTOS:**

Vejdirektoratet

**ISBN (NET):**

9788770607360

**COPYRIGHT:**

Vejdirektoratet, 2013

# INDHOLD

<b>SAMMENFATNING</b>	<b>4</b>
Konklusion	4
Uddybende opsummering	4
<b>BAGGRUND FOR PROJEKTET</b>	<b>7</b>
<b>FORSØGS- OG MÅLEPROGRAM</b>	<b>10</b>
<b>RAPPORTERING</b>	<b>11</b>
Bindemiddel data samt modelforsøg med 70/100 med ROAD+	11
Baggrund	11
Identifikation af materialer til prøvning af udgangsbindemidlerne	11
Resultater for bindemidlerne – traditionelle data	12
Resultater for bindemidlerne – rheologi	14
Del-konklusion for bindemidler	15
Modelforsøg med bitumenmørtel – Våndskak-forsøg	15
Asfaltmateriale	16
Kort beskrivelse af de indgående asfaltmaterialer	16
Resultater af arbejdsmiljøorienteret undersøgelse i Colas Danmark A/S	17
Produktions- og udlægningsteknisk vurdering	19
Udtagning af prøvemateriale i relation til udførte prøvninger	20
Resultater af asfaltprøvninger opdelt efter karakteristika	21
Bæreevne – resilient modul og elasticitetsmodul	23
Strukturel holdbarhed – udmattelsesegenskaber	24
Sporkøring – krybning, Wheel Tracking Test og Sporkøringsmaskinen	
RUT	27
Lavtemperateregenskaber – TSRST	29
Feltmålinger på Landevej 411 – friktion, tekstur og støjreducerende egenskaber	30
Registrerede problemer ved materialetekniske prøver	34
Opfølgning på de udførte demonstrationsstrækninger	35
<b>KONKLUSION</b>	<b>36</b>
<b>ANNEX</b>	

# SAMMENFATNING

## KONKLUSION

Den samlede vurdering af demonstrationsstrækningerne og de udførte forsøg i projektet viser, at ROAD+ kan indgå som et muligt modificeringskoncept, hvor asfaltproducenter og entreprenører må udvikle deres dokumentation for den specifikke anvendelse (eksempelvis asfalttype og placering i belægningen (slidlag/binderlag/bærelag).

Projektets konklusioner er:

1. Modificering af SMA 11 med ROAD+ 15 % som bindemiddel giver ikke egenskaber på højde med referencen (SBS modificeret 40/100-75 bitumen).
2. Modificering af SMA 11 med ROAD+ 8 % vil kunne benyttes på steder, hvor anvendelse af polymerer med middel modificeringsniveau menes tilstrækkelig i forhold til trafikken. Der har ikke indgået sammenlignende reference til dette niveau i undersøgelsen, men egenskaberne af ROAD+ 8 % vurderes til at være på højere niveau end almindelig vejbitumen.
3. Der er ikke isoleret set nogen støjreducerende effekt af ROAD+ modificering.
4. Anvendelse af ROAD+ konceptet kan i forhold til Udbuds- og anlægsskrifter for varmblandet asfalt samt bindemiddel og klæbemiddel finde sted som specialbindemiddel med dokumenterede egenskaber.

Projektet har ikke omhandlet eventuelle energi- og CO<sub>2</sub>-mæssige betragtninger ved ROAD+ konceptet, da det har været udenfor formålet med det nærværende projekt.

## UDDYBENDE OPSUMMERING

Der er til vurdering af modificeringskonceptet ROAD+ (bildækgummipulver og Vestenamer®) til asfaltvejbygning i Danmark udført et stort, sammenlignende forsøg med produktet i to koncentrationer, henholdsvis 8 % og 15 % i bitumen 70/100. Som reference er valgt en forudfremstillet SBS-modificeret bitumen af typen 40/100-75, som er sammenlignelig med ROAD+ i den høje koncentration (15 % tilsætning i forhold til bindemidlet eller 0,9 % i forhold til asfalten).

Asfalmaterialet til forsøgene har været en skærvemastiks SMA 11 (ikke støjreducerende udgave) til høj trafikintensitet, som er blevet udlagt juni 2011 på Landevej 411 nær St. Binderup (mellem Viborg og Ålborg) efter et forforsøg tidligere samme måned på rasteplads Himmerland Øst. I forbindelse med de udførte demonstrationsstrækninger er der tilknyttet et større forsøgsprogram med laboratorie- og felt-prøvninger, som er næsten afsluttet oktober 2012.

ROAD+ konceptet, som er udviklet af Genan A/S, kan benyttes efter to principper, som ifølge firmaet er ligeværdige:

- den våde proces, hvor der før asfaltproduktionen laves et modificeret bindemiddel, som derefter tilsættes på vanlig vis
- den tørre proces, hvor komponenterne til ROAD+ tilsættes direkte i asfaltblanderen på asfaltværket til produktion af en modificeret asfalt.

Som udgangspunkt – for at give bedre data-grundlag til projektet – var det ønsket at afprøve ROAD+ efter den våde proces, idet man herved har mulighed for at analysere bindemidlet inden produktion af asfalten. Indledende sonderinger i foråret 2011 viste dog, at proces-udstyret på de danske asfaltværker (udformning af lagertanke og rør-dimensioner) de facto udelukkede, at den våde proces kan anvendes i Danmark uden betydelige investeringer i procesudstyr. Til vurdering af hvilke egenskaber man ville kunne forvente af et bindemiddel, som er modificeret med ROAD+, er der i laboratoriet lavet nogle modelforsøg til demonstration af dette.

Resultaterne af projektet med SMA 11 og det tilknyttede forsøgsprogram kan sammenfattes i følgende punkter:

5. Der har ikke været problemer ved produktion af ROAD+ modificeret skærvemastiks efter den tørre proces, som ligner meget den "in situ" tilsætning, der pt. anvendes af mange danske asfaltfirmaer til

- produktion af polymermodificeret asfalt.
6. Der har ikke i forhold til almindelig asfalt været udlægningstekniske problemer med ROAD+, og i forhold til referencen med SBS-modificeret 40/100-75, er tilbagemeldingerne fra personer involveret i forsøgene, at de ROAD+ modificerede versioner af SMA 11 er nemmere at arbejde med end tilsvarende med 40/100-75 (især manuel håndtering).
  7. Colas Danmark A/S har udført en spørgeskemaundersøgelse blandt de ca. 40 personer, som har været i kontakt med ROAD+ modificeret asfalt (fabrik, tilsyn, chauffører, udlægning, laboratorium).
    - Lugten er vurderet med en skala fra 1 til 10, hvor 1 er "Grimt", 5 er "Neutral" og 10 er "Godt". Opfattelsen er i middel:
      - 4,9 for 40/100-75,
      - 3,8 for ROAD+ 8 % og
      - 3,3 for ROAD+ 15 %.
    - Der er nogle få tilbagemeldinger om svimmelhed, kvalme og hovedpine (som måske kan tilskrives en vis gummilugt fra produktet).
    - Niveauet for gummilugt fra produktet er ikke tilnærmelsesvis på niveau med tidligere afprøvede gummimodificeringer.
  8. "Erstatningsreglen" fra Genan A/S om, at effekten af en given tilsætning af SBS polymer kan opnås ved tilsætning af ROAD+ i 2,5 gange mængden af SBS holder ikke. (Samme basis-bitumen er dog ikke anvendt, da de modificerede bindemidler var tilstræbt så identisk som muligt i forhold til anvendelsen på Landevej 411).
  9. 15 % ROAD+ i 70/100 giver ikke resultater helt på niveau med den benyttede SBS modificerede 40/100-75 bitumen.
  10. De to benyttede ROAD+ modificerede asfalter vurderes til at give markant bedre resultater end standard bitumen.
  11. Bæreevne (Elasticitetsmodul): ROAD+ modificeret skærmastiks giver et stivhedsmodul på samme niveau som referencen. 8 % tilsætning af ROAD+ giver lidt uforklarligt de højeste værdier.
  12. Strukturel holdbarhed (Udmattelsesegenskaber): Udmattelsesforsøgene (efter flere principper) giver ikke helt entydigt billede.
    - Resultatet fra den franske trapezmetode viser, at de to skærmastiks med ROAD+ modificering ligger på samme niveau men klart med mindre udmattelsesstyrke end referencen.
    - Resultatet for Nottingham Asphalt Tester hos Colas Danmark A/S og hos Vejdirektorat viser, at ROAD+ 8 % og referencen er på samme niveau, mens ROAD+ 15 % har en udmattelsesstyrke under dette niveau.
  13. Sporkøring: Der er fundet gode sporkøringsegenskaber ved ROAD+ modificering – både ved laboratorieforsøg ("Hamborg"-metoden), krybningsforsøg og fuldskala-prøvning i sporkøringsmaskinen, RUT – men ikke helt på samme, høje niveau som referencen.
  14. Kuldeegenskaber: ROAD+ modificering har gode kuldeegenskaber ved TSRST-metoden; dog ikke helt på niveau med referencen, men vurderes ud fra litteraturen at have bedre egenskaber end standard bitumen.
  15. Støjreducerende egenskaber: Måling af støjegenskaber efter CPX- og SPB-metoderne viser i initialsituationen og efter ca. 1 år, at der ikke er nogen støjreducerende effekt alene ved anvendelse af ROAD+ modificeret bindemiddel. Bindemidlet kan anvendes til slidlagsbelægninger, hvor overfladedetekstur eller stenskelet giver en støjreducerende effekt.
  16. De udførte demonstrationsstrækninger har ved måling af friktion ikke givet årsag til bemærkninger.
- Supplerende forsøg:
- Modelforsøgene med ROAD+ tilsætning efter den våde proces i laboratoriet viser:
    - Modificering af 70/100 med 15 % ROAD+ har en meget højere viskositet end den SBS-modificerede reference,

selv om bløddhedspunkt kugle og ring er betydeligt lavere.

- Den undersøgte kombination af ROAD+ viser en elastisk tilbagegang ved 10 °C over 50 %, mens målingen ikke kunne udføres forskriftsmæssigt med 15 % tilsætning.
- Duktilitet ved 25 °C viser, at de duktile egenskaber af ROAD+ modificerede bindemidler ikke er gode. Det kan sikkert tilskrives tilstedeværelsen af gummipartikler i bindemidlet, som kan virke som initiatorer for brud.
- Våndskak-forsøg er udført af NCC Roads i Sverige og beskriver holdbarhed af bindemiddelmørtel i kombination med slitage og fugt. Forsøgene viser med forbehold for gummipulverets indflydelse på fremstilling af prøveemnerne:

- Slitage (og kvældning) øges med stigende koncentration af ROAD+ og ligger over referencen.
- Der er en indflydelse på resultatet for ROAD+ fra
  - oprindelsen af den anvendte basis-bitumen og
  - den anvendte skærve.
- Der er en vis variation i hulrummet for de undersøgte kombinationer; dog ikke så stor for skærvetyper Norit, som også er anvendt til demonstrationsstrækningen.

Indflydelse af produktets egenskaber på de nugældende kvalitetskontrolmetoder er også vurderet. Der er konstateret problemer i forhold til følgende metoder i forbindelse med forsøgene:

- Det er ikke muligt på reproducerbar vis at foretage en ekstraktion og genindvinding af ROAD+

modificeret bindemiddel efter en nugældende europæisk standard.

- De opkvældede gummipartikler fra ROAD+ tilsætningen har tendens til at sætte sig i maskerne på de fine sigter og i trådneden i ekstraktorer. Det kan – ud over øget rengøringsbesvær – måske have indflydelse på resultatet af kornstørrelsesbestemmelse af de nederste sigter i sigtesøjlen.
- Korttidshærdningsmetoden RTFOT kan ikke anvendes på ROAD+ modificeret bitumen efter den våde proces, hvis tilsætningen af ROAD+ er 15 %, da bindemidlet er for komplekst.

Visuel bedømmelse af de udførte demonstrationsstrækningerne og de opnåede resultater giver forventninger om en god holdbarhed på vejen.



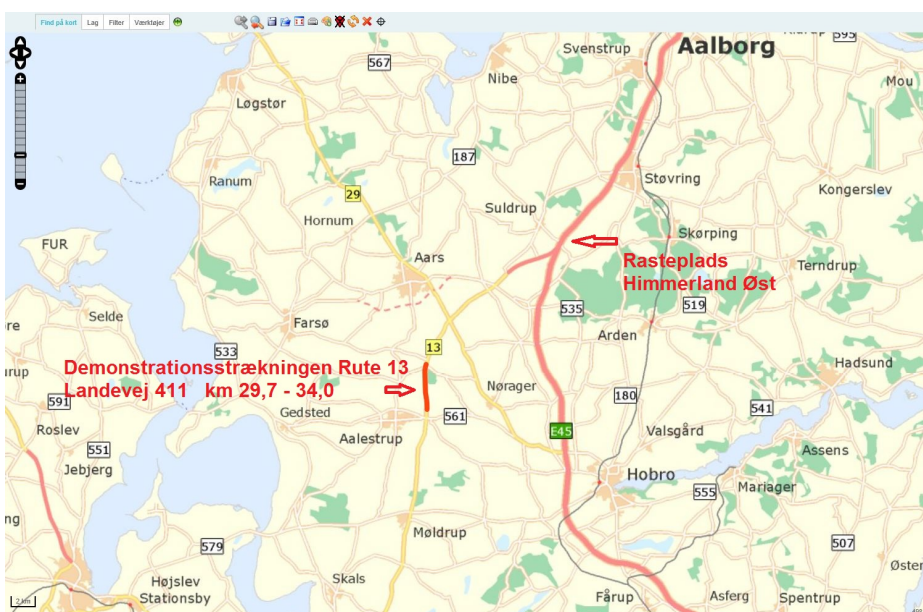
# BAGGRUND FOR PROJEKTET

Modificering af asfalt med gummi-granulat/-mel fra gamle bildæk har været kendt i mange år i forskellige koncepter. I nyere tid (fra ca. 2005) er de "gamle" koncepter blevet revitaliseret gennem kombination med nye additiver og/eller introduktion i forbindelse med andre teknologier som Warm-Mix (muligheden for at producere og udlægge asfalt ved temperaturer lavere end normalt). Det blev bl.a. præsenteret på et ISAP symposium i Zürich, Schweiz i 2008, hvor flere koncepter via additiver til sænkning af produktionstemperaturer muliggjorde anvendelse af bildækgummi, som tidligere skulle produceres ved forholdsvis høje temperaturer.

Firmaet Genan A/S, som er en stor, dansk producent af oparbejdede produkter fremstillet af gamle bildæk, har i 2008 henvendt sig til Vejdirektoratet for at introducere, at et af deres produkter – gummimel 0,2–0,8 mm – indgår i et modificeringskoncept til asfalt ved navn ROAD+. Vejdirektoratet oplyste dengang Genan A/S om den optimale indgang til asfaltbranchen som den primære kunde-

gruppe for firmaet. Vejdirektoratet gav endvidere mulighed for, at NCC Roads A/S kunne afprøve konceptet den 22. september 2009 i en demonstrationsstrækning (et asfaltbindelag) ved Søften ved Århus.

Som følge af nye kontakter i 2010 er der blevet foretaget en faglig vurdering af firmaets dokumentation for produktets egenskaber. Notatet fra december 2010 peger på, at der er enkelte elementer, som kunne være bedre dokumenteret, og foreslår indledningsvis rammerne for en demonstrations-



Figur 1 Placering af demonstrationsstrækninger på Landevej 411 og forsøg på rasteplads Himmerland Øst



Figur 2 Prøveudlægning af SMA med 15 % Road+ på rasteplass Himmerland Øst

og forsøgsstrækning for at tilvejebringe et bedre grundlag for vurdering af bl.a. holdbarhed og støjreducerende egenskaber.

I perioden januar til maj 2011 er der blevet arbejdet med at præcisere det ønskede måleprogram og de ønskede belægningstyper, samt at finde det optimale sted, som vil tilfredsstille de trafikavklingsmæssige og måletekniske krav. Den optimale vejstrækning er blevet fundet i forbindelse med et vedligeholdelsesarbejde på landevej 411 ved St. Binderup (mellem Viborg og Ålborg).

Da der samtidig er ønske om et omfattende materiale-teknisk analyseprogram, som skal udføres hos Vejdirektoratet (Vejteknisk Institut/ Vejteknisk Område) og hos den valgte asfaltentreprenør, Colas Danmark A/S, bliver det meget tidligt i processen besluttet at supplere med et forforsøg på rasteplass Himmerland Øst til

- dels at sikre det optimale udbytte af belægningerne på landevej 411, da indledende erfaring fra rasteplassen kan indarbejdes,

- dels at give mulighed for udtagning af en meget stort antal belægningsprøver, som landevej 411 så vil blive forskånet for bl.a. af hensyn til trafikafvikling.

Hovedformålet ved det praktiske forsøg er at sammenligne egenskaberne af to belægningsmaterialer hvor den eneste forskel så vidt muligt er det anvendte bindemiddel-koncept. Da Road+ som modificering i særlig grad retter sig mod asfalt til stærkt trafikerede eller belastede veje, så besluttes det, at hovedfokus vil være på en relativ vurdering mellem to sammenlignelige bindemiddel-koncepter til dette formål. Referencen bliver en færdig-fremstillet SBS polymermodificeret bitumen med højt bløddedspunkt kugle og ring af typen 40/100-75, som skal holdes op imod en 70/100 bitumen med 15 % tilsætning af ROAD+. Der tilføjes endnu en variant af ROAD+, hvor tilsætningen er reduceret til 8 % ROAD+, da det i følge Genan A/S oplysninger vil modsvare det SBS indhold, som anvendes til polymermodificerede asfaltmaterialer med middel indhold af polymer.

Et af delformålene med projektet er at undersøge i hvilken udstrækning, der kan tænkes at være en støjreducerende effekt, som alene kan tilskrives ROAD+ som bindemiddel, og som ikke "sløres" af en støjreducerende tekstur fra asfalttypen. Derfor vælges skærvemastiks som belægningstype med et mix design, som *ikke* er optimeret for støjreducerende egenskaber, for at variationen mellem de anvendte bindemidler kan træde tydeligere frem.

Støjreferencen i Danmark er pt. en middelværdi over en større gruppe af tætgraderet asfaltbeton med 11 mm maksimal stenstørrelse ca. 8 år efter udlægning. Vejdirektoratet er i færd med at undersøge mulighederne for et skift til en ny dansk referencebelægning i form af skærvemastiks; også med 11 mm maksimal stenstørrelse, da AB 11t ikke benyttes så meget på statsvejnettet, og det derfor vil være svært i fremtiden med samme sikkerhed målemæssigt at verificere denne værdi. Derfor er et sekundært men vigtigt delformål med demonstrationsstrækningerne, at de kan indgå som almindelige SMA-belægninger i denne



population på grund af den store grad af synergi og de velbeskrevne belægninger. Dette indebærer også, at disse belægninger formentlig i andre projekter med relationer til emner som støjreduktion, tekstur og rullemodstand i fremtiden vil kunne tjene som referencpunkt.

De valgte asfalttyper bliver:

- SMA 11 med 40/100-75 SBS – polymermodificeret bitumen (reference)
- SMA 11 med 70/100, hvortil der sættes 8 % ROAD+ (i forhold til bitumenen)
- SMA 11 med 70/100, hvortil der sættes 15 % ROAD+ (i forhold til bitumenen)

ROAD+ kan tilsættes på to måder; kaldet henholdsvis våd og tør proces, som ifølge Genan A/S skulle være ligeværdig. Til forsøgene har Vejdi-

rektoratet klart foretrukket den våde proces, da den vil give bedst mulighed for at måle materialetekniske parametre ved vurdering af produktet før og efter anvendelse. Men de indledende møder mellem teknikere fra Genan A/S og Colas Danmark A/S har opklaret, at anvendelse af den våde proces i Danmark umuliggøres af nogle generelle træk i Danmark for lagertanksudformninger og rørføringer på *alle* de danske asfaltfabrikker – uden betydelige investeringer. ROAD+ modificeret bitumen efter den våde proces kan dog finde sted, hvis det færdigblandede bindemiddel importeres på specielle tankevoagne (med omrøring), og der tilrignes særligt pumpe- og doseringsudstyr, som kan håndtere tilsætningen til mixeren på asfaltværket fra disse tankvoagne.

Den tørre proces, som derfor er anvendt, betyder, at ROAD+ tilsættes

direkte i mixeren på asfaltværket (også kaldet "in-situ"), hvorved en modificeret asfalt fremkommer. Gummimelet bliver kun delvist opløst/opkvældet i bindemidlet. Dette forhold betyder, at en meget væsentlig af forsøgsprogrammet sideordnet bliver, hvordan produktet påvirker de sædvanlige måle- og kontrol-metoder, som ikke alle kan håndtere dette forhold.

Den 6.–8. juni 2011 blev de tre belægninger i forsøget udført på rasteplads Himmerland Øst. På baggrund af erfaringerne herfra blev der foretaget marginale justeringer af recepterne til de to belægninger med tilsætning af ROAD+. Hovedforsøget blev udført i perioden 27.–30. juni 2011 på landevej 411. Alle materialerne til forsøgsbelægninger blev produceret fra Colas' asfaltværk ved Edslev, Århus.

# FORSØGS- OG MÅLEPROGRAM

Hovedelementer i forsøgs- og måleprogrammet er skitseret nedenfor. I denne sammenhæng er det vigtigt at bemærke, at programmet har lagt vægt på den relative vurdering mellem de udlagte belægningsmaterialer, idet forsøgene kunne give måleresultater, hvor de forventede forskelle mellem strækningerne kunne forventes at være i nærheden af målenøjagtigheden på prøvningsmetoderne (holdbarhed: udmattelsesforsøg og støjmålinger: SPB og CPX). Hertil kommer, at materialetekniske analyser i laboratoriet i større eller mindre grad kan påvirkes af materialets specielle egenskaber (herunder især gummipartiklernes indflydelse), som nødvendiggør yderligere tilpasning af metoderne eller specialtolkning.

- Der er på landevej 411 målt friktion og støjegenskaber (SPB-måling er efter ca. 2 måneder og flere CPX-målinger fra 1–60 dage efter udlægning).
- Målinger af eventuelle støjreducerende effekter er ligeledes udført 1 år efter udlægning. CPX- og SPB-målingerne er foretaget og analyseret
- Da der på grund af det nødvendige valg af den tørre proces til ROAD+ modificeringen ikke har været et udgangsbindemiddel at teste, er der hos Vejdirektoratet lavet nogen simulerede blandinger (model-forsøg) af den benyttede bitumen og gummimel/Vestena-mer® efter den våde proces.
- Rasteplads Himmerland Øst (belægningsprøver):
  - Der er udtaget belægningsprøver til sporkøringsforsøg i sporkøringsmaskinen RUT.
  - Der er udtaget borekerner til måling af stivhedsmodul/resilient modul (Nottingham Asphalt Tester). Prøvningserne er foretaget hos Vejdirektoratet. Lignende målinger er udført hos Colas Danmark A/S.
  - Der er udtaget borekerner til krybningsforsøg (Nottingham Asphalt Tester). Prøvningserne er udført hos Vejdirektoratet.
  - Der er udtaget borekerner til udmattelsesforsøg (Nottingham Asphalt Tester). Prøvningserne er udført hos Vejdirektoratet, mens et sideløbende serie af prøvninger hos Colas Danmark A/S stadig pågår.
- Landevej 411 (løst pakket asfalt udtaget under produktionen):
  - Der er foretaget komprimeringsforsøg hos Vejdirektoratet (Marshall og gyrator) dels til bestemmelse af referencedensitet, dels til komprimeringsvillighed.
  - Colas Danmark A/S har fået foretaget udmattelsesforsøg i Frankrig (2-punkts forsøg på trapez-formede prøvelegemer).
- Colas Danmark A/S har fået foretaget lavtemperatur-forsøg i Canada (Temperature Stress Restrained Specimen Test).
- Colas Danmark A/S har udtaget materiale og udført sporkøringsstest (Wheel Tracking Test).
- Kvalitetskontrol i form af genindvindinger fra alle de forekomne belægningsprøver er opgivet, da den eksisterende metode/procedure ikke kan anvendes på reproducerbar vis på ROAD+ modificerede materialer. Derfor indgår der ingen "før og efter" vurderinger af ROAD+ bindemidlerne i projektet.
- Colas Danmark A/S har udført en stor spørgeskemaundersøgelse vedr. indtryk af lugt og andre gener fra berørte medarbejdere under forforsøget og udlægningen af landevej 411.
- NCC Roads A/S har som supplement udført mørtel-forsøg (kombinationer af bindemiddel og stenmel) efter Våndskak-metoden, hvori de anvendte ROAD+ bindemidler indgår i de anvendte blandinger.

# RAPPORTERING

## **BINDEMIDDEL DATA SAMT MODELFORSØG MED 70/100 MED ROAD+**

### **Baggrund**

Som tidligere omtalt har det det ikke været muligt at lave de pågældende forsøgsstrækninger med ROAD+ modificeret bindemiddel efter den våde proces, som ville give initial-værdier for de anvendte bindemidler (det vil sige som modificeret bindemiddel). Det ville have givet de bedste muligheder for at vurdere egenskaber af materialerne og især de ændringer, som kunne forekomme under produktion og udlægning. De herskende lagertanks-udformninger og rørføringer, som er typiske på danske asfaltfabrikker selv til håndtering af polymermodificeret bitumen med højt SBS-indhold forhindrede uden betydelige investeringer at fremstille og opbevare ROAD+ modificeret bindemiddel. De fabriksdesignmæssige forhold forhindrede også indkøb af færdigfremstillet ROAD+ modificeret bindemiddel fra udlandet, selv om man ville acceptere meget lange transportafstande.

Derfor er forsøgsstrækningerne baseret på den tørre proces (in-situ tilsætning i mixeren på asfaltværket), hvorved der er tale om ROAD+ modificeret asfalt og ikke ROAD+ modificeret bindemiddel. Dette forhold har betydning for senere kvalitetskontrol-muligheder af udførte belægningsarbejder.

For dog at få en fornemmelse af hvilke typer af egenskaber, som man kan formode, der kan forekomme i belægnin-

gerne, er der udført nogle modelforsøg med fremstilling af ROAD+ modificeret bindemiddel med de samme udgangsprodukter; det vil sige bitumen og ROAD+ (gummimel og Vestenamer®) til sammenligning med standard bitumenen 70/100 og den anvendte reference-bitumen 40/100-75 (SBS-modificeret).

### **Identifikation af materialer til prøvning af udgangsbindemidlerne**

De benyttede prøver og deres ID nr. fremgår af Rapport for demonstrationsstrækninger med gummimodificeret

asfalt med produktet ROAD+ (Genan A/S)<sup>1</sup>. Prøverne vil ved omtale så vidt muligt blive refereret til deres karakteristika, men i visse sammenhænge kan det være praktisk blot at henvise til deres ID nr, eller eksempelvis som ROAD+ 8% og ROAD+ 15 %, hvis det ikke formodes at give forståelsesmæssige problemer.

SV NR.	BINDEMIDDEL NAVN	TILSTEDEVÆRELSE
SV11272	Gummimel GTR 0,2-0,8 mm	Produktet udgør sammen med Vestenamer® ROAD+ konceptet
SV11273	Vestenamer®	Produktet udgør sammen med Gummimel GTR 0,2-0,8 mm ROAD+ konceptet
SV11274	70/100 (basis bitumen)	Standard-bitumen i henhold til EN 12591, som blandes af lagerbitumener 40/60 og 250/330. Bindemidlet er udgangspunktet for fremstilling af den ROAD+-modificerede asfalt. Bitumenen blandes og leveres af Colas
SV11275	40/100-75 (Colflex 70S)	Reference bitumen i henhold til EN 14023. Leveres af Colas
SV11355	ROAD+ 8 % (lav koncentration)	Fremstilles af Vejdirektoratet i laboratoriet af råvarer (variant A)
SV11356	ROAD+ 15 % (høj koncentration)	Fremstilles af Vejdirektoratet i laboratoriet af råvarer (variant B)

Tabel 1 Data for bindemiddelprøverne (ID nr. og kort karakteristika)

Figur 3 ROAD+ (sort gummimel GTR 0,2–0,8 mm og hvide pellets af Vestenamer®)



#### Modelforsøg

Fremstilling af ROAD+ modificeret bindemiddel med en koncentration på henholdsvis 8 % og 15 % i forhold til det anvendte bindemiddel følger de standardbeskrivelser, som findes i dokumentationsmateriale for konceptet fra Genan A/S. Blandingsforholdet for de i ROAD+ indgående komponenter er

- 100 dele af Gummimel GTR 0,2–0,8 mm (SV11272) til
- 4,5 dele af Vestenamer® (SV11273)

Ca. 1,5 kg 70/100 (kendt mængde, med 0,01 grams afvejning) opvarmes til ca. 180 °C (ikke over 180 °C). De forudberegnede mængder af ROAD+ komponenter tilsættes under omrøring. Når tilsætningen er overstået, og bindemidlet er nogenlunde homogent, holdes blandingen på ca. 170 °C i 2 timer under omrøring, hvorefter bindemidlet neddeles i passende, mindre portioner og afkøles til stuetemperatur. Ved senere brug opvarmes portionerne kortvarigt til 180 °C, omrøres og ophældes til de specifikke prøvninger.

FORKORTEDE BETEGNELSER	ROAD+ 8 %	ROAD+ 15 %
Komponenter	SV11355	SV11356
Gummimel GTR 0,2–0,8 mm (SV11272)	115,47 gram	217,31 gram
Vestenamer® (SV11273)	5,20 gram	9,78 gram
70/100 (SV11274)	1.508,30 gram	1.513,92 gram

Tabel 2 Vægtsammensætning af de laboratoriefremstillede ROAD+ bindemidler

#### Resultater for bindemidlerne – traditionelle data

De forskellige bindemidler er analyseret i henhold til forskellige prøvninger, som fremgår af Tabel 3 Resultater af traditionelle bitumenprøvninger<sup>3</sup> med referencer til de officielle standarder. For standardbitumenen 70/100 er enkelte prøvninger ikke udført, da de enten ikke er relevante for et umodificeret bindemiddel, eller ikke har særlig relevans (hærdningsdata), da det ikke benyttes til asfalt i det nærværende projekt.

Den primære sammenligning i denne del af projektet er mellem værdierne for 70/100 med 15 % ROAD+ (SV11356) og 40/100–75 (SV11275) i Tabel 3 Resultater af traditionelle bitumenprøvninger<sup>3</sup>. Der fremgår – på trods af at blødhedspunktet kugle og ring for SV11356 er lavere end for det SBS modificerede bindemiddel (63,0 °C mod 83,5 °C) – at ROAD+ bindemidlet er meget stivere (penetration og viskositeter).

PRØVNING	REFE- RENCE	ENHED	SV11274 70/100	SV11275 40/100-75	SV11355 ROAD+ 8 %	SV11356 ROAD+15 %
Penetration ved 25 °C	EN 1426	x 0,1 mm	77	64	47	42
Blødhedspunkt kugle & ring	EN 1427 i vand	°C	46,4	-	55,4	63,0
Blødhedspunkt kugle & ring	EN 1427 i glycerin	°C	-	83,5	-	-
Penetrationsindex, $I_p$	EN 12591		-1,1	5,5	-0,1	1,2
Dynamisk viskositet ved 135 °C	EN 13302	mPa s	431	1.920	1.028	3.860
Dynamisk viskositet ved 160 °C	EN 13302	mPa s	146,0	620	283	1.097
Elastisk tilbagegang ved 10 °C	EN 13398	%		84	69	knækket ved 8,8 cm
Duktilitet ved 25 °C	ASTM D-113	cm		73	17	16
RTFOT masseændring	EN 12607-1	%		0,041	0,053	-0,013 §
Penetration ved 25 °C	EN 1426	0,1 mm		47	37	35 §
Blødhedspunkt kugle & ring	EN 1427 i vand	°C		-	63,0	75,6 §
Blødhedspunkt kugle & ring	EN 1427 i glycerin	°C		82,5	-	-
Penetrationsindex, $I_p$	EN 12591	-		4,5	0,9	2,8 §

Tabel 3 Resultater af traditionelle bitumenprøvninger

§ Prøven har været for struktureret til, at den ved RTFOT (EN 12607-1 Rolling Thin Film Oven Test) ved 163 °C gav en kontinuert bindemiddelfilm. Ved denne sammenlignende undersøgelse var det ikke relevant at hæve temperaturen forsøgsvis til 180 °C. De angivne værdier skal derfor ses som tilnærmede værdier.



Figur 4 Opstilling til fremstilling af ROAD+ modificeret bindemiddel efter den våde proces



ROAD+ bindemidlet er også så "komplekst" (struktureret), at kort-tidshærdningsvurderingen efter EN 12607-1 Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT), som skal simulere hærdning under produktion og udlægning af asfalt, ikke kan udføres under de normale betingelser. På trods af, at det 3-dimensionale SBS netværk i den højmodificerede 40/100-75 har denne prøve ikke samme problem. Den europæiske standardisering er bekendt med, at EN 12607-1 RTFOT har problemer med meget komplekse bindemidler, men der er ikke endnu fundet nogen brugbar løsning på dette, selv om metode EN 15323 Rotating Cylinder Ageing Test (RCAT) har været nævnt som en mulighed.

Elastisk tilbagegang, som igennem mange år har været en vigtig parameter i Danmark for vurdering af modificeringsgrad/elastiske egenskaber kan ikke for ROAD+ bindemidlet i 15 % tilsætning bestemmes – formentlig på grund af sit forholdsvis høje indhold af partikulært materiale (opkvældede gummipartikler m.v.). Derimod er det fundet, at kombinationen af den valgte bitumen 70/100 og bindemidlet i 8 % tilsætning af ROAD+ med en værdi på 69 % godt kan klare definitionen på bindemiddel med elastiske egenskaber. Hertil kræves en værdi  $\geq 50$  %.

Med hensyn til duktilitet ved 25 °C er det igen det partikulære indhold (heterogen prøve) der er årsag til, at de to ROAD+ bindemidler (SV11355 og SV11356) knækker så meget før det polymermodificerede (SV11275).

De bindemidler som sammenlignes i Tabel 3 Resultater af traditionelle

bitumenprøvninger<sup>3</sup> med hensyn til ændringer ved produktion og udlægning af asfalt (d.v.s. data efter RTFOT hærdning) er alle modificerede, og derfor kan erfaringer fra standard vejbitumen ikke anvendes her. Det SBS modificerede bindemiddel udviser – som ofte forventet for SBS-holdige bindemidler – et beskedent fald i blødhedspunkt som følge af RTFOT-hærdningen. Vi har beskeden erfaring med bildækgummi-modificeringer, og samtidigt må det erindres, at ROAD+ i 15 % ikke kan udføres korrekt i henhold til forskriften. ROAD+ i 8 % udviser en stigning i blødhedspunkt på 7,6 °C, mens det tilsvarende for ROAD+ i 15 % er "12,6" °C. Dette forhold afspejler måske den reaktive natur af samspillet mellem bindemiddel og bildækgummi.

#### Resultater for bindemidlerne – rheologi

Bitumenprøverne i Tabel 3 Resultater af traditionelle bitumenprøvninger<sup>3</sup> er også målt med Vejdirektoratets Dynamic Shear Rheometer, hvorved avanceret materialeparametre for bindemidlers rheologi kan bestemmes. Det komplekse forskydningsmodul (et mål for "stivheden" af bindemidlet) betegnes sædvanligvis  $G^*$  og er bestemt i to temperatur-intervaller (fra 100 °C ned til 30 °C og fra 55 °C ned til -5 °C) i et målekoncept analogt til EN 14770 DSR. Princippet er i korte træk en vibrationsmåling på en lille bindmiddelskive udført ved forskellige frekvenser og temperaturer. Ved hjælp af noget matematik er de to del-kurver sammenstykket til en master-kurve for hvert bindemiddel, hvor alle målinger er henført til samme temperatur; i dette tilfælde 60 °C. Disse kurver af forskydningsmodul og påvirkningsfrekvens

for prøverne er afbildet i en dobbelt-logaritmisk afbildning i Figur 5.

Tolkningen af kurverne er:

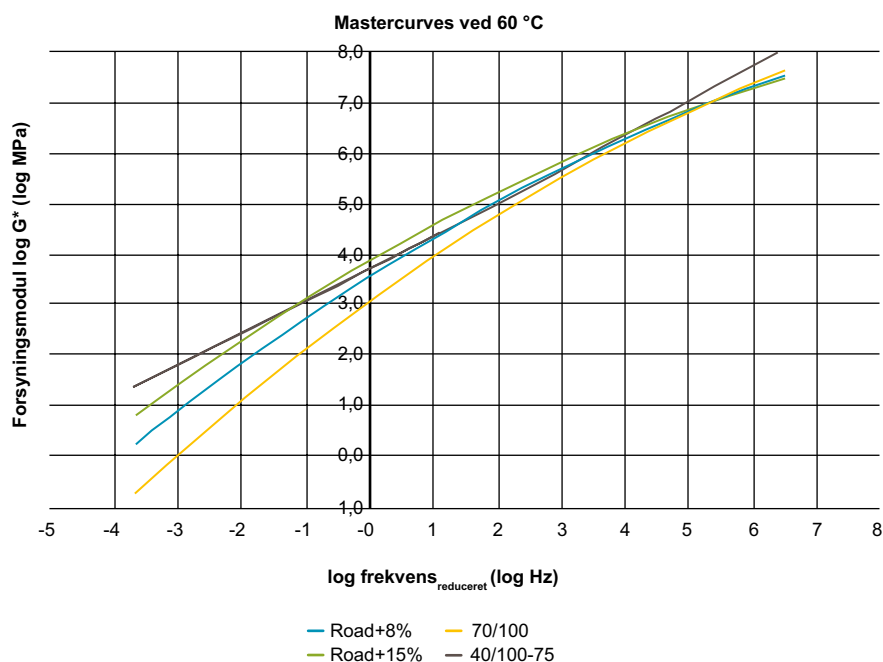
1. Kurverne er optegnet for 60 °C for de angivne påvirkningsfrekvenser.
2. For en fastholdt påvirkningsfrekvens svarer punkter til venstre for samme påvirkningsfrekvens med stigende temperatur og punkter til højre for samme påvirkningsfrekvens med faldende temperatur.
3. Kurven for 70/100 viser en typisk ikke modificeret bitumen.
4. Tilsætning af 8 % ROAD+ udviser et stivere bindemiddel, idet kurven er hævet i forhold til 70/100.
5. Tilsætning af 15 % ROAD+ udviser et endnu stivere bindemiddel, idet denne kurve er hævet i forhold til de to foregående (70/100 og ROAD+ 8 %).
6. Både ROAD+ 8 % og 15 % har krumme kurver, selvom de er "fladere" end den umodificerede 70/100.
7. Det SBS højmodificerede bindemiddel (40/100-75) udviser en næsten lineær kurve, hvilket afspejler at bindemidlet ved både højere og lavere temperaturer end 60 °C udviser elastiske egenskaber.
8. ROAD+ tilsætningen skaber altså et modificeret (stivere) bindemiddel end udgangspunktet, men danner ikke som den høje koncentration af SBS et sammenhængende tredimensionalt netværk. Det harmonerer også med opfattelsen af, at de opkvældede gummipartikler "svømmer" i en fase af let modificeret bindemiddel.
9. I et interval på ca. 5 dekader af frekvens har ROAD+ 15 % et højere *komplekst* forskydningsmodul

end 40/100-75, hvilket maksimalt skønnes til en faktor 2. Denne vurdering er uden hensyntagen til forsøgsunøjagtighed. Faktoren kan dog ikke oversættes direkte til en "praktisk" stivhed, da bindemidlernes fase forskydning mellem kraft og forskydningsspænding også skal medtages, og disse fasevinkler er yderst vanskelige at tolke og sammenligne for de komplekse bindemidler.

#### Del-konklusion for bindemidler

På baggrund af de udførte modelforsøg efter den våde proces og sammenligninger kan konkluderes:

- ROAD+ tilsætning med efterfølgende reaktion med bindemidlet giver et modificeret koncept.
- Effekten er afhængigt af tilsætningsmængden (og formentlig også basis bitumenen)
- Modificering af 70/100 med 15 % ROAD+ har en meget højere viskositet end den SBS-modificerede reference, selv om bløddedpunkt kugle og ring er betydeligt lavere.
- Den undersøgte kombination af 70/100 og 8 % tilsætning af ROAD+ viser en elastisk tilbagegang ved 10 °C over 50 %, mens målingen ikke kunne udføres forskriftsmæssigt med 15 % tilsætning.
- Duktilitet ved 25 °C viser, at de duktile egenskaber af ROAD+ modificerede bindemidler ikke er gode. Det kan sikkert tilskrives tilstedeværelsen af gummipartikler i bindemidlet, som kan virke som initiatorer for brud.
- Rheologisk opnås der ikke med ROAD+ modificering den samme type 3-dimensionale netværk, som



Figur 5 Masterkurver for forskydningsmodul ved 60 °C for de undersøgte bindemidler

det antages at ligge til grund for egenskaberne af SBS modificeret bitumen med et højt indhold af polymer.

#### Modelforsøg med bitumenmørtel – Våndskak-forsøg

Som et supplement til vurdering af holdbarheden af bindemiddelmørtlen i skærvemastiks er der udført Våndskak-forsøg hos NCC Roads i Sverige. Metodikken beskriver holdbarhed af bindemiddelmørtel i kombination med slitage og fugt. Den fulde rapport over forsøgene findes gengivet i Annex D.

Forsøgene viser med forbehold for gummipulverets indflydelse på fremstilling af prøveemnerne:

- Slitage (og kvældning) øges med

stigende koncentration af ROAD+ og ligger over referencen.

- Der er en indflydelse på resultatet for ROAD+ fra
  - oprindelsen af den anvendte basis-bitumen og
  - den anvendte skærve.
- Der er en vis variation i hulrummet for de undersøgte kombinationer; dog ikke så stor for skærvetyper Norit, som også er anvendt til demonstrationsstrækningen.

## ASFALTMATERIALE

### Kort beskrivelse af de indgående asfaltmaterialer

Der indgår i forforsøget og demonstrationsstrækningen tre modificerede asfaltmaterialer af typen SMA 11.

### Referenceasfaltmateriale

SMA 11 med 40/100-75 med 5,6 % bindemiddel.

### ROAD+ modificeret SMA (8 % "in-situ")

"in-situ" tilsat ROAD+ koncept efter Genans forskrift til brug for asfaltværk ved direkte tilsætning i mixer af gummimel og Vestenamer i 70/100 svarende til ROAD+ i lav konc. Det forventes at være den koncentration, som vil være repræsentativ for det modificerings-niveau, som i dag benyttes til "in-situ" fremstillet polymermodificeret asfalt i Danmark.

### ROAD+ modificeret SMA (15 % "in-situ")

"in-situ" tilsat ROAD+ koncept efter Genans forskrift til brug for asfaltværk ved direkte tilsætning i mixer af gummimel og Vestenamer i 70/100 svarende til ROAD+ i høj konc., da det er den koncentration, som vurderes efter Genans oplysninger at være repræsentativ for det modificerings-niveau, som svarer til polymermodificeret bitumen med blødhedspunkt  $\geq 75$  °C.

SMA 11	ROAD+ 8 %	ROAD+ 15 %	40/100-75 (REF.)
11,2 mm	100 %	100 %	100 %
8 mm	52 %	52 %	52 %
5,6 mm	35 %	35 %	35 %
4 mm	30 %	30 %	30 %
2 mm	22 %	22 %	22 %
1 mm	18 %	15 %	18 %
0,5 mm	15 %	12 %	15 %
0,250 mm	13 %	9 %	13 %
0,125 mm	9 %	8 %	10 %
0,063 mm	6,5 %	6,0 %	7,5 %
Bindemiddel	5,6 % 70/100 + 0,448% ROAD+.	5,6 % 70/100 + 0,84% ROAD+	5,6 % 40/100-75
Asfaltdensitet	2,630 Mg/m <sup>3</sup>	2,630 Mg/m <sup>3</sup>	2,640 Mg/m <sup>3</sup>
Hulrum	2,9 %	2,3 %	3,3 %
Bitumenfyldning	84,0 %	88,0 %	81,7 %
Hulrum i stenskelet	18,4 %	18,8 %	17,8 %

Tabel 4 Specifikationer for asfalt til Landevej 411 (gennemfaldsprocenter og materialedata)

## Resultater af arbejdsmiljøorienteret undersøgelse i Colas Danmark A/S

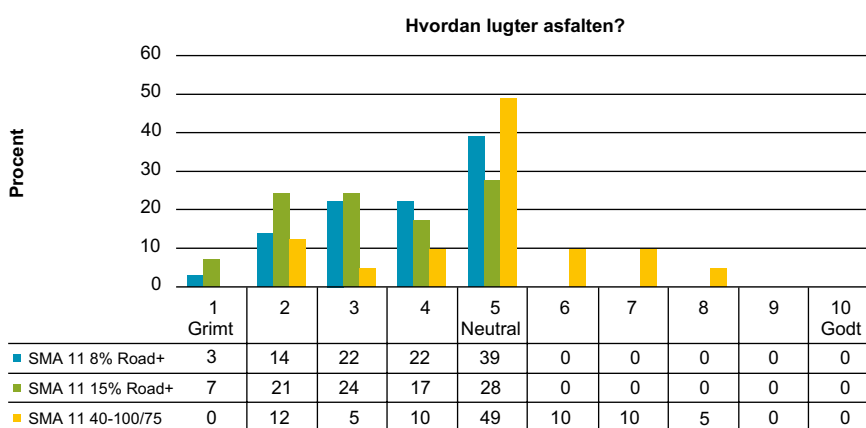
Colas Danmark A/S har foretaget en arbejdsmiljøorienteret undersøgelse i forbindelse med forarbejderne og selve produktion og udlægning af asfalten ved forforsøget på rasteplads Himmerland Øst og på Landevej 411. Undersøgelse er foretaget en såkaldt organoleptisk/sensorisk undersøgelse i form af en spørgeskema-indhentning af data. Berørte personalegrupper/ arbejdsfunktioner er vist i Tabel 5 Arbejdsfunktioner for berørte personalegrupper, som har deltaget i den arbejdsmiljømæssige spørgeskemaindsamling af observationer.<sup>5</sup>, og de er blevet bedt om at indberette deres indtryk af ROAD+ modificerede produkter i forhold til SMA 11 med 40/100-75, som er et gængs produkt for firmaet.

Spørgsmålene har været:

1. Hvordan lugter asfalten? Angiv på en skala fra 1 til 10, hvor 1 = "Grimt", 5 = "Neutralt" og 10 = "Godt".
2. Er du generet af lugten? Angiv på en skala fra 1 til 10, hvor 1 = "Slet ikke", 5 = "Noget" og 10 = "Meget".
3. Hvordan er du generet? Angiv hvilken af følgende muligheder: "Ingen gener", "Det lugter", "Ubehag", "Svimmel", "Kvalme" og "Andet. Skriv hvad".
4. Hvordan er asfalten at arbejde med? Angiv på en skala fra 1 til 10, hvor 1 = "Nemt" og 10 = "Besværligt".

HVAD ARBEJDER DU MED?	ANTAL
Miksermand Fabrik	2
Gedfører Fabrik	3
Smed/ tilsætning af gummi Fabrik	4
Udvejning Fabrik	2
Chauffør lastbil	10
Snore/Håndmand	4
Strygejernsmand	1
Maskinfører	2
Tromlefører	3
Traktorfører	2
Formand	2
Tilsyn	0
Laborant	1
I alt	36

Tabel 5 Arbejdsfunktioner for berørte personalegrupper, som har deltaget i den arbejdsmiljømæssige spørgeskemaindsamling af observationer.



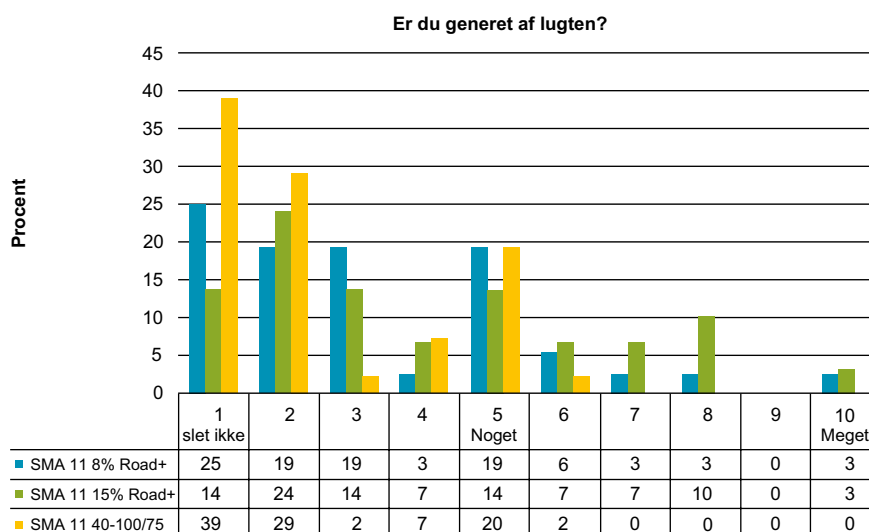
Figur 6 "Hvordan lugter asfalten?" Procentvis fordeling af svar på de tre materialer.

Lugt-indtryk og graden man lader sig genere af det er sikkert en meget subjektiv faktor, der selvfølgelig også påvirkes af, i hvor stor udstrækning man eksponeres for lugten, og måske til dels om testobjektet vurderes til at "lugte grimt" eller "lugte anderledes". Til vurdering af fordelingen af svar i Figur 6 er de vægtede middelbedømmelser beregnet med følgende resultat:

- 4,9 for SMA 11 med 40/100-75,
- 3,8 for SMA 11 med 8 % ROAD+ og 3,3 for SMA 11 med 15 % ROAD+.

Det ses, at den SBS modificerede bitumen, 40/100-75, kommer ud med et stort set neutralt lugtindtryk, mens der med stigende indhold af ROAD+ registreres en opfattelse, som bevæger sig i retningen af "Grimt". Med en middelværdi på 3,3 for den høje koncentration af ROAD+ er der dog et stykke ned til karakteren 1, selv om der er 3 observationer i denne kategori (henholdsvis 3 % for ROAD+ 8 % og 7 % for ROAD+ 15 % ud af de 36 besvarelser).

Med hensyn til gene af lugten er observationerne mere udsprejdet, så det måske ikke giver så meget mening at beregne vægtede middelbedømmelser. Derimod kan man konstatere, at de observationer, der er indberettet i kategorien "Noget generet" er næsten ens for de tre materialer, mens det



Figur 7 "Er du generet af lugten?" Procentvis fordeling af svar på de tre materialer.

næsten kun er de ROAD+ modificerede materialer, der er repræsenteret i kategorierne fra "Noget" til "Meget".

Når indberetningsskemaernes udfald i Figur 8 for, hvordan man er generet, sammenholdes med arbejdsfunktion, kan man i det bagvedliggende datamateriale henføre observationerne "Ubehag", "Svimmel", "Kvalme" og "Hovedpine" til personer, der er tæt ved produkterne håndteres med ekstra eksponeringsmulighed for dampe (eksempelvis chauffører ved læsning, maskinførere, snoremand og formand).

Figur 9, der beskriver, hvordan materialer er at arbejde med, viser, at

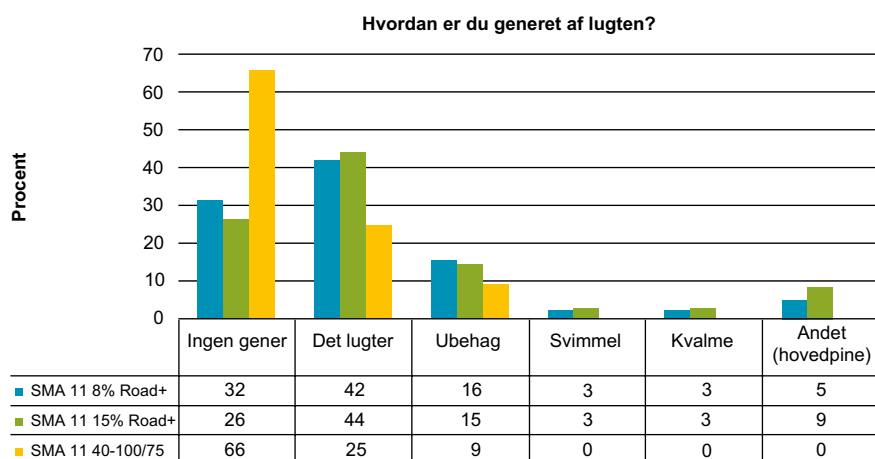
de to ROAD+ modificerede SMA 11 materialer spredt sig over de forskellige kategorier, men med en svag forskydning for ROAD+ 8 % i retning af at være let at arbejde med. Derimod er der ingen tvivl om, at SMA 11 med den SBS-modificerede bitumen 40/100-75 er i den besværlige ende af skalaen.

Udover ovennævnte spørgsmål har det været muligt at komme med generelle bemærkninger. Af de materialeorienterede kommentarer kan fremhæves en bemærkning om, at ingen af de tre asfaltmaterialer er velegnet til håndarbejde. Ellers kommer de fleste, resterende bemærkninger fra chaufførerne

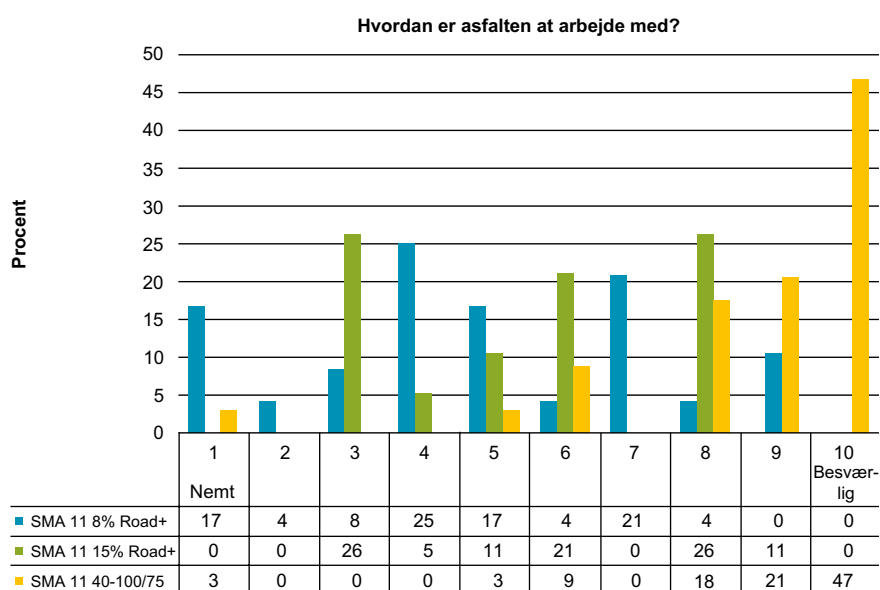




Figur 10 Indkørslen til lastbilsparkeingsområdet på rasteplass Himmerland Øst under udlægning af forforsøget.



Figur 8 "Hvordan er du generet?". Procentvis fordeling af svar på de tre materialer



Figur 9 "Hvordan er asfalten at arbejde med?". Procentvis fordeling af svar på de tre materialer.

vedrørende et praktisk punkt, som ikke har direkte relation til det sammenlignende forsøg.

#### Produktions- og udlægningsteknisk vurdering

På basis af tilbagemeldinger fra Colas Danmark A/S vedrørende forhold omkring produktionen på anlægget og de udlægningstekniske aspekter ved håndtering af ROAD+ efter den "tørre" metode, oplyser Colas Danmark A/S, at

- Tilsætning af ROAD+ på asfaltværket efter den "tørre" proces ligner enhver anden tilsætning af modificeringsmidler på den måde, der sædvanligvis betegnes "in-situ", hvor modificeringen sker direkte i asfaltværkets blander.
- Der er ikke konstateret nogen særlige afvigelser fra anden "in-situ" håndtering. (Dette var også tilbagemeldingen, da NCC Roads i 2009 anvendte ROAD+ efter den "tørre" proces til et binderlag ved Søften, Århus)
- Der er ikke fundet nogen forhold ved det udlægningstekniske, som betyder, at ROAD+ modificerede asfaltprodukter skal håndteres anderledes end andre modificerede asfaltmaterialer.

Colas Danmark A/S har løbende vurderet belægningerne visuelt fra deres udlægning og i det første år efter udlægningen (frem til skrivningen



Figur 11 Håndarbejde udføres ved udlægning af SMA 11 ROAD+ 15 % på rastepads Himmerland Øst.

af denne rapport). Der var efter ca. 6 måneder meldt en lille visuel forskel i mørtelafslidningen fra trafikens side på de tre belægninger på Landevej 411, men denne forskel er nu forsvundet, så alle tre belægningsoverflader fremtræder med samme, ensartede udseende; måske med en lille tendens til, at referencen (SMA 11 med 40/100-75) fremstår med en lidt tættere struktur.

### Udtagning af prøvemateriale i relation til udførte prøvninger

#### Opdeling efter prøvetype

Der udtages tre typer af asfaltprøver ved demonstrationsprojektet:

- A. Løst pakket asfalt, som afkøles til senere prøvelegeme-fremstilling efter genopvarmning og komprimering.
- B. Borekerner (150 mm Ø og 100 mm Ø) fra de udførte belægninger – primært til mekaniske materialeforsøg
- C. Store belægningsprøver (i sæt à tre) til forsøg i RUT (Sporkøringsmaskinen i Fløng).

Prøvninger udføres på materiale, som stammer fra to forskellige kilder. I den efterfølgende tolkning er det væsentligt at holde sig dette for øje, når der er tale om ROAD+ modificeret SMA 11 i 8 % tilsætning, mens det ikke har betydning for SMA 11 med 40/100-75 og SMA 11 med 15 % ROAD+, hvor

recepterne til forforsøget på rastepads Himmerland Øst og Landevej 411 var identiske.

I store linjer baserer alle prøvninger, der udføres på udtaget løst pakket asfaltmateriale, sig fra recepterne for Landevej 411, mens prøvninger på feltkomprimeret borekerner og asfaltplader til RUT baserer sig på de udlagte prøvestrækninger på rastepads Himmerland Øst.

#### Del A – løst pakket asfalt

Der er udtaget, løst pakket materiale af de tre belægningskombinationerne til:

1. Supplerende komprimeringsundersøgelser på udtagne asfaltmasser udføres af Vejdirektoratet
  - A. komprimering med Marshall
  - B. gyratorkomprimering til vurdering af komprimeringsvillighed
2. Der udtages også materiale til komprimering af asfaltprøvelegemer
  - C. Til Wheel Tracking Test hos Colas Danmark A/S efter DS/EN 12697-22 (Model B, vandtermostateret til 60 °C )
  - D. til udmattelsesforsøg hos Colas (France) efter DS/EN 12697-24 Annex A. (trapezformede prøvelegemer; mindst 18 stk.) til understøtning af resultaterne/konklusionerne fra tilsvarende forsøg med Nottingham Asphalt

Tester (NAT) udstyret (se under Del B).

- E. til lav temperaturforsøg (GÉ-CAN International Ltée, 9705 Avenue Duplessis, Saint-Hyacinthe (Quebec), J2R 1S5, Canada.) efter AASHTO TP10 Temperature Stress Restrained Specimen Test (TSRST)

Figur 12 Opboring af borekerner fra en af belægningstyperne op rastepads Himmerland Øst (Foto: Colas Danmark A/S)







Figur 13 Areal efter optagning af belægningsprøver af SMA 11 40/100-75 fra rasteplass Himmerland Øst (Foto: Colas Danmarks A/S)

Af hensyn til de to sidstnævnte prøvningers krav til prøvelegemernes dimensioner kan de ikke udskæres af de udførte forførsøg, men er tilberedt specielt. Udtagning af materiale til disse forsøg er sket under hensyntagen til, at transporttiden fra asfaltværk til udlægningssted også indgår i modningstiden for ROAD+.

#### **Del B – borekerner**

Følgende er optimalt i forhold til de ønskede prøver af belægningskombinationerne til del B:

1. I sammenhæng med udtagning af belægningsprøver til RUT (sporkøringsmaskinen) i arealer på Himmerland Øst udtages med ligeledes repræsentative indbygningsforhold ved opboring af cylindriske prøver. Der opbores et antal 150 mm Ø og 100 mm Ø kerner til Colas Danmark A/S og Vejdirektoratet til afprøvning af de udlagte asfalttyper.

2. Der udføres følgende forsøg i Nottingham Asphalt Tester (NAT):
  - A. Resilient modul bestemmelse (mindst 3 prøvelegemer – DS/EN 12697-26 Annex C)
  - B. Krybnings forsøg (5 prøvelegemer 150 mm Ø – DS/EN 12697-25 Test metode A)
  - C. Fatigue ( $\geq 18$  prøvelegemer – DS/EN 12697-24 Annex E)
3. Antallet af prøver fremgår af den nedenfor viste oversigt.

#### **Del C – belægningsprøver**

Følgende er optimalt i forhold til de ønskede prøver af belægningskombinationerne til del C:

1. De store belægningsprøver til sporkøringsmaskinen, RUT, er frilagt ved fræsning. Hele den asfaltbundne del af belægningen indgår i forsøgene i RUT (3 prøver per kombination à ca. 110 cm x 140 cm, hvor dimensionen med 110 cm er i udlægningsretningen).

2. De 3 sæt à 3 belægningsprøver til RUT (en for hver type af SMA) er undersøgt efter "standard"-setup (Super-single hjul, 5kN last, 110.000 overkørsler, temperaturgradient fra top til bund af belægningsprøven fra 40 °C til 20 °C).

#### **Resultater af asfaltprøvninger opdelt efter karakteristika**

##### **Komprimeringsforhold**

Materialernes komprimeringsforhold er vurderet med to metoder: dels Marshall komprimering til bestemmelse af reference asfaltdensiteter for fletmålinger; dels komprimering med gyrator til vurdering af materialernes komprimeringsvillighed.

Figur 14  
Marshall-ind-  
stamping



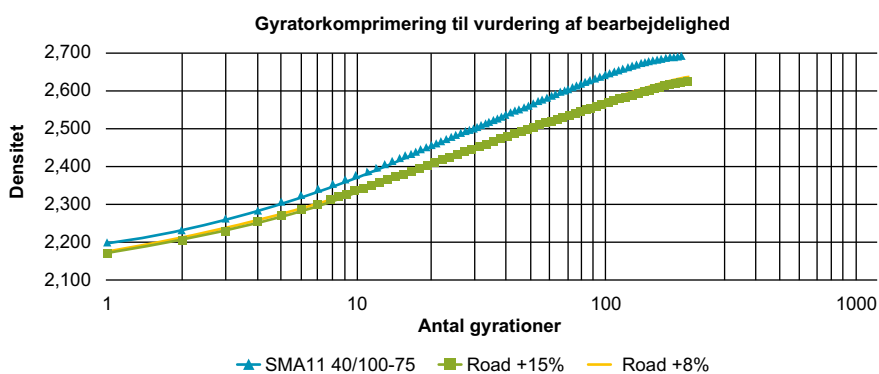
Figur 15  
Gyrator kom-  
primering

I Tabel 6 Asfaltdensiteter for SMA 11 i forskellige varianter ses resultaterne fra Marshall indstamping (EN 12697-30) hos Vejdirektoratet ved 145 °C med 2 x 50 slag. Værdierne er her også holdt op imod specifikationen for materialerne og bestemmelserne i forbindelse med egenkontrol data fra Landevej 411.

ASFALT-DENSITET	ROAD+ 8 %	ROAD+ 15 %	40/100-75
Vejdirektoratet	2,633 Mg/m <sup>3</sup>	2,632 Mg/m <sup>3</sup>	2,648 Mg/m <sup>3</sup>
Specifikation – Colas	2,630 Mg/m <sup>3</sup>	2,630 Mg/m <sup>3</sup>	2,640 Mg/m <sup>3</sup>
Egenkontrol – Landevej 411	2,631 Mg/m <sup>3</sup>	2,609 Mg/m <sup>3</sup>	2,649 Mg/m <sup>3</sup>

Tabel 6 Asfaltdensiteter for SMA 11 i forskellige varianter

I Figur 16 viser komprimering af de tre materialer under gyratorkomprimering efter EN 12697-31 (d.v.s op til 200 gyrationer ved 145 °C i 150 mm Ø forme med en tilstræbt højde på 115 mm under registrering af asfaltdensiteten for hver gyration for tre prøvelegemer). De to SMA 11 med tilsætning af ROAD+ følger næsten identiske kurver, som begge ligger under referencen, men et en næsten parallelt forløb. Selv om asfaltdensiteten efter 200 gyrationer ikke kan sammenlignes med asfaltdensiteten efter Marshall, så forklarer specifikationsværdierne i Tabel 6 ganske udmærket, hvorfor slutværdier for de to prøver ligger under referencen. Den næsten parallelle forløb af kurverne i Figur 16 betyder, at de tre materialer har stort set samme bearbejdelighed.



Figur 16 Bearbejdelighed af de tre asfalter vurderet ved gyratorkomprimering

## Bæreevne – resilient modul og elasticitetsmodul

### Bestemmelser med Nottingham Asphalt Tester

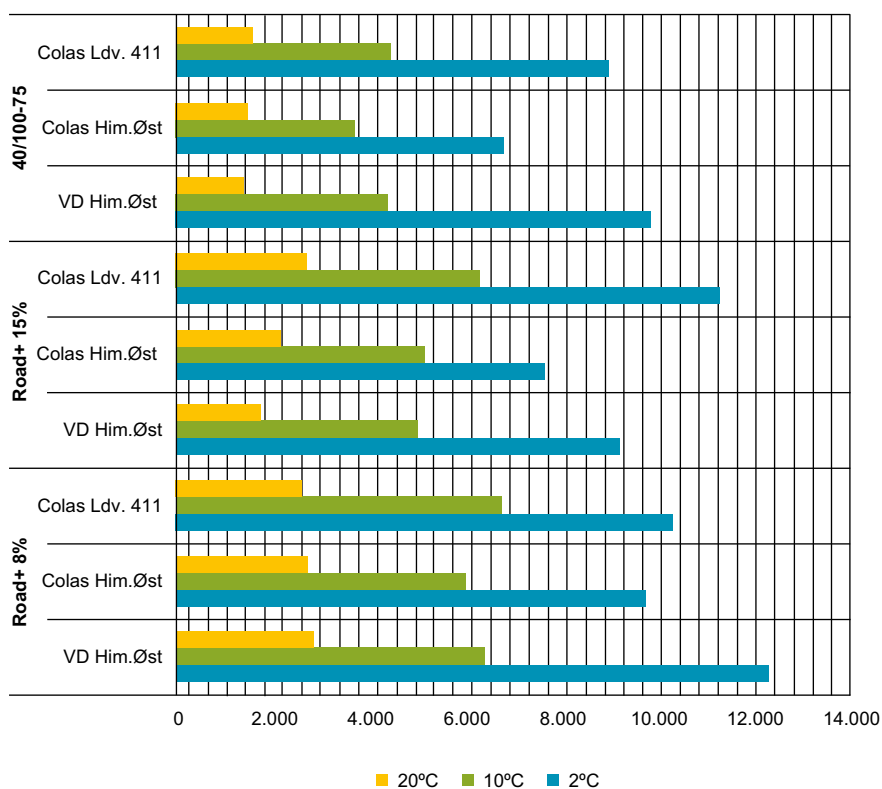
Fra rasteplads Himmerland Øst er der som tidligere nævnt blevet opboret et større antal 100 mm Ø borekerner, hvor der både hos Vejdirektoratet og Colas Danmark A/S ved hjælp af Nottingham Asphalt Tester (NAT) er målt resilient modul ved 2 °C, 10 °C og 20 °C.

Da målingerne kun skulle omfatte de udlagte slidlagsbelægninger er denne del af borekernerne isoleret ved bortsavning af den resterende del. Tabel 7 viser data fra 24 borekerner af denne type, som Vejdirektoratet har bestemt højder og asfaltdensiteter på.

Med henvisning til Tabel 7 Højder og asfaltdensiteter fra 100 mm Ø borekerner af de tre SMA 11 typer målt hos Vejdirektoratet<sup>7</sup> kan det observeres at belægningsprøverne for ROAD+ 15 % er tyndere end forventet og ønsket. Det kan måske have lidt indflydelse på målinger af disse prøvelegemer og betyde lidt større spredning i de senere bestemte resiliente moduler. Det skal også erindres, at recepten for ROAD+ 8 % blev justeret en lille smule fra rasteplads Himmerland Øst til Landevej 411.

100 MM Ø BOREKERNER	ROAD+ 8 %		ROAD+ 15 %		40/100-75	
	Højde [mm]	Asfaltdensitet [Mg/m <sup>3</sup> ]	Højde [mm]	Asfaltdensitet [Mg/m <sup>3</sup> ]	Højde [mm]	Asfaltdensitet [Mg/m <sup>3</sup> ]
antal 24 stk.						
gennemsnit	36,8	2,592	25,1	2,564	31,9	2,661
spredning	1,82	0,027	1,7	0,028	2,0	0,021
minimum	34	2,526	22	2,486	29	2,625
maksimum	40	2,630	29	2,608	35	2,695

Tabel 7 Højder og asfaltdensiteter fra 100 mm Ø borekerner af de tre SMA 11 typer målt hos Vejdirektoratet



Figur 17 Sammenligning af middelværdier for resilient modul [MPa] for SMA 11 typerne udført med Nottingham Asphalt Tester ved 2 °C, 10 °C og 20 °C hos Colas Danmark A/S og Vejdirektoratet på 100 mm borekerner fra henholdsvis Landevej 411 og rasteplads Himmerland Øst.



I forbindelse med udmattelsesforsøg på trapez-formede prøvelegemer, som vil blive omtalt senere, er der også bestemt elasticitetsmodul på de tre materialer ved den temperatur (15 °C), som benyttes til disse forsøg. I Annex A ses et uddrag af test-rapporten fra Colas, Campus for Science and Techniques, Frankrig, hvorfra data i Tabel 8 er hentet.

BINDEMIDDEL I SMA11	ROAD+ 8 %	ROAD+ 15 %	40/100-75
Elasticitetsmodul	6.114 MPa	5.452 MPa	5.375 MPa

Tabel 8 Elasticitetsmodul bestemt efter EN 12697-26 Annex (trapez-formede prøvelegemer) ved 15 °C og 10 Hz.

Figur 17 og Tabel 8 viser, at de tre materialeversioner af SMA 11 indbyrdes har resilient og elasticitetsmoduler på samme niveau ved fastholdt temperatur. Det er dog lidt uforklarligt, at ROAD+ 8 % systematisk har de højeste værdier, uanset om det er borekerner fra rastepads Himmerland Øst, Landevej 411 eller laboratoriekomprimeret prøve hos Colas i Frankrig og målemetode (d.v.s EN 12697-26 Annex A og Annex C).

### Strukturel holdbarhed – udmattelsesegenskaber

#### Baggrund

Ved introduktion af nye materialer er det naturligt at spørge til deres holdbarhed, således også i dette projekt, men det er lettere at fremsætte ønsket end at give svaret. Den kemiske ældning og klimatiske påvirkning fra vand og især luftens ilt under de herskende temperaturforhold i en belægnings levetid er svært at vurdere med accelererede forsøg, da de ofte kun kan

betragte enkelte aspekter og ikke det fulde billede, som kun praktisk erfaring kan give.

Indenfor rammerne af dette projekt har der været fokuseret på strukturelt holdbarhed (d.v.s. udmattelsesegenskaber) som vikarierende prøvning for et af holdbarhedsaspekterne. Selv denne forsøgsmetodik har sine begrænsninger, da mange gentagne påvirkninger, som skal simulere langtidstrafikpåvirkning, udføres på friskfremstillet asfalt. Hertil kommer at de materialer, som der her indgår, er modificerede bindemidler, som bidrager til at vanskeliggøre tolkningen. Sidst men ikke mindst er der en del statistisk spredning i, hvordan og hvornår revne-initieringen sker, hvilket betyder, at en forholdsvis stort antal prøvelegemer må testes til at skabe en passende sikkerhed for de fremkomne middelværdier.

Af nævnte årsager er der udført udmattelsesforsøg efter to koncepter:

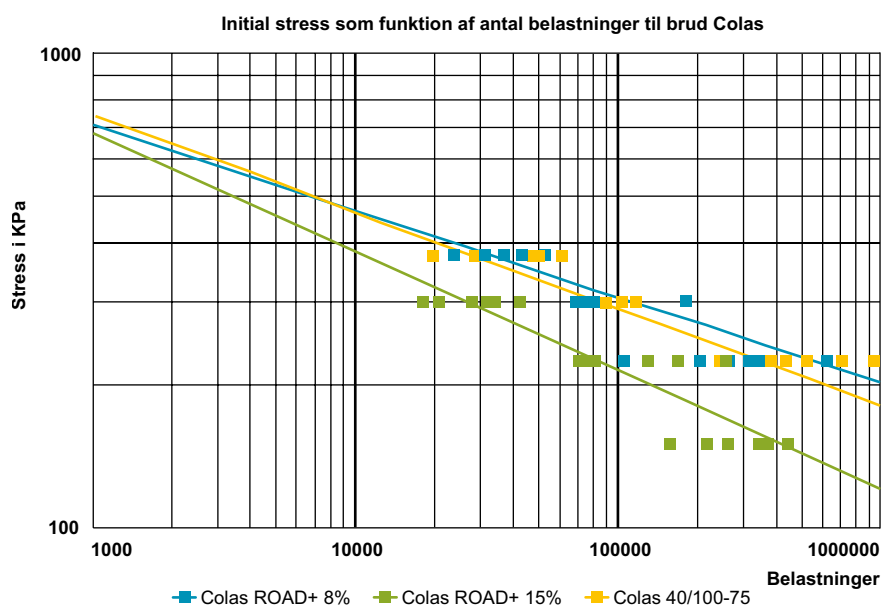
- DS/EN 12697-24 Annex E udført med Nottingham Asphalt Tester. Hertil kræves der  $\geq 18$  prøvelegemer per undersøgt materiale til hvert laboratorium, idet disse prøvninger er udført både hos Colas Danmark A/S og Vejdirektoratet. De mange 100 mm borekerner er udtaget på rastepads Himmerland Øst.
- EN 12697-24 Annex A; udmattelsesforsøg med trapez-formede prøvelegemer efter fransk koncept. Disse prøvninger udføres af Colas Frankrig på laboratoriekomprimerede prøver af værkblandet asfaltmateriale af produktionen til Landevej 411, hvortil der skal bruges mindst 18 stk. per materiale.

### Bestemmelser med Nottingham Asphalt Tester

Bestemmelserne af udmattelse med Nottingham Asphalt Tester udføres ved 15 °C, da dansk erfaring fra tidligere forsøg har vist at asfalt udviser et svagt minimum omkring denne temperatur, som endvidere er repræsentativt for temperaturer i undersiden af asfaltbelægninger, hvor udmattelsestøjningerne sædvanligvis vurderes.

Prøvningerne, der er udført hos Colas Danmark A/S, fremgår af Figur 18. Der indgår henholdsvis 16, 15 og 18 prøvelegemer i datagrundlaget for SMA 11 med respektive bindemidler 40/100-75, ROAD+ 8 % og ROAD+15 %. Manglende automatisk dataregistrering under prøvningerne er årsagen til, at der ikke i alle serier er opnået de foreskrevne 18 bestemmelser på prøvelegemer.

Jo højere placeret (og til dels jo fladere) linje i en afbildning af initial stress mod antal påvirkninger til brud-kriteriet ved prøvningen jo bedre udmattelsesegenskaber har materialet. I den relative sammenligning har de tre bindemidler samme hældning, og ROAD+ 8 % og referencen har udmattelsesegenskaber på samme niveau, mens ROAD+ 15 % ligger under dette niveau. Om årsagen til dette forhold kan skyldes, at den større koncentration af gummipartikler i ROAD+ kan virke som initiatorer for "crack initiation" (d.v.s. mikrorevnernes opståen under påvirkninger) er ikke til at sige, men kunne være en forklaring sammenholdt med materialernes duktilitet (se Tabel 3).

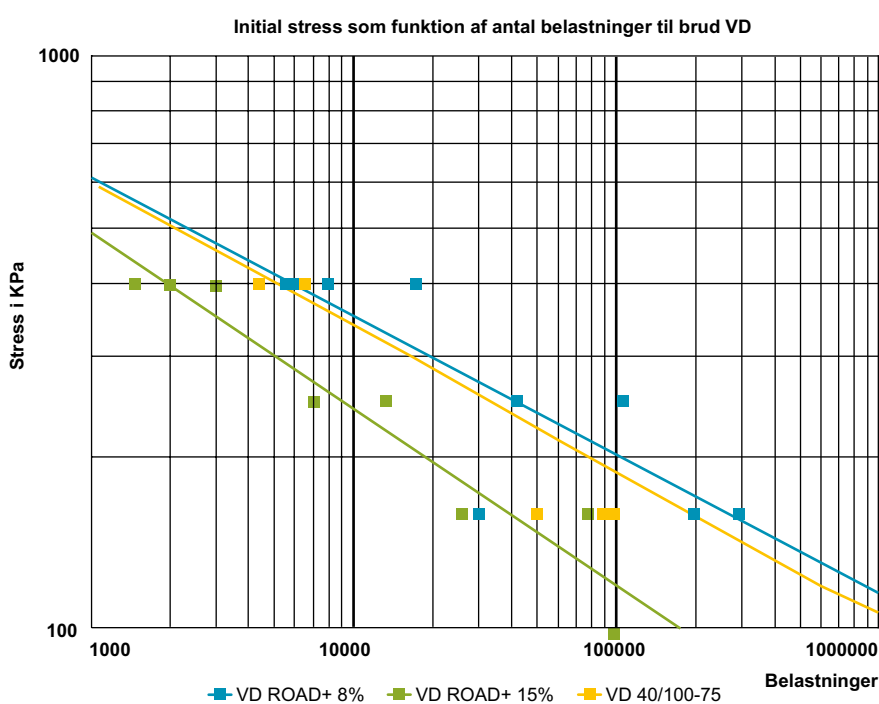


Figur 18 Udmattelsesegenskaber for de tre SMA 11 materialer med begyndelsesspænding (stress) som funktion af antal påvirkninger til brud-kriteriet bestemt hos Colas Danmark A/S.

Vejdirektoratets prøvninger fremgår af Figur 19, der er analog til Figur 18. Her indgår der henholdsvis 11, 10 og 8 prøvelegemer i datagrundlaget for SMA 11 med respektive bindemidler 40/100-75, ROAD+ 8 % og ROAD+15 %, hvilket skyldes en kombination af forhold omkring prøvelegemernes tykkelse og personale, samt at det blev vurderet at de fremkomne regressionslinjer er tilfredsstillende bestemt for antal påvirkninger til brud. Vejdirektoratets prøvninger viser samme konklusion som data fra Colas Danmark A/S, idet ROAD+ 8 % stort set ligger på samme niveau som referencen med 40/100-75, mens ROAD+ 15 % ligger tydeligt under dette niveau. Årsagen hertil forventes at være den

allerede beskrevne under prøvningerne fra Colas Danmark A/S.

Ved sammenligning af prøvningerne fra Colas Danmark A/S og Vejdirektoratet i Figur 18 og Figur 19 fremgår det, at der synes at være en vandret forskydning mellem de to data-sæt, således at prøvningerne hos Vejdirektoratet ligger ca. 0,8 dekade lavere i antal påvirkninger til brud. Om dette forhold skyldes forhold ved prøveforberedelsen af legemerne, et off-set mellem de to prøvningsudstyr eller andre systematiske variationer er ikke til at sige på det foreliggende grundlag.



Figur 19 Udmattelsesegenskaber for de tre SMA 11 materialer med begyndelsesspænding (stress) som funktion af antal påvirkninger til brud-kriteriet

BINDEMIDDEL I SMA11	ROAD+ 8 %	ROAD+ 15 %	40/100-75
Udmattelsesstyrke $\epsilon_6$ ( $10^6$ cykler, $10^\circ\text{C}$ , 25 Hz)	$149 \cdot 10^{-6}$	$144 \cdot 10^{-6}$	$180 \cdot 10^{-6}$

Tabel 9 Udmattelsesstyrke bestemt på trapez-formede prøvelegemer efter EN 12697-26 Annex A af Colas, Campus for Science and Techniques, Frankrig

#### Bestemmelse af udmattelsesegenskaber med trapez-formede prøvelegemer

En gammel og veletableret fransk metode til bestemmelse af udmattelsesegenskaber er standardiseret som EN 12697-24 Annex A. Projektet har udnyttet muligheder for at få en alternativ vurdering af materialerne efter denne metode, som er udført hos Colas, Campus for Science and Techniques, udenfor Paris, Frankrig. Uddrag af test-rapporten over prøvningerne kan se i Annex A i denne rapport, hvor hovedresultatet og tolkningen er gengivet samt de grafiske afbildninger af antal påvirkninger til brud-kriteriet som funktion af initial-tøjningen i en dobbelt logaritmisk afbildning. Hovedresultatet er også vist i Tabel 9 og betegnes  $\epsilon_6$ . Det er den initial-tøjning, der som vil forårsage brud efter 1.000.000 påvirkninger (jo højere værdi, jo bedre) bestemt ved  $10^\circ\text{C}$ .

Testcenteret konkluderer i oversættelse: "Begge ROAD+ tilsætninger ligger signifikant under referencen i udmattelsesstyrke ( $\epsilon_6$ ) og relativt set viser der to tilsætninger af ROAD+, at jo højere tilsætning af ROAD+ jo lavere værdi, men de er i samme størrelsesorden."

#### Sammenfatning for udmattelsesstyrke

Det er ikke muligt præcist 1 : 1 at sammenligne de to måder at bestemme udmattelsesstyrke, og de to sæt af data antyder også visse forståelsesvanskeligheder:

- Udmattelsesstyrken vurderet efter EN 12697-26 Annex E (Nottingham Asphalt Tester) antyder samme afhængighed af initial

stress i forhold til antal påvirkninger til brud, men en lavere værdi for ROAD+ 15 %.

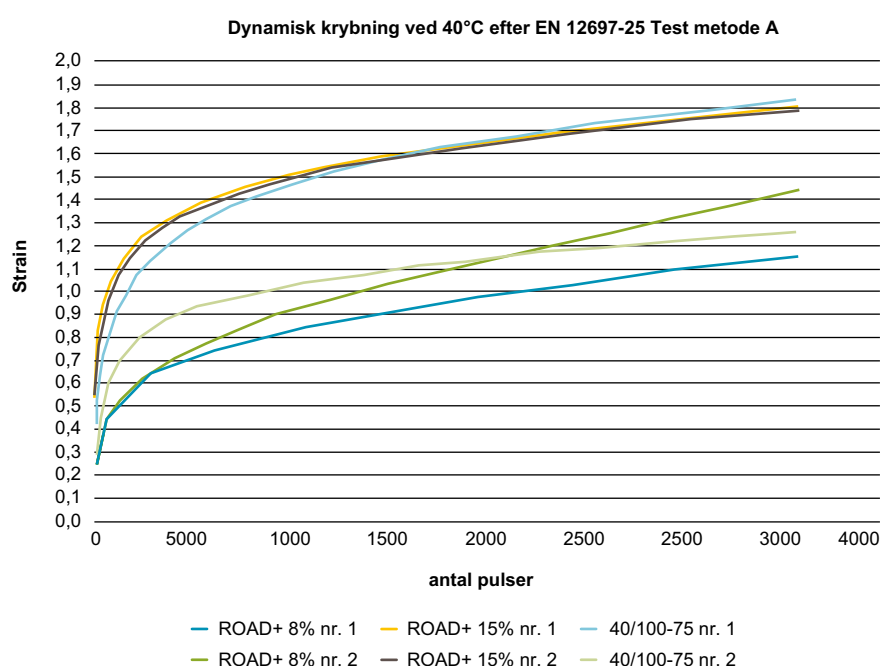
- Udmattelsesstyrken vurderet efter EN 12697-26 Annex A (fransk "trapez"-metode) antyder ens niveau og afhængighed af initialtøjning i forhold til påvirkninger til brud, hvor referencen ligger på et højere niveau og med en anden afhængighed af initialtøjning til antal påvirkninger til brud.

Samlet set er udmattelsesstyrken af ROAD+ modificeret skærvemastiks nok mindre end referencen, og set isoleret med fokus på udmattelsesstyrke er det ikke en fordel at gå efter en høj modificeringsgrad (15 % ROAD+). I sidste ende vil disse forhold også blive påvirket af, hvor i belægningen ROAD+ modificeringen benyttes og hvilke spændings- og tøjningsforhold, der gælder dér.

### Sporkøring – krybning, Wheel Tracking Test og Sporkøringsmaskinen RUT

#### Baggrund

Evnen til at modstå permanente deformationer ved høje belægnings-temperaturer er en af de væsentligste parametre ved mange modificeringer af asfalt. Sporkøringen i vores belægninger er det synlige resultat, hvis de permanente deformationer har nået uacceptable størrelser, hvis materialerne har været fejlproportioneret eller udsat for påvirkninger udover deres brugsområde. I dette projekt er sporkøring som egenskab bestemt ved to laboratoriemetoder (krybning og Wheel Tracking Test) samt ved en fuld



Figur 20 Krybningsforsøg ved 40 °C på sammensatte 150 mm Ø borekerner fra rasteplads Himmerland Øst

skala vurdering i Sporkøringsmaskinen, RUT, på hele asfaltbelægningen.

#### Krybning efter EN 12697-25 Testmetode A

Der er udført krybningsforsøg ved 40 °C efter den europæiske standard EN 12697-25 Test metode A, hvor der på et 150 mm Ø cylindrisk prøvelegeme udføres pulserende belastning på en ca. 100 mm Ø centralt placeret skive. Efter en indledende forbelastning udføres 3.600 pulser (1 sekund belastning og 1 sekund aflastning).

Prøvningerne er udført på borekerner fra rasteplads Himmerland Øst. På grund af sildlagets beskedne tykkelse

i forhold til prøvelegemets højdekrav i metoden, er 2 stk. afskårne slidlagsprøver kombineret til ét prøvningslegeme til krybningsforsøget, idet de ikke skårne overflader vendes mod hinanden. Legemerne roteres indbyrdes, så den mest optimale plan-parallelitet mellem de skårne endeflader opnås. Tilbageværende unøjagtigheder forudsættes udjævnet af forbelastningen.

Resultaterne i Figur 20 viser det typiske forløb for et krybningsforsøg med tøjningen (strain) som funktion af antal pulser. Først Fase I med en indledende "sætning/komprimering" af prøven, efterfulgt af Fase II med en næsten lineært forløb af tøjningen i forhold til

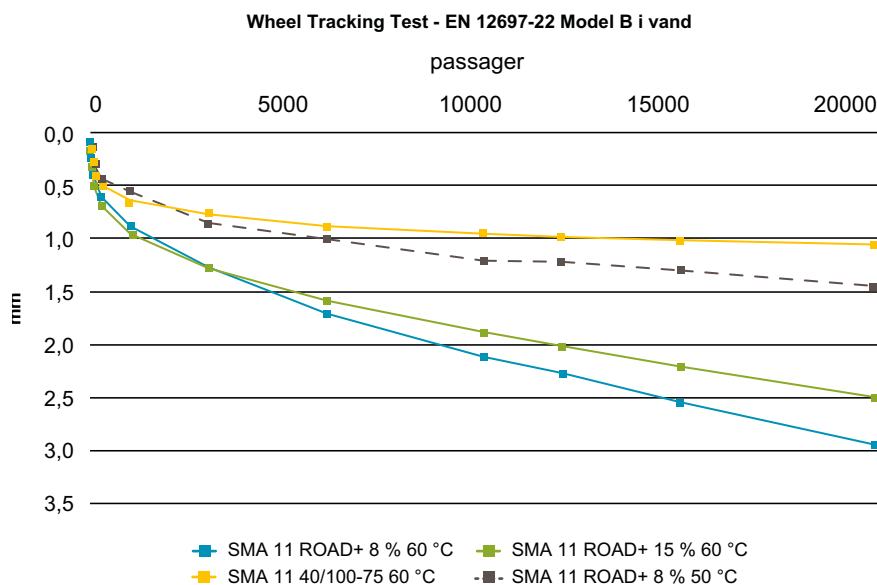


puls-antallet. Ingen af prøvningerne går over i Fase III, hvor der sker en accelererende nedbrydning/deformation af prøvelegemet. Gode krybningsegenskaber viser sig ved:

- A. Prøvelegemet går ikke under prøvningen over i Fase III (accelererende deformation/nedbrydning),
- B. En så lille hældning af det lineære forløb i Fase II og
- C. En generel så lav placering af placering af Fase I og II som muligt.

Af de nævnte kriterier er a og b de vigtigste, idet Fase I (med indflydelse på kriterium c) kan være påvirket af individuelle forhold for "sætningen" af de enkelte prøvelegemer, som ikke helt er blevet udlignet under forbelastningen. Dette forhold er mere sandsynligt at kunne spille ind, når der som i dette tilfælde er benyttet sammensatte prøvelegemer. Resultaterne i Figur 20 viser:

- De to ROAD+ 15 % prøvninger er næsten sammenfaldende med den ene af prøvningerne med referencen (nr. 1), mens den sidste af referencerne (nr. 2) ligger noget lavere.
- De to sammenlignelige bindemidler udviser lave værdier for hældningen i det lineære forløb i Fase II.
- De to prøvninger af ROAD+ 8 % starter ud på en lavere niveau, men har tydeligt større hældninger i det lineære forløb i Fase II. ROAD+ 8 % er relativt set mere sporkøringsfølsomt end de to andre bindemidler. Årsagen til det lavere placeringsniveau er, at ROAD+ 8 % formentlig har givet en større initial-sætning under forbelastningen.



Figur 21 Wheel Tracking Test udført ved 60 °C, samt 50 °C for et enkelt materiale.

#### Wheel Tracking Test efter EN 12697-22 Model B i vand

Der er på værkblandet asfaltmateriale udført Wheel Tracking Test ved 60 °C efter EN 12697-22 Model B (i vand), hvilket også typisk kaldes "Hamburg"-metoden efter oprindelsen af prøvnings-konceptet. Referenceproceduren i den europæiske metode er, at prøvningen udføres "i luft", men med "i vand" som en mulig option. Sidstnævnte benyttes meget i Danmark, da det udelukker, at en mager asfaltsammensætning ved prøvningen opnår en god sporkøringsresistens, uden dog at være holdbar i forhold til fugt/vand. Prøvningerne er udført af Colas Danmark A/S, og uddrag af prøvningsrapporten ses i Annex B.

Selvom de to ROAD+ modificeringer af SMA 11 udviser beskedne sporkøringer i absolutte tal med værdier omkring 2,5 og 3,0 mm sporkøring efter 20.000

enkelt passager, er det dog større end referencen, hvor sporkøringen kun er lidt over 1 mm under samme betingelser. Prøvningen af sporkøringsresistens er også for ROAD+ 8 % udført ved 50 °C, hvor forløbet næsten svarer til referencens (men altså for 60 °C).

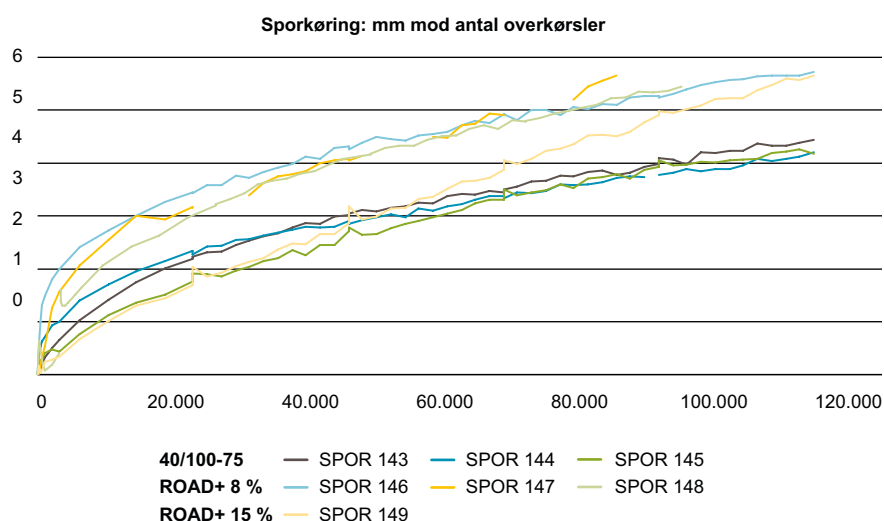
#### Sporkøringsmaskinen RUT

Lastvognparkeringspladsen på rasteplads Himmerland Øst blev oprindeligt valgt som et optimalt sted for udlægning af forforsøget, idet der på denne plads beregnet bl.a. til modulvogntog måtte formodes at være tilstrækkelig bæreevne af den underliggende vejkonstruktion, som ensartet udgangspunkt for de tre udlagte slidlagstyper. Fra de tre delparceller (se blandt andet Figur 2 og Figur 13) er der ved skæring/fræsning frilagt tre belægningsprøver per materialetype af hele den asfaltbundne del af belægningen.

Størrelsen af den enkelte prøve er ca. 110 cm x 140 cm, hvor dimensionen med 110 cm er i udlægningsretningen. Disse prøver er derefter hos Vejdirektoratet i Fløng indstøbt og konditioneret til fuldskala prøvning i Sporkøringsmaskinen RUT. Standardbetingelserne for prøvningen er Super-single hjul, 5kN last, 110.000 overkørsler, temperaturgradient 40–20 °C. Prøvningen svarer til, at en "1/2 10 tons aksel" monteret med Supersingle dæk kører frem og tilbage over belægningsprøven i et fastlagt mønster, mens belægningens overflade holdes på 40 °C og undersiden holdes på 20 °C. Herved opstår en temperaturgradient over asfaltbelægningen, som simulerer situationen i virkeligheden. Under prøvningen registreres længde- og tværprofiler på overfladen. Efter de 110.000 overkørsler kan der foretages opboringskontrol i og udenfor køresporet til bestemmelse af hvilke lag, der har medvirket til den konstaterede sporkøring.

Der er desværre ved udførelse af prøvningerne for belægningsprøverne med ROAD+ 15 % konstateret en revne diagonalt igennem to af de tre belægningsprøver for dette materiale. Dette forhold samt antydning af mangelfuld sammenhæng i de underliggende lag har ikke været synligt inden prøvningen. Forholdet betyder, at der må ses bort fra disse to prøvningsresultater, og at der i Figur 22 kun er én kurve for ROAD+ 15 %.

Resultaterne af prøvningerne viser, at referencen med den SBS-modificerede bitumen 40/100-75 har den bedste sporkøringsresistens, mens ROAD+ 15 følger tæt efter, men i den sidste del af forsøget (efter ca. 60.000 over-



Figur 22 Fuldskala prøvning i Sporkøringsmaskinen RUT under standardbetingelserne (Super-single hjul, 5kN last, 110.000 overkørsler, temperaturgradient 40–20 °C) for de tre varianter af SMA 11

kørsler) udviser lidt større sporkøring. ROAD+ 8 % ligger "parallelforskuet" med en sporkøring ca. 1,5 mm større end referencen.

#### Sammenfatning – sporkøring

Sporkøringsegenskaberne er vurderet med tre forskellige metoder – krybningsforsøg, Wheel Tracking Test og fuldskala forsøg i Sporkøringsmaskinen RUT. Sammenfattende kan siges:

- ROAD+ modificering udviser gode sporkøringsegenskaber, som selvfølgelig er afhængig af modificeringsgraden, men ROAD+ 15 % er ikke helt på samme niveau som referencen, den SBS modificerede bitumen 40/100-75.

#### Lavtemperaturegenskaber – TSRST

Kuldeegenskaber af asfalt er specielt interessant under klimaforhold, der er lidt barskere end typiske danske vintre. Et belægningsproblem i relation til kulde er en vurdering af

belægningsmaterialernes modstand mod revnedannelse under afkøling (kontraktionsrevner). Den pt. mest udbredte prøvningsmetode internationalt til vurdering af dette forhold for asfalt er den amerikanske prøvningsmetode, TSRST (Temperature Stress Restrained Specimen Test – AASHTO TP10). Her fastholdes en asfaltbjælke på konstant længde, mens den udsættes for en faldende temperaturgradient under samtidig måling af trækstyrke i materialet. Trækstyrken ved brud samt temperaturen, hvor det indtræffer, er resultatet af prøvningen; jo højere trækstyrke ved brud og jo lavere brudtemperatur jo bedre.

Prøvningerne er udført af GÉCAN International Ltée, Quebec, Canada, på de tre belægningsmaterialer, og uddrag af prøvningsresultaterne findes i Annex C. Resultaterne kan sammenfattes i.

BINDEMIDDEL	BRUDSTYRKE [MPa]	TEMPERATUR VED BRUD [°C]
Road+ 8 %	2,8	-28,0
Road+ 15 %	2,4	-28,4
40/100-75	3,4	-31,2

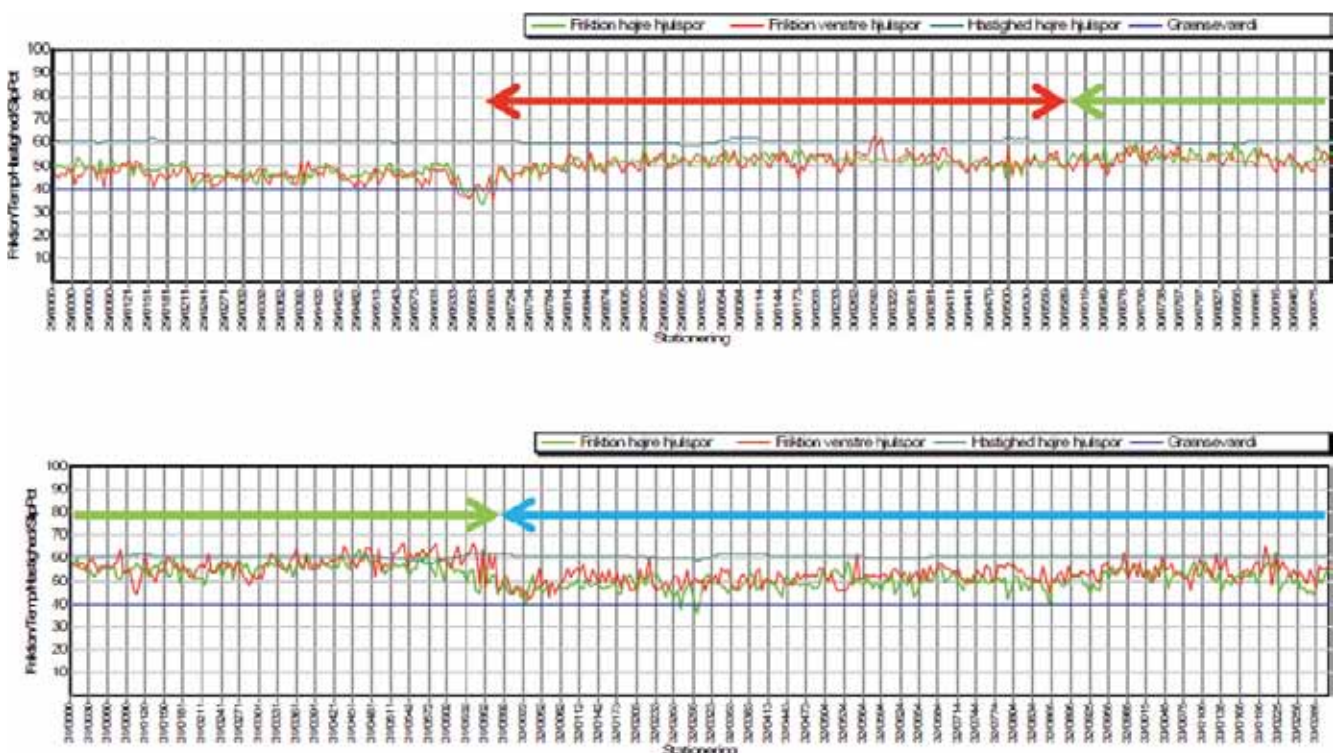
Tabel 10 Resultater af kuldeegenskaber af de tre SMA 11 varianter bestemt med Temperature Stress Restrained Specimen Test af GÉCAN International Ltée

I forhold til værdier bl.a. fundet i literaturen [1] for SMA 8 med varierende bindemidler (herunder også polymer-modificerede bindemidler) er resultaterne i samme størrelsesorden som disse. De specifikke værdier i Tabel 10 viser, at referencen har lidt bedre kuldeegenskaber end de to ROAD+ modifikeringer.

### Feltmålinger på Landevej 411 – friktion, tekstur og støjreducerende egenskaber

#### Friktion

Der er på demonstrationsstrækningerne på Landevej 411 målt friktion, og som Figur 23 viser, er denne fundet i orden for de tre belægningsvarianter af SMA 11.



Figur 23 Friktion som funktion af stationering på Landevej 411 (ROAD+ 8 % = rød pil; ROAD+ 15 % = grøn pil og 40/100-75 = blå pil). Mørkeblå linje viser kravet til friktionen.

Figur 26 Eksempel på opstilling til SPB-måling i bygade (Statistical Pass-By)



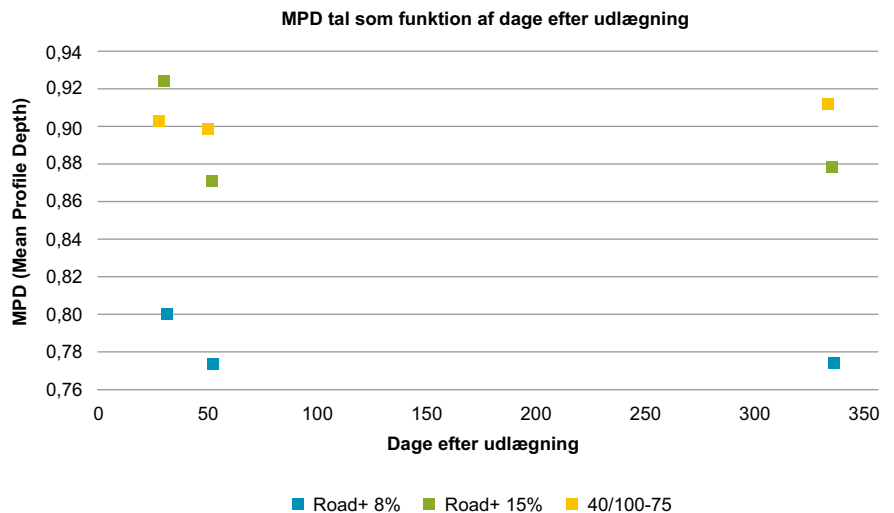
Figur 25 Traileren deciBella, der anvendes til måling efter CPX-metoden (Close Proximity)

#### Tekstur-undersøgelser på de udførte belægninger på Landevej 411

I forbindelse med de udførte målinger med deciBella (CPX-traileren, som omtales i næste afsnit) er der med en nøjagtig tekstur-laser foretaget en opmåling af teksturen i køresporene. Disse teksturprofiler er omregnet til et MPD-tal, som beskriver Mean Profile Depth efter ISO 13473-1. Den kan ses som en alternativ bestemmelse af teksturen ved sandplet-metoden.

Figur 24 viser de beregnede MPD-tal de tre belægninger af SMA 11 som funktion af dage efter udlægning af de pågældende materialer. Kurverne viser typisk fra ca. 30 til 50 dage en stabilisering af et tekstur-niveau, som derefter er næsten konstant. De tre belægningsoverflader har ikke identiske værdier, SMA 11 med ROAD+ 15 % er stort set samme niveau som referencen med 40/100-75, da standardafvigelsen på de udførte MPD-tal typisk er i størrelsesordenen af 0,06. SMA med ROAD+ 8 % ligger lidt lavere end de to andre belægninger.

Vejdirektoratet har i andre projektsammenhænge en interesse i at forske i en bedre forståelse af tekstur sammenholdt med egenskaber som friktion,



Figur 24 Tekstur i form af MPD-tal (Mean Profile Depth) som funktion af dage efter udlægning af SMA 11 på Landevej 411

jævnhed og rullemodstand. Derfor er der også udført spektral-analyse på de registrerede teksturer. Resultaterne ses i Annex E, og figurerne viser hyppigheden af forskellige bølgelængder i overfladeteksturen. Kurvernes lodrette placering følger i store træk deres indbyrdes placering i Figur 24 Tekstur i form af MPD-tal (Mean Profile Depth) som funktion af dage efter udlægning af SMA 11 på Landevej 41124, og de har alle et toppunkt i bølgelængdeintervallet 12,5–16 mm, hvilket ikke

ændres over den undersøgte tidsperiode (1–12 måneder).

#### Støjreducerende egenskaber af ROAD+

Der er efter udlægning af demonstrationsstrækningerne på Landevej 411 udført målinger af de akustiske egenskaber, da et væsentligt punkt i forsøgsprogrammet har været at dokumentere, om der er en støjreducerende effekt – isoleret set – fra ROAD+, når belægningens tekstur ikke bidrager

hertil. Det er også baggrunden for, at den udlagte SMA 11 er valgt som en ikke optimeret SMA i forhold til støjreducerende effekt.

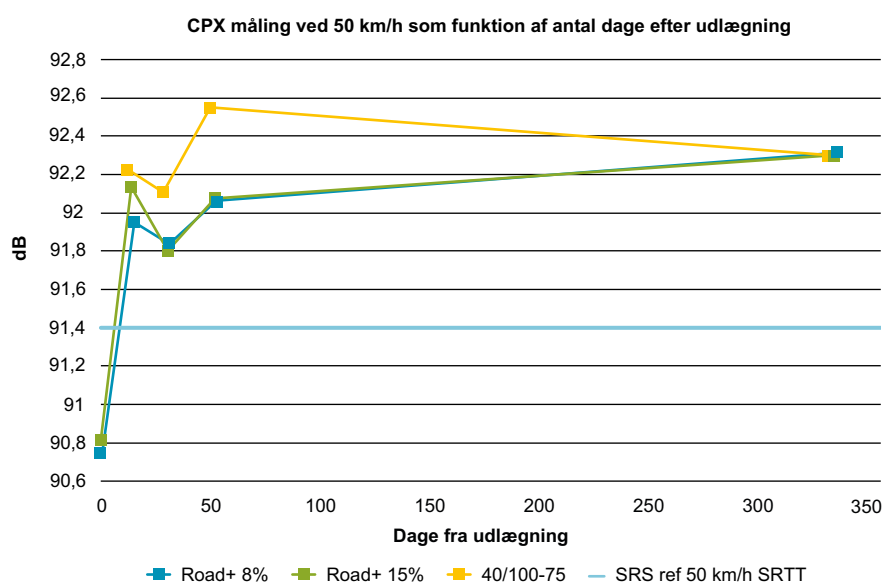
Der er foretaget målinger med CPX målinger (Close ProXimity) med støjtraileren deciBella (se Figur 25) på følgende tidspunkter ved henholdsvis 50 km/h og 80 km/h:

- straks efter udlægningen (0–1 dag)
- efter 12–15 dage
- efter 28–31 dage
- efter 49–52 dage (ca. det sædvanlige tidspunkt for måling i forhold til støjdeklaration)
- efter ca. 1 år (327–330 dage)

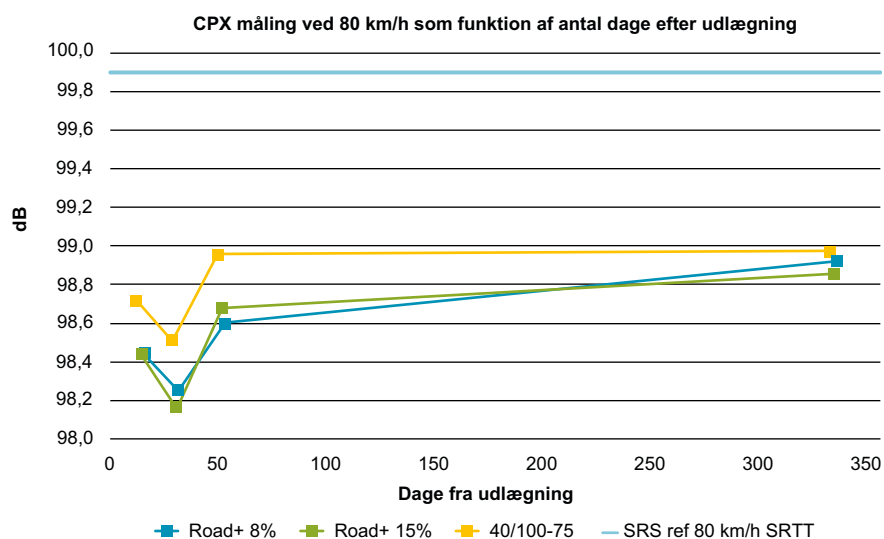
Der er foretaget målinger efter SPB metoden (Statistical Pass-By) opdelt på personbiler og flerakslede køretøjer på følgende tidspunkter

- efter 12–15 dage
- efter 77–80 dage (ca. det sædvanlige tidspunkt for måling i forhold til støjdeklaration; desværre kunne det ene målepunkt (ROAD+ 8 %) ikke anvendes på dette tidspunkt på grund af lysregulering ved et vejarbejde i rabatten på det pågældende sted)
- efter ca. 1 år (468–471 dage; lidt forsinket på grund af arbejdspress og vejrlig)

Figur 27 og Figur 28 viser resultaterne for CPX målingerne ved henholdsvis 50 km/h og 80 km/h, hvor der i begge figurer er indlagt en reference-linje svarende til SRS reference-niveauet



Figur 27 CPX-måling ved 50 km/h som funktion af dage efter udlægning. SRS reference er indlagt i figuren



Figur 28 CPX-måling ved 80 km/h som funktion af dage efter udlægning. SRS reference er indlagt i figuren

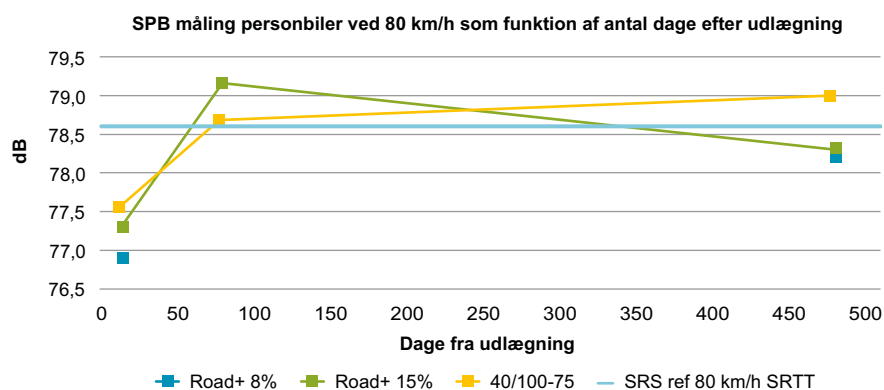


ved den pågældende hastighed. Ved begge hastigheder viser det sig,

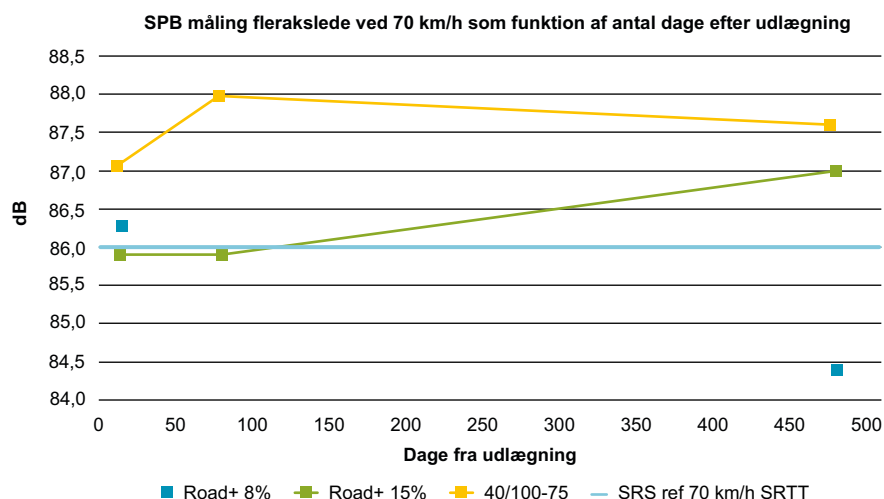
- at der ikke er nogen forskel mellem ROAD+ og referencebelægningen på de opnåede støjniveauer efter 1 år udlægningen og
- at initial-varianterne i de første uger stort set er indenfor prøvningsmetodens præcision.

Figur 29 viser støjniveauet for personbiler vurderet ved 80 km/h, og der er igen ingen målbar indflydelse af ROAD+ modificeringen i forhold til referencen.

For de flerakslede køretøjer vurderet ved 70 km/h (Figur 30) er der heller ikke nogen effekt af ROAD+ 15 % i forhold til referencen. Derimod er der fundet et bemærkelsesværdigt lavt støjniveau for ROAD+ 8 % efter 471 dage. Her er det beklageligt, at der ikke er en måling for denne belægning efter 80 dage, da det kunne bidrage til en vurdering af tendensen i den observerede periode. Det er ikke sædvanligt, at SPB måling efter ca. 1 år på nyudført belægning er fundet så meget lavere end udgangspunktet. Overordnet set er forklaringen, at Landevej 411 i forhold til SPB måling for tunge køretøjer kun kan tages som et fingerpeg. Antallet af denne type køretøjer er underrepræsenteret, så der ikke indenfor en rimelig måleperiode kan registreres det antal tunge køretøjer, som kræves i SPB standarden. Dette er ikke et problem i forhold til personbiler. Siden det kun har været muligt at registrere i størrelsesordenen 20–30 tunge køretøjer



Figur 29 SPB måling for personbiler ved 80 km/h som funktion af antal dage efter udlægning. SRS reference er indlagt i figuren



Figur 30 SPB måling for flerakslede køretøjer ved 70 km/h som funktion af antal dage efter udlægning. SRS reference er indlagt i figuren



Figur 31 Rotation-sinddamper-opstilling til genindvinding af bindemiddel efter EN 12697-3

jer i forhold til de krævede mindst 80 til en korrekt måling for denne kategori, skal målingen for flerakslede køretøjer ved 70 km/h på SMA 11 med ROAD+ 8 % ikke tillægges for stor vægt.

#### Registrerede problemer ved materialetekniske prøver

Et vigtigt element i forsøgsprogrammet har været at identificere eventuelle problemstillinger mellem den heterogene struktur af ROAD+ modificering (bl.a. opkvædede gummipartikler) og de sædvanligvis anvendte europæiske kvalitetskontrolmetoder. Der er blevet konstateret nogle forhold, som påvirker kundens mulighed for at holde kontroldata op imod tidligere erfaringer fra belægnings med andre modificeringsmidler.

#### Genindvinding efter EN 12697-3

Kvalitetskontrol i form af genindvindinger fra alle de forekommende belægningsprøver er opgivet, da den eksisterende metode/procedure ikke kan anvendes på reproducerbar vis på ROAD+ modificerede materialer.

Forholdet skyldes til dels at de opkvædede gummipartikler kan sætte sig i de finmaskede net, der kan indgå i ekstraktionsudstyret. I de tilfælde, hvor de mindre gummipartikler er sluppet igennem til centrifugeringstrinet for bitumenopløsningen, har det været umuligt at isolere disse partikler, da nogle centrifugeres til bunden, andre stiger til overfladen af centrifugeres til overfladen, mens atter andre stadig findes "svævende" i bitumenopløsningen. Forholdet skyldes partiklernes varierende optag af olier fra bitumen og opløsningsmiddel, hvilket giver varierende densitet og dermed varierende opførsel ved centrifugeringen, der netop "sorterer" på basis af densitet i forhold til bitumenopløsningens densitet.

Prøver man, at overføre denne inhomogene opløsning til rotationsinddamper-opstillingen til genindvinding af bindemidlet efter forskriften, så tilstopper gummipartiklerne uvægerligt glasshanen, der styrer tilføringshastigheden af bitumenopløsningen. Derfor indgår

der ingen "før og efter" vurderinger af ROAD+ bindemidlerne i projektet.

Ændringer eller præciseringer (indsnævring) af proceduren er nødvendige for at adaptere nugældende metoder, men mulige ændringer kan desværre have karakter af at være meget apparat-specifikke og påvirke resultatet betydeligt i en general europæisk forskrift (tolkningsvanskeligheder mellem entreprenør- og bygherrekontrol). Samtidigt er det vigtigt, at kontaminering af benyttet udstyr med opkvædet gummimel ikke udelukker anden, sædvanlig anvendelse af benyttet laboratorieudstyr.

#### Kornstørrelsesfordeling efter EN 12697-2

Som allerede nævnt under genindvindingsmetoden kan ved sigtning af ekstraheret stenmateriale til bestem-

melse af kornstørrelsesfordeling tilstedeværelse af opkvædede gummipartikler være med til at tilstoppe de finere sigtestørrelser. Det kan i yderste konsekvens i beskedent omfang påvirke de fundne gennemfaldprocenter på sigterne fra 0,5 mm og ned til 0,063 mm. Fastholdte gummipartikler (og sortfarvning af Carbon Black fra bildækgummiet) vil betyde, at rengøring af de benyttede fine sigter bliver vanskeligere eller i hvert fald mere omstændeligt.

Hvis kornstørrelsesfordelingen bestemmes på stenmateriale, der kommer fra bestemmelse af bitumenprocent ved afbrænding (EN 12697-39), forekommer dette problem ikke, da bildækgummi (partikler og Carbon Black) vil være brændt af. Derved er dette forhold ikke så betydende for asfaltproducenter, der benytter EN 12697-39, hvor man har adgang til de "jomfruelige" stenmaterialer til bestemmelse af kalibreringskonstanten for den anvendte ovn. Derimod til det være generende for modtagekontrol og 3. partslaboratorier, da man sædvanligvis dér ikke har adgang til de "jomfruelige" sten, og hvor det heller ikke er økonomisk/praktisk at anvende denne afbrændingsmetode, fordi synergi mellem kalibreringskonstantbestemmelse til brug for mange recepter ikke er til stede.

#### **Korttidshærdning (RTFOT) efter EN 12607-1**

Ved modellfremstilling af ROAD+ modifikation efter den våde proces i høj koncentration (15 %) er det konstateret på linje med visse andre modificeringstyper, at bindemidlet er for "strukturet"/komplekst til, at det kan flyde som forudsat ved prøvningens konditionering til dannelse af en homogen, kontinuert film af bindemiddel, mens hærdningen foregår.

#### **OPFØLGNING PÅ DE UDFØRTE DEMONSTRATIONSSTRÆKNINGER**

Det planlagte forsøgsprogram i forbindelse med forforsøget på rasteplads Himmerland Øst og demonstrationsstrækningen på Landevej 411 er hermed afsluttet i dette regi.

Belægningerne på Landevej 411 vil nu i fremtiden indgå i den almindelige overvågning/vejinventering af Vejdirektoratets vejnet med vurdering af jævnhed og profil m.v. Som tidligere nævnt er det også tænkt at disse tre SMA 11 belægninger skal indgå i den population af belægninger, som Vejdirektoratets akustikere vil følge med hensyn til historisk udvikling af støjreducerende egenskaber i bestræbelserne på, at ændre den eksisterende støjreference fra en ca. 8 år gammel tætgraderet as-

faltbeton (AB 11t) til en tilsvarende reference af skærvemastiksbelægninger (SMA 11), da sidstnævnte i fremtiden har en større sandsynlighed for at blive anvendt på statsvejnettet.

Vejdirektoratet har også interesser i andre projekter om teksturforhold og rullemodstand. I disse projekter kan de udførte demonstrationsstrækninger også tænkes at indgå som en slags "reference" punkt i forhold til andre udførte belægninger, på grund af den velbeskrevne viden om belægningerne og deres forhistorie. Isoleret set har den relative forskel i tekstur i form af MPD-tal (Mean Profile Depth) mellem de tre belægninger af SMA 11 på Landevej 411 ikke nogen umiddelbar interesse, da MPD-tallet nok anses at være et for "groft" mål. Dette skyldes at de tre belægninger er født med samme kornkurve, bitumenprocent og indbygningsforhold. Relative forskelle kan først forventes, hvis andre fortolkninger af tekturen udvikles end MPD-tallet eller der ad åre opstår variationer med baggrund i forskellige nedbrydningshastigheder af belægningerne.

# KONKLUSION

Den samlede vurdering af demonstrationsstrækningerne og de udførte forsøg i projektet viser, at ROAD+ kan indgå som et muligt modificeringskoncept, hvor asfaltproducenter og entreprenører må udvikle deres dokumentation for den specifikke anvendelse (eksempelvis asfalttype og placering i belægningen (slidlag/binderlag/bærelag).

Projektets konklusioner er:

1. Modificering af SMA 11 med ROAD+ 15 % som bindemiddel giver ikke egenskaber på højde med referencen (SBS modificeret 40/100-75 bitumen).
2. Modificering af SMA 11 med ROAD+ 8 % vil kunne benyttes på steder, hvor anvendelse af polymerer med middel modificeringsniveau menes tilstrækkelig i forhold til trafikken. Der har ikke indgået sammenlignende reference til dette niveau i undersøgelsen, men egenskaberne af ROAD+ 8 % vurderes til at være på højere niveau end almindelig vejbitumen.
3. Der er ikke isoleret set nogen støjreducerende effekt af ROAD+ modificering.
4. Anvendelse af ROAD+ konceptet kan i forhold til Udbuds- og

anlægsforskrifter for varmblandet asfalt samt bindemiddel og klæbemiddel finde sted som specialbindemiddel med dokumenterede egenskaber.

Projektet har ikke omhandlet eventuelle energi- og CO<sub>2</sub>-mæssige betragtninger ved ROAD+ konceptet, da det har været udenfor formålet med det nærværende projekt.

**ANNEX A**

**UDMATTELSES-FORSØG  
UDFØRT AF COLAS FRANCE**



## Annex A Udmattelse-forsøg udført af Colas France

Uddrag af test rapport nr 110835 fra Colas, Campus for Science and Techniques (24-11-2011):

According to your assessment request, we have carried out a comparative study on your specimens for 3 formulations:

- SMA 11 40/100-75 (C110835/01): Colflex 70 S, high modification rate of S.B.S.
- SMA 11 70/100+8R (C110835/02): 8% Road+
- SMA 11 70/100+15R (C110835/03): 15% Road+

Complex modulus and fatigue resistance have been measured on these three formulations. The results are presented below:

	Formula C110835/01 Colflex 70S	Formula C110835/02 70/100 + 8%Road+	Formula C110835/03 70/100 + 15%Road+
<b>Complex Modulus (MPa)</b> 15°C, 10Hz	5375	6114	5452
<b>Voids content (%)</b>	6.0	5.4	5.8
<b>Fatigue Resistance : <math>\epsilon_6</math></b> 10 <sup>6</sup> cycles, 10°C, 25Hz	180	149	144
<b>Voids content (%)</b>	6.1	5.3	5.7

Bulk asphalts received have been warmed over in their tanks at 155°C for the C110835/01 and at 165°C for the two others. The temperature change was chosen in order to improve the workability of the mixes, without exceeding 170°C (under your recommendations). The smell of rubber is noticeable.

Then, these asphalt mixes were mixed in the lab mixer during 120s. The mixes are sticky and not easily workable. However, the compaction does not present any problem, except for mixes using Road+, there is some bow wave. The compaction rate has been chosen according to the compacting control carried out from site.

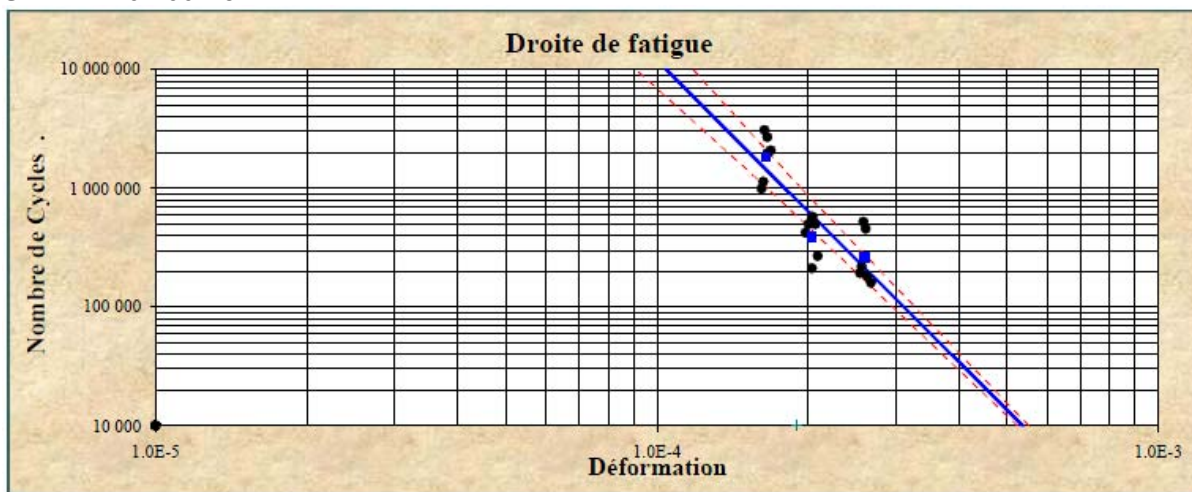
The comparative study gives the conclusions below:

- No significant differences in terms of stiffness modulus. The presence of Road+ does not influence the stiffness of the mix
- Regarding the fatigue resistance, the presence of Road+ decreases significantly this parameter (about 30-35  $\mu$ def), in comparison with the Colflex S70.
- The higher the ratio of Road+, the lower the fatigue resistance is, but it remains in the same magnitude.

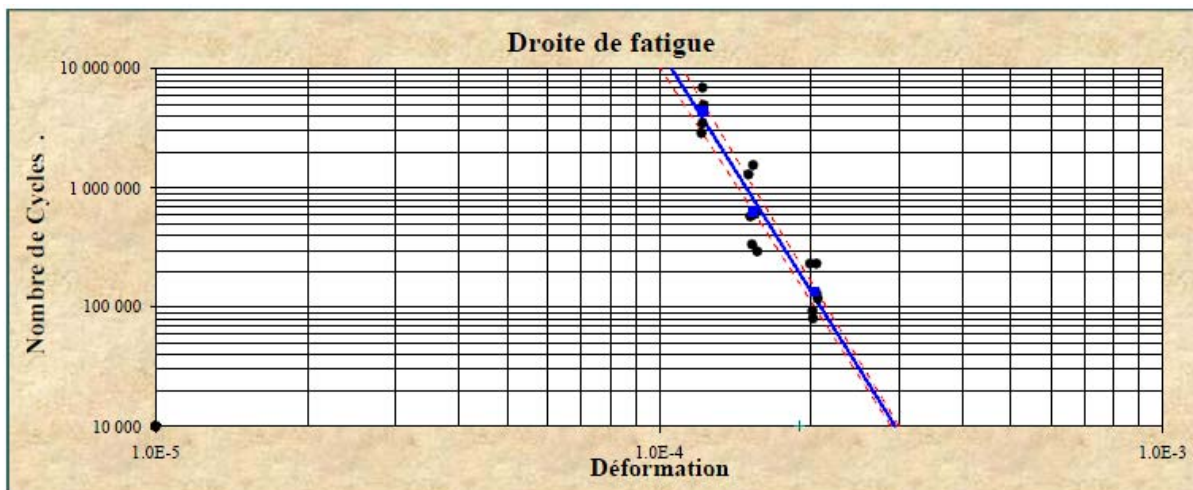
The Road+ is partly used to substitute binder modified with S.B.S. With this comparative study, it seems that the Road+ gives the same stiffness to the mix but decreases the fatigue resistance, unlike a S.B.S. modified binder.

Afbildninger af udmattelsesforsøg (antal påvirkninger til brud som funktion af tøjning i dobbelt logaritmisk afbildning, udført ved 2-punkt udbøjning af trapez-formet prøvelegemer ved 10 °C og 25 Hz).

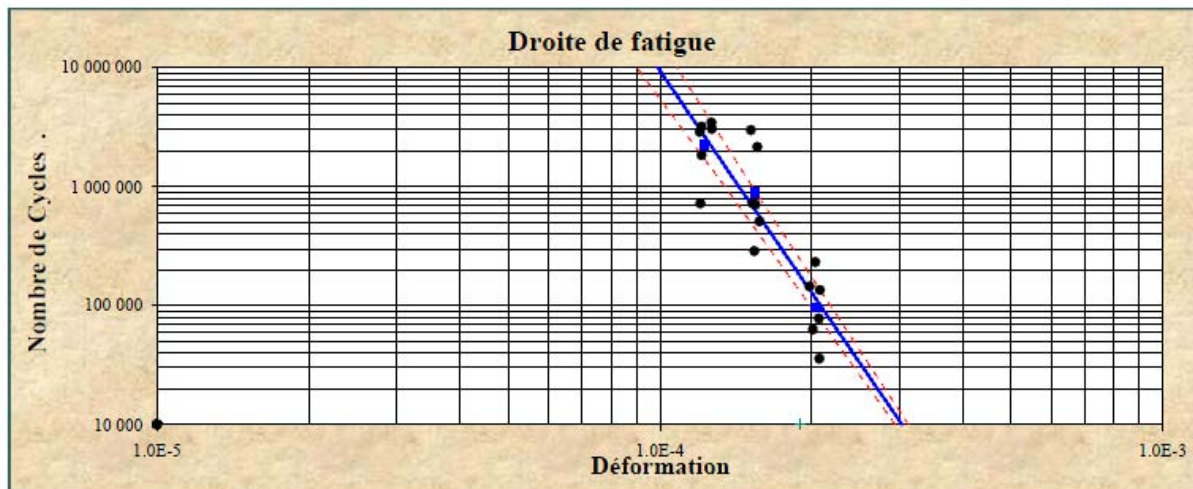
### SMA 11 40/100-75



### SMA 11 70/100 +8R



### SMA 11 70/100 + 15R



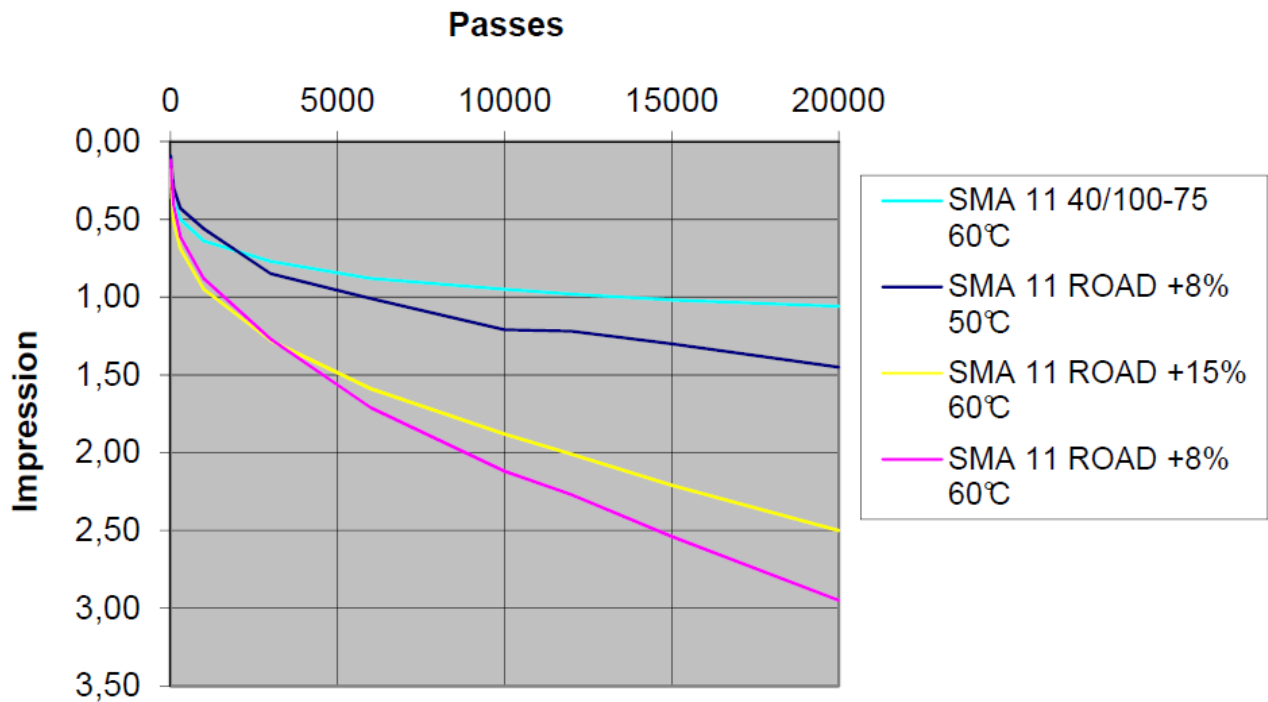
## **ANNEX B**

# **WHEEL TRACKING TEST UDFØRT AF COLAS DANMARK A/S**

## Wheel Tracking Test

<b>Project:</b>	GENAN ROAD+			
<b>Sample identification:</b>	SMA 11 ubel Edslev asphalt plant.			
<b>Test Temperature:</b>	50°C and 60°C			
<b>Load:</b>	705 Newton	<b>Sign:</b>		AST
<b>Reference:</b>	EN 12697-22+A1:2007			
<b>Test procedure:</b>	Small-size device, procedure B in water.			
	Mean of 2 specim.	Mean of 2 specim.	Mean of 2 specim.	Mean of 2 specim.
<b>Wheel Track Test date:</b>	27-10-2011	16-11-2011	30-11-2011	13-12-2011
<b>Specimen age, days:</b>	3	20	5	7
<b>Mixtures:</b>	SMA 11 ROAD +8% 50°C	SMA 11 ROAD +8% 60°C	SMA 11 ROAD +15% 60°C	SMA 11 40/100- 75 60°C
<b>Specification or receipt no.</b>	20-54450	20-54450	20-54456	20-56432
<b>Bituminous mixture date:</b>	27-06-2011	27-06-2011	28-06-2011	29-06-2011
<b>Specimen manufacture date:</b>	24-10-2011	27-10-2011	25-11-2011	06-12-2011
<b>Mixing method:</b>	Mechanical	Mechanical	Mechanical	Mechanical
<b>Type of mixer:</b>	Asphalt Plant	Asphalt Plant	Asphalt Plant	Asphalt Plant
<b>Mix temperature °C:</b>	153	153	158	165
<b>Compaction EN 12697-33:</b>	Sliding steel plates	Sliding steel plates	Sliding steel plates	Sliding steel plates
<b>Compaction temp. C:</b>	144	143	141	147
<b>Specimen storage temp. °C:</b>	15	15	15	15
<b>Thickness mean[mm]</b>	45,6	45,5	45,4	44,3
<b>Bulk density EN 12697-5 C [Mg/m3]:</b>	2,553	2,553	2,531	2,541
<b>Marshall reference [Mg/m3]:</b>	2,631	2,631	2,609	2,649
<b>Compaction %:</b>	97,0	97,0	97,0	95,9
<b>RDw 10000 cycle [mm]</b>	3,6	4,8	2,5	1,1
<b>PRDw 10000 cycle [%]</b>	7,9%	10,5%	5,5%	2,5%
<b>WTSw [mm/1000]</b>	0,05	0,17	0,12	0,02
<b>Notes:</b>	Reheating mixture to make specimens.			

### Wheel Track, Small size device procedure B in water



Mixtures:	SMA 11 ROAD +8% 50°C	SMA 11 ROAD +8% 60°C	SMA 11 ROAD +15% 60°C	SMA 11 40/100-75 60°C
Passes	mm	mm	mm	mm
10	0,09	0,12	0,17	0,13
30	0,16	0,24	0,31	0,25
100	0,30	0,41	0,51	0,38
300	0,43	0,61	0,69	0,50
1000	0,56	0,88	0,95	0,64
3000	0,85	1,27	1,28	0,77
6000	1,01	1,71	1,59	0,88
10000	1,21	2,12	1,88	0,95
12000	1,22	2,27	2,01	0,98
15000	1,30	2,54	2,21	1,02
20000	1,45	2,95	2,50	1,06



## **ANNEX C**

# **LAVTEMPERATURFORSØG UDFØRT AF GÉGAN INTERNATIONAL, QUEBEC, CANADA**

**Annex C Lavtemperaturforsøg udført af GÉCAN International, Quebec, Canada**

Prøvning efter AASHTO TP10 Temperature Stress Restrained Specimen Test (TSRST)

Uddrag af Excel-rapporteringsdata

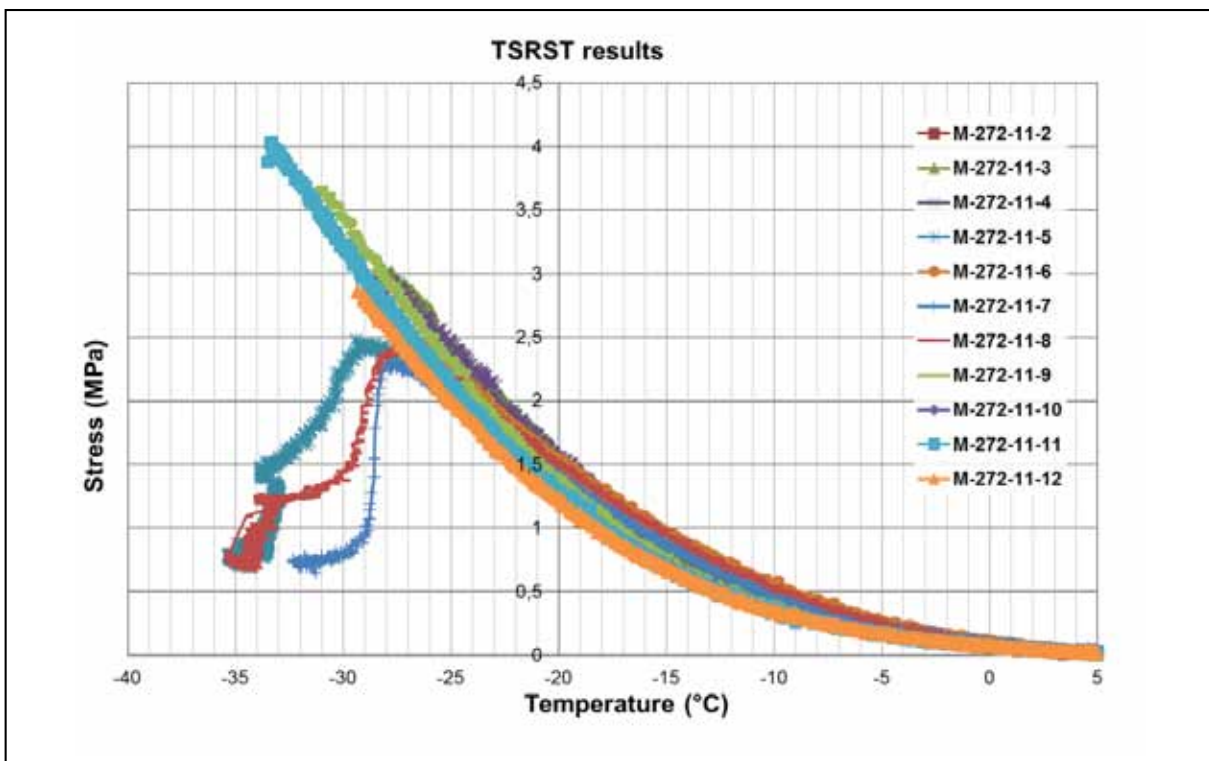


GÉCAN INTERNATIONAL LTÉE

TSRST

	Maximum Stress (MPa)	T° at maximum Stress (°C)	Bulk Density	Voids (%)
M-272-11-2	2,5	-27,7	2,538	
M-272-11-3	3,0	-28,3	2,549	
M-272-11-4	2,9	-28,1	2,537	
M-272-11-5	2,4	-29,4	2,500	
M-272-11-6	2,7	-28,6	2,529	
M-272-11-7	2,3	-28,0	2,526	
M-272-11-8	2,4	-27,7	2,533	
M-272-11-9	3,6	-31,0	2,547	
M-272-11-10	3,4	-31,1	2,537	
M-272-11-11	3,9	-33,3	2,511	
M-272-11-12	2,8	-29,3	2,526	
s	0,5	1,8	0,01	
Average	2,9	-29,3	2,530	

<sup>(1)</sup> confidence interval of 95%



Dansk efterbehandling til bestemmelse af middel for de enkelte asfalttyper:

Prøve ID nr.	Binder	Maximum Stress	T° at maximum Stress	Bulk Density
		[MPa]	[°C]	[Mg/m <sup>3</sup> ]
M-272-11-2	Road+ 8 %	2,8	-28,0	2,541
M-272-11-3				
M-272-11-4				
M-272-11-5	Road+ 15 %	2,4	-28,4	2,522
M-272-11-6				
M-272-11-7				
M-272-11-8				
M-272-11-9	40/100-75	3,4	-31,2	2,530
M-272-11-10				
M-272-11-11				
M-272-11-12				

## **ANNEX D**

# **VÄNDSKAK FORSÖG UDFÖRT AF NCC ROADS A/S, SVERIGE**

# Road+

## Väandskaksförsök



### Sammanfattning

Denna rapport redovisar en serie väandskaksförsök med inblandning av gummimel (gummipulver) i bindemedlet. Undersökningen har omfattat 2 olika basbindemedel, Nynäs och Total, och 2 olika stenmaterial, Jelsa och Norit. Andelen gummipartiklar i bindemedlet var 8 vikt-% resp. 15 vikt-%. Några blandningar hade 40/100-75 (Colflex) som bindemedel.

Resultaten visar att nötningen, uppmätt efter väandskaksförsök, ökar med inblandning av Road+ (gummimel och Vestenamer). För blandningar baserade på Nynäsbitumen är nötningen lägre än för motsvarande blandningar baserade på Total. Norit har lägre nötning än Jelsa och slutligen visade blandningar med Colflex lägst nötning.



# 1. INTRODUKTION

Denna rapport redovisar en serie vändskaksförsök med inblandning av gummimel (gummipulver) i bindemedlet.

## 2. METODER OCH PROVINGAR

### 2.1. MATERIAL

Materialtyperna var 7 olika bindemedel och 2 olika stenmaterial. Grundmaterialen skickades från NCC Roads i Danmark. De olika stenmaterialen var:

- Norit (A)
- Jelsa (B)

och de olika bindemedlen:

- I 70/100 Nynäs Venezuela
- II 70/100 Total
- III 85 % 70/100 Nynäs + 15 % Road+
- IV 85 % 70/100 Total + 15 % Road+
- V 40/100-75 Colflex
- VI 92 % 70/100 Nynäs + 8 % Road+
- VII 92 % 70/100 Total + 8 % Road+.

Samtliga kombinationer av bindemedel och stenmaterial provades och en slumpvist utvald blandning (Jelsa och Colflex) repeterades för att statistiskt kunna skatta försöksfelet.

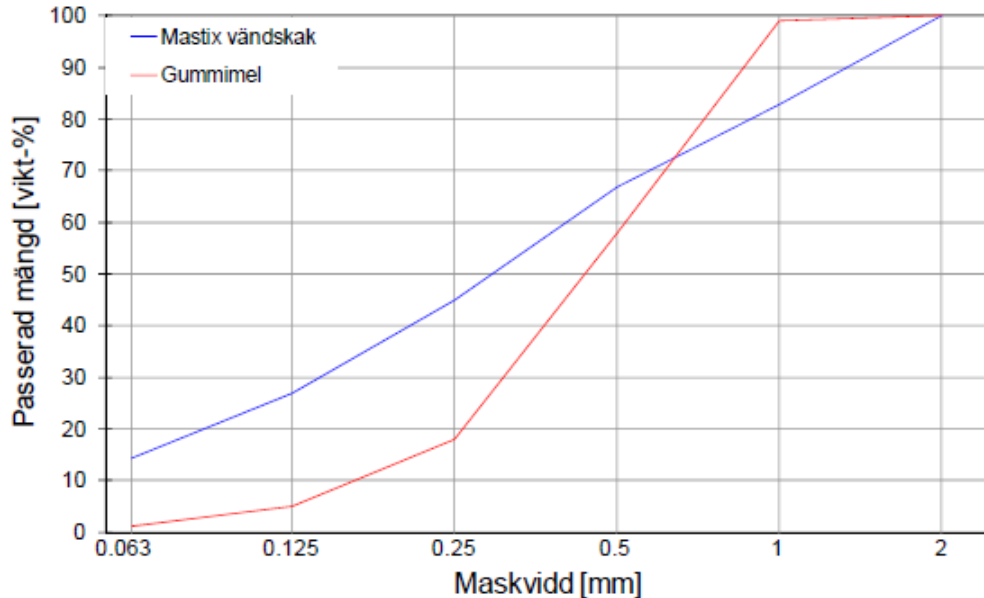
Road+ är en tillsats bestående av gummimel och Vestenamer som blandas med basbindemedel från antingen Nynäs eller Total. Blandningen av Road+-modifierat bindemedel genomfördes enligt följande:

- basbindemedlet värmdes till 180 °C
- bindemedel, gummimel och Vestenamer vägs i mängder enligt BILAG 1
- blandningen omröres under 1 minut - 2 minuter
- blandningen förvaras vid 170 °C under 2 timmar. Under dessa 2 timmar omröres blandningen 1 minut - 2 minuter varje 15 minuter, d.v.s. totalt 8 gånger
- det modifierade bindemedlet hålls ut på folie för snabb avkylning.

Det framställda bindemedlet hanteras sedan kallt vid invägning till blandningar för vändskaksförsök.

## 2.2. VÄNDSKAKSPROVNING

Enligt vändskakmetoden tillverkas provkroppar som sedan vattenlagras och utsätts för nötning. Mastixproven tillverkas av material med största stenstorlek 2 mm och kornstorleksfördelning enligt figur 1, i vilken även gummimaterialets kornstorleksfördelning visas.

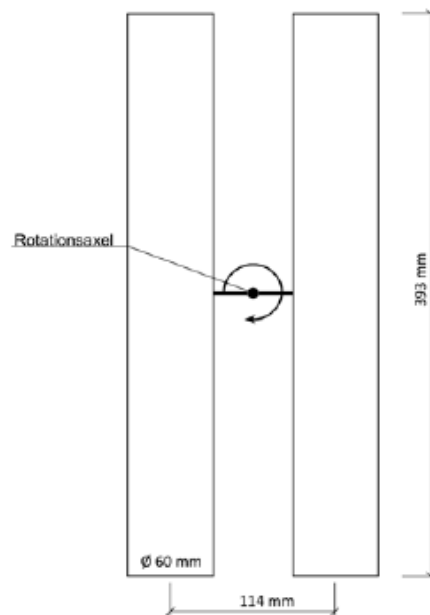


Figur 1. Kornstorleksfördelning för mastix och gummimel.

Den nominella bindemedelshalten var i denna undersökning 6,7 % av total vikt baserat på en stendensitet om 2660 kg/m<sup>3</sup>. För stenmaterialen i denna undersökning var de justerade bindemedelshalterna:

- Jelsa 6,7 vikt-%
- Norit 6,0 vikt-%.

Nedan ges en kortfattad beskrivning av metoden. Stenmaterial och bitumen blandas vid 150 °C varefter 40 g mastix packas i en form med diametern 30 mm. Provet packas med en stämpel, över hela överytan, med en hastighet av 20 mm/min. När belastningen uppgår till 10 kN avbryts nedtryckningen och uppnådd provhöjd hålls under något tiotal sekunder varpå stämpeln avlastas. Slutlig provstorlek är cylindrar med 30 mm diameter och ungefärlig höjd på 27 mm. Provkropparnas skrymdensitet bestäms enligt SS-EN 12697-6 (vägning under vatten) och volymen baseras på mätning enligt SS-EN 12697-29 (geometrisk mätning med skjutmått). Proverna konditioneras sedan under vatten vid 25 °C under 3 timmar varav 2,5 timmar vid ett absoluttryck på 6,7 kPa. Efter konditioneringen vattenlagras provkropparna vid 40 °C under 48 h för att sedan vägas och volymsbestämmas. Provkropparna trumlas sedan enskilt i vattenfyllda rör med dimensioner enligt figur 2.



Figur 2. Schematisk beskrivning av vändskakustrustning.

Rören roteras 3600 varv med hastigheten 20 varv/min vid rumstemperatur. Efter denna nötning sköljs och vägs provkropparna. Baserat på mätningarna beräknas sedan svällning ( $S$ ) som volymsförändring under vattenlagring och nötning ( $N$ ) som viktsförändring efter nötning enligt:

$$S = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \quad 1$$

$$N = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \quad 2$$

där  $V_1$  och  $V_2$  är volym efter tillverkning respektive vattenlagring, och  $m_2$  och  $m_3$  är vikt efter vattenlagring respektive nötning. För varje blandning provades 4 provkroppar för vilka medelvärden av nötning, svällning och hålrumsinhalt beräknas.

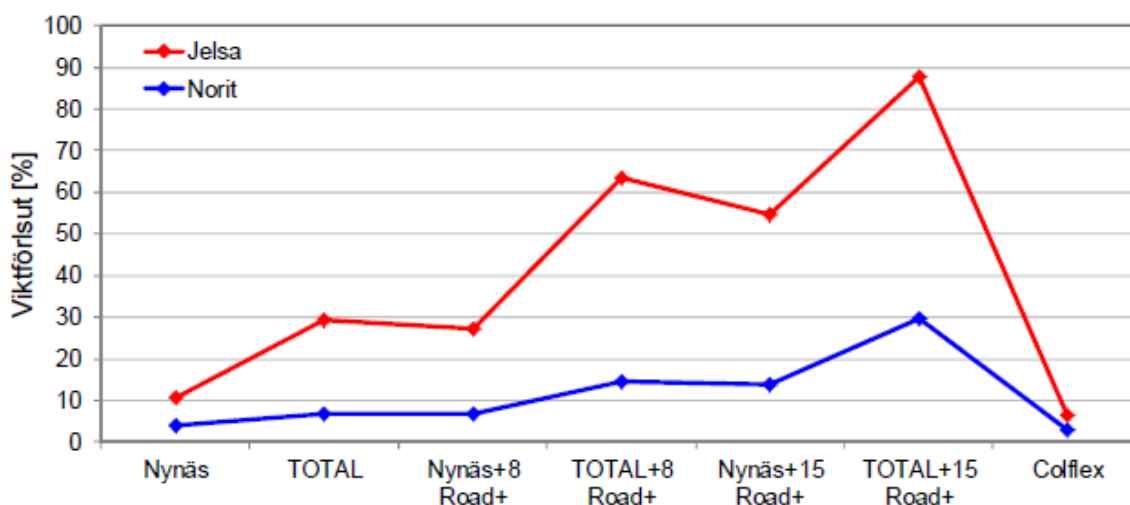
### 3. RESULTAT

Medelvärden avseende nötning för resp. blandning sammanfattas i tabell 1.

Tabell 1. Medelvärde för nötning (vikt-%)

Sten/Bitumen	1	2	3	4	5	6	7
Jelsa	10,9	29,2	54,7	87,8	6,3	27,2	63,6
Norit	4,1	6,8	13,7	29,6	3,0	6,8	14,4

Resultaten i tabell 1 indikerar att blandningar med Jelsa i regel visar högre nötning jämfört med Norit och att det är stor skillnad mellan bindemedlen oavsett stenmaterial. Figur 3 åskådliggör resultaten grafiskt med gruppering baserad på basbindemedel och tillsats av Road+.



Figur 3. Sammanställning av viktförluster för de olika blandningarna.

Grupperade resultat i figur 3 indikerar att nötningen ökar, för både Nynäs och Total, med ökad inbladning av Road+ och att blandningar baserade på Total generellt visar något högre nötning jämfört med motsvarande blandning med Nynäs-bindemedel.

För att ytterligare undersöka de olika faktorernas inverkan analyserades resultaten även med variansanalys. Den statistiska modellen är en variansanalys med 3 faktorer, *basbindemedel*, *Road+* och *stenmaterial* som faktorer enligt:<sup>1</sup>

$$N_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk} \quad 3$$

där  $N$  är nötning,  $\mu$  är generellt medelvärde,  $\alpha$  effekt av basbindemedel (Nynäs, Total),  $\beta$  är effekt av tillsats av Road+ i olika andelar (0 %, 8 % och 15 %),  $\gamma$  är effekt av de olika stenmaterialen (Jelsa och Norit) och slutligen är  $\varepsilon$  felet. Variansanalysen omfattar inte Colflex-blandningar.

Variansanalysen visar effekt för samtliga faktorer: *basbindemedel*, *Road+* och *stenmaterial*. Baserat på post-hoc-analys dras följande statistiskt signifikanta slutsatser:

- blandningar med Norit visar lägre nötning än blandningar med Jelsa
- bindemedel baserade på Nynäs ger lägre nötning
- tillsats av 15 % Road+ ger högre nötning

<sup>1</sup> Nollhypotesen är att det inte föreligger någon effekt av de olika faktorerna. Vald signifikansnivå ( $\alpha$ ) är 5 %.

övriga skillnader kan förklaras med slumpfel.

Mätningar av provkropparnas svällning sammanfattas i tabell 2.

Tabell 2. Medelvärde för svällning (vol.-%)

Sten/Bitumen	1	2	3	4	5	6	7
Jelsa	3,3	7,3	9,0	11,9	2,3	7,4	10,4
Norit	1,0	1,3	4,5	5,0	1,3	2,6	3,6

Svällningen visar ungefär samma mönster som nötningen: hög grad av nötning samtidigt som stor svällning. En variansanalys ger följande signifikanta skillnader:

- blandningar med Norit visar lägre svällning än blandningar med Jelsa
- bindemedel baserade på Nynäs ger lägre svällning
- tillsats av Road+ ger högre svällning

övriga skillnader kan förklaras med slumpfel.

Slutligen sammanfattas de olika blandningarnas hålrumsalter i tabell 3.

Tabell 3. Medelvärde för hålrumsalter (vol.-%)

Sten/Bitumen	1	2	3	4	5	6	7
Jelsa	11,3	12,6	16,0	17,0	11,9	13,7	14,8
Norit	15,0	15,7	18,8	20,7	14,8	17,3	18,7

En variansanalys av uppmätta hålrumsalter ger följande signifikanta skillnader:

- blandningar med Norit visar högre hålrumsalter än blandningar med Jelsa
- bindemedel baserade på Nynäs har lägre hålrumsalter jämfört Total
- tillsats av Road+ ger högre hålrumsalter som ökar med ökad andel Road+

övriga skillnader kan förklaras med slumpfel.

Även om skillnaden mellan Nynäs och Total är signifikant är den liten och dess inverkan på resultaten troligen försumbar.

## 4. KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

I denna typ av undersökningar är hålrumsalten något man i regel önskar hålla så konstant som möjligt. I detta fall har dock hålrumsalten varit svår att kontrollera. Densitetsskillnader i ingående stenmaterial kompenseras med justering av bindemedelshalt. Blandningar med Norit visar högre hålrumsalter än blandningar med



Jelsa men samtidigt lägre grad av nötning. Hålrums halten är en störvariabel vars inverkan inte varit möjlig att helt kontrollera. Tillsats av Road+ ger avsevärt högre hålrums halter. Detta kan ha samband med att gummipartiklarna inte helt uppgår i bindemedlet utan även uppträder som partiklar. Figur 3 visar att gummipartiklarnas storleksfördelning är i paritet med stenmateriallets. Detta kan påverka blandningarnas volumetriska förhållanden så att hålrums halten blir högre vid aktuell bindemedelshalt. För att motverka detta skulle gummiblandningar kräva enskilda proportioneringar eventuellt med förhöjd bindemedelsalt för att kompensera för partikeleffekten. Det är nog även så att gummit till viss del absorberar delar av basbindemedlet och sväller, vilket ytterligare påverkar den sammanlagda kornstorleksfördelningen.

Generellt uppfattas en högre grad av svällning som potentiellt negativt men det saknas erfarenhet för att konkretisera detta i termer av absolutnivåer.

Baserat på resultat erhållna i denna undersökning kan följande slutsatser dras:

- tillsats av Road+ gav högre nötning
- bindemedel baserade på Nynäs visade lägre nötning jämfört med Total
- blandningar med Norit gav lägre nötning än blandningar med Jelsa
- blandningar med Colflex visade lägst nötning.

Hålrums halten har varierat vilket försvårar tolkningen av slutsatserna. Inblandning av gummipulver påverkar eventuellt blandningarnas volumetriska förhållande och partikelstorleksfördelning. Resultaten skulle kunna påverkas om gummiblandningarna proportionerades enskilt för att erhålla lägre hålrums, eventuellt genom att höja bindemedelshalten.



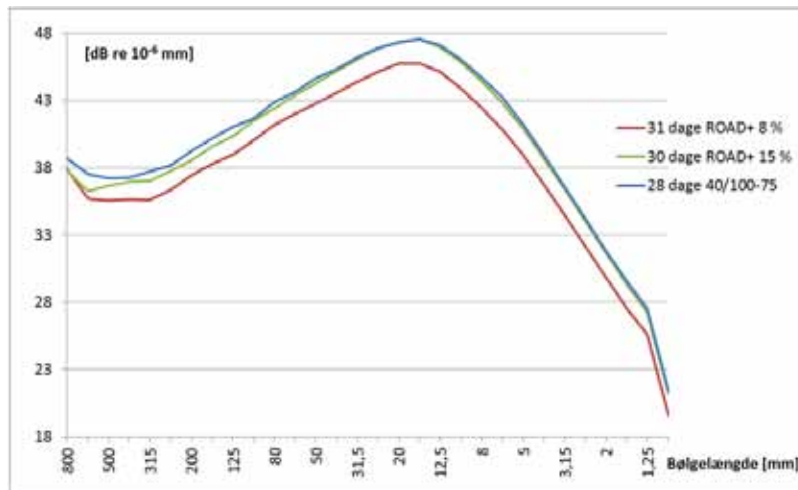
## **ANNEX E**

# **TEKSTUR-SPEKTRE FRA BELÆGNINGERNE PÅ LANDEVEJ 411**

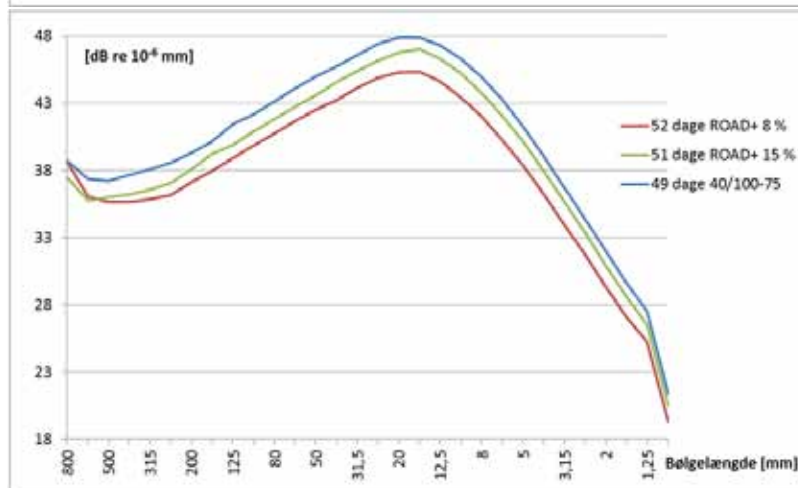
## Annex E Tekstur-spektre fra belægningerne på Landevej 411

I forbindelse med bestemmelse af MPD-tallet er foretaget samtidigt med CPX-målingerne er der udført spektral-analyse af tekturen. Kurverne viser i princippet hyppigheden af bølgelængder i den udførte belægningsoverflade. Belægningernes generelle placering i lodret retning afspejler det niveau, som MPD-tallet viser i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** i rapporten. Alle kurverne viser, at den hyppigste bølgelængde ligger omkring 12,5 – 16 mm, og der er ikke nogen ændring af dette forhold i den undersøgte tidsperiode (fra 1 – 12 måneder efter udlægning af belægningerne).

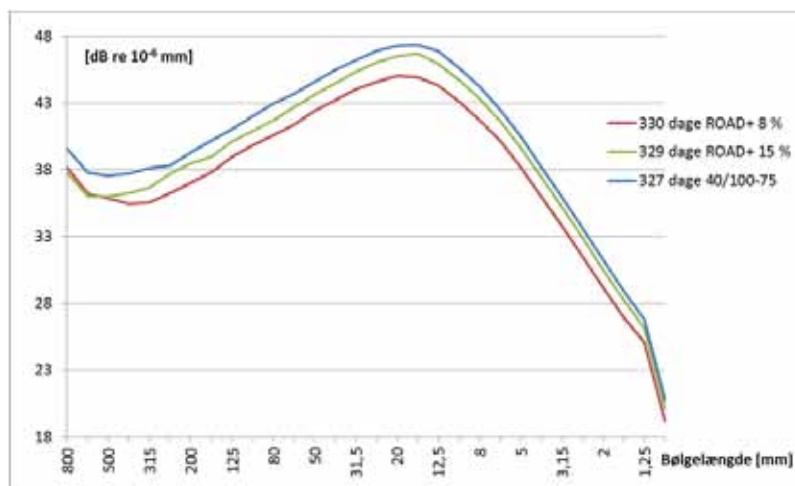
Figur E.1 Tekstur-spektre efter ca. 30 dage



Figur E.2 Tekstur-spektre efter ca. 50 dage



Figur E.3 Tekstur-  
spektre efter ca.  
330 dage





Vejdirektoratet har lokalkontorer i Aalborg, Fløng, Middelfart, Næstved og Skanderborg samt hovedkontor i København.

Find mere information på [vejdirektoratet.dk](http://vejdirektoratet.dk).

**VEJDIREKTORATET**

Niels Juels Gade 13  
Postboks 9018  
1022 København K  
Telefon 7244 3333

[vd@vd.dk](mailto:vd@vd.dk)  
[vejdirektoratet.dk](http://vejdirektoratet.dk)

