



# Undersøgelser af drænasfalt som støjreducerende slidlag

Rapport nr. 530

**Undersøgelser af drænasfalt som  
støjreducerende slidlag**

**Dato:**

Marts 2015

**Forfatter:**

Hans Bendtsen

**Tryk:**

Vejdirektoratet

**ISBN (NET):**

978-87-93184-52-7

**Copyright:**

Vejdirektoratet, 2015

# Indhold

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sammenfatning</b>                                                    | <b>4</b>  |
| <b>English summary</b>                                                  | <b>5</b>  |
| <b>Forord</b>                                                           | <b>6</b>  |
| <b>1. Indledning</b>                                                    | <b>7</b>  |
| <b>2. Tidligere danske undersøgelser af drænasfalt</b>                  | <b>9</b>  |
| 2.1 Forsøg med et lag drænasfalt ved Viskinge                           | 10        |
| 2.2 Forsøg med to-lags drænasfalt på Øster Søgade                       | 15        |
| <b>3. Nye målinger på drænasfalt</b>                                    | <b>21</b> |
| 3.1 Drænasfalt med stor stenstørrelse                                   | 21        |
| 3.2 Permeabel vejstrækning                                              | 25        |
| <b>4. Forsøget ved Arnakke</b>                                          | <b>28</b> |
| <b>5. Undersøgelse af belægnings overfladetemperatur</b>                | <b>32</b> |
| 5.1 Baggrund og forsøgslayout                                           | 32        |
| 5.2 Resultater og analyser                                              | 34        |
| 5.3 Konklusion og diskussion om termodynamiske egenskaber               | 37        |
| <b>6. Europæiske erfaringer med vintervedligeholdelse og holdbarhed</b> | <b>40</b> |
| 6.1 Bayern i Tyskland                                                   | 40        |
| 6.2 Schweiz                                                             | 41        |
| 6.3 Frankrig                                                            | 43        |
| 6.4 Holland                                                             | 43        |
| 6.5 Opsamling på europæiske erfaringer                                  | 44        |
| <b>7. Afløbsvand og drænasfalt</b>                                      | <b>45</b> |
| <b>8. Opsamling og vurdering</b>                                        | <b>47</b> |
| <b>9. Litteratur</b>                                                    | <b>51</b> |

# Sammenfatning

Denne rapport omhandler undersøgelse af fordele og ulemper ved anvendelse af drænasfalt som virkemiddel til at reducere støjen fra vejtrafikken. Rapporten er baseret på analyser af tidligere resultater, nye målinger og forsøg samt litteraturstudier og en studierejse til fire europæiske lande. Resultaterne kan kort sammenfattes til følgende:

1. Drænasfalt kan optimeres således, at der opnås "SRS speciel"-klassifikation eller endda en endnu bedre støjreduktion og således at der opnås en gennemsnitlig støjdæmpning over slidlagenes levetid på op mod 4 dB i forhold til tæt asfaltbeton belægning og 4,5 dB i forhold til SMA11.
2. Det ser ud til, at der kan opnås en god støjreduktion ved anvendelse af en maksimal stenstørrelse på 8 mm eller 11 mm, hvilket formodentlig også vil give længere strukturel holdbarhed end belægninger med 6 mm maksimal stenstørrelse.
3. Den støjreducerende effekt ser ud til at være bedst for veje med hastigheder på 80 km/t eller mere, og på sådanne veje vil der ikke være behov for rensning af slidlagene.
4. Det er nødvendigt at anvende højmodificeret SBS bitumen eller lignende samt evt. klæbeforbedrer og cellulosefibre mv. for at sikre en lang levetid.
5. Man kan forlænge levetiden ved at forsegle med bitumenemulsion, men det skal være udført inden der optræder markant stentab.
6. Levetiden for drænasfalt vil være kortere end for tætte belægninger som AB 11t og SMA-belægninger.
7. Anlægsudgifterne vil være højere end for "almindelige" belægninger.
8. Der vil være ekstra udgifter til vedligeholdelse.
9. Samlet set er der en svag tendens til at drænasfalten afkøler langsommere end tæt asfalt og har færre rimsituationer.
10. Vintervedligeholdelse af drænasfalt er mere kompliceret og kræver bl.a. anvendelse af måske 50% mere salt end normalt. Der vil være et behov for at udvikle procedurer og metoder som er tilpasset danske forhold.
11. Der er ikke i dette projekt fundet indikationer på at drænasfalt i forhold til trafikssikkerhed er en dårligere løsning end anvendelse af almindelige slidlag.
12. Målinger tyder på, at drænasfalten tilbageholder en del af vejvandets tungmetaller og PAH.
13. Cost benefit-undersøgelser kan anvendes til at undersøge om anvendelse af støjskærme eller støjreducerende slidlag er det mest omkostningseffektive i givne situationer.

# English summary

This report is about an investigation on pros and cons of using porous asphalt as a tool to reduce noise from road traffic. The report is based on analysis of results from previous experiments, new measurements and experiments as well as on literature studies and a study tour to four European countries. The results can be summarized as the following:

1. Porous asphalt can be optimized so it can be classified as a "SRS special" pavement or even better in relation to noise according to the Danish classification system. The average noise reduction over the lifetime of the pavement can be up to 4 dB in relation to dense asphalt concrete and 4.5 dB in relation to SMA 11
2. A good noise reduction can be achieved by using aggregates of 8 or 11 mm of size and this will presumably result in a better structural durability than if 6 mm aggregates were used
3. The noise reducing effect seems to be best on roads with speeds of 80 km/h or higher and on such roads there is no need for cleaning of porous asphalt.
4. It is necessary to use a highly modified SBS bitumen or the like and an agent to improve the gluing effect as well as cellulose fibers to ensure a long lifetime
5. Sealing of the porous asphalt with a bitumen emulsion before raveling occurs can improve the lifetime
6. The lifetime of porous asphalt will be shorter than the lifetime for dense asphalt concrete or SMA pavements
7. The construction costs of porous asphalt will be higher than the costs of "ordinary" pavements
8. There will be extra costs for maintenance
9. There is a general tendency that the surface of porous asphalt cools slower than the surface of dense asphalt concrete and there are fewer situations with rime on the porous pavements
10. Winter maintenance on porous asphalt is more complicated. There is a need for around 50% more salt than normally. There is a need to develop procedures and methods adjusted to Danish conditions
11. In this project there has not been found indications that porous asphalt in relation to traffic safety is a worse solution than the use of ordinary pavements
12. Measurements indicates that porous asphalt detain parts of the heavy metals and PAH in the road water
13. Cost benefit analysis can be used to investigate if the use of noise barriers or noise reducing pavements is the most cost effective solution in given situations

# Forord

Denne rapport indeholder resultaterne af en række undersøgelser af mulighederne for at anvende drænasfalt som støjreducerende slidlag. Rapporten er baseret på forsøg og målinger, som er gennemført i Danmark suppleret med indsamling af den nyeste internationale europæiske viden.

Vejdirektoratet har gennemført projektet "Optimering af støjreducerende slidlag", der har som mål at udvikle og teste nye slidlag med optimerede støjreducerende egenskaber samt god holdbarhed. Projektet er gennemført inden for rammerne af en pulje til udvikling af nye metoder til støjbekæmpelse i perioden 2009-2014, som er igangsat af Transportministeriet i henhold til "Aftale om en grøn transportpolitik" fra januar 2009. Som en vigtig del af projektet er der gennemført en undersøgelse af fordele og ulemper ved anvendelse af drænasfalt som virkemiddel til at reducere støjen fra vejtrafikken. Denne rapport dokumenterer og præsenterer resultaterne fra de gennemførte undersøgelser af drænasfalt. Der er desuden udarbejdet en separat rapport, som sammenfatter resultaterne fra de gennemførte undersøgelser af tynde støjreducerende slidlag [25].

Projektet er gennemført af en arbejdsgruppe, som i 2014 havde følgende medlemmer fra Vejdirektoratet:

- Hans Bendtsen (projektleder)
- Bent Andersen
- Erik Nielsen
- Erik Olesen
- Bo Wamsler
- Jens Oddershede
- Rasmus Stahlfest Holck Skov
- Claus Krøldrup Pedersen

Til projektet har der ligeledes været tilknyttet en følgegruppe med følgende medlemmer fra Vejdirektoratet:

- Bjarne Schmidt
- Peter Andersen
- Freddy Knudsen

Flere medarbejdere fra Vejdirektoratet og rådgivere har bidraget til udarbejdelsen af de undersøgelser, som er præsenteret i denne rapport. Undersøgelserne af mængden af miljøfremmede stoffer i sedimentet fra drænasfalt er foretaget af Marianne Grauert, Michael R. A. Larsen, Mikkelt Møllerup og Annette Neidel – alle fra Vejdirektoratet. Forfatteren vil gerne rette en stor tak til alle de deltagende kolleger, hvis entusiastiske indsats har muliggjort dette arbejde.

# 1. Indledning

Dette projekt har som mål at udvikle og teste nye slidlag med optimerede støjreducerende egenskaber samt at medvirke til at gøre sådanne slidlag tilgængelige på markedet, så Vejdirektoratet og de kommunale vejforvaltninger kan bruge dem i forbindelse med nyanlæg og vedligeholdelse.

Det er vigtigt at projektet står på skuldrene af den nyeste viden både internationalt samt fra Danmark. Som et led i projektet er der derfor gennemført et internationalt litteraturstudie. Som en del af et samarbejde med de nationale hollandske vejmyndigheder offentliggjorde Vejdirektoratet i 2009 en rapport [1] i SUPSIL-projektet, der belyste den nyeste internationale viden i forhold til at designe vejbelægninger med et meget stort støjreducerende potentiale. Dette studie viste, at der er optimeringspotentialer ved anvendelse af tynde slidlag med lille maksimal stenstørrelse og stort indbygget hulrum, ved anvendelse af drænasfalt i et eller to-lags samt ved brug af poroelastiske slidlag. Der er således tre hovedstrategier for udvikling af støjreducerende slidlag:

1. Optimering af tynde slidlag
2. Optimering af drænasfalt
3. Poroelastiske belægninger, hvor en del af stenmaterialet erstattes med gummi granulat.

Denne rapport omhandler drænasfalt. Der udarbejdes en separat rapport om optimering af tynde slidlag [25]. Denne rapport om drænasfalt er baseret på nye analyser

af tidligere resultater, nye målinger og forsøg samt litteraturstudier og en studierejse til fire europæiske lande. I rapporten anvendes en tværfaglig tilgang som bl.a. indbefatter områderne støj, materiale teknologi, vintervedligeholdelse og meteorologi samt vand og miljø teknologi.

Vejdirektoratet har ligeledes i perioden 2009 til 2015 været partner i det EU-finansierede PERSUADE-projekt [2], som har til formål at udvikle og teste poroelastiske vejbelægninger. Danske resultater fra PERSUADE-projektet kan bl.a. findes i [3].

Hovedformålet med denne rapport er at belyse en række centrale aspekter ved drænasfalt, som er relevante at kende til, hvis drænasfalt ønskes anvendt som en støjreducerende vejbelægning. I dette projekt foretages der derfor en række nye analyser og undersøgelser af drænasfalt for at kunne vurdere, om drænasfalt kunne være en mulighed for at opnå en høj støjreduktion. Blandt grundene til ikke at anvende drænasfalt er, at der er en frygt for problemer med vintervedligeholdelse og trafik-sikkerhed samt belægningernes holdbarhed.

Drænasfalt er kendt for at have gode støjreducerende egenskaber i forhold til bl.a. tæt asfaltbeton. Der er dog rapporteret om problemer med at anvende normal vintervedligeholdelse af drænasfalt, som både kan skyldes belægningens åbne overfladestruktur, der kan bortlede smeltevand og dermed salt samt at drænasfaltens overflade evt. kan have en anden temperatur end almindelige tætte vejbelægninger.

For undersøgelserne af drænasfalt har hovedformålet været at belyse og undersøge forhold om strukturel og akustisk holdbarhed, vintervedligeholdelse samt trafik-sikkerhed. Der er således primært brug for en dansk og international status for de nyeste erfaringer med drænasfalt. Følgende spørgsmål er i særdeleshed vigtige:

1. Vintervedligeholdelse – metoder og strategier
2. Betydning for trafiksikkerheden
3. Holdbarhed af den akustiske effekt
4. Anlægs- og vedligeholdelsesforhold – herunder holdbarhed

I Danmark blev ét-lags drænasfalt succesfuldt langtids-testet på en hovedlandevej ved Viskinge i 1990'erne og ved langtidsforsøget på Øster Søgade blev to-lags drænasfalt testet på en bygade. Hovedresultaterne fra disse to forsøg præsenteres i kapitel 2. I denne rapport er desuden inkluderet nye måleresultater fra nogle nye svenske strækninger med to-lags drænasfalt ved Husqvarna samt fra en dansk strækning ved Billund, hvor hele belægningsopbygningen er udført med en drænende effekt med henblik på at vand kan nedsive gennem belægningen under ekstreme regnvejr for dermed at reducere risikoen for oversvømmelser (se kapitel 3).

For at belyse forhold for vintervedligeholdelse af drænasfalt er der etableret en mindre forsøgsstrækning ved rasteanlægget ved Arnakke (se kapitel 4), hvor der er

indbygget temperaturfølere i belægningsoverfladen. Der er foretaget analyser af udviklingen af temperaturen i belægningsoverfladen gennem nogle vinterperioder (se kapitel 5). Der blev desuden gennemført en vellykket studietur til Tyskland, Schweiz, Frankrig og Holland i maj 2011, hvor temaerne var vintervedligeholdelse, trafiksikkerhed og strukturel holdbarhed. Hovedresultaterne fra studieturen er præsenteret i kapitel 6.

Drænasfalt kan have en filtrerende effekt på det vejvand, der løber fra belægningen til afløbssystemet eller vejsiden og naturen. For at belyse dette indeholder rapporten hovedresultaterne fra en mindre undersøgelse af indholdet af det vejopfej, som opsamles i drænasfalt-belægningen på Øster Søgade over tid og som er fjernet ved højtryksspuling og efterfølgende opsamling (se kapitel 7).

På baggrund af rapportens resultater foretages i kapitel 8 en opsamling på erfaringerne med brug af drænasfalt.

## 2. Tidligere danske undersøgelser af drænasfalt

De vigtigste fysiske karakteristika med indflydelse på støjemissionen fra en drænasfalt-belægning vurderes at være [13]:

- Overfladens tekstur
- Indbygget hulrum
- Tykkelse af belægningen.

Overfladens tekstur har indflydelse på dannelsen af vibrationer i dækket. Finere tekstur medfører færre vibrationer i dækket og dermed også mindre støj, når dækket ruller hen over vejoverfladen.

Belægningens tykkelse og det indbyggede hulrum har betydning for den støj, der opstår ved luftpumpningen mellem dækket og vejoverfladen. Jo højere hulrum og jo større lagtykkelse, jo mere effektivt kan belægningen reducere støj der stammer fra luftpumpning, fordi luften kan undslippe ned i belægningens poresystem frem for at blive komprimeret mellem dæk og belægning.

Horneffekten beskriver den forstærkning af støjen, som opstår i rummene foran og bagved dækket, hvor vinklen mellem dæk og vejbane virker som et horn. På drænasfalt er den ene side af "hornet" perforeret af belægningens porer, hvilket reducerer forstærkningen. Porøsiteten bestemmer også dæmpningseffekten (den akustiske impedans) af en drænasfalt-belægning. Impedansen er den lydabsorberende egenskab af overfladen, idet lydbølgerne kan absorberes i belægningen frem for at blive reflekteret til omgivelserne. Såvel horneffekt som impedans stiger i takt med, at det indbyggede hulrum og tykkelsen af drænasfalten øges.

Formålet med dette kapitel er at sammenfatte de danske erfaringer med den støjmæssige effekt af drænasfalt. Der er i Danmark de seneste 25 år gennemført to veldokumenterede forsøg med drænasfalt:

- Forsøg med ét-lags drænasfalt på en hovedlandevej ved Viskinge
- Forsøg med to-lags drænasfalt på Øster Søgade i København

Hovedresultaterne fra disse forsøg præsenteres i henholdsvis afsnit 2.1 samt 2.2. Der foretages bl.a. en sammenligning til anden generation af SRS-systemets referenceniveauer [8].

Nogle støjmålinger udføres med anvendelse af SPB-målemetoden, hvor støjen måles i vejsiden på et tilfældigt udvalg af biler, som passerer målestedet. Andre målinger udføres med anvendelse af Vejdirektoratets støjtrailer "deciBellA" efter den såkaldte CPX-metode. Der vil være et behov for at kunne sammenligne resultaterne fra disse to metoder. Vejdirektoratet har gennem de seneste 10 år gennemført mange støjmålinger på forskellige slidlag [9] primært støjreducerende tynde slidlag og AB 11t slidlag. På denne baggrund er der i [8] for nye belægninger opstillet en empirisk sammenhæng mellem resultater fra SPB- og CPX-metoderne, som fremgår af formlen:

$$\text{SPB} = 0,921 \cdot \text{CPX} - 13,68 \quad (1)$$

Formlen er udviklet for tynde åbne slidlag og for tætte slidlag. For drænasfalt kan der forekomme mindre afvigelser, idet drænasfalt kan have en støjabsorberende effekt bl.a. på motorstøjen, som ikke registreres ved CPX-målingerne, hvor målemikrofonerne sidder tæt på kontaktpunktet mellem dæk og vejbane og således kun registrerer dæk-vejbane støjen.

Tabel 2.1 viser de referenceniveauer som anvendes i SRS-systemet [8]. Det er i SRS-systemet besluttet at anvende et referenceniveau, der udtrykker den gennemsnitlige støj for AB 11t- og SMA 11-slidlag. Dette betyder, at 2. generation af SRS-systemets referenceniveauer ligger

| Fart [km/t]              | 50   | 60   | 70   | 80    | 90    | 100   | 110   |
|--------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| SPB referenceniveau [dB] | 72,0 | 74,6 | 76,9 | 78,9  | 80,8  | 82,5  | 84,1  |
| CPX [dB]                 | 93,0 | 95,8 | 98,3 | 100,5 | 102,6 | 104,4 | 106,1 |

**Tabel 2.1:**

Empirisk bestemt sammenhæng mellem SRS-systemets referenceniveauer bestemt ved SPB-målinger og CPX-resultater ved forskellige hastigheder baseret på Formel 1 [8].

0,3 dB højere end beregningsmodellen Nord2000 referenceniveauer, som repræsenterer et AB 11t-slidlæg.

Ved deklarering af et slidlags støjreducerende egenskaber i 2. generation af SRS-systemet [8] i forhold til de referenceværdier, som er gældende i Danmark, skal den målte støjreduktion overholde nedenstående krav:

- SRS standard: Krav til støjreduktion er  $\geq 4,0$  dB
- SRS speciel: Krav til støjreduktion er  $\geq 7,0$  dB

SRS klassifikationen kan foretages for hastigheder på 50 samt 80 km/t.

## 2.1 Forsøg med et lag drænasfalt ved Viskinge

I 1990'erne blev der ved Viskinge i Danmark gennemført et forsøg med ét-lags drænasfalt [4 og 5]. Der blev udlagt en referencestrækning med tæt asfaltbeton samt tre strækninger med forskellige typer ét-lags drænasfalt med henholdsvis 8 og 12 mm maksimal stenstørrelse. Årsdøgntrafikken på strækningen var 7000, andelen af tung trafik 12,5 % og den skilte hastighed 80 km/t. Forsøgsbelægningerne var følgende:

- AB 12t
  - Tæt asfaltbeton med en maksimal stenstørrelse på 12 mm
- DA 8 type A
  - ét-lags drænasfalt med 8 mm maksimal stenstørrelse og et indbygget hulrum på 18-22 %
- DA 8 type B
  - ét-lags drænasfalt med 8 mm maksimal stenstørrelse og et indbygget hulrum over 22 %
- DA 12
  - ét-lags drænasfalt med 12 mm maksimal stenstørrelse og et indbygget hulrum på over 22 %

Ved starten af forsøget blev der lagt vægt på at etablere et eksperiment, der så hurtigt som muligt gennemløb hele livstids-cyklen for belægningerne. Der blev derfor bevidst anvendt standardbitumen til disse drænasfalt-belægninger i stedet for en modificeret bitumen. Der blev konstateret begyndende stentab på forsøgsstrækningerne ved Viskinge i den sidste halvdel af belægningernes levetid. Da de var syv år gamle var stentabet så stort, at det blev besluttet at stoppe forsøget for at udskifte belægningerne. Det optimale ville derimod have været at anvende en modificeret bitumen specielt udviklet til at sikre en god længere levetid for disse meget åbne belægninger.

Vejdirektoratet har efterfølgende for Miljøstyrelsen gennemført projektet "HOLDDA" [7], hvor formålet var at designe en drænasfalt-belægning med optimeret holdbarhed herunder at udvikle bindemidler specielt egnet til drænasfalt. I [7] opsummeres følgende problemstillinger:

"Det store hulrum i en drænasfalt-belægning, der er nødvendigt for at opnå en god støjdemping, har betydning for holdbarheden af belægningen. Med det store hulrum er der let adgang for vand og luftens ilt, og dermed vil der ske en udvaskning og hærkning af bindemidlet, så materialet mister sammenhæng og bliver nedbrudt, hvilket er med til at reducere belægningernes levetid. For at opnå en bedre holdbarhed er det nødvendigt at forhindre udvaskning og hærkning, hvilket kan ske ved at tilstræbe en bedre klæbning mellem bitumen og tilslag (stenmateriale), tykkere hinder af bitumenmørtel omkring tilslaget og mindre hærkning af bitumenmørtlen. Med tykkere bitumen hinder er der en risiko for, at der afrinding af bitumen under transporten fra asfaltværket til udlægningsstedet. De tykkere bitumenhinder kan også nedsætte støjabsorptionen i belægningen gennem et reduceret hulrum."



**Figur 2.1:**  
Forsøgsstrækningerne med drænasfalt ved Viskinge.

Der blev i HOLDDA-projektet gennemført omfattende laboratorie undersøgelser af forskellige kombinationer af bindemidler og materialer. På den baggrund blev der opstillet følgende anbefalinger for at forlænge levetiden for drænasfalt [7]:

- En lille reduktion af hulrummet, selvom det kan betyde en mindre reduktion af støjdem্পningen
- Der opnås en god holdbarhed ved anvendelse af en højmodificeret SBS bitumen fremstillet med en blød udgangsbitumen
- S sammensætningen af mørtelen må optimeres for det valgte polymermodificerede bindemiddel
- At foretage fuld skala test af de anbefalede bindemidler på drænasfalt-belægninger

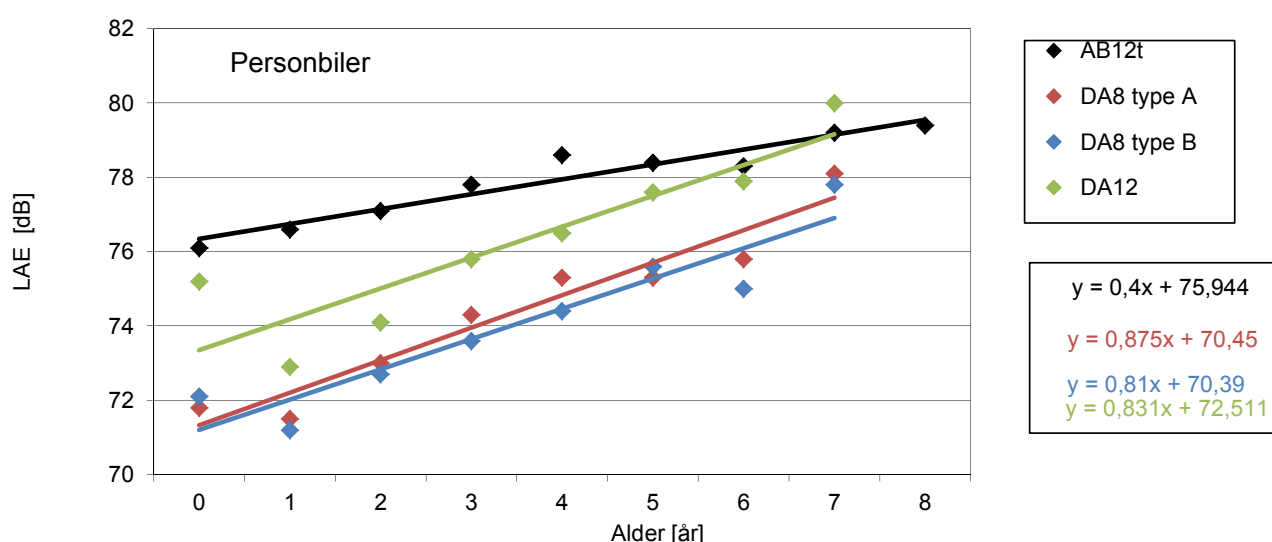
Forsøgsbelægningerne ved Viskinge blev udlagt i 1990 og der er efterfølgende udført SPB-støjmålinger i 8 til 9 år. Der er ikke foretaget temperaturkorrektioner på disse resultater, men da målingerne er foretaget i sommerperioden, hvor temperaturen normalt ligger på 15 til 25°C, har dette ikke den store betydning.

Resultaterne fra SPB-målingerne er i [4 og 5] angivet som LAE støj dosis og ikke som L<sub>Amax</sub> niveauer, der anvendes i dag. Derfor kan de ikke umiddelbart sammenlignes direkte med måleresultater fra de seneste 10 til 15 år. Desuden kan det ikke udelukkes, at der er sket en ændring af støjudsendelsen fra bilparken i 1990'erne til dagens bilpark. Dette forhold betyder, at en sammenligning af disse resultater fra Viskinge i 1990'erne med nye måleresultater fra i dag skal tages med et vist forbehold. En sammenligning i forhold til SRS-referenceniveauet vil dog alligevel blive forsøgt i det efterfølgende. Ifølge Nord2000 er LAE og L<sub>Amax</sub> niveauer stort set identiske for personbiler målt ved 80 km/t og med en måleafstand

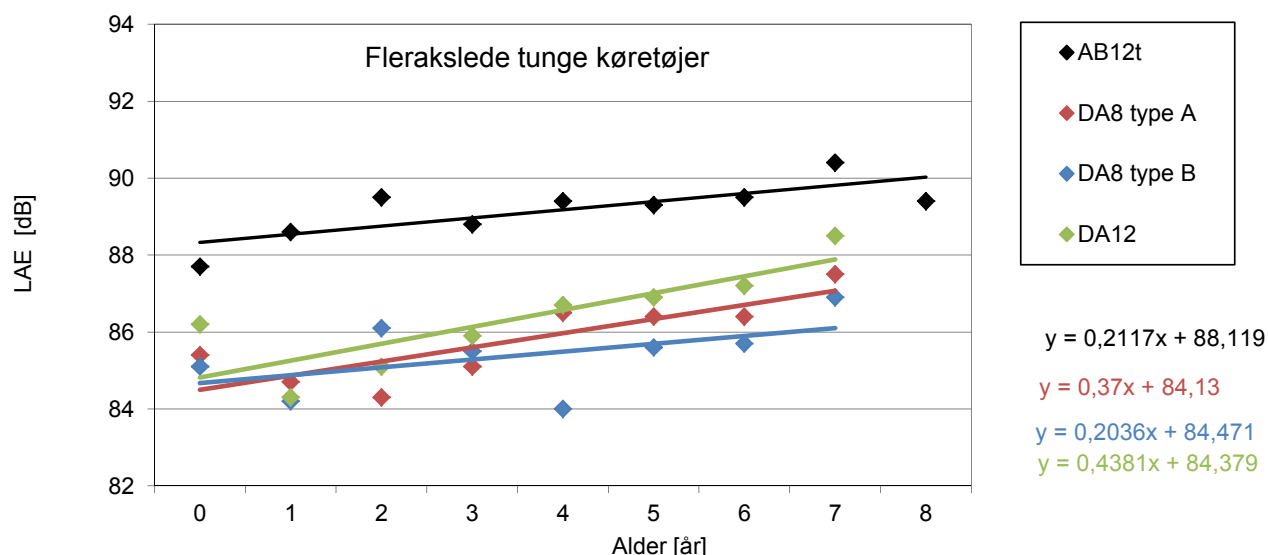
på 7,5 m [31] som anvendt ved målingerne ved Viskinge. Det er derfor i dette tilfælde muligt at anvende SRS-referenceniveauet ved 80 km/t (se tabel 2.1) som et LAE referenceniveau. Derfor vil SRS LAE referenceniveauet i dette tilfælde svare til et LAE niveau på omkring 78,9 dB. Dette muliggør med en vis forsigtighed en sammenligning af resultaterne fra Viskinge overslagsmæssigt til SRS-systemets referenceniveau.

Resultaterne for personbiler kan ses i figur 2.2. Da de to drænasfalt-belægninger med 8 mm sten var ét år gamle, havde de en støjreduktion på 5,3 dB i forhold til AB 12t referencebelægningen. De lå som nye 6,8 og 7,1 dB under det estimerede SRS LAE referenceniveau, hvilket indikerer at de stort set begge tilhører "SRS speciel"-klassen, hvor kravet til støjreduktion er  $\geq 7,0$  dB. Støjdem্পningen reduceres generelt over tid, da stigningen i støjen for drænasfalt-belægningerne er omkring 0,8 til 0,9 dB/år mod referencebelægningens stigning på 0,4 dB/år (se evt. tabel 2.2). Den gennemsnitlige støjdem্পning over belægningernes levetid bliver 3,6 og 3,9 dB for de to DA 8-belægninger (se evt. tabel 2.3). Fra år 0 til år 1 sker der et bemærkelsesværdigt fald i støjen for de tre drænasfalt-belægninger på henholdsvis 0,3, 0,9 samt 2,3 dB, hvilket ikke umiddelbart var forventeligt. Dette kommenteres ud fra figur 2.5, som viser spektre for belægningerne.

Resultaterne for flerakslede tunge køretøjer kan ses i figur 2.3. For tunge køretøjer findes ikke et SRS-referenceniveau. Da drænasfalt-belægningerne er nye, har de en støjreduktion på 3,6 til 3,9 dB. Støjdem্পningen reduceres over tid da stigningen i støjen for drænasfalt-belægningerne er omkring 0,2 til 0,4 dB/år mod referencebelægningens stigning på 0,2 dB/år (se evt. tabel 2.2). Den gennemsnitlige støjdem্পning over belægningernes



**Figur 2.2:** Resultater fra SPB-støjmålinger på forsøgsbelægningerne ved Viskinge angivet som LAE niveauer for personbiler ved 80 km/t samt lineære regressionslinjer [4 og 5].



Figur 2.3:

Resultater fra SPB-støjmålinger på forsøgsbelægningerne ved Viskinge angivet som LAE niveauer for flerakslede tunge køretøjer ved 80 km/t samt lineære regressionslinjer [4 og 5].

| Belægning   | Personbiler [dB/år] | Flerakslede tunge køretøjer [dB/år] |
|-------------|---------------------|-------------------------------------|
| DA 8 type A | 0,88                | 0,37                                |
| DA 8 type B | 0,81                | 0,20                                |
| DA 12       | 0,83                | 0,44                                |
| AB 12t      | 0,40                | 0,21                                |

Tabel 2.2:

Årlig stigning af støjen for personbiler og tunge køretøjer for forsøgsbelægningerne ved Viskinge.

| Belægning   | Personbiler [dB] | Flerakslede tunge køretøjer [dB] | Gennemsnit af personbiler og tunge køretøjer [dB] |
|-------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| DA 8 type A | 3,6              | 3,4                              | 3,5                                               |
| DA 8 type B | 3,9              | 3,7                              | 3,8                                               |
| DA 12       | 1,7              | 2,8                              | 2,3                                               |

Tabel 2.3:

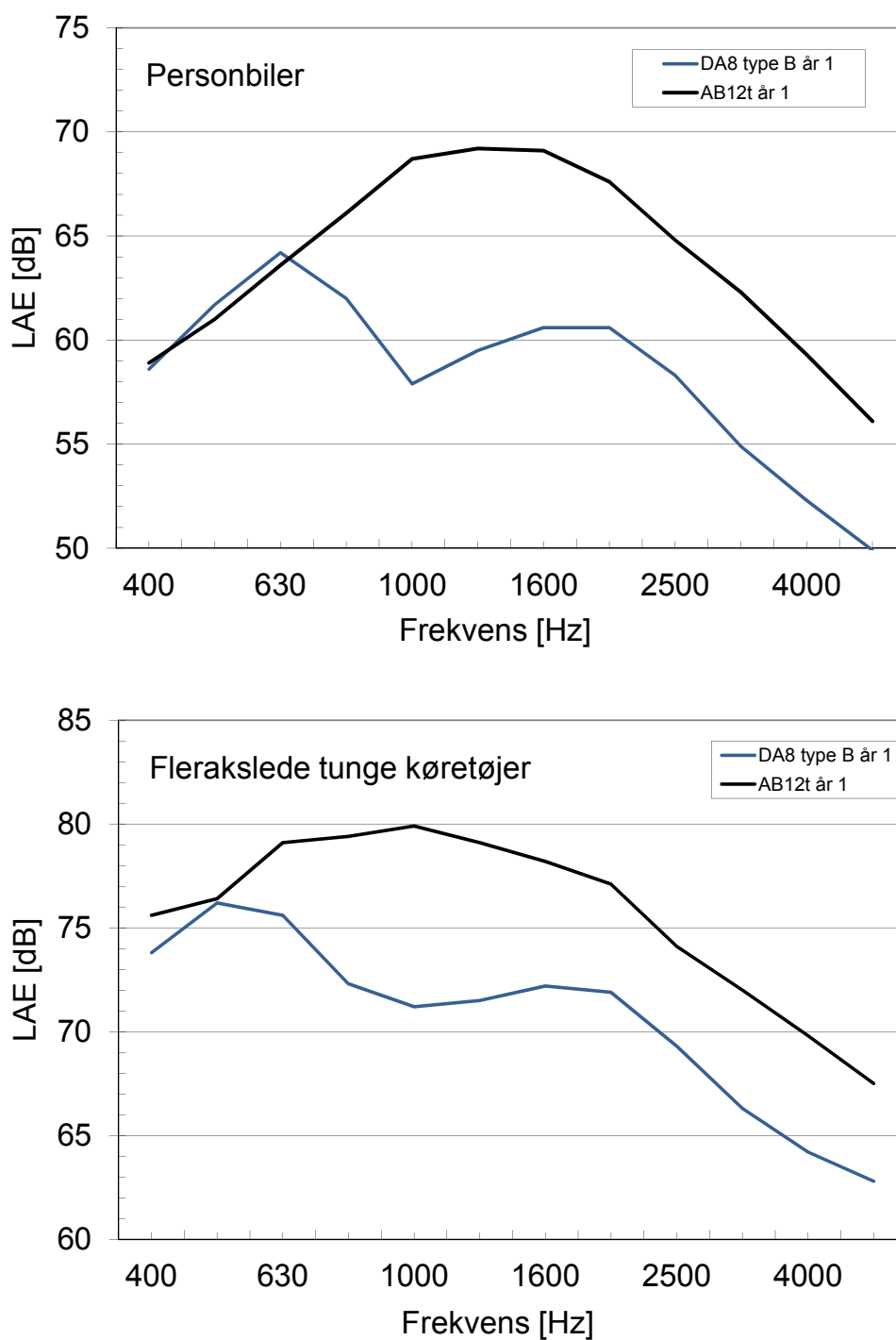
Gennemsnitlig støjdempling i forhold til AB 12 t referencebelægningen over belægningernes levetid på 7 år bestemt ud fra regressionslinjerne for forsøgsbelægningerne ved Viskinge.

levetid bliver 3,4 til 3,7 dB for de to DA 8-belægninger (se evt. tabel 2.3). Disse DA 8-belægninger har således over tid den samme støjreducerende virkning for personbiler som for lastbiler.

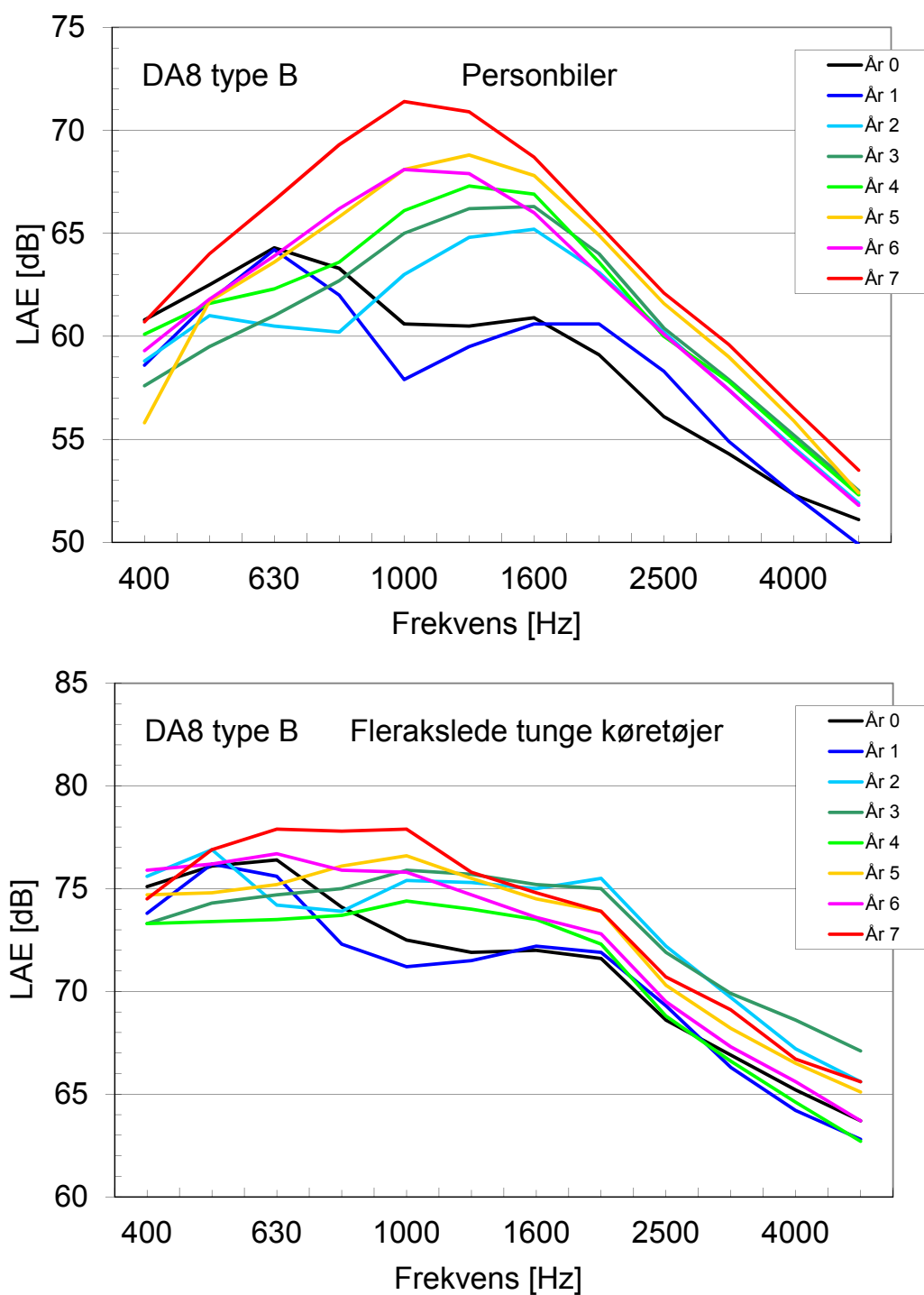
Frekvens spektrene af støjen fra belægningerne kan fortælle en del om, hvordan støjen genereres. De frekvensrelaterede mekanismer, som har betydning for den vibrationsgenererede støj og luftpumpestøjen samt absorptionen er bl.a. beskrevet i [9]. I figur 2.4 vises spektret for DA 8 type B-belægningen, da den var ét år gammel sammenlignet med referencebelægningen (AB 12t) samme år både for personbiler og flerakslede

tunge køretøjer. For begge køretøjskategorier ses det, at i frekvensområdet over 1.000 Hz er niveauet meget lavere for drænasfalten end referencebelægningen. Dette indikerer, at luftpumpestøjen bliver reduceret markant af belægningens åbne porestruktur. Ved 1.000 Hz ses et dyk i spektret, som indikerer at belægningen også har en støjabsorberende effekt omkring denne frekvens.

Figur 2.5 viser for DA 8 type B-belægningen, hvordan spektrene udvikler sig fra år til år. I år 0 er der et dyk i spektret ved 1.000 Hz, som indikerer at belægningen har en støjabsorberende effekt. I år 1 er dette dyk mere markant og samtidig sker der fra år 0 til år 1 en reduktion af



**Figur 2.4:**  
Spektre for DA 8 type B og referencebelægningen (AB 12t) da de var ét år gamle for personbiler (øverst) og flerakslede tunge køretøjer (nederst) ved 80 km/t [4 og 5].



Figur 2.5:

Spektre for DA8 type B år for år for personbiler (øverst) og flerakslede tunge køretøjer (nederst) ved 80 km/t [4 og 5].

| Belægning         | Asfalt Type | Total tykkelse [mm] | Top-lag      |                   | Bund-lag     |                   |
|-------------------|-------------|---------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
|                   |             |                     | Tykkelse[mm] | Stenstørrelse[mm] | Tykkelse[mm] | Stenstørrelse[mm] |
| I (DA 8-70)       | Porøs       | 70                  | 25           | 5/8               | 45           | 11/16             |
| II (DA 5-55)      | Porøs       | 55                  | 20           | 2/5               | 35           | 11/16             |
| III (DA 5-90)     | Porøs       | 90                  | 25           | 2/5               | 65           | 16/22             |
| IV (AB 8t (ref.)) | Tæt         | 30                  | 30           | 0/8               | -            | -                 |

Tabel 2.5:

Maksimal stenstørrelse og lagtykkelse for forsøgsbelægningerne på Øster Søgade, som de blev udlagt i 1999 [10].



**Figur 2.6:**  
Forsøgsstrækningen med to-lags drænasfalt på Øster Søgade i København.

det samlede støjniveau på 0,9 dB. En mulig forklaring på denne ikke-forventede reduktion af støjen kunne være, at belægningen i år 1 er mere åben i hele slidlagets tykkelse end den var i år 0. Dette kan måske skyldes, at der i år 0 har siddet nogle bitumenhinder, der har blokeret nogle af belægningens porer og som er forsvundet i år 1, fordi regnvand er blevet presset gennem belægningens porer.

Fra år 1 til år 2 forsvinder dykket ved 1.000 Hz, lige som der sker en væsentlig forøgelse af støjen over 1.000 Hz. Dette indikerer, at luftpumpestøjen stiger fordi nogle af belægningens porer bliver delvist tilstoppede af vejsnavs ol. Støjen over 1.000 Hz stabiliseres efter år 2. Derimod sker der fra år 2 en stigning af støjen under 1.500 Hz, som er det frekvensområde, der reflekterer den vibrationsgenererede støj fra dækkene, som stiger når belægningen får en mere ru og ujævn tekstur. Dette afspejler et begyndende stentab, som bliver markant stort fra år 5 til 7, hvor der netop på strækningerne blev observeret et stort stentab. For de flerakslede tunge køretøjer kan der fra år 4 og frem observeres en modsatrettet tendens for støjen over 1.500 Hz som begynder at falde igen. Dette indikerer, at det begyndende stentab skaber en mere åben overfladestruktur, som specielt for de grove lastbil-

dæk reducerer luftpumpestøjen. Dette fænomen ses ikke for personbilerne.

## 2.2 Forsøg med to-lags drænasfalt på Øster Søgade

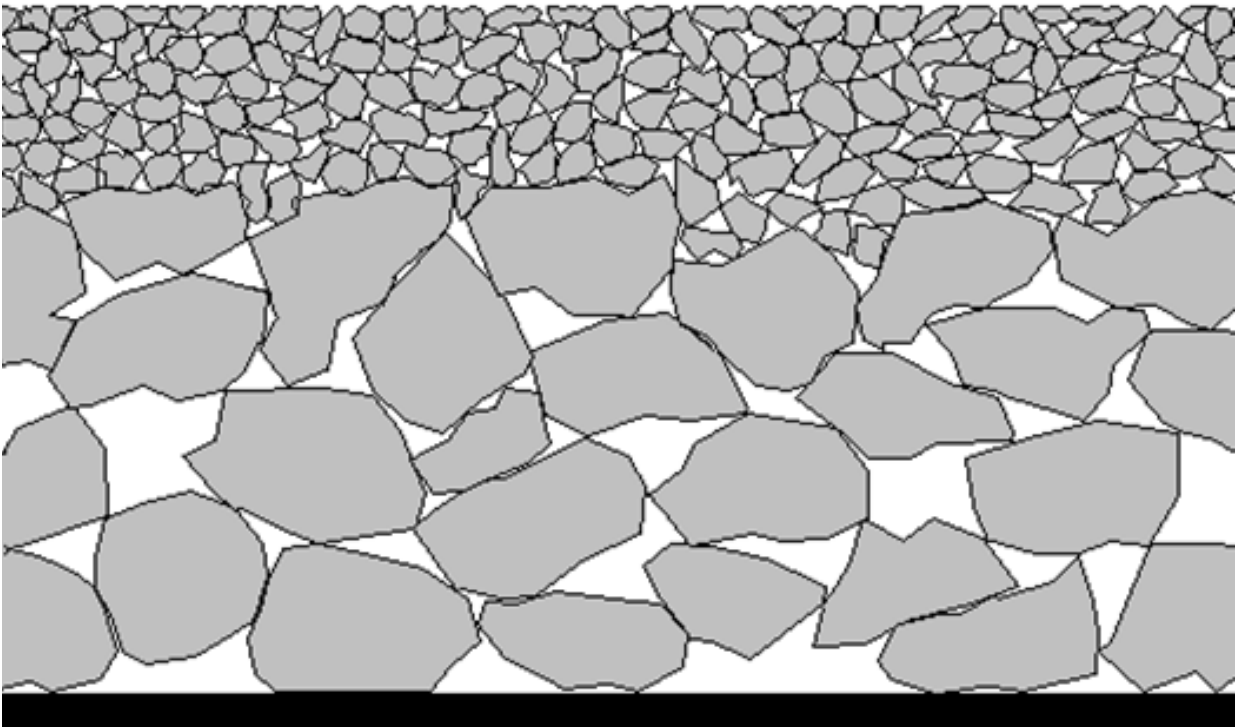
Tidligere danske forsøg med et-lags drænasfalt-belægninger på Østerbrogade [14] viste, at drænasfaltens hulrum blev tilstoppet med snavs allerede efter et par år, hvorved den støjreducerende effekt forsvandt. Ideen med to-lags drænasfalt-belægningen er, at porerne kan holdes åbne dels gennem selvrensning, hvor regnvandet skyller snavs bort gennem det nederste lag, og dels gennem en rensningsprocedure bestående af højtryksspuling og opsugning af vand og slam. Regnvandet, som dræner ned i belægningen, strømmer mod siden af vejen som følge af vejens sidehældning. På veje uden kantsten ledes vandet ud til vejside og rabat. På bygader med kantsten benyttes drænrør langs kantstenen til at lede vandet til afløbsbrøndene. Figur 6.7 illustrerer opbygningen af en to-lags drænasfalt-belægning.

I 1999 begyndte et livscyklusprojekt for to-lags drænasfalt på en bygade. Projektet blev kaldt Øster Søgade-eksperimentet, fordi drænasfalten blev lagt på Øster

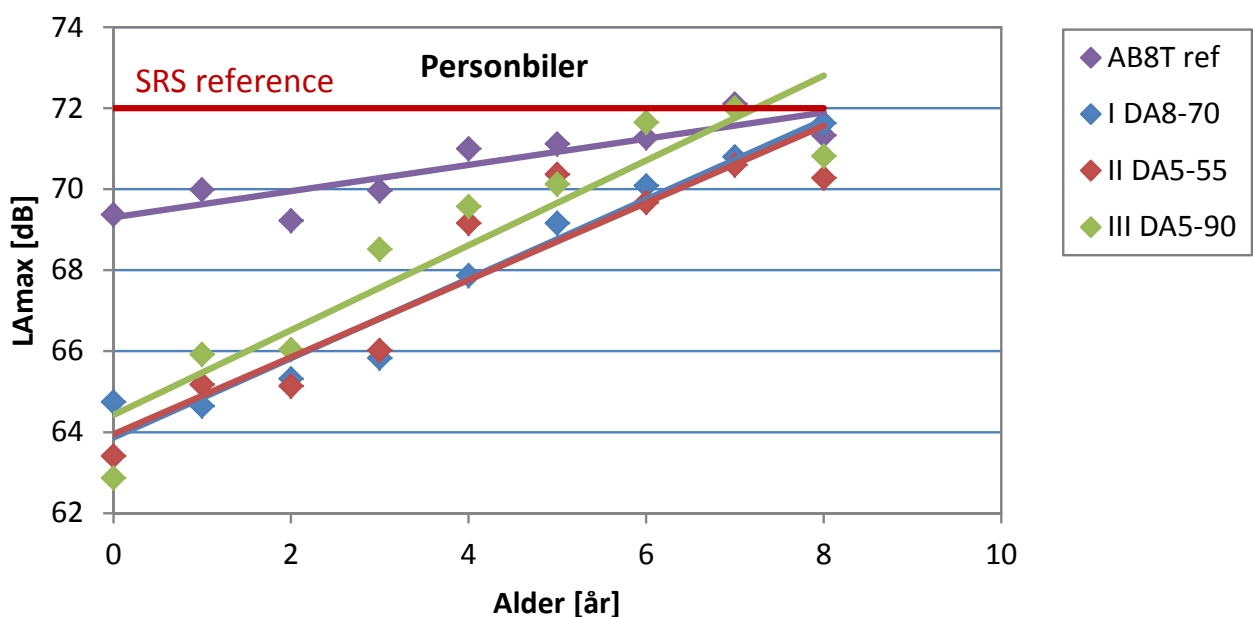
Søgade i København. Formålet med projektet var at undersøge støjreduktionen og holdbarheden for to-lags drænasfalt. På Øster Søgade er der en kørebane i hver retning. Årsdøgntrafikken på forsøgsstrækningen var 7.800 med 7 % tunge køretøjer og den skilte hastighed var 50 km/t.

Toplaget består af en drænasfalt med lille kornstørrelse for at opnå en jævn overflade og for at forhindre, at

større partikler og snavs trænger ned i belægningen. Det nederste lag er fremstillet med relativ stor kornstørrelse for at give bedre mulighed for, at regnvand kan rense laget for snavs og dræne vand og slam til nogle specielle drænrør langs kantstenene ved vejsiden. Under drænasfalt-belægningen ligger bærelaget, som er forseglet med bitumen for at sikre mod udvaskning af dette lag. Der blev lagt tre typer drænasfalt med forskellige stenstørrelser og lagtykkelser [10]. Der blev anvendt SBS-modifice-



Figur 2.7:  
Opbygning af to-lags drænasfalt [10].



Figur 2.8:  
Resultater fra SPB-støjmålinger på forsøgsbelægningerne på Øster Søgade angivet som  $L_{Amax}$  niveauer for personbiler ved 50 km/t samt lineære regressionslinjer [10 og 12].

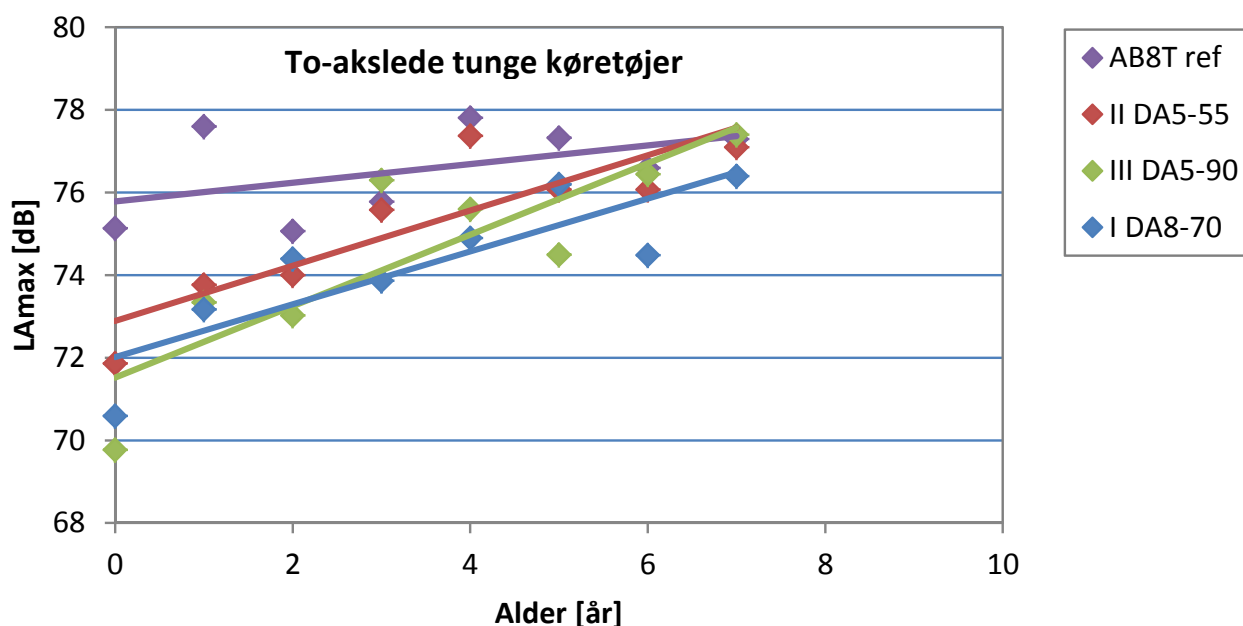
ret bitumen med højt polymerindhold type 50/100-75 for at sikre god holdbarhed. I forlængelse af de tre strækninger med drænasfalt blev der samtidigt lagt en referencestrækning med en tæt asfaltbeton, AB 8t; data om belægningerne fremgår af tabel 2.5. Ved projektets start var det forventningen, at bundlagene ville have en levetid på 14 år, mens toplagene levetid var estimeret til syv år, hvorefter planen var at de skulle bortfræses og udskiftes.

Drænasfalt-belægningerne på Øster Søgade blev rensset to gange årligt i de første syv år af deres levetid. Det øverste lag af drænasfalt-belægningerne på de to teststrækninger med de mindste sten (DA 5-55 og DA 5-90) udviklede med tiden alvorlige stentab og blev i

år 6 (september 2005) forseglest med bitumenemulsion. Det var vurderingen, at belægningerne efter forseglingen fremstod i en meget bedre stand og at stentabet blev bremset.

Da drænasfalt-belægningerne var otte år gamle, viste de alle tydelige tegn på stentab, hvorfor det blev besluttet at udskifte toplagene.

Der er foretaget årlige støjmålinger ved brug af SPB-målemetoden. Måleresultaterne for personbiler fremgår af figur 2.8, hvor også SRS-referenceniveauet for 50 km/t er indtegnet med en rød linje. Alle tre to-lags drænasfalt opfylder kravet til en "SRS speciel"-klassifikation, idet



Figur 2.9:

Resultater fra SPB-støjmålinger på forsøgsbelægningerne på Øster Søgade angivet som  $L_{Amax}$  niveauer for to-akslede tunge køretøjer ved 45 km/t samt lineære regressionslinjer [10 og 12].

| Belægning  | Personbiler [dB/år] | To-akslede tunge køretøjer [dB/år] |
|------------|---------------------|------------------------------------|
| I DA8-70   | 0,98                | 0,64                               |
| II DA5-55  | 0,95                | 0,67                               |
| III DA5-90 | 1,05                | 0,86                               |
| AB8t ref   | 0,32                | 0,23                               |

Tabel 2.6:

Årlig stigning af støjen for personbiler og tunge køretøjer for forsøgsbelægningerne på Øster Søgade.

| Belægning  | Personbiler [dB] | To-akslede tunge køretøjer [dB] | Gennemsnit af personbiler og tunge køretøjer [dB] |
|------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| I DA8-70   | 2,8              | 2,3                             | 2,6                                               |
| II DA5-55  | 2,8              | 1,3                             | 2,1                                               |
| III DA5-90 | 2,0              | 2,0                             | 2,0                                               |

Tabel 2.7:

Gennemsnitlig støjdæmpning i forhold til AB 8 t referencebelægningen over belægningernes levetid på syv år bestemt ud fra regressionslinjerne for forsøgsbelægningerne på Øster Søgade.

der er målt støjniveauer som ligger hhv. 7,3, 8,6 og 9,1 dB under SRS-referenceniveauet. Der er således tale om tre belægninger, som i udgangs situationen har markant lave støjniveauer. Hvis AB 8t-referencebelægningen på forsøgsstrækninger i stedet anvendes som udgangspunkt, er støjreduktionen for belægningerne med 5 mm sten i top laget 6,0 og 6,5 dB, hvilket også er en stor støjreduktion.

DA5-55- og DA5-90-belægningerne blev som nævnt begge forseglet med bitumenemulsion i perioden mellem støjmålingerne i år 6 og år 7. Det ses af figur 2.8, at der ikke sker nogen markant anderledes stigning af støjen mellem år 6 og år 7 end i de øvrige år, hvilket indikerer, at forseglingen ikke havde nogen væsentlig effekt på støjen.

I figur 2.8 er beregnet lineære regressionslinjer for støjens udvikling over tid. Som det fremgår af tabel 2.6, er den årlige stigning for drænasfalten omkring 1,0 dB/år, hvilket er tre gange så meget som stigningen for AB 8t-referencebelægningen. Det betyder, at efter 7 til 8 år er støjreduktionen forsvundet. Den gennemsnitlige støjreduktion for DA 5-55- og DA 8-70-belægningerne er 2,8 dB, hvorimod den for DA 5-90-belægningen er 2,0 dB (se tabel 2.7).

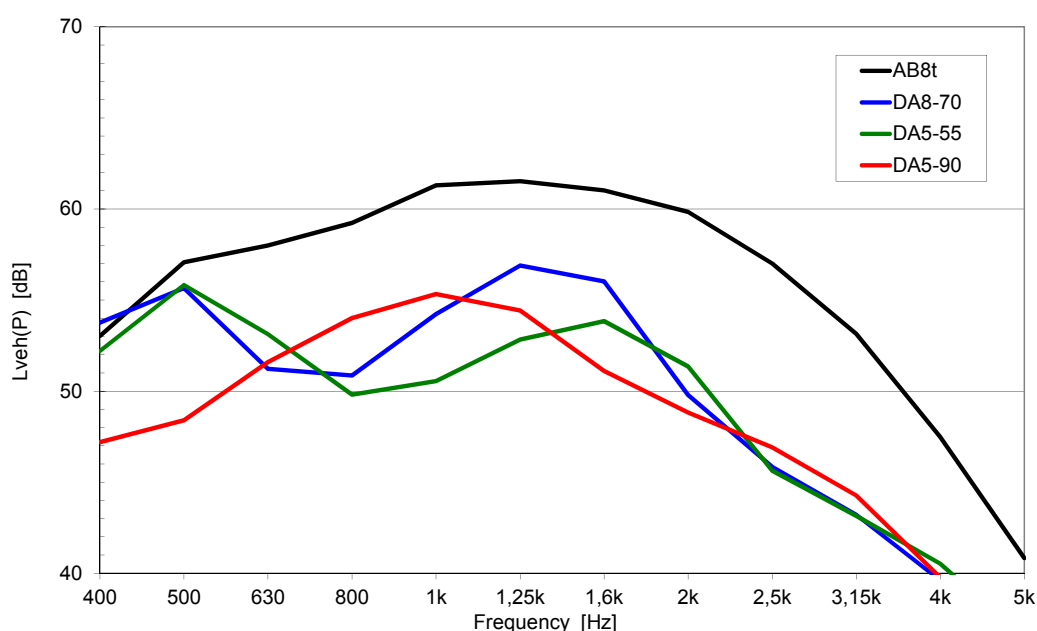
Resultaterne for to-akslede tunge køretøjer fremgår af figur 2.9. Antallet af tunge køretøjer var mindre end kravene i SPB-målemetoden, hvorfor metodens statistiske forudsætninger ikke har været fuldt ud opretholdt. Dette betyder en vis usikkerhed på resultaterne for de to-akslede tunge køretøjer. Ved målingerne i 2007 indgik så få tunge køretøjer, at det ikke med rimelighed er muligt at angive et støjniveau for dette år. Derfor præsenteres ikke data for dette ottende år af forsøget.

Da belægningerne er nye, har de for to-akslede tunge køretøjer en støjreduktion på hhv. 4,5, 3,3 og 5,4 dB i forhold til AB 8t-referencebelægningen. Men da den årlige stigning af støjen for drænasfalten (se tabel 2.6) ligger på 0,64 til 0,86 dB/år mod en stigning for referencebelægningen på kun 0,23 dB/år, betyder dette at DA 8-70-belægningen efter syv år stadig har en mindre støjreduktion på 0,9 dB, hvorimod støjreduktionen for de to andre belægninger er forsvundet.

Alt i alt må det konkluderes at DA 8-70-belægningen over tid er den belægning som har den bedste støjreduktion og samtidig var den belægningstype, der havde så lidt stentab i år 6, at det ikke blev vurderet nødvendigt med en bitumenforsegling for denne belægningstype.

Frekvensspektre for forsøgsbelægningerne da de var nye ses i figur 2.10. Der indgik ikke nok to-akslede lastbiler til, at det giver mening at præsentere spektre for denne køretøjskategori. DA 8-70-belægningen med 8 mm sten havde den bedste støjreduktion og holdbarhed over belægningernes levetid. Figur 2.10 viser bl.a. spektret for DA 8-70-belægningen (blå kurve) sammenlignet med referencebelægningen (AB 8t sort kurve) samme år for personbiler. Det ses, at i frekvensområdet over 1.000 Hz er niveauet meget lavere for drænasfalten end referencebelægningen. Dette indikerer, at luftpumpestøjen bliver reduceret markant af belægningens åbne porestruktur. Ved 630 til 800 Hz ses et dip i spektret, som indikerer, at belægningen også har en støjabsorberende effekt omkring denne frekvens. Generelt er billedet det samme for alle tre drænasfalt-belægninger.

Figur 2.11 viser for DA8-70 belægningen, hvordan spektrene udvikler sig fra år til år. Fra år 0 til år 2 forsvinder



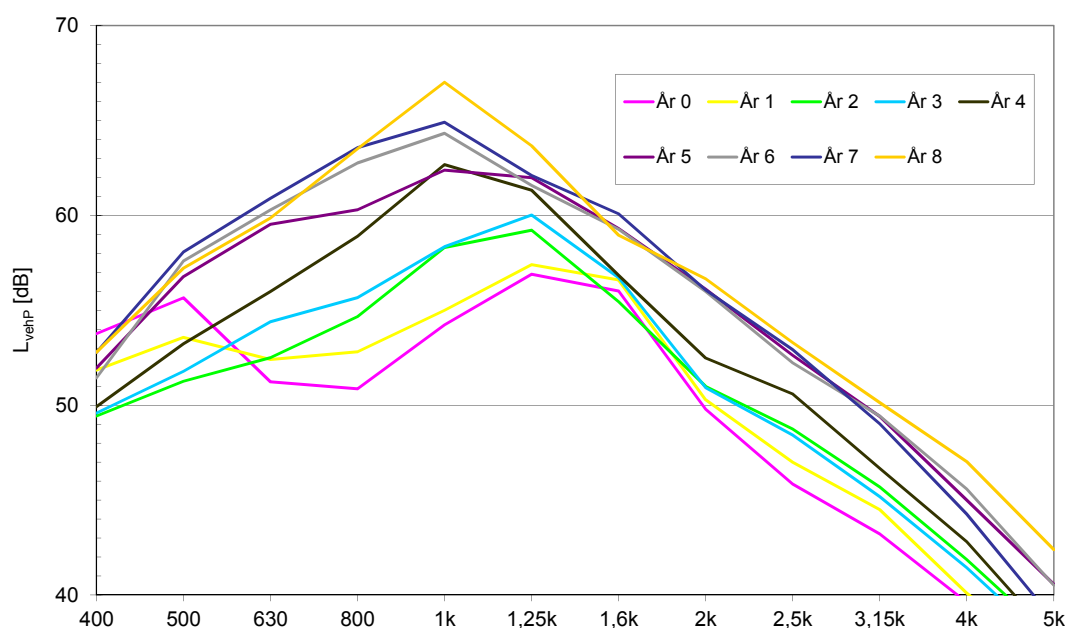
**Figur 2.10:** Spektre for de 3 to-lags drænasfalt-belægninger og referencebelægningen (AB 8t) da de var nye for personbiler ved 50 km/t [10 og 12].

dippet ved 630 til 800 Hz. I år 5 sker der en væsentlig forøgelse af støjen over 1.000 Hz. Dette indikerer, at luftpumpestøjen stiger fordi nogle af belægningens porer bliver delvist tilstoppede af vejsnavs ol. Støjen over 1.000 Hz stabiliseres efter år 5. Derimod sker der fra år 6 en stigning af støjen under 1.500 Hz, som er det frekvensområde, der reflekterer den vibrationsgenererede støj fra dækkene, som stiger når belægningen får en mere ru og ujævn tekstur. Dette afspejler et begyndende stentab, som bliver markant stort fra år 6 til 8, hvor der netop på strækningerne blev observeret et stort stentab.

I 2007 blev toplaget på alle tre teststrækninger med drænasfalt fræsset af og udskiftet med et nyt top lag [12]. Da drænasfalten med 8 mm sten både støjmæssigt og fysisk havde den bedste holdbarhed, blev det besluttet at udlægge et nyt top lag af drænasfalt med 8 mm sten på alle tre forsøgsstrækninger. Tabel 2.7 viser en oversigt over forsøgsbelægningerne efter udskiftningen af toplaget i år 8 (2007). Derefter fortsatte de årlige SPB-støjmålinger indtil 2012 (år 13), hvor forsøgsstrækningen blev delvist lukket og ensrettet i forbindelse med, at der blev etableret en byggeplads for Københavns Metro med arbejdskørsel med jord og byggematerialer på netop denne del af Øster Søgade. Derefter blev forsøget indstillet, selv om forsøgsbelægningerne stadig ligger på strækningen i efteråret 2014.

Resultaterne af støjmålingerne for personbiler for de udskiftede top lag fremgår af figur 2.12, hvor måleresultaterne for år 0 til 8 er medtaget til sammenligning. Bemærk at udskiftning af toplaget medførte, at støjen for den nye DA 8-70-belægning var på samme niveau som den gamle DA 8-70-belægning da den var ny. De to belægninger som i år 0 havde 5 mm sten i toplaget (DA 5-55 og DA 5-90) har ved toplagets udskiftning fået 8 mm sten i toplaget. Dette er formodentlig den primære årsag til at de efter fornyelse af top lag har et støjniveau, som ligger omkring 1 dB over det tilsvarende niveau i år 0.

Der er i figur 2.12 indlagt lineære regressionslinjer for de nye top lag. Den nye DA 8-55-belægning har et atypisk højt støjniveau, da den blev nyudlagt i år 8, hvorfor denne

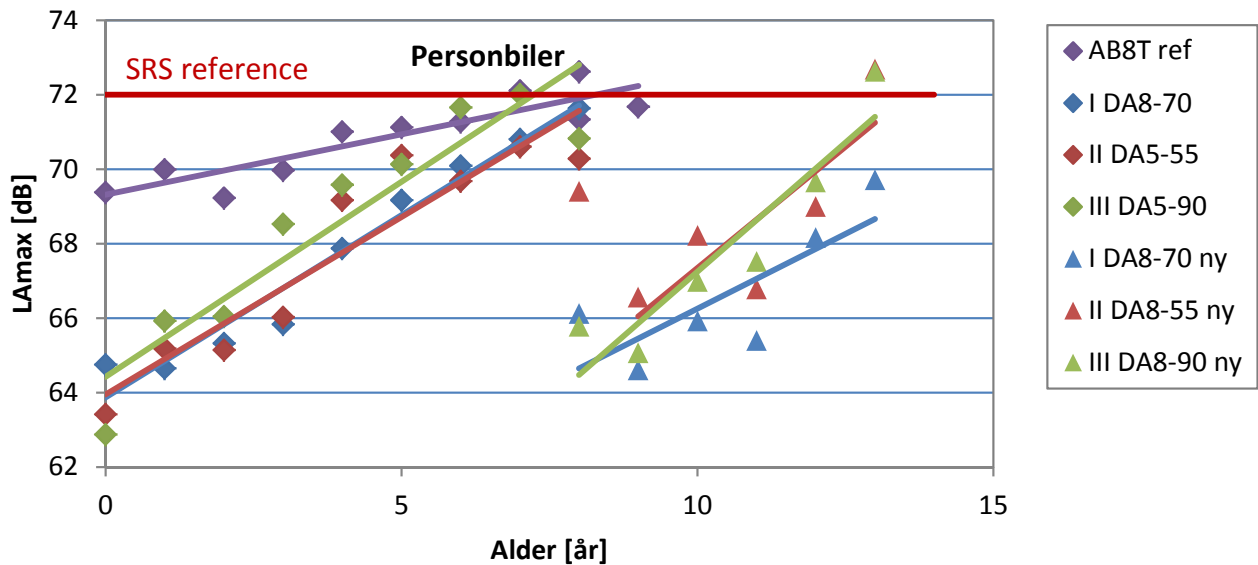


**Figur 2.11:** Spektre for DA8-70 år for år for personbiler ved 50 km/t [10 og 12].

| Belægning     | Asfalt Type | Total tykkelse [mm] | Top-lag      |                   | Bund-lag      |                    |
|---------------|-------------|---------------------|--------------|-------------------|---------------|--------------------|
|               |             |                     | Tykkelse[mm] | Stenstørrelse[mm] | Tykkelse [mm] | Stenstørrelse [mm] |
| I (DA 8-70)   | Porøs       | 70                  | 27           | 5/8               | 38            | 11/16              |
| II (DA 8-55)  | Porøs       | 55                  | 22           | 5/8               | 28            | 11/16              |
| III (DA 8-90) | Porøs       | 90                  | 27           | 5/8               | 58            | 16/22              |

**Tabel 2.7:**

Maksimal stenstørrelse og lagtykkelse for belægningerne på Øster Søgade for det andet top lag. Bundlaget mindskes pga. fræsningen inden det nye top lag lægges på. Referencestrækningen AB 8t har kun været igennem 1. udlægning og er ikke fornyet. [11]



Figur 2.12:

Resultater fra SPB-støjmålinger på forsøgsbelægningerne på Øster Søgade både før og efter udskiftning af toplaget (markeret med "ny") angivet som  $L_{Amax}$  niveauer for personbiler ved 50 km/t [11 og 12]. Der vises lineære regressionslinjer for de to tidsperioder separat.

måling ikke er med taget i regressionsanalysen. Det kan ses, at den årlige stigning i støj stort set svarer til den årlige stigning for den første serie belægninger i år 0 til 7. Fra år 11 til år 12 sker der dog et spring i støjen på 2,2 til 2,8 dB for de tre drænasfalt-belægninger. Dette skyldes, at vejvæsnet løb tør for salt i den meget hårde vinter 2010-2011 og i stedet blev der anvendt grus som glatførebekæmpelse på Øster Søgade. Dette har betydet, at belægningernes porer er blevet tilstoppet med grus, hvorved støjen er steget. Samlet set er det DA 8-70-belægningen, som støjmessigt klarer sig bedst og over tid har den bedste støjreduktion.

# 3. Nye målinger på drænasfalt

I forbindelse med dette projekt om optimering af støjreducerende slidlag har Vejdirektoratet i 2014 foretaget støjmålinger på to nye strækninger med drænasfalt:

1. To-lags drænasfalt med stor stenstørrelse på en motorvej ved Husqvarna i Sverige
2. En vejstrækning ved Billund i Danmark, hvor hele vejkassen er opbygget permeabelt med drænende materialer for at kunne nedsive regnvand

Formålet med disse målinger var at forbedre datagrundlaget for vurderingerne af de støjmæssige egenskaber ved drænasfalt.

## 3.1 Drænasfalt med stor stenstørrelse

E4 er en firespors motorvej, der passerer ved Husqvarna tæt forbi boligområder, som derfor var udsat for relativt

høje støjniveauer (se figur 3.1) [15]. Trafikmængden er kraftigt forøget de seneste 15 år og dermed stigende støjniveauer. Årsdøgntrafikken på strækningen var i 2011 omkring 22.000, hvor den tunge trafik udgjorde 18%. 70% af trafikken, herunder stort set alle lastbiler, kører i de tunge spor (Spor 1) og 30% – primært personbiler – i det lette spor (Spor 2). Denne firespors motorvej blev oprindeligt bygget i 1960'erne og boligbebyggelsen langs vejen var også af ældre dato. Miljødomstolen i Sverige havde på baggrund af klager fra beboerne over stigende støj behandlet støjproblematikken. I 2008 havde Miljødomstolen besluttet at pålægge vejmyndighederne at reducere støjen markant fra 70 dB til 60 dB udendørs ved boligernes facade. Denne støjreduktion skulle gennemføres senest med udgangen af 2009. En markant kendelse, da der hverken var tale om en ny vej, en vejudvidelse eller nyt boligbyggeri. Trafikverket havde beregnet, at det ville være nødvendigt at opføre en meget



**Figur 3.1:**  
Motorvej E4 ved Husqvarna med to-lags drænasfalt.

høj støjskærm, hvis støjkravene skulle opfyldes. Økonomiske analyser viste, at det ville være en uforholdsmæssig dyr løsning. Derfor var der anvendt en kombination af følgende tre virkemidler:

1. Lav støjskærm
2. To-lags drænasfalt for alle fire vognbaner samt for nødspor på samlet 2,8 km motorvej
3. Hastigheds reduktion. Normal skiltet hastighed på 110 km/t blev nedsat til 90 km/t

I denne del af Sverige er det normalt at anvende pigdæk om vinteren, hvorfor drænasfalten udsættes for et meget stort slid. Der er derfor lagt stor vægt på at designe nogle holdbare drænasfalt-belægninger bl.a. ved at anvende et specielt stærkt bindemiddel. Der er anvendt

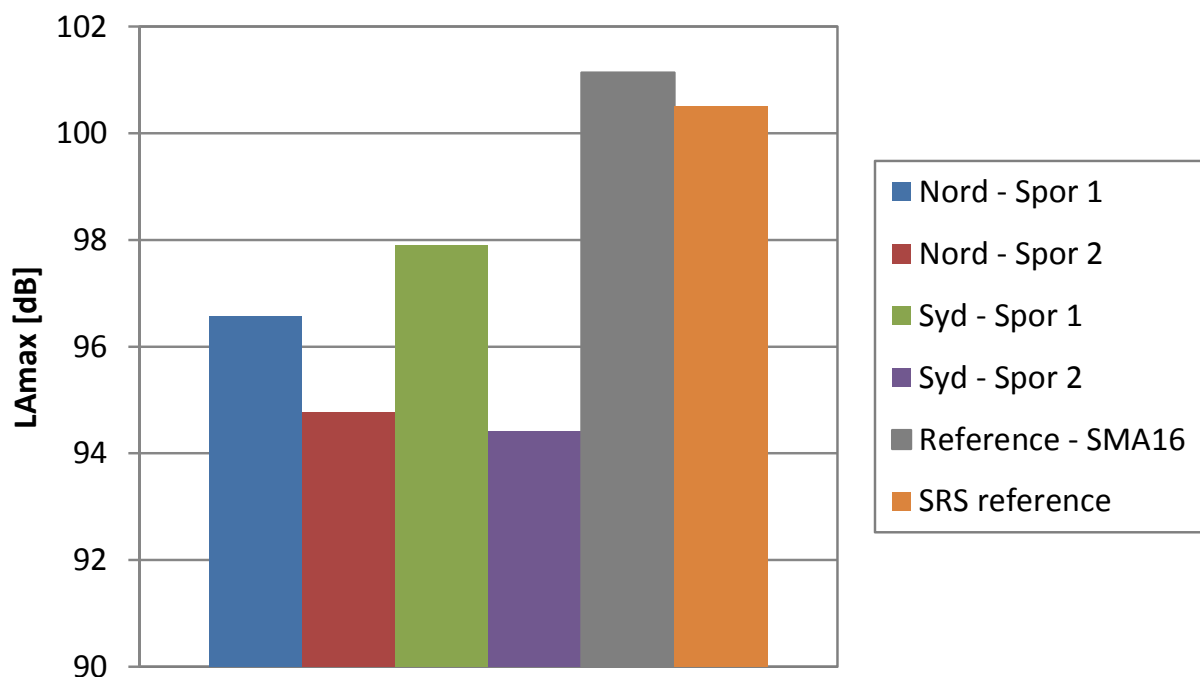
en god mellemhård polymermodificeret bitumen, som er specielt designet til denne drænasfalt-belægning. Belægningerne kan beskrives med følgende (se figur 3.2) [6, 15]:

- 30 mm tykt top lag med 11 mm sten (dog 16 mm sten i nødsporene)
- 50 mm tykt nederste drænasfaltlag med 16 mm sten
- Indbygget hulrum målt på borekerner på 24-26 %
- 5,8 til 6,5 % polymermodificeret bindemiddel i top lag
- 5,6 % polymermodificeret bindemiddel i bund lag
- Der er tilsat 1 % cement, 0,3 % klæbeforbedrer og 0,4 % cellulosefibrer

Drænasfalten blev udlagt af en entreprenør, som havde en drift- og vedligeholdelseskontrakt for denne del af E4 for en periode på 12 år [12]. Belægningsarbejdet blev udført som en del af en funktionskontrakt, hvor der bl.a.



**Figur 3.2:**  
Close up-foto af to-lags drænasfalt med 11 og 16 mm sten i henholdsvis øverste og nederste lag på Motorvej E4 ved Husqvarna da belægningen var to år gammel i maj 2012.

**Figur 3.3:**

Støjniveau på fire år gammel to-lags drænasfalt på motorvej E4 ved Husqvarna angivet som CPX-niveauer ved 80 km/t. En tre år gammel svensk SMA 16-referencebelægning er medtaget sammen med SRS-referenceniveauet ved 80 km/t. Målingerne er udført af Vejdirektoratet.

| Støjdæmpning  | Nord - Spor 1 [dB] | Nord - Spor 2 [dB] | Syd - Spor 1 [dB] | Syd - Spor 2 [dB] |
|---------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| SRS-reference | 3,9                | 5,7                | 2,6               | 6,1               |
| SMA 16        | 4,6                | 6,4                | 3,2               | 6,7               |

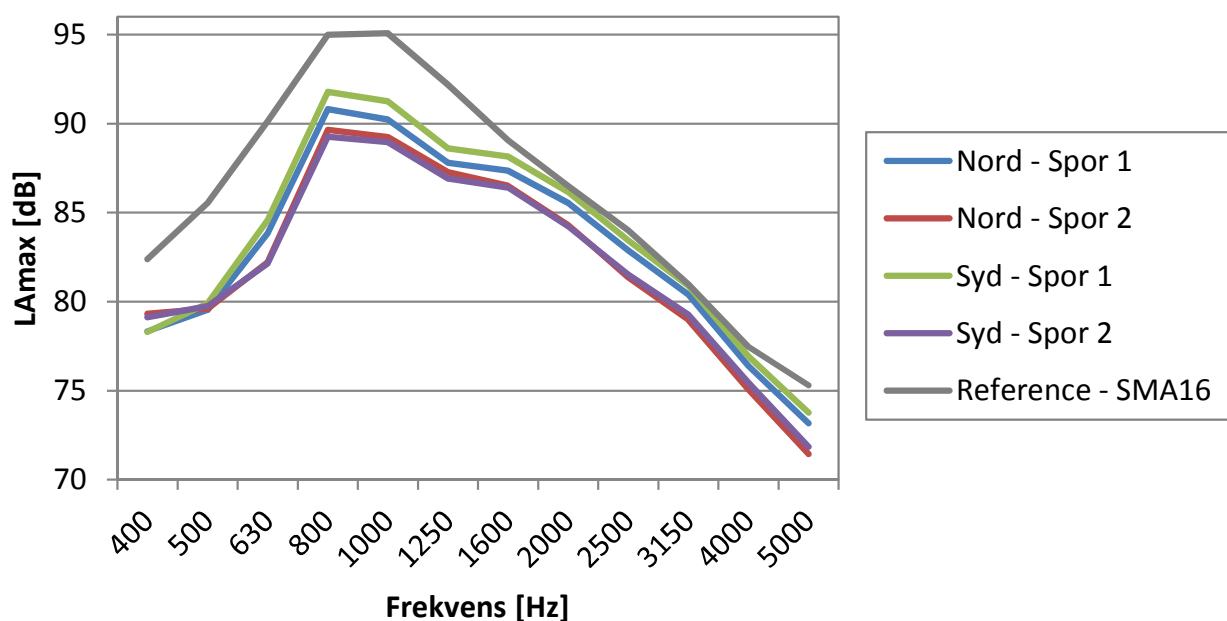
**Tabel 3.1:**

Støjdæmpning i forhold til Svensk SMA16 reference samt SRS-referenceniveauet fire år gammel to-lags drænasfalt på motorvej E4 ved Husqvarna.

var krav til støjreduktion, friktion, sporkøring og jævnhed. Støjkravet var formuleret som en gennemsnitlig dæmpning på fem dB i drænasfaltens levetid samt at dæmpningen ikke med tiden måtte være mindre end tre dB. Støjen måles med CPX-støjtrailer og referenceniveauet er støjen fra en svensk SMA 16-belægning, der er mellem to og fire år gamle. For at være på den sikre side, var støjdæmpningen for den nye drænasfalt syv dB. Der foretages årligt CPX-målinger. Hvis der måles så høje niveauer at støjkravene ikke opfyldes, er det entreprenørens

opgave (og omkostning) at udskifte belægningen. På en mindre strækning var der i 2011 målt for høje støjniveauer. Det betød, at entreprenøren for egen regning i sommeren 2012 skulle udskifte en strækning med to år gammel ét-lags drænasfalt med ny to-lags drænasfalt med en bedre støjdæmpning.

Figur 3.4 viser støjspektre for drænasfalt-belægningen. Det ses, at over 1.000 Hz, hvor luftpumpestøjen er dominerende, der er niveauet omkring to dB højere for



Figur 3.4:

Spektre for fire år gammel to-lags drænasfalt på motorvej E4 ved Husqvarna angivet som CPX-niveauer ved 80 km/t. En tre år gammel svensk SMA16 referencebelægning er medtaget. Målingerne er udført af Vejdirektoratet.

|                     | Vejdirektoratet [dB] |      | TUG [dB] | Årlig stigning dB/år |
|---------------------|----------------------|------|----------|----------------------|
|                     | Nord                 | Syd  |          |                      |
| Tungt spor (Spor 1) | 96,6                 | 97,9 | 96,9     | 0,95                 |
| Let spor (Spor 2)   | 94,7                 | 94,4 | 94,6     | 0,52                 |

Tabel 3.2:

Sammenligning mellem Vejdirektoratets og TUG's CPC målinger på to-lags drænasfalt ved Husqvarna i 2014 [6] samt årlig stigning.

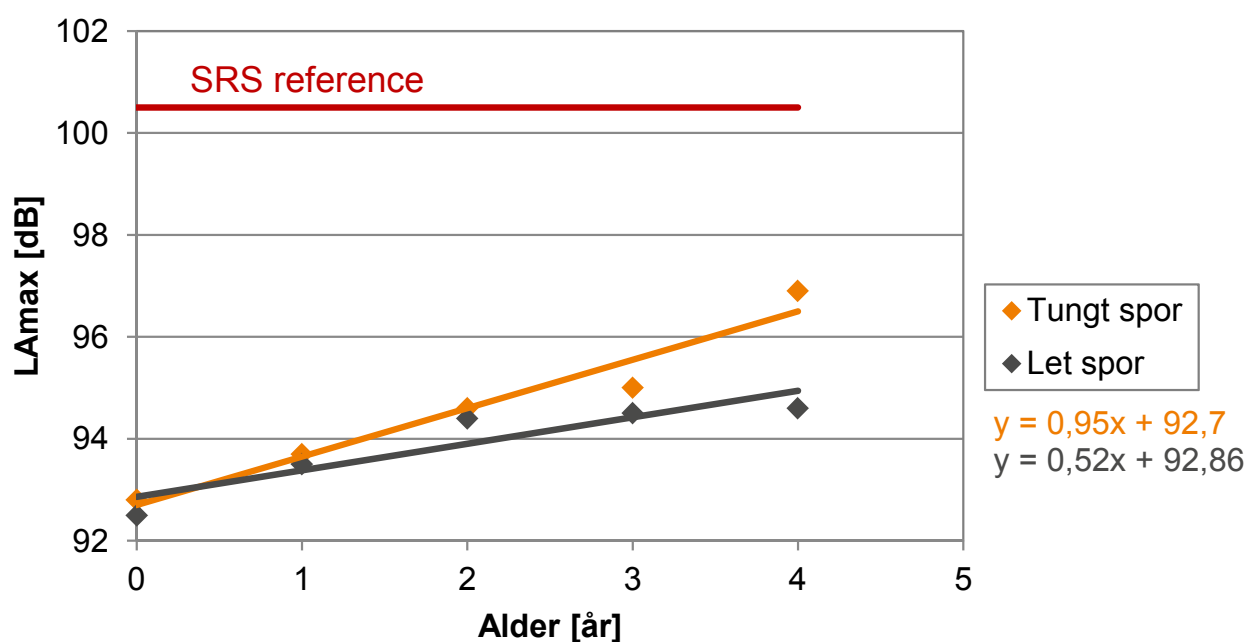
de tunge Spor 1 end for de lette Spor 2. Dette indikerer, at der forekommer en større tilstopning af belægningens åbne porer struktur i det tunge spor. Under 1.500 Hz, hvor den vibrationsgenererede støj er dominerende, ligger de tunge Spor 1 også et par dB over de lette Spor 2, hvilket indikerer, at det tunge spor har fået en mere ujævn overfladestruktur, som evt. kan være forårsaget af stentab.

I [6] findes årlige CPX-måledata fra belægningerne var nye og frem til 2014, som det fremgår af figur 3.5. Målingerne er gennemført af det Tekniske Universitet i Gdansk (TUG) i Polen [6]. Data er opgivet for det tunge spor og for det lette spor, men der skelnes ikke mellem nordgående og sydgående retning.

Tabel 3.2 viser en sammenligning mellem Vejdirektoratets og TUG's CPX-målinger i 2014, hvor drænasfalt-belægningerne er fire år gamle. Det ses, at der er en meget god overensstemmelse mellem resultaterne, hvorfor det

må anses som rimeligt at sammenligne TUG's resultater også for år 0 med det danske SRS-referenceniveau. Da belægningerne var nye (se figur 3.5), havde de stort set samme støjniveau i det lette og det tunge spor nemlig 92,5 og 92,8 dB, hvilket ligger 8,0 og 7,7 dB under SRS-referenceniveauet. Den to-lags drænasfalt ved Husqvarna opfylder således kravet til at blive klassificeret som en SRS-speciel. Et-lags drænasfalten med 8 mm sten ved Viskinge havde en støjreduktion på 6,8 og 7,1 dB i forhold til SRS-referencen. Den to-lags drænasfalt med 11 mm sten ved Husqvarna har således en 1 dB bedre støjreduktion som ny.

Den årlige stigning fremgår ligeledes af tabel 3.2, hvor det ses, at stigningen i det tunge spor er 0,95 dB/år og for det lette spor 0,52 dB. Da levetiden endnu ikke kendes, er det ikke muligt på nuværende tidspunkt at bestemme den gennemsnitlige støjreduktion over belægningernes levetid om end den umiddelbart må vurderes at blive forholdsvis høj.



Figur 3.5:

Årlige CPX-niveauer for to-lags drænasfalt ved Husqvarna målt af TUG ved 80 km/t. Bearbejdet efter [6]. SRS-referenceniveauet for 80 km/t er indlagt med rødt.

Den årlige stigning ved Viskinge, hvor der var mindre trafik og færre tunge køretøjer (12,5 % mod 18 %) samt ingen anvendelse af pigdæk, var på 0,81 dB/år (DA 8 Type B), hvilket ligger mellem stigningen i det lette og det tunge spor ved Husqvarna.

### 3.2 Permeabel vejstrækning

De senere års episoder med voldsomt regnvejr stiller nye udfordringer også til vejbelægnings funktionalitet. Der eksperimenteres med at udvikle veje, som er permeable i hele belægningens opbygning både i de bundne og de ubundne lag. Formålet er at lede det regnvand, som falder på belægningen, direkte ned i jorden uden om afløbsbrønde og afløbssystemer. De bundne lag på sådanne belægninger vil være udført som drænasfalt for at kunne bortlede vandet til de ubundne lag, der kan være udført som en form for drænende stabilgrus. Der er allerede i perioden 2012 til 2014 udført flere strækninger med sådanne drænende belægninger på let og middel trafikerede veje i Danmark. Vand i hele befæstelsens opbygning giver nogle belægningsteknologiske udfordringer i forhold til design og holdbarhed af sådanne befæstelser. Sådanne forhold berøres ikke i dette afsnit, som blot ser på de mulige støjmæssige effekter af at anvende en belægning, der består af drænasfalt i de bundne lag og en form for drænende grus i de ubundne lag.

På et stykke af Eksportvej ved Billund lufthavn er der i et samarbejde mellem lufthavnen og NCC Roads [16] gennemført et forsøg med en sådan belægning på en 60 m

lang og 6 m bred strækning (se figur 3.6 og 3.7). Trafikken på denne strækning er omkring 150 tunge køretøjer pr. dag. Belægningerne er opbygget på følgende måde [16]:

- 3 cm drænasfalt med 8 mm sten i den ene vejside (DA 8) med et indbygget hulrum på 18 % samt drænasfalt med 11 mm sten i den anden vejside (DA 11) og et indbygget hulrum på 16 %
- 8 cm drænende grusasfaltbeton (GAB) med et indbygget hulrum på 19 %
- 40 cm drænende stabilt grus med et indbygget hulrum på 30 %

Opbygningen af denne drænende belægning har en samlet tykkelse på 51 cm. Belægningerne blev udlagt sidst på året i 2012. Med et så tykt drænende lag kan det forventes, at disse belægninger har en god støjreducerende effekt. For at undersøge dette har Vejdirektoratet foretaget målinger med CPX-støjtrailer ved 50 km/t på disse to drænasfalt-belægninger i august 2013, da belægningerne var ét år gamle. Det var vanskeligt at foretage CPX-målinger på denne kun 60 m lange strækning, som ligger tæt på et T-kryds. Resultaterne fremgår af tabel 3.3, hvor også referenceniveauet for 2. generation af SRS-systemet er angivet [2]. DA 8-belægningen har det laveste støjniveau og ligger 5,9 dB under SRS-referencen, hvorimod DA 11-belægningen kun ligger 3,1 dB under. DA 8-belægningen kan således klassificeres som en "SRS standard".

### 3. Nye målinger på drænasfalt



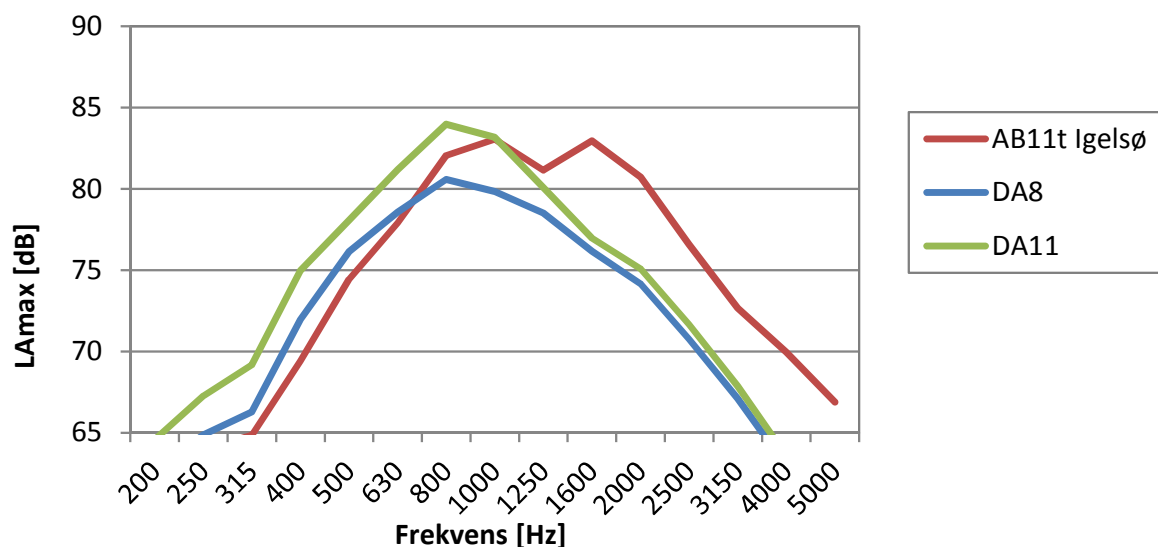
**Figur 3.6:**  
Udlægningen af drænasfalt på Eksportvej ved Billund i november 2012 (Foto NCC Roads).



**Figur 3.7:**  
Nærbillede af de nyudlagte DA8 (til højre) og DA11 (til venstre) belægninger på Eksportvej (Foto NCC Roads).

| Belægning                             | DA 8 [dB] | DA 11 [dB] | SRS-reference [dB] |
|---------------------------------------|-----------|------------|--------------------|
| Støjniveau                            | 87,1      | 89,9       | 93,0               |
| Reduktion i forhold til SRS-reference | 5,9       | 3,1        | -                  |

**Tabel 3.3:**  
Resultater af CPX-målinger ved 50 km/t på to drænasfalt-belægninger på Eksportvej ved Billund med angivelse af støjreduktion i forhold til SRS-referenceniveauet. Målingerne er udført da belægningerne er et år gamle.



**Figur 3.8:**

Spektre for CPX-målinger på to drænasfalt-belægninger på Eksportvej ved Billund ved 50 km/t. For at kunne sammenligne er medtaget et spekter for en ét år gammel AB 11t-belægning ved Igelsø [17].

Til sammenligning havde to-lags drænasfalt-belægningerne på Øster Søgade med 8 mm sten i tolaget en årlig stigning af støjen på 1 dB/år (se tabel 2.6). Hvis alderen tages i betragtning, vil DA 8-belægningen, da den var ny, have haft en støjreduktion på omkring 6,9 dB i forhold til SRS-referencen og ville derfor blot være 0,1 dB fra at kunne opnå en "SRS speciel"-klassifikation.

Støjspektre fra målingerne fremgår af figur 3.8, hvor også spektret for den ét år gamle AB 11t-belægning ved Igelsø [17] er medtaget som et sammenligningsgrundlag. I det højfrekvente område over 1000-1.500 Hz ses, at både DA 8 og DA 11 ligger 5 til 7 dB under den tætte AB 11t. Dette indikerer, at drænasfalten har en meget åben overfladestruktur, som reducerer luftpumpestøjen. DA 8-drænasfalten – som har et lidt højere indbygget hulrum end DA 11-belægningen (18% mod 16%) – ligger i dette frekvensområde omkring én dB under DA 11-belægningen. I det lavfrekvente område under 1.000 Hz er den vibrationsgenererede støj dominerende. Under 800 Hz ligger DA 8-belægningen én til to dB over AB 11t,

hvilket indikerer, at DA 8 har en mere ru overfladetekstur end AB 11t. DA 11-belægningen ligger to til fire dB over AB 11t-belægningen under 1.000 Hz, hvilket indikerer, at DA 11-belægningen har en ganske ru overfladetekstur, som forøger den vibrationsgenererede støj markant. De tre drænasfalt-belægninger på Øster Søgade lå i frekvensområdet under 1.000 Hz væsentligt under referencebelægningen, som i det tilfælde var en AB 8t (se figur 2.10). Det skal dog afslutningsvis bemærkes, at disse drænasfalt-belægninger på Eksportvej formodentlig ikke er designet specielt med henblik på at opnå lave støjniveauer med derimod med henblik på at have gode egenskaber mht. nedsivning af vand.

## 4. Forsøget ved Arnakke

Forsøgsstrækningerne ved Viskinge og på Øster Søgade (begge omtalt i kapitel 2) har i vinterperioderne løbende været overvåget af de relevante vejmyndigheder og der er ikke observeret specielle problemer i forhold til vintervedligeholdelse. Begge strækninger er blevet vintervedligeholdt med saltning og snerydning lige som de tilstødende tætte slidlag.

Et af formålene med dette projekt har været at belyse, hvordan drænasfalt fungerer under vinterforhold – herunder at undersøge, hvordan belægningens overfladetemperatur udvikler sig sammenlignet med en almindelig tæt asfaltbeton. I projektet blev det besluttet at etablere et lille feltforsøg med drænasfalt i august 2011. Der blev udlagt en 25 m lang og 1,25 m bred forsøgsbelægning på rasteanlægget Arnakke ved motorvejen syd for Holbæk. Forsøgsbelægningen er udlagt på en rampe

fra et parkeringsområde kun for personbiler. Der er ingen tung trafik, hastigheden er under 30 km i timen og antallet af køretøjer pr. døgn er lavt.

Drænasfalten ved Arnakke var en DA 8:

- Maksimal stenstørrelse 8 mm
- Tykkelse 35 mm
- Indbygget Marshall hulrum 20%

Figur 4.2 viser et foto af drænasfaltens overflade. På samme rampe blev der i oktober 2011 udlagt en 10 kvadratmeter forsøgsstrækning med poroelastisk materiale (PERS) som en del af EU-projektet PERSUADE om udvikling og test af vejbelægninger med meget stor støj-dæmpning [2]. Ved forsøgsstrækningen findes desuden en gammel tæt asfaltbeton (AB 11t).



**Figur 4.1:**  
Rasteanlægget ved Arnakke, hvor der er udlagt en 25 m lang drænasfalt-belægning i august 2011.



**Figur 4.2:**  
Overfladen af DA 8-belægningen ved Arnakke da den var to måneder gammel. Størrelsen af de sorte og hvide tern er 10x10 mm.



**Figur 4.3:**  
Udlægningen af DA 8-drænasfalt-belægningen ved Arnakke rasteanlægget i august 2011.

Det ses af figur 4.3 at belægningen ligger ud til kantstene. Der er ikke foretaget tiltag for at sikre at vand, som bliver opsamlet i belægningen, kan bortledes til afløbsbrønde eller lignende. Regn og smeltevand vil derfor blive i belægningen indtil det fordamper.

Ved Arnakke var der på en mast opsat et termo-kamera samt et online videokamera, således at det var muligt fra laboratoriet at overvåge belægningen.

Det er ikke muligt at foretage støjmålinger på denne lille forsøgsstrækning, men det har heller ikke været intentionen. Der er dog foretaget nogle målinger af overfladeteksturen med Vejdirektoratets laserskinne (se figur 4.5). Resultaterne fra disse målinger er analyseret spektralt og sammenlignet med tilsvarende målinger på AB 11t-belægningen ved Arnakke [18]. Resultaterne fremgår af figur 4.6. Belægningernes teksturspektre er blevet beregnet pr. 1/3 oktav. Resultaterne viser, at teks-



**Figur 4.4:**  
Termokamera samt et online videokamera ved forsøgsbelægningerne ved Arnakke rasteanlægget.



**Figur 4.5:**  
Teksturmålinger på DA 8-belægningen ved Arnakke udført med Vejdirektoratets laserskinne.

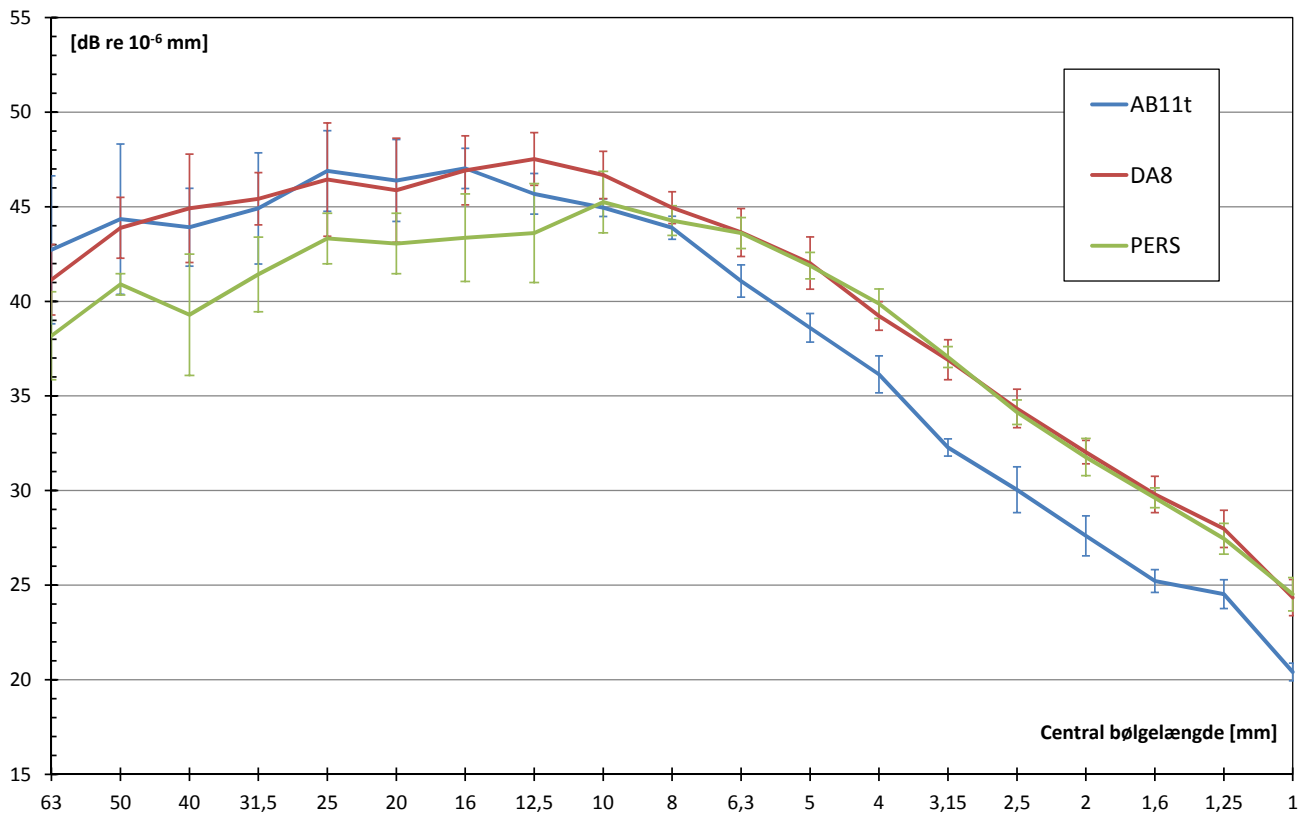
turspektrene næsten er ens for PERS-belægningen og DA 8-drænasfalten ved lave frekvenser (bølgelængder større end 12,5 mm). Ved højere frekvenser er spektret for PERS-belægningen omkring fem dB lavere end for drænasfalten. For at opnå lave niveauer af dæk-vejbane støj anbefales der i [19] lavere teksturniveauer omkring 63 mm, maksimalt teksturniveau ved kortere bølgelængder og højere teksturniveau omkring fire mm sammenlignet med en "normal" vejbelægning. Ud fra disse kriterier skulle DA 8-belægningen have et lavere niveau af dæk-vejbane støj end AB 11t-belægningen og PERS-belægningen skulle have et endnu lavere niveau.

Målingerne viser ligeledes, at overfladeteksturen både for PERS-belægningen og drænasfalten er meget homogen, da variationen af MPD er lille [18].

For løbende at kunne følge udviklingen af belægningernes overfladetemperatur blev der monteret temperaturfølere fra firmaet Vaisala i både DA 8- og AB 11t-belægningerne samt i den poroelastiske belægning (se figur 4.7). Der blev anvendt det samme måleudstyr, som også bliver anvendt på vejnettet til monitorering af tilstanden i vinterperioderne. Resultaterne fra disse målinger præsenteres i det efterfølgende kapitel 5.

Efter tre vintre er der ikke observeret tegn på frostsprængninger, som kunne skyldes, at der står vand i DA 8-belægningens porer, som fryser til is og derved udvider sig, når temperaturen går under frysepunktet.

#### 4. Forsøget ved Arnakke



**Figur 4.6:**  
Tekstur-spektre for DA 8-, PERS- og AB 11t-belægninger ved Arnakke [18].



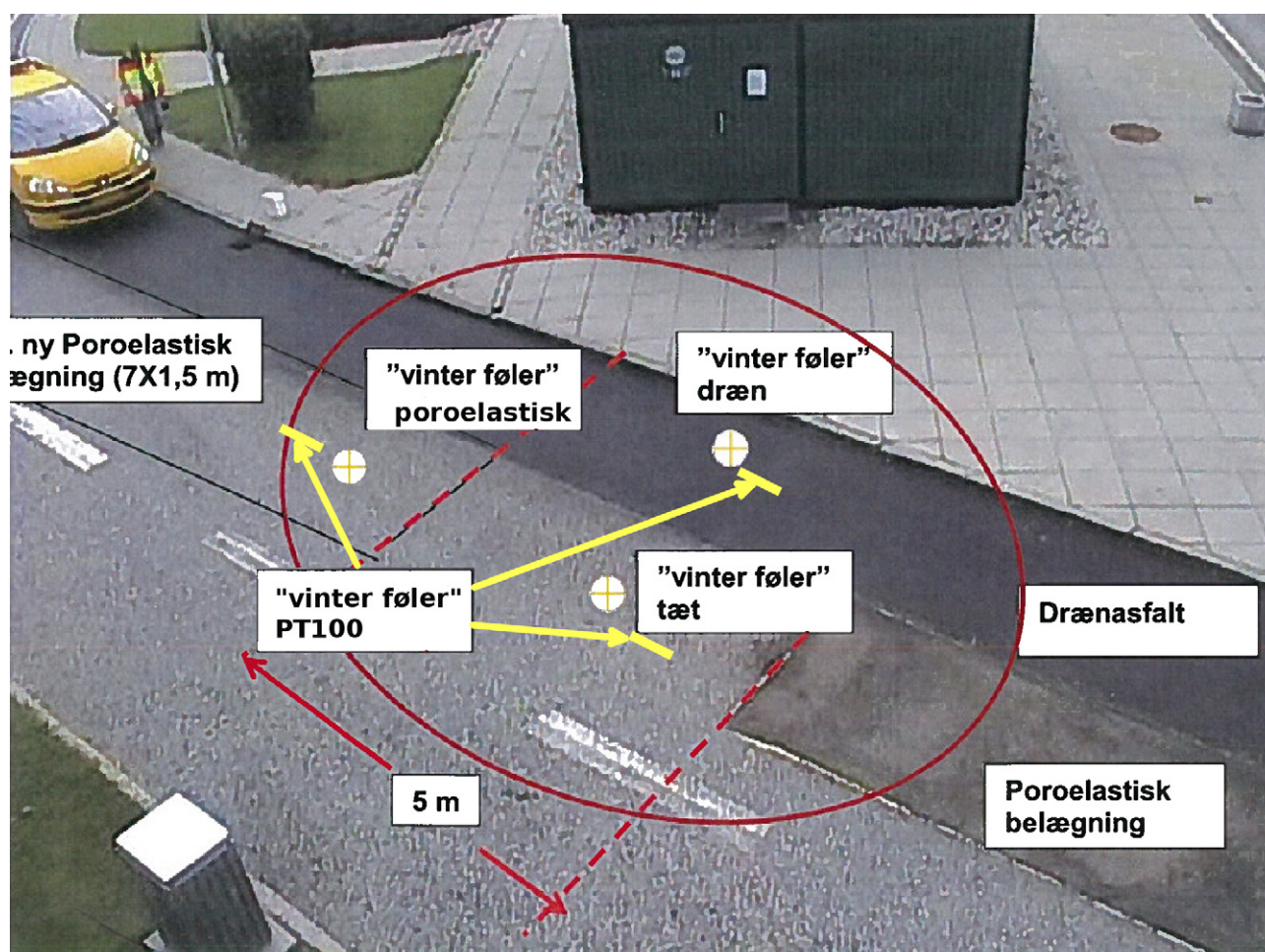
**Figur 4.7:**  
Temperaturføler monteret i DA 8-belægningen. Selve føleren kan ses i figur 5.2.

# 5. Undersøgelse af belægnings overfladetemperatur

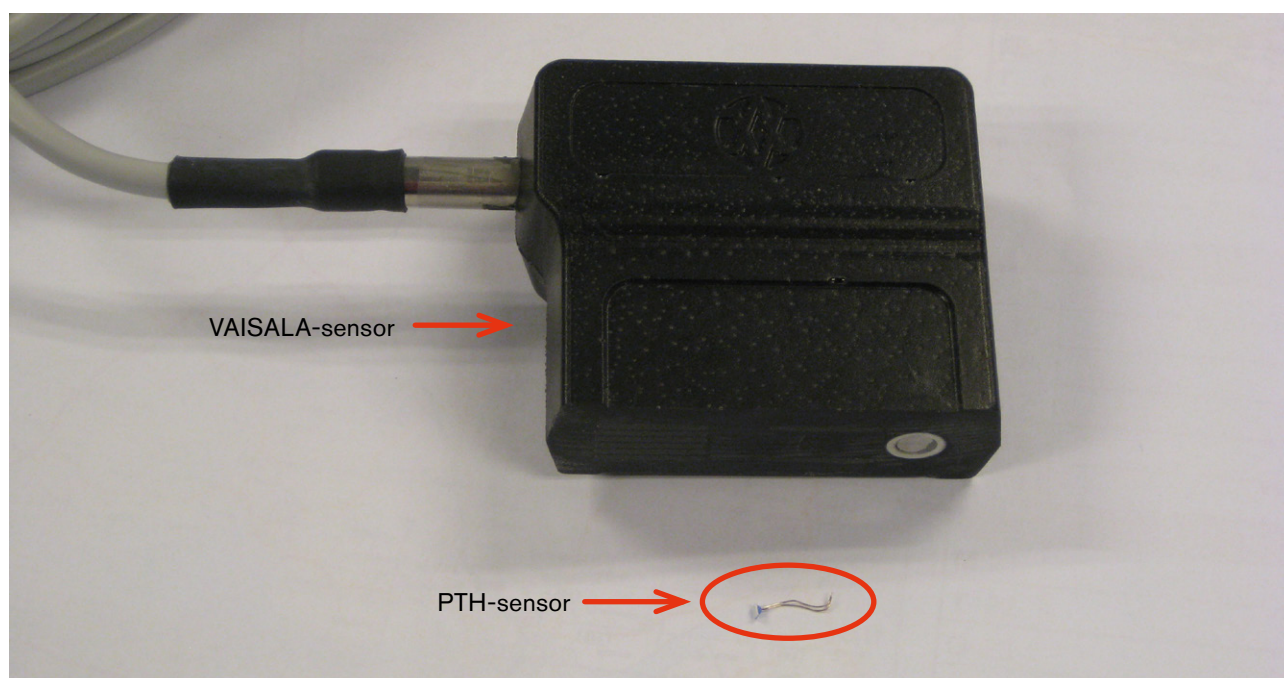
## 5.1 Baggrund og forsøgslayout

Drænasfalt er kendt for at have gode støjreducerende egenskaber i forhold til bl.a. tæt asfaltbeton, som det fremgår af kapitlerne 2 og 3. Der er dog rapporteret om problemer med at anvende normal vintervedligeholdelse af drænasfalt, som både kan skyldes belægningens åbne overfladestruktur, der kan bortlede smeltevand og dermed også salt samt at drænasfaltens overflade har andre termodynamiske egenskaber end almindelige tætte vejbelægninger. Disse problemstillinger er i dette projekt søgt belyst gennem to undersøgelser. I 2011 gennemførte Vejdirektoratet en studietur til fire lande i Europa, hvor der i forskelligt omfang anvendes drænasfalt. Resultaterne fra denne studietur præsenteres i kapitel 6.

For at undersøge vejoverfladens termodynamiske egenskaber for henholdsvis drænasfalt og almindelig tæt asfalt igangsatte Vejdirektoratet i 2011 et forsøg, hvor der blev udlagt et mindre areal med drænasfalt på en rastepads ved Arnakke (se kapitel 4). Efterfølgende blev der monteret temperatursensorer, som løbende registrerede vejoverfladens temperatur. Ved Arnakke blev der desuden i efteråret 2011 udlagt en 10 m<sup>2</sup> forsøgsbelægning med poroelastisk asfalt (PERS), hvor der også blev monteret en temperatursensor. I dette kapitel præsenteres undersøgelserne af vejbelægningernes overfladetemperatur. Databehandling og analyser er udarbejdet af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og er dokumenteret i [21].



**Figur 5.1:** Placering af sensorer ved rasteanlægget. De hvide cirkler viser en omtrentlig placering af VAISALA-sensorerne, mens de gule rektangler viser placering af PTH-sensorerne.



**Figur 5.2:**  
Nærbilledet af VAISALA- og PTH-sensoren.



**Figur 5.3:**  
360-graders foto taget med et kamera placeret ovenpå sensorerne placeret i AB 11t-belægningen ved rasteanlægget.

Data fra temperaturmålinger ved Arnakke i vinteren 2011 til 2012 er analyseret og rapporteret i [20]. Forudsættningen for projektet er målinger på de tre belægninger (tæt asfaltbeton (AB 11t), drænasfalt (DA) og poroelastisk belægning (PERS)) ved rasteanlægget ved Arnakke (se kapitel 4). Der er ligeledes installeret andre typer af standardsensorer til måling af vejens beskaffenhed med hensyn til glatføre. Derudover er der installeret et infrarødt kamera, der kan give et mere detaljeret billede af temperaturvariationen af vejtemperaturen over testområdet. Figur 5.1 viser den omtrentlige placering af sensorerne ved test-siten ved rasteanlægget ved Arnakke.

Til stor overraskelse blev der i undersøgelse af data fra vinteren 2011 til 2012 [20] ikke konstateret den store temperaturforskelle på de tre typer asfalt – hverken når individuelle tilfælde blev undersøgt eller statistisk over længere tidsrum. En almindelig glatførestation på mo-

torvejen nogle hundrede meter væk (se figur 5.3) viste således større afvigelser i vejtemperatur i forhold til de indbyrdes forskelle mellem de tre sensorer placeret ved rasteanlægget, men i forskellige typer vejbelægninger. Resultaterne har skabt usikkerhed om anvendeligheden af standardsensorer til dette specifikke formål, der kræver ekstra stor målenøjagtighed. Det er således sandsynligt, at temperaturmålingen bliver påvirket i et vist omfang af indkapslingen af sensoren, fordi sensoren er indkapslet i en relativ stor cylinder. Den anvendte standardsensor er fra firmaet Vaisala og betegnes som VAISALA. Disse sensorer er installeret efter de anbefalede retningslinjer for denne type udstyr; dvs. at der bores et hul i vejen, hvor sensoren indsættes og fastgøres med et andet materiale end den omgivende asfalt (se figur 4.7).

For alle temperatursensorerne er der blevet taget et billede, der viser skyggeforholdene omkring den enkelte



**Figur 5.4:**  
Den eksisterende vejstation på motorvejen. VAISALA-sensorer er monteret i motorvejens kørebaner til højre for vejstationen.

sensor. Figur 5.3 viser et eksempel fra sensoren i AB 11t-belægningen. I dataopsamlingsperioden, der løber fra 1. oktober 2011 til 1. juni 2013, er der sket en større ændring. Den grønne toiletbygning (se figur 5.1 øverst og figur 5.3 til højre) er blevet revet ned og erstattet af en ny, som ligger længere væk fra sensorerne. Disse bygninger giver anledning til forskellige skygge- og udstrålingsforhold for vejsensorerne primært i løbet af efteråret og foråret, og de giver anledning til temperaturforskelle mellem de forskellige sensorer både med hensyn til tidsmæssige forskelle i skyggeforhold, men også med hensyn til den total mængde solenergi, der afsættes i vejen. Det vurderes dog i denne sammenhæng ikke at have afgørende betydning for den samlede analyse, men ændringerne i skyggeforholdene forklarer nogle forskelle i vejtemperaturerne primært i forårs- og efterårsmånederne [21]. Ud over de forskellige testsensorer i de tre belægninger ved Arnakke rasteanlægget findes en anden vejstation på motorvejen nogle hundrede meter nord for 'testsiten' (figur 5.4). Denne er udstyret med VAISALA-sensorer i det lette og det tunge spor og er udsat for en meget større trafikbelastning.

## 5.2 Resultater og analyser

Alle observationer af vej-, luft- og dugpunktstemperaturer er manuelt blevet kvalitetskontrolleret. For alle sensorer gælder, at der automatisk bliver foretaget en måling hvert 5. minut. I denne undersøgelse er der kun blevet anvendt målinger én gang i timen, mens der er blevet set bort fra de resterende målinger. For alle måneder gælder, at der kun er anvendt data, såfremt alle sensorer har været aktive på samme tidspunkt inden for det angivet tidsinterval. Det er ligeledes påkrævet, at alle data inden for ét døgn er blevet målt og videresendt for at få genereret en statistik, der giver en realistisk døgncyklus.

Tabel 5.1 viser en oversigt over døgnets middelværdi for vejtemperaturerne for forskellige måneder for syv forskellige sensorer. Det er primært PERS, der afviger og bliver koldest i de mørkeste vintermåneder og varmest når solen står højt. Når DA sammenlignes med AB 11t, er forskellene små og ikke særlige systematiske.

Figur 5.5 viser forskellen i døgnets middelværdi for vejtemperaturen pr. måned mellem tæt asfalt (AB 11t) og henholdsvis drænasfalt (DA) og PERS ved rasteanlægget målt med VAISALA-sensorer. Det kan ses, at der blot er få tiendedele graders forskelle.

Figur 5.6 viser forskellen mellem døgnets middelværdi for vejtemperaturen for tæt asfalt (AB 11t) målt med henholdsvis VAISALA-sensorer og HTP sensor ved rasteanlægget. I vinterperioden har PTH-sensoren 0,3 til 0,6 grader højere niveauer end VAISALA-sensoren.

Generelt ser fire faktorer ud til at have betydning for resultaterne [21]:

1. Placering af sensorerne (rasteanlæg, motorvej lette eller tunge spor)
2. Belægningstype (DA 11t, DA eller PERS)
3. Sensortype (VAISALA or PTH)
4. Trafikintensiteten

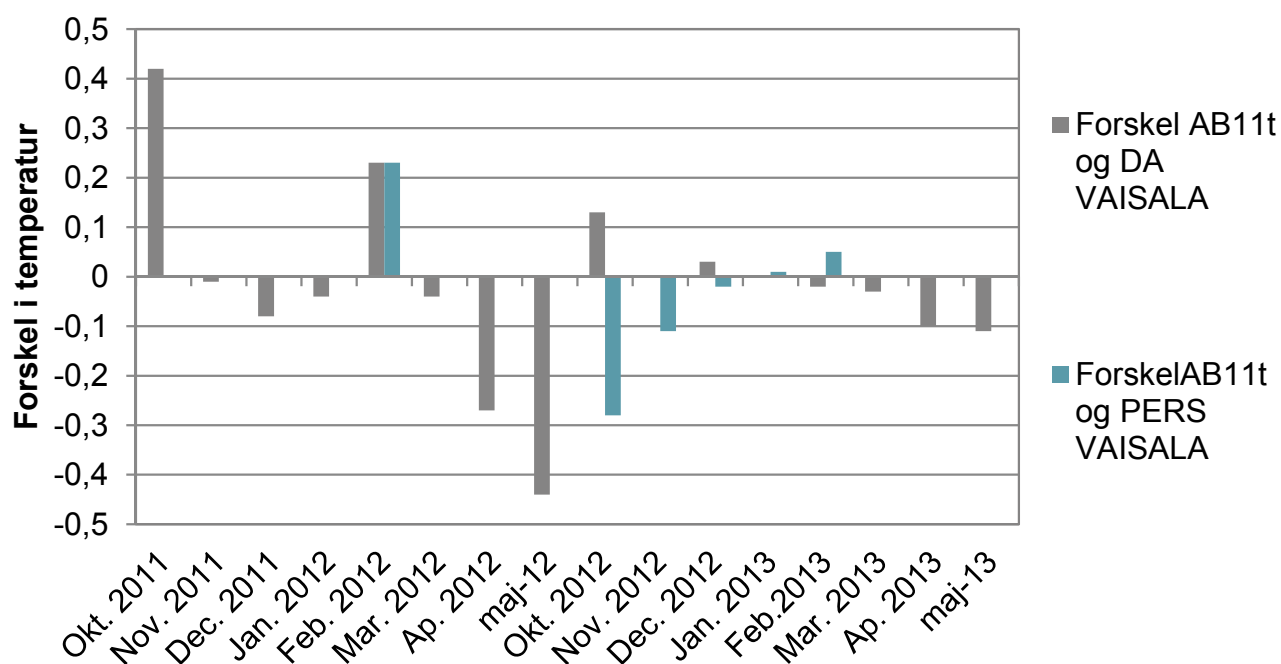
En detaljeret analyse af måledata [21] viser, at sensorerne ved vejstationen langs motorvejen er generelt varmest i tidsrummet oktober til marts formentlig pga. mindre skyggepåvirkning. Derudover er den større trafikbelastning med til at mindske temperaturfaldet i forbindelse med morgen- og eftermiddagstrafikken, der i vintermånederne falder sammen med minimumstemperaturen om morgen samt temperaturfaldet ved solnedgang. For marts, april og maj er de sensorer, der er placeret ved rasteanlægget, varmere, idet solhøjden for disse måneder betyder ens skyggeforhold. Den større trafikbelastning ved motorvejen sænker vejtemperaturens maksimum i løbet af dagen, mens nattemperaturen er nogenlunde ens om natten. Derudover betyder forskellig farve af asfalten for de to lokaliteter også noget, hvor det formodes at de

## 5. Undersøgelse af belægnings overfladetemperatur

| Placering | Motorvej  |           |             | Rasteanlæg |           |             | PTH     |           |
|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|-------------|---------|-----------|
| Sensor    | VAISALA   |           |             | VAISALA    | VAISALA   |             | PTH     |           |
| Belægning | AB t [°C] | AB t [°C] | AB 11t [°C] | DA [°C]    | PERS [°C] | AB 11t [°C] | DA [°C] | PERS [°C] |
| okt. 2011 | 8,88      | 9,08      | 8,39        | 7,97       | -         | -           | -       | -         |
| nov. 2011 | 6,59      | 6,82      | 6,01        | 6,02       | -         | -           | -       | -         |
| dec. 2011 | 3,06      | 3,11      | 2,61        | 2,69       | -         | -           | -       | -         |
| jan. 2012 | 1,27      | 1,41      | 0,70        | 0,74       | -         | -           | -       | -         |
| feb. 2012 | -0,84     | -0,67     | -1,59       | -1,82      | -1,82     | -           | -       | -         |
| mar. 2012 | 7,76      | 7,89      | 7,60        | 7,64       | -         | -           | -       | -         |
| apr. 2012 | 11,11     | 11,16     | 11,43       | 11,70      | -         | -           | -       | -         |
| maj 2012  | 19,65     | 19,49     | 20,40       | 20,84      | -         | -           | -       | -         |
| okt. 2012 | -         | -         | 8,40        | 8,27       | 8,68      | 9,02        | 8,83    | 9,06      |
| nov. 2012 | 6,01      | 6,21      | 5,30        | 5,30       | 5,41      | 5,83        | 5,88    | 5,71      |
| dec. 2012 | 0,08      | 0,30      | -0,28       | -0,31      | -0,26     | 0,21        | 0,37    | -0,01     |
| jan. 2013 | -0,78     | -0,62     | -1,08       | -1,08      | -1,09     | -0,58       | -0,37   | -0,85     |
| feb. 2013 | -0,27     | -0,05     | -0,44       | -0,42      | -0,49     | -0,07       | -0,00   | -0,32     |
| mar. 2013 | 1,48      | 1,54      | 1,39        | 1,42       | -         | 1,70        | 1,76    | 1,41      |
| apr. 2013 | 10,72     | 10,85     | 10,95       | 11,05      | -         | 11,03       | 11,10   | 11,07     |
| maj 2013  | -         | -         | 19,80       | 19,91      | -         | 19,81       | 19,85   | 20,15     |

**Tabel 5.1:**

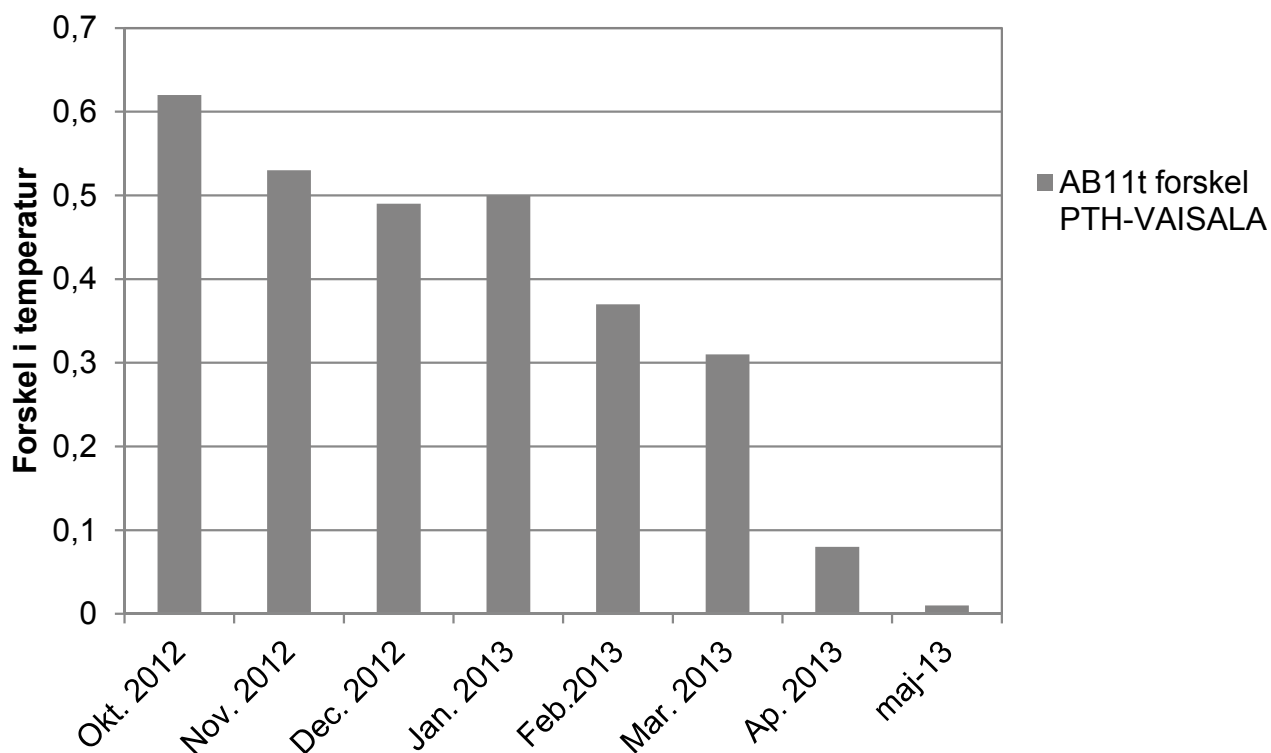
Døgnets middelværdi for vejtemperaturerne for forskellige måneder for 7 forskellige sensorer. "-" indikerer at datagrundlaget ikke har været tilstrækkeligt [21].



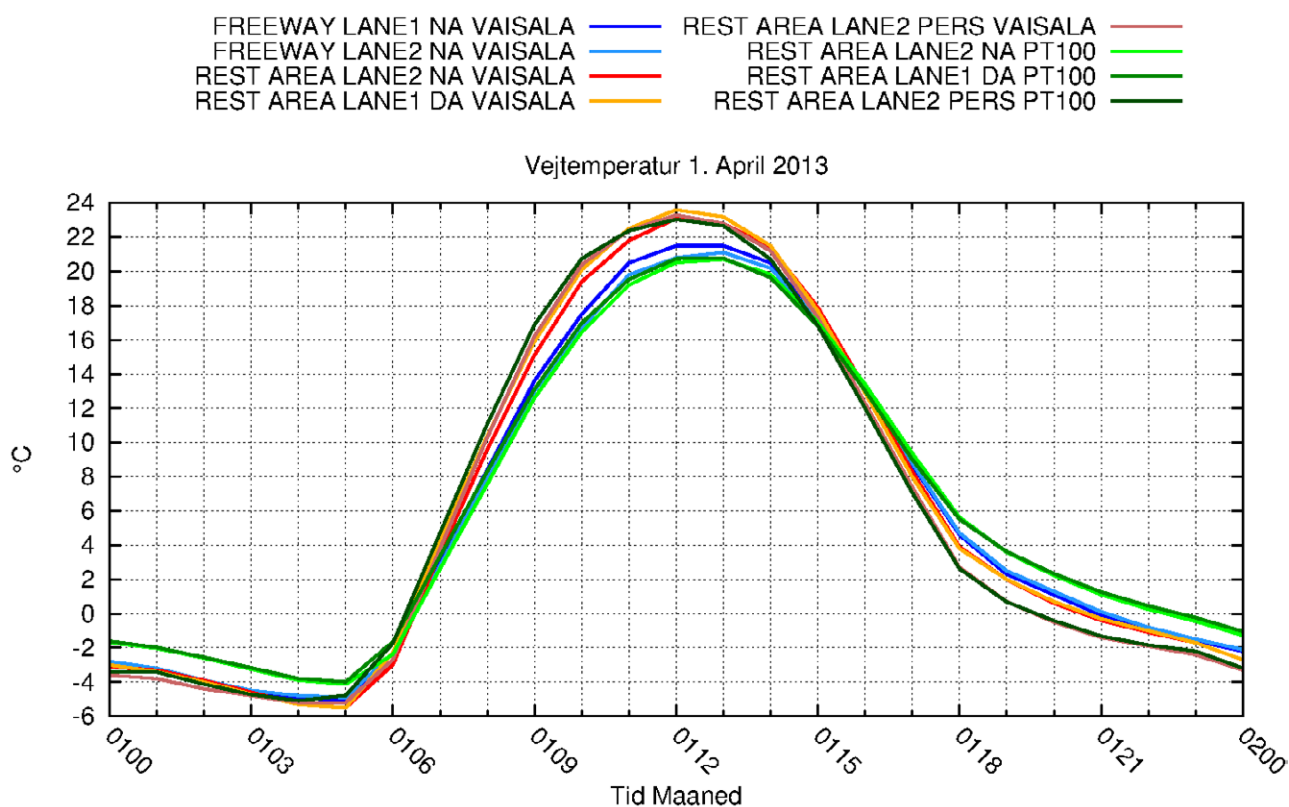
**Figur 5.5:**

Forskel i døgnets middelværdi for vejtemperaturen pr. måned mellem tæt asfalt (AB 11t) og drænasfalt (DA) samt PERS ved rasteanlægget målt med VAISALA-sensorer [21].

## 5. Undersøgelse af belægnings overfladetemperatur



**Figur 5.6:**  
Forskel i døgnetts middelværdi for vejtemperaturen pr. måned for tæt asfalt (AB 11t) målt med VAISALA-sensorer og PTH-sensor [21].



**Figur 5.7:**  
Vejtemperatur målt over 24 timer for 1. april 2013 med to forskellige sensorer og i forskellige typer vejbelægning. Målinger er både foretaget ved motorvejen og ved rasteanlægget [21].

nye belægninger ved rasteanlægget er noget mørkere end den ældre asfalt ved motorvejen. For de tre PTH-sensorer i de tre forskellige asfalttyper ved rasteanlægget gælder det generelt, at de følger samme mønster som VAISALA-sensorerne ved rasteanlægget, men at den daglige variabilitet er mindre – dvs. at de måler lavere eller samme temperatur om dagen og systematisk højere temperatur om natten.

Figur 5.7 viser et eksempel fra en kold og solrig forårsdag med hård nattefrost [21]. Første april 2013 var solrig med få skyer og stor temperaturforskel mellem dag og nat og burde derfor være velegnet til at detektere temperaturforskelle mellem de forskellige sensorer og asfalttyper. Figur 5.7 viser vejtemperaturen for alle vejtemperatursensorerne 1. april 2013. Det fremgår, at der kun er meget lille forskel mellem de nye sensorer og standardsensorerne. Tilsvarende er der også kun minimal forskel mellem belægningerne DA og AB 11t, mens PERS-belægningen udviser større daglig variation med højere temperatur om dagen og koldere om natten. Dette er igen et overraskende resultat. Årsagen hænger muligvis sammen med at DA-belægningen er ganske tynd (35 mm), og at porøsiteten gør overfladen "gennemsigtig" for opvarmning nedefra. Dette indikerer, at luften i asfalten effektivt bliver opvarmet af den underliggende tætte asfalt, og dermed reducerer den forventede hurtigere afkøling. Formentligt lidt tilsvarende en varmeblæser på en computers cpu-chip, der tjener samme funktion. For dage med tilsvarende vejrtype ses et lignende mønster. Såfremt tykkelsen af drænasfalten øges vil denne effekt aftage. Denne effekt er dog ikke så effektiv om dagen til at køle overfladen nedefra, hvilket betyder at DA-belægningen har en tendens til at blive lidt varmere om dagen. Så længe vejtemperaturen under det porøse overfladelag er varmere end luften vil der være en tendens til konvektion i overfladelaget, der forhindrer afkøling af overfladen om natten. Når lufttemperaturen er varmest, vil denne effekt forsvinde. Ligeledes bliver varmen effektivt bortledt, når solen varmer asfalten på varme dage, hvor vejtemperaturen er væsentligt varmere end luften. På enkelte dage bemærkes det dog, at AB 11t bliver varmere selv på solrige dage som f.eks. 9. april 2013 (ikke vist). Det karakteristiske for disse dage er, at der ligeledes er ret kraftig vind. Dermed er det sandsynligt, at luftafkølingen er mere effektiv i DA-belægningen og formentligt også PERS-belægningen. Det skal dog bemærkes at hvis afkølingen af vejen finder sted over længere tid vil det tære på varmelageret længere nede i vejen og effekten må formodes at aftage. Dette har dog ikke kunnet ses i de foreliggende data, formentligt fordi der ikke har været et tilstrækkelig langt tidsrum, hvor dette har kunnet finde sted.

Et eksempel på effekten af nedbør på vejen i form af regnvand eller sne kan ses i figur 5.8 [21]. Begyndelsen af december 2012 var præget af temperaturer omkring 0 grader med let snefald af og til. Pga. saltning forventes det, at sneen stort set er smeltet, og at vejen er våd det

meste af tiden. Dette understøttes af standardsensorer, der også måler vandtykkelsen og saltmængden på vejen. For næsten hele perioden (1.-9. december) målte de nye PTH-sensorer højere temperaturer i DA-belægningen i forhold til AB 11t-belægningen. Figur 5.8 viser udviklingen i vejtemperatur 1. december. Disse forskelle ses ikke nær så tydeligt i standardsensorerne. Generelt opvarmes både DA- og PERS-belægningen lidt hurtigere om dagen og afkøles langsommere om natten. I perioden 10. til 14. december er mønstret omvendt. Her er AB 11t-belægningen varmest. Denne periode er ligeledes kold, men tør og blæsende. Efter den 14. bliver det igen varmere og mere ustadigt. Tre faktorer ser ud til at have betydning i tilfælde med vand på vejen. Når DA- og PERS-belægningerne fyldes med vand, øges varmekapaciteten betragteligt, hvilket fører til langsommere afkøling om natten og mindre maksimumtemperatur om dagen. I situationer, hvor den porøse asfalt tørrer hurtigere pga. den drænende effekt, mindskes fordampningen, hvilket igen fører til højere temperatur. Det ser ligeledes ud til, at porøs asfalt er mere påvirket af vind, således at porøs asfalt lettere opvarmes eller afkøles af vinden og dermed følger lufttemperaturen tættere, end tilfældet er for tæt asfalt. PERS-belægningen viser derimod tendens til mere ekstreme temperaturudsving og dette observeres mest markant med PTH-sensorer.

Figur 5.9 viser et eksempel på temperaturmålinger foretaget med det infrarøde kamera, som også var opstillet ved rasteanlægget ved Arnakke. Det fremgår, at der er lidt forskel i overfladetemperaturen på de tre belægninger på stedet. Data fra det infrarøde kamera har dog af praktiske årsager ikke været anvendt i analyserne i [21].

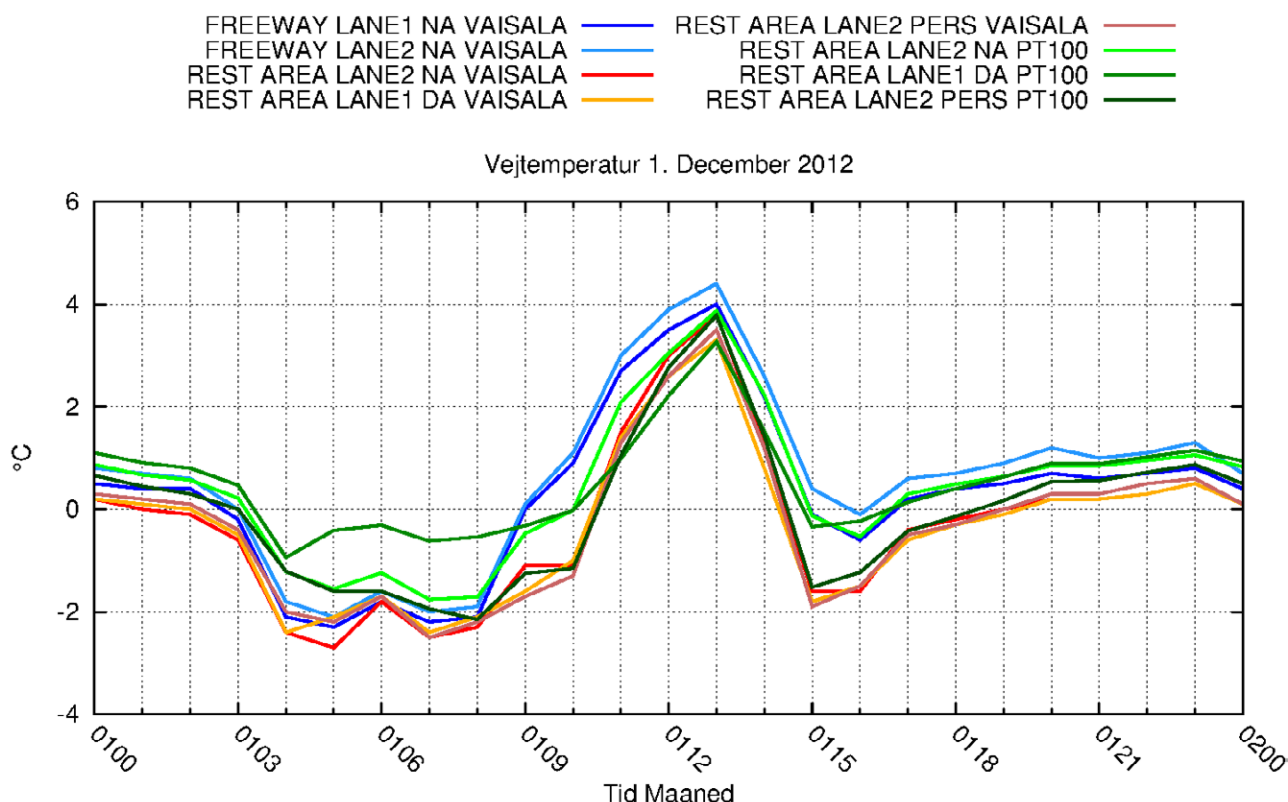
### 5.3 Konklusion og diskussion om termodynamiske egenskaber

#### *Egenskaber for drænasfalt (DA)*

DA-belægningen har flere modsatrettede effekter, der påvirker vejtemperaturen. Den mindre varmekapacitet og varmeledningsevne giver normalt højere vejtemperatur på solrige dage. Denne forskel er dog i de fleste tilfælde ikke særlig stor, da konvektion i materialet formentligt modvirker opvarmningen, når temperaturforskellen mellem luften og vejbanen bliver stor. Tilsvarende ser det ud til, at den porøse overflade luftafkøles hurtigere, når vinden er kraftig dvs. mere end 5 m/s.

Under klare, tørre og vindsvage forhold, som er typiske rim-situationer, er det generelle mønster, at den porøse asfalt er lidt varmere både dag og nat. Dette tyder på at varmen lettere siver op igennem den porøse overflade og giver større opvarmning nedefra. Det er klart at denne proces på lang sigt fører til en større afkøling af laget under den porøse asfalt.

Vand på vejbanen skaber et særligt kompliceret mønster. Dels ændres den porøse vejbanes varmekapacitet og varmeledningsevne ved at luft fortrænges af vand. Specielt varmekapaciteten øges, hvilket mindsker den



Figur 5.8:

Vejtemperatur målt over 24 timer for 1. december 2012 med to forskellige sensorer og i forskellige typer vejbelægning. Målinger er både foretaget ved motorvejen og ved rasteanlægget [21].

daglige variation i temperatur. Dette holder generelt nattemperaturerne oppe, mens dagtemperaturen bliver holdt nede. Såfremt den porøse asfalt tørrer hurtigere, reduceres fordampningen fra vejoverfladen, hvilket betyder at den porøse asfalt afkøles langsommere. Det er dog usikkert, hvor meget vand der fastholdes i de porøse belægninger, specielt set i lyset af en manglende mulighed for dræning af drænasfalten ved rasteanlægget.

#### Egenskaber for poroelastisk materiale (PERS)

Undersøgelsen viser ganske klart, at PERS udviser mere ekstreme udsving end de to andre belægningstyper. Der er en klar tendens til at PERS bliver varmere om dagen og tilsvarende koldere om natten, hvilket må forventes såfremt belægningen med en stor andel gummi har mindre varmeledningsevne og varmekapacitet end de andre belægningstyper eller er i dårligere kontakt med den underliggende vejbane. Det betyder formentligt også, at varmen har svære ved at trænge op fra det underliggende lag.

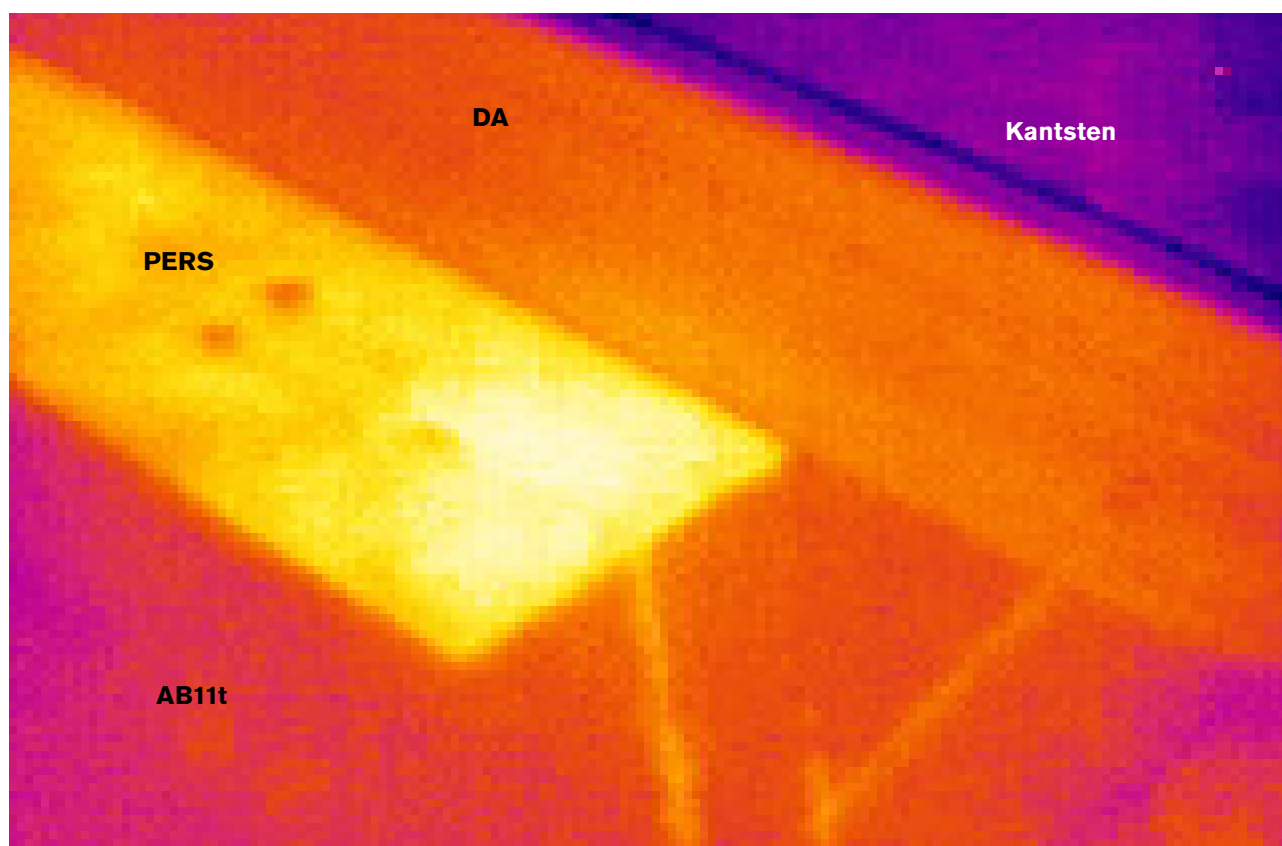
Det skal dog samtidigt understreges, at forskellene typisk ikke er mere end ca. 1 grad i ekstreme situationer, og at det derfor i praktiske sammenhænge formentligt kun vil betyde, at der skal saltes en halv time tidligere og lidt oftere i marginale tilfælde.

#### Nøjagtigheden i måling af overfladetemperatur

For alle måneder måler PTH-sensorer højere nattemperatur end VAISALA-sensorerne. Om dagen er der tendens til lidt lavere maksimumtemperatur målt af PTH-sensorer. Dette betyder, at der er mindre dagligt udsving mellem dag og nat og indikerer at VAISALA-sensorerne giver mere ekstreme værdier. Samtidigt ses generelt lidt større forskel mellem sensorerne i de forskellige belægningstyper, når man ser på de nye PTH-sensorer, om end det ikke afgørende rykker ved det samlede billede, at der kun ses lille forskel mellem AB 11t- og DA-belægningerne, mens PERS-belægningen her skiller sig en anelse mere ud.

#### Generelle betragtninger

Andres erfaringer [22, 23] med drænasfalt stemmer ikke overens med de resultater der er opnået ved Arnakke. De fleste hævder, at vejtemperaturen er højere om dagen og koldere om natten specielt i udstrålingssituationer. Andre hæfter sig ved at drænasfalt afkøler langsommere under mere kølige forhold. Mange af eksperimenterne er dog svære at sammenligne, da asfalttyper og udlægningsmetoder ikke er ens. Der er ganske mange divergerende konklusioner, men de mest solide og veldokumenterede undersøgelser, hvor temperaturmålinger faktisk er foretaget, har heller ikke et entydigt billede af, om hvorvidt dræ-



**Figur 5.9:**  
Eksempel på temperaturmålinger foretaget med det infrarøde kamera som også var opstillet ved rasteanlægget ved Arnakke.

nasfalt skulle give særlige udfordringer i vintersituationer. De fleste hæfter sig ved, at sne kan være en særlig udfordring og temperaturmålingerne i henholdsvis DA- og AB 11t-belægningen indikerer da også lidt forskellig reaktion på sne. I den forbindelse vil det være nyttigt at kende de mere specifikke egenskaber ved asfalten ved Arnakke, dvs. varmeledningsevne, varmekapacitet, albedo og emissivitet samt hvor meget vand, der kan løbe igennem belægningen og hvor meget vand, der lagres i belægningen. Derudover er der en del der tyder på, at konvektion i luften i belægningen har betydning, men det er uklart, hvordan luften cirkulerer og udskiftes i belægningen. Umiddelbart virker det f.eks. som om at drænasfalten køler hurtigere, når vinden er kraftig, men afkøles langsommere specielt når lufttemperaturen bliver koldere end laget under drænasfalten (konvektion), hvilket vil være en typisk situation specielt i efteråret og starten af vinteren.

Det er ganske grundigt dokumenteret i denne undersøgelse [21], at der ikke kan konstateres væsentlige forskelle mellem AB 11t- og DA-belægningerne mht. de termiske egenskaber af belægningen. Dette uanset om standardtemperatursensorer (VAISALA) anvendes eller i forhold til de mere følsomme PTH-temperatursensorer, der er anvendt som supplerende målinger. Tværtimod er

der en svag tendens til, at drænasfalt afkøler langsommere og har færre rimsituationer. PERS udviser derimod større variabilitet i temperatur i forhold til de to andre typer asfalt, hvilket som sådan også på forhånd var forventet. De porøse egenskaber for PERS-belægningen ser ud til at fungere som det ses for DA-belægningen. Derudover kan specielt to faktorer have betydning for de termiske egenskaber:

1. Varmeledningen til det underliggende lag er reduceret for PERS
2. Varmekapaciteten er mindre for PERS end AB 11t og DA

Fra temperaturmålinger fra den underliggende vejbane ser det også ud til at PERS-belægningen virker mere isolerende.

# 6. Europæiske erfaringer med vintervedligeholdelse og holdbarhed

En af grundene til ikke at anvende drænasfalt er, at der er en frygt for problemer med vintervedligeholdelse og trafikssikkerhed. For at belyse denne problemstilling samt for at undersøge erfaringer med holdbarhed af drænasfalt gennemførte Vejdirektoratet i maj 2011 en studietur til Bayern i Tyskland, Schweiz, Frankrig og Holland. Der blev afholdt møder med kolleger fra nationale og regionale vejmyndigheder, som havde viden om praktisk brug af drænasfalt på landeveje og motorveje. Det primære fokusområde for studieturen var viden og erfaringer med vintervedligeholdelse af drænasfalt samt erfaringer med strukturel holdbarhed af drænasfalt. De informationer, som blev indsamlet på studieturen, er dokumenteret i [24]. Hovedresultaterne præsenteres kortfattet i det følgende.

## 6.1 Bayern i Tyskland

På motorvejsnettet i Bayern anvendes normalt SMA-belægninger, som normalt har en levetid på 16 år. Der findes desuden 28 km med drænasfalt på strækninger, hvor der har været behov for støjreduktion f.eks. i forbin-

delse med bygning af nye vejstrækninger. Der anvendes normalt drænasfalt med en maksimal stenstørrelse på otte mm, en belægningstykkelse på 50 mm og det typiske indbyggede hulrum ligger på 22 til 28%. I nogle tilfælde anvendes gummimodificeret bitumen med gode resultater. Normalt anvendes ét-lags drænasfalt.

Sporkøring forekommer ikke på drænasfalt. Der er problemer med reduceret levetid af disse belægninger bl.a. på grund af stentab og levetiden er typisk omkring syv til 10 år for drænasfalt. Levetiden afhænger bl.a. af trafikbelastningen. Når stentab begynder på en drænasfalt-belægning, kan det være en forholdsvis hurtig proces, hvor belægningen tilstand bliver dårlig i løbet af et til to år. Dette forøger omkostningerne ved at anvende drænasfalt. Normalt observeres der ikke problemer med tilstopning af drænasfaltens porer, fordi det vurderes at belægningerne er selvrensende på veje med høj fart. Dette gælder dog ikke for nødspor uden trafik, hvor der er observeret problemer med tilstopning af belægningernes porer. Der foretages ikke rensning af drænasfalten.



**Figur 6.1:**  
For at opnå en god støjreduktion er der på visse strækninger af motorvej A9 i Bayern anvendt både drænasfalt og støjskærme.

I forbindelse med vintervedligeholdelsen af drænasfalt anvendes 50% mere salt og frekvensen for spredning af salt er 60 til 90 minutter. Introduktionen af nyt saltningsudstyr der kombinerer spredning af tørt og vådt salt har forøget kvaliteten og reduceret prisen for vintervedligeholdelsen. I nogle situationer anvendes hastighedsbegrænsning.

Vejadministrationen i Bayern har foretaget en intern undersøgelse af trafiksikkerhed på drænasfalt og på normale tætte belægninger. I sommerhalvåret ser det ud til, at trafiksikkerheden er bedre på drænasfalt og på årsplan ligger trafiksikkerheden for drænasfalt og tætte belægninger på det samme niveau.

Motorvej A9 forbinder München og Berlin. På en strækning nord for München passerer motorvejen tæt forbi to byområder (se figur 6.1). I 2005 blev det vedtaget at reducere støjen ved at anvende to-lags drænasfalt med en maksimal stenstørrelse på otte mm. For at undgå skift mellem forskellige belægningstyper blev det besluttet at

anvende drænasfalt på en samlet strækning på 10 km. Årsdøgntrafikken på denne motorvej er 140.000 med 16 til 18% tunge køretøjer fordelt på otte kørebaner. Den store trafikbelastning har efter seks år forårsaget markant stentab på denne drænasfalt især på kørebanerne med tung trafik, så på denne strækning er levetiden for drænasfalten mindre end de forventede syv til 10 år (se evt. figur 6.2).

## 6.2 Schweiz

I Schweiz findes i alt 250 km strækninger med drænasfalt på motorvejsnettet. Den nationale vejadministration anvender normalt ikke drænasfalt pga. problemer med holdbarhed og kortere levetid, som forøger omkostningerne. De belægninger, som normalt anvendes på motorvejsnettet, har en levetid på 15 år, hvorimod levetiden for drænasfalt normalt ligger på 8 til 12 år. Drænasfalt anvendes kun på strækninger, hvor der ifølge miljøreguleringen er behov for støjreduktion og hvor den ønskede støjreduktion ikke kan opnås kun ved anvendelse af støjskærme, facadeisolering eller andre støjreducerende



**Figur 6.2:**

Efter seks år har top laget på denne to-lags drænasfalt markant stentab især på kørebanerne med tung trafik.

tiltag. I disse tilfælde anvendes normalt ét-lags drænasfalt i en tykkelse på 40 til 50 mm med et indbygget hulrum på 18-20% eller højere. Drænasfalt renses ikke. Der er dog en tendens til at drænasfalt i nødsporene stopper til. Forskellige rensningsmaskiner er blevet testet, men resultaterne har alle været skuffende.

I Schweiz anvendes sneplove til at fjerne sne fra motorvejene. Der bliver ofte lidt sne tilbage på kørebanen, som

fjernes med salt. Der anvendes 30-40% mere salt ved vintervedligeholdelse af drænasfalt end på tætte vejbelægninger.

Statistikken for trafikulykker i Schweiz viser på årsplan, at der ikke sker flere ulykker på drænasfalt end på almindelige tætte vejbelægninger. Hen over året er der en tendens til at drænasfalt er lidt mere sikker i sommerperioden og lidt mere usikker i vinterperioden.



**Figur 6.3:**  
Drænasfalt er anvendt på en 200 km lang del af motorvej A1 nord for Paris.



**Figur 6.4:**  
Nyudlagt to-lags drænasfalt med otte mm sten i toplaget set fra vejsiden på Hollandsk motorvej.

### 6.3 Frankrig

I Frankrig er den nationale vejadministration holdt op med at anvende drænasfalt bl.a. på grund af høje omkostninger til vintervedligeholdelse. Drænasfalt findes stadig på en 200 km motorvejsstrækning, der administreres af et privat motorvejsfirma (se figur 6.3), formodentlig fordi denne belægningstype reducerer opsprøjt i vådt føre og dermed forøger kørekomforten, hvilket kunne tiltrække trafikanter til denne vejstrækning.

### 6.4 Holland

I Holland er det en national politik at anvende drænasfalt på hele motorvejsnettet for at reducere støjen. I 2010 fandtes denne belægningstype på 90 % af motorvejsnettet. Levetiden for drænasfalt er nogle år kortere end for tætte vejbelægninger. En af grundene til at anvende drænasfalt er, at omkostningen for at opnå en støjreduktion er lavere end ved at anvende støjskærme – heri er indregnet omkostninger til anlæg og vedligeholdelse samt kortere levetid af belægningerne. Entreprenørbranchen har stor erfaring med produktion og udlægning af drænasfalt.

Den maksimale stenstørrelse, som anvendes til ét-lags drænasfalt er 16 mm. Belægningerne udlægges i 50 mm tykkelse og det indbyggede hulrum er omkring 20 %. I 2007 blev bitumenprocenten forøget fra 4,2 til 5,2 % og det havde forøget levetiden for belægningerne med omkring 20 %. Til to-lags drænasfalt anvendes normalt otte mm maksimal stenstørrelse i top laget (se figur 6.4).

Vintrene i Holland i 2009 til 2010 og 2010 til 2011 var meget hårde med megen sne og frost samt mange

tø-frost-passager. Dette resulterede i mange skader på vejbelægninger – både tætte belægninger og drænasfalt. Der blev på drænasfalt observeret skader som stentab, slaghuller, og tab af materiale i langsgående samlinger mellem kørebaner med drænasfalt (se figur 6.5). Disse frostska-der blev primært observeret på belægninger, der aldersmæssigt var tæt på de forventede levetider og som ifølge det hollandske vejadministrationssystem (PM-system) alligevel skulle udskiftes inden længe.

I perioden 2010 til 2014 er der i Holland gennemført nogle forsøg, hvor formålet har været at undersøge, hvordan levetiden for drænasfalt kan forlænges ved at foretage forsegling med specielt udviklet bitumenemulsion [29]. Formålet er primært at bremse og reducere stentabet. Forseglingen er foretaget, inden der forekommer stentab på belægningerne og analyser på borekerner har vist, at emulsionen styrker mørtelbindingen mellem stenmateriale og fjerner mikrorevner i mørtlen samt forbedrer bitumen. Undersøgelserne har desuden vist, at forseglingen trænger 15 til 20 mm ned i drænasfaltbelægningerne. Resultaterne har været så positive, at det vurderes at levetiden for drænasfalt med denne vedligeholdelsesproces kan forlænges med omkring tre år. Forseglingen har ikke haft betydning for støjen. På denne baggrund planlægges det i 2015 at indføre en såkaldt levetidsforlængende vedligeholdelsesproces, hvor drænasfalt behandles med den specielt udviklede bitumenemulsion, når belægningerne er syv år gamle [30].

Der optræder problemer med fastpresset sne i belægningernes porer, ligesom der er observeret problemer med isslag. Belægningerne monitoreres intensivt både af



**Figur 6.5:**

Skader på drænasfalt observeret i de hårde vintre Holland i 2009/10 og 2010/11. Her er vist tab af materiale i langsgående samlinger mellem kørebaner med drænasfalt. (Foto: Jan Voskuilen, Rijkswaterstaat).

vejspersonale samt ved anvendelse af sensorer indbygget i vejene. Der anvendes 30 til 40% mere salt. I nogle tilfælde lukkes kørebaner ligesom hastighedsreduktioner anvendes. Den nationale vejadministration har meget stor erfaring med at udføre vintervedligeholdelse på drænasfalt. I [24] findes flere detaljer om vintervedligeholdelsesprocedurer på drænasfalt i Holland.

### 6.5 Opsamling på europæiske erfaringer

På studieturen var det ikke muligt at fremskaffe nyere statistiske oplysninger om sammenligninger mellem trafikssikkerheden på drænasfalt og almindelige tætte belægninger. I et mindre studie i Holland fra 1990'erne [32] konkluderes det, at trafikssikkerhedsniveauet gennemsnitligt er det samme på drænasfalt og tætte belægninger; indikationer fra interne ikke-publicerede undersøgelser i Bayern og Schweiz peger på det samme.

På baggrund af den information, det var muligt at fremskaffe på studieturen, kan der opstilles følgende foreløbige konklusioner:

1. Drænasfalt anvendes til at reducere støjen og det vurderes at potentialet for støjreduktion er bedre end for tyndlagsbelægninger optimeret for støjreduktion.
2. Drænasfalt kan produceres med god holdbarhed, der sikrer en levetid som kun er nogle år kortere end levetiden for almindelige tætte belægninger; dog er der i nogle lande problemer med holdbarheden.
3. Godt udført og velholdte belægninger med drænasfalt kan modstå vinter- og frostskaader, selvom der er en tendens til at drænasfalt er mere følsom over for skader end tætte belægninger. I nogle lande er der dog problemer med vinter- og frostskaader.
4. God faglig kompetence og erfaring er nødvendig i entreprenørbranchen for at kunne sikre en god holdbarhed for drænasfalt.
5. Med anvendelse af den rette overvågning, management, saltning og snerydning er det muligt at vintervedligeholde vejstrækninger med drænasfalt. Ingen lande havde nyere statistisk information om trafikssikkerheden i vinterperioden.
6. Der saltes hyppigt (60 til 90 minutters interval) og der anvendes 30 to 50 % mere salt pr. år på drænasfalt end på tætte belægninger.
7. Der optræder problemer med fastpresset sne i belægningerne og dette kan resultere i en iset vejoverflade, som det kan være kompliceret at fjerne.
8. Der kan optræde situationer med isslag på drænasfalt og det er mere kompliceret at fjerne isen end på tætte belægninger.
9. I nogle tilfælde er det nødvendigt at kørebaner lukkes for at samle trafikken på en kørebane, ligesom hastighedsreduktioner anvendes på strækninger med drænasfalt i vinterperioden.
10. Når drænasfalt anvendes i stor skala udvikles faglig kompetence og erfaring samt gode teknologier for, hvordan denne belægningstype både konstrueres samt vedligeholdes i vinterperioderne.

# 7. Afløbsvand og drænasfalt

En drænasfalt kan dræne vejoverfladen for regnvand hurtigere end en almindelig asfalt, da vandet kan sive ned i porerne og derved mindske risikoen for akvaplaning. Derudover har asfalten en positiv virkning på støjen, der bl.a. reduceres af belægningens åbne overfladestruktur og hulrummene i belægningen (se kapitlerne 2 og 3). Når vandet dræner ned i belægningen, vil vandet automatisk medbringe en del af det sand og skidt, der normalt bliver transporteret ud i vejkanterne og måske videre ned i vejens afvandingssystem. Det betyder, at man på forsøgsstrækningen på Øster Søgade (se afsnit 2.2) har valgt to gange om året at højtryksspule vejen og efterfølgende opsuge vand og løsgjort materiale, da dræningseffekten ellers helt ville forsvinde med tiden på denne vej med en

skiltet hastighed på 50 km/t, som ikke vurderes at sikre, at belægningen er selvrensende. Ved højere fart presser dækkene regnvand ned i belægningens porer med stor kraft og dette bevirker, at der sjældent observeres markant tilstopning af drænasfalt på veje med højere hastigheder. Figur 7.1 viser rensemaskinen, der blev anvendt på Øster Søgade. Denne type rensning giver et affaldsprodukt, der kaldes "vejopfej".

Det vides ikke, hvad det betyder for vandkvaliteten, når regnvand må dræne ned gennem asfalt eller hvilken sammensætning det efterfølgende har i forhold til vand, der drænes fra almindelig impermeable vejbelægnin-ger. Vejdirektoratet har gennemført en undersøgelse af



**Figur 7.1:**  
Spulebil anvendt til rensning af drænasfalt på Øster Søgade.

mængden af miljøfremmede stoffer i sedimentet i drænasfalten, som præsenteres i dette kapitel. Undersøgelsen er dokumenteret i rapporten "Miljøfremmede stoffer i drænasfalten på Øster Søgade" [26] og det følgende er uddrag fra denne rapport.

Resultaterne i denne undersøgelse baseres på kemiske målinger og kornstørrelsesanalyser af opføj fra drænasfalten, opsamlet i oktober 2008, oktober 2010 og maj 2011. Målinger på sedimentet kan give et fingerpeg om mængden af miljøfremmede stoffer i sedimentet i drænasfalten. Der er foretaget kemisk analyse for tre grupper af stoffer, der ofte ses i forbindelse med vejforurening: tungmetaller, kulbrinter og PAH'er. Sedimentprøverne er tillige analyseret for natrium og klorid, der udgør hovedbestanddelene i vejsalt. Stoffernes farlighed overfor vandmiljøet i recipienter varierer meget, men fælles for dem er, at for store mængder altid har en negativ effekt på det omgivende miljø. I [27] findes yderligere information om stofferne, som har været inddraget i analyserne.

Prøverne er taget fra sedimentet kort efter, at det er aflagt af spulebilen. En del af vandet fra sedimentet er derfor drænet fra ved tidspunktet for prøvetagning. Ud fra de udtagne prøver kan der ikke drages de store konklusioner om forureningsgraden fra veje med drænasfalt kontra veje med traditionel belægning, da der ikke findes tilsvarende måleresultater fra veje med tætte belægninger. Derfor er vejopfejet i stedet sammenlignet med sediment fra regnvandsbassiner og søer. Studiet kan give et første indtryk af forureningsniveauerne, og det kan være nyttigt ved efterfølgende undersøgelser og sammenligninger.

I resultaterne præsenteret her, er det opsamlede materiale fra rensningskøretøjet efterfølgende blevet drænet og prøvetaget inden bestemmelse af kornstørrelsesfordeling og udførsel af kemisk analyse. Den kemiske analyse er forestået af firmaet Eurofins. I figur 7.2 ses et eksempel på det opsamlede, drænedes og tørrede vejsnavs.

Tungmetallerne bly, cadmium, nikkel og zink viser signifikant lavere koncentrationer i vejopføj end i regn-



**Figur 7.2:**

Drænet og tørret vejopføj fra Øster Søgade fra maj 2011.

vandsbassinsediment. For krom og kobber er niveauet lidt højere i vejopfejet end i sedimentet fra regnvandsbassiner. Koncentrationen af kulbrinter i vejopfejet holder sig generelt på niveau med koncentrationerne i sediment fra regnvandsbassinerne, men er betydeligt højere end koncentrationerne fundet i sediment fra naturlige søer. PAH-koncentrationen i vejopfejet ligger på niveau eller lavere end i sedimentet fra regnvandsbassinerne og lavere end i sø-sedimenter.

Der er desuden foretaget et litteraturstudie [26]. En undersøgelse fra Holland [28] viser, at der er meget stor forskel på mængden af forurening, der når vejens omgivelser, afhængigt af om det er en drænasfalt eller en traditionel tæt asfalt, der udgør vejens slidlag. Målingerne tyder på, at drænasfalten tilbageholder store mængder af vejens tungmetaller og PAH, og undersøgelsen konkluderer, at det må være drænasfaltens store hulrum og dermed indre overflade, der formår at tilbageholde stofferne. Desuden betyder den drænende overflade, at der er væsentligt mindre sprøjt fra asfalten til vejens omgivelser. De hollandske forfattere mener, at dette er en af de største faktorer i at sprede forurening til omgivelserne, så derfor har en drænasfalt meget stor positiv virkning på forureningen af omgivelserne.

# 8. Opsamling og vurdering

Denne rapport omhandler undersøgelse af fordele og ulemper ved anvendelse af drænasfalt som virkemiddel til at reducere støjen fra vejtrafikken. Rapporten er baseret på analyser af tidligere resultater, nye målinger og forsøg samt litteraturstudier og en studierejse til fire europæiske lande.

## Støj

I 1990'erne blev der ved Viskinge i Danmark gennemført et forsøg med ét-lags drænasfalt på en hovedlandevej med en skiltet hastighed på 80 km/t. De to bedste belægninger havde otte mm sten som maksimal kornstørrelse i top laget. Der var tale om et accelereret forsøg, hvor der blev lagt vægt på så hurtigt som muligt at opnå et gennemløb af hele livstidscyklen for belægningerne. Der blev derfor bevidst anvendt standardbitumen. Efter omkring fire år blev der konstateret begyndende stentab og efter syv år var stentabet så stort, at det blev besluttet at stoppe forsøget og udskifte belægningerne. Det optimale havde været at anvende en modificeret bitumen for at sikre en bedre levetid. Da de to belægninger med otte mm sten var nye, havde de en støjreduktion på 5,3 dB i forhold til AB 12t-referencebelægningen. De lå 6,8 og 7,1 dB under SRS-referenceniveauet, hvilket indikerer at de ligger på grænsen til "SRS speciel"-klassen i 2. generation af SRS-systemet, hvor kravet til støjreduktion er  $\geq 7,0$  dB. Den gennemsnitlige støjdemping over belægningernes levetid var 3,6 og 3,9 dB. Støjreduktionen for tunge køretøjer var stort set den samme og

den årlige stigning af støjen var ca. 1/3 af stigningen for personbiler.

Ideen med to-lags drænasfalt-belægninger til især bygader er, at porerne kan holdes åbne dels gennem selvrensning, hvor regnvandet skyller snavs bort gennem det nederste lag, og dels gennem en rensningsprocedure bestående af højtryksspuling og opslugning af vand og slam. I 1999 begyndte et projekt med tre forskellige to-lags drænasfalt-belægninger på Øster Søgade med fem og otte mm sten i top laget. Den skilte hastighed var 50 km/t. Der blev anvendt SBS-modificeret bitumen med højt polymerindhold for at sikre god holdbarhed. Det var forventningen, at bundlagene ville have en levetid på 14 år, mens toplagenes levetid var estimeret til syv år, hvorefter planen var at de skulle bortfræses og erstattes. Belægningerne blev rensset to gange årligt i de første syv år. To af teststrækningerne med fem mm sten udviklede alvorlige stentab og blev i år 6 forseglet med bitumemulsion. Efter forseglingen fremstod belægningerne i en meget bedre stand og stentabet blev bremset.

De tre belægninger opfylder kravet til en "SRS speciel"-klassifikation, idet der er målt støjniveauer, som ligger henholdsvis 7,3, 8,6 og 9,1 dB under SRS-referenceniveauet. Hvis AB 8t-referencebelægningen på forsøgsstrækninger i stedet anvendes som udgangspunkt, er støjreduktionen for belægningerne med fem mm sten i top laget 6,0 og 6,5 dB, hvilket er en stor støjreduktion.

| Belægning                  | Type     | Maksimal stenstørrelse [mm] | Støjreduktion som ny relativ til ny AB 11/12t [dB] | Støjreduktion som ny relativ til SRS-reference [dB] | SRS klassifikation | Levetid [år] | Årlig stigning af støj [dB/år] | Gennemsnitlig støjreduktion [dB] over levetid [dB] |
|----------------------------|----------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| DA 8 type B - Viskinge     | Et-lag   | 8                           | 5,3                                                | 6,8 - 7,1                                           | SRS speciel        | 7            | 0,81                           | 3,9                                                |
| DA 11 Husvarna             | To-lag   | 11                          | -                                                  | 7,7 - 8,0                                           | SRS speciel        | -            | 0,52-0,95                      | -                                                  |
| DA 8-70 Øster Søgade       | To-lag   | 8                           | 6,0 - 6,5                                          | 8,6                                                 | SRS speciel        | 8            | 0,98                           | 2,8                                                |
| DA 8 Billund Alle lag dræn | Alle lag | 8                           | -                                                  | 5,9                                                 | SRS standard       | -            | -                              | -                                                  |

**Tabel 7.1:**

Sammenfatning af støjresultater for personbiler for strækninger med drænasfalt. Støjreduktionen som ny er angivet i forhold til en tilsvarende ny tæt asfaltbeton (AB 11t). Støjreduktionerne for Øster Søgade er angivet for første "livscyklus".

Støjreduktionen for tunge køretøjer var stort set den samme som for personbiler.

Da drænasfalt-belægningerne var otte år gamle, viste de alle tydelige tegn på stentab, hvorfor det blev besluttet at udskifte toplagene. Der blev udlagt nye toplag med otte mm sten og det lave støjniveau fra forsøgets start blev stort set opnået igen.

På E4, der er en firespors motorvej med en skiltet hastighed på 90 km/t, som passerer ved Husqvarna i Sverige, er der udlagt to-lags drænasfalt med 11 mm sten i toplaget. Da belægningerne var nye, havde de stort set samme støjniveau i det lette og det tunge spor og støjen lå 8,0 og 7,7 dB under SRS-referenceniveauet. Den to-lags drænasfalt ved Husqvarna opfylder således kravet til at blive klassificeret som en "SRS speciel". Et-lags drænasfalten med otte mm sten ved Viskinge havde som tidligere nævnt en støjreduktion på 6,8 og 7,1 dB i forhold til SRS-referencen. To-lags drænasfalt-belægningen ved Husqvarna har således en bedre støjreduktion på én dB som ny, selvom der anvendes større sten.

De senere års episoder med voldsomt regnvejr stiller nye udfordringer også til vejbelægnings funktionalitet. Der eksperimenteres med at udvikle veje, som er permeable i hele belægningens opbygning både i de bundne og de ubundne lag. Formålet er at lade det regnvand, som falder på belægningen, sive direkte ned i jorden uden om afløbsbrønde og afløbssystemer. De bundne lag på sådanne belægninger vil være udført som drænasfalt for at kunne lade vandet passere til de ubundne lag. På Eksportvej ved Billund lufthavn er der gennemført et forsøg med en sådan belægning med otte mm sten i toplaget. DA 8-belægningen ligger 5,9 dB under SRS-referencen. Belægningen kan således klassificeres som en "SRS standard".

Som det fremgår af tabel 7.1 har drænasfalt et godt potentiale for at opnå en god støjreduktion og ved de tre forsøg, hvor belægninger er optimeret med hensyn til støjreduktion opnår de alle "SRS speciel"-klassifikationen, hvorimod almindelige støjreducerende tynde slidlag normalt "kun" opnår klassifikationen "SRS standard".

SMA 11 slidlag ligger støjmåssigt 0,6 dB over AB 11t [33]. Dette betyder, at hvis der i stedet anvendes SMA 11 som reference vil den gennemsnitlige støjreduktion over drænasfaltens levetid kunne komme op på 4,5 dB.

### **Holdbarhed**

Ved Husqvarna anvendes pigdæk om vinteren og der er megen tung trafik, hvorfor drænasfalten udsættes for et meget stort slid. Der er lagt stor vægt på at designe nogle holdbare drænasfalt-belægninger bl.a. ved at anvende et specielt stærkt bindemiddel. Der er anvendt en god mellemhård polymermodificeret bitumen, som er specielt designet til denne drænasfalt-belægning og der er tilsat 1 % cement, 0,3 % klæbeforbedrer og 0,4 % cellulosefibrer. Efter tre år blev der foretaget forsegling med bitumenemulsion af de tunge spor for at reducere stentab.

Der er i HOLDDA-projektet gennemført omfattende laboratorieundersøgelser af forskellige kombinationer af bindemidler og materialer. Resultaterne var bl.a. følgende anbefalinger for drænasfalt:

1. En lille reduktion af hulrummet, selvom det kan betyde en mindre reduktion af støjdæmpningen.
2. Der opnås en god holdbarhed ved anvendelse af en højmodificeret SBS-bitumen fremstillet med en blød udgangsbitumen.
3. Sammensætningen af mørtelen må optimeres for det valgte polymermodificerede bindemiddel.
4. Foretage fuld skala test af de anbefalede bindemidler på drænasfalt-belægninger.

Der har været anvendt forsegling med bitumenemulsion på to af de strækninger med drænasfalt, som er inkluderet i denne rapport. I Holland er der gennemført nogle forsøg med det formål at undersøge, hvordan levetiden for drænasfalt kan forlænges ved at foretage forsegling med speciel udviklet bitumenemulsion.

Formålet er specielt at bremse og reducere stentabet. Forseglingen er foretaget, inden der forekommer stentab på belægningerne og analyser på borekerner har vist, at emulsionen styrker mørtelbindingen mellem stenmateriale og fjerner mikrorevner i mørtlen samt forbedrer bitumen. Forseglingen trænger 15 til 20 mm ned i drænasfalt-belægningerne. Resultaterne har været så positive, at det vurderes at levetiden for drænasfalt med denne vedligeholdelsesproces kan forlænges med omkring tre år. Forseglingen har ikke haft betydning for støjen. På denne baggrund planlægges det i Holland i 2015 at indføre en

såkaldt levetidsforlængende vedligeholdelsesproces, hvor drænasfalt behandles med den specielt udviklede bitumenemulsion, når belægningerne er syv år gamle.

For at belyse problemstilling med bl.a. holdbarhed gennemførte Vejdirektoratet en studietur til Bayern i Tyskland, Schweiz, Frankrig og Holland, hvor der er erfaringer med brug af drænasfalt. Hovedkonklusionerne fra de besøgte lande var følgende:

1. Drænasfalt anvendes til at reducere støjen, og det vurderes at potentialet for støjreduktion er bedre end for tyndlagsbelægninger optimeret for støjreduktion.
2. Drænasfalt kan produceres med god holdbarhed, som sikrer en levetid, der kun er nogle år kortere end levetiden for almindelige tætte belægninger; dog er der i nogle lande problemer med holdbarheden.
3. Godt udført og vedligeholdt drænasfalt kan modstå vinter- og frostskafer, selvom der er en tendens til at drænasfalt er mere følsom over for skader end tætte belægninger. I nogle lande er der dog problemer med vinter- og frostskafer.
4. God faglig kompetence og erfaring er nødvendig i entreprenørbranchen for at kunne sikre en godholdbarhed for drænasfalt.

### **Temperaturpåvirkninger**

For at undersøge vejoverfladens termodynamiske egenskaber for henholdsvis drænasfalt og almindelig tæt asfalt blev der udlagt et mindre areal med drænasfalt på en rastepads ved Arnakke, hvor der blev monteret temperatursensorer, som løbende registrerede vejoverfladens temperatur. Der er foretaget analyser af disse data gennem vinteren 2012/13. Drænasfalt har flere karakteristika med modsatrettet effekt mht. påvirkning af vejtemperaturen. Den mindre varmekapacitet og varmeledningsevne giver normalt højere vejtemperatur på solrige dage. Denne forskel er dog i de fleste tilfælde ikke særlig stor, da konvektion i materialet formentligt modvirker opvarmningen, når temperaturforskellen mellem luften og vejbanen bliver stor. Tilsvarende ser det ud til, at den porøse overflade luftafkøles hurtigere når vinden er kraftig dvs. mere end 5 m/s.

Under klare, tørre og vindsvage forhold, som er typiske rimsituationer, er det generelle mønster at den porøse

asfalt er lidt varmere både dag og nat. Dette tyder på, at varmen lettere siver op igennem den porøse overflade og giver større opvarmning nedefra. Det er klart, at denne proces på lang sigt fører til en større afkøling af laget under den porøse asfalt.

Vand på vejbanen skaber et særligt kompliceret mønster. Dels ændres den porøse vejbanes varmekapacitet og varmeledningsevne ved at luft fortrænges af vand. Specielt varmekapaciteten øges, hvilket mindsker den daglige variation i temperatur. Dette holder generelt nattemperaturen oppe, mens dagtemperaturen bliver holdt nede. Såfremt den porøse asfalt tørrer hurtigere, reduceres fordampningen fra vejoverfladen – hvilket betyder, at den porøse asfalt afkøles langsommere. Det er dog usikkert, hvor meget vand de porøse belægninger fastholder.

Samlet set er der en svag tendens til at drænasfalten afkøler langsommere end tæt asfalt og har færre rimsituationer.

### **Vinterforhold**

En af grundene til ikke at anvende drænasfalt er, at der er en frygt for problemer med vintervedligeholdelse og trafiksikkerhed. Disse forhold blev søgt belyst på studieturen. Hovedkonklusionerne var følgende:

1. Med anvendelse af den rette overvågning, management, saltning og snerydning er det muligt at vintervedligeholde vejstrækninger med drænasfalt. Ingen lande havde nyere statistisk information om trafiksikkerheden i vinterperioden.
2. Der saltes hyppigt (60 til 90 minutters interval) og der anvendes 30 til 50 % mere salt pr. år på drænasfalt end på tætte belægninger.
3. Der optræder problemer med fastpresset sne i belægningerne og dette kan resultere i en iset vejoverflade, som det kan være kompliceret at fjerne.
4. Der kan optræde situationer med isslag på drænasfalt og det er mere kompliceret at fjerne isen end på tætte belægninger.
5. I nogle tilfælde er det nødvendigt at kørebaner lukkes og trafikken samles på en kørebane, ligesom hastighedsreduktioner anvendes på strækninger med drænasfalt i vinterperioden.

6. Når drænasfalt anvendes i stor skala, udvikles faglig kompetence og erfaring samt gode teknologier for, hvordan denne belægningstype både konstrueres samt vedligeholdes i vinterperioderne.
7. Når drænasfalt anvendes i stor skala, udvikles faglig kompetence og erfaring samt gode teknologier for, hvordan denne belægningstype både konstrueres samt vedligeholdes i vinterperioderne.

### Vand og klima

Vejdirektoratet har gennemført en undersøgelse af mængden af miljøfremmede stoffer i sedimentet, som er oprenset fra i drænasfalten på Øster Søgade. Der er foretaget kemiske analyser af vejopfejet, som kan medvirke til at belyse drænasfalts evne til at tilbageholde forurening. For at belyse niveauet af stofkoncentrationerne i vejopfejet, er værdierne sammenlignet med gennemsnits-sedimentkoncentrationer fra 70 regnvandsbassiner og udvalgte naturlige søer i Danmark. Tungmetallerne bly, cadmium, nikkel og zink viser signifikant lavere koncentrationer i vejopfej end i regnvandsbassinsediment. For krom og kobber er niveauet lidt højere i vejopfejet end i sedimentet fra regnvandsbassiner. Koncentrationen af kulbrinter i vejopfejet holder sig generelt på niveau med koncentrationerne i sediment fra regnvandsbassinerne, men er betydeligt højere end koncentrationerne fundet i sediment fra naturlige søer. PAH-koncentrationen i vejopfejet ligger på niveau eller lavere end i sedimentet fra regnvandsbassinerne og lavere end i sø-sedimenter.

En undersøgelse fra Holland indikerer, at der er meget stor forskel på mængden af den forurening, der når vejens omgivelser, afhængigt af om det er en drænasfalt eller en traditionel tæt asfalt. Målingerne tyder på, at drænasfalten tilbageholder store mængder af vejvandets tungmetaller og PAH, og undersøgelsen konkluderer at det må være drænasfaltens store hulrum og dermed indre overflade, der formår at tilbageholde stofferne. Desuden betyder den drænende overflade, at der er væsentligt mindre sprøjt fra asfalten til vejens omgivelser. De hollandske forfattere mener, at dette er en af de største faktorer i at sprede forurening til omgivelserne, så derfor har en drænasfalt meget stor positiv virkning på forureningen af omgivelserne.

### Samlet vurdering

Ovenstående kan kort sammenfattes til følgende:

1. Drænasfalt kan optimeres således at der opnås "SRS speciel"-klassifikation eller endda en endnu bedre støjreduktion. Den gennemsnitlige støjdæmpning over slidlagene levetid kan på op mod 4 dB i forhold til tæt asfaltbeton belægning og 4,5 dB i forhold til SMA 11.
2. Det ser ud til at der kan opnås en god støjreduktion ved anvendelse af en maksimal stenstørrelse på 8 mm eller 11 mm, hvilket formodentlig også vil give længere

strukturel holdbarhed end belægninger med seks mm maksimal stenstørrelse.

3. Den støjreducerende effekt ser ud til at være bedst for veje med hastigheder på 80 km/t eller mere; på sådanne veje vil der ikke være behov for rensning af slidlagene.
4. Det er nødvendigt at anvende højmodificeret SBS-bitumen eller lignende samt evt. klæbeforbedrer og cellulosefibre mv. for at sikre en lang levetid.
5. Foretager man forsegling med bitumenemulsion, inden der optræder markant stentab, kan man forlænge levetiden.
6. Levetiden for drænasfalt vil være kortere end for tætte belægninger som AB 11t- og SMA-belægninger.
7. Anlægsudgifterne vil være højere end for "almindelige" belægninger.
8. Der vil være større udgifter til vedligeholdelse end for "almindelige" belægninger.
9. Samlet set er der en svag tendens til at drænasfalten afkøler langsommere end tæt asfalt; der vil derfor opstå lidt færre rimsituationer på belægninger med drænasfalt.
10. Vintervedligeholdelse af drænasfalt er mere kompliceret og kræver bl.a. anvendelse af måske 50 % mere salt end normalt. Der vil være et behov for at udvikle procedurer og metoder, som er tilpasset danske forhold.
11. Der er ikke i dette projekt fundet indikationer på, at drænasfalt i forhold til trafikssikkerheden er en dårligere løsning end anvendelse af almindelige slidlag.
12. Målinger tyder på, at drænasfalten tilbageholder en del af vejvandets tungmetaller og PAH.
13. Cost benefit-undersøgelser kan anvendes til at undersøge om anvendelse af støjskærme eller støjreducerende slidlag er det mest omkostningseffektive i givne situationer.

# 9. Litteratur

1. J. Kragh, E. Olesen, H. Bendtsen, E. Nielsen, K. Handberg, U. Sandberg. DVS-DRI super quiet traffic. International search for pavement providing 10 dB noise reduction. Danish Road Directorate, Danish Road Institute. Report 178 - 2009.  
Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
2. PERSUADE-projektets hjemmeside: <http://persuade.fehrl.org/>
3. H. Bendtsen, R. S. H. Skov, B. Andersen, E. Olesen, A. Neidel, J. Raaberg, J. Cesbron. Performance of PERS at the Kalvehave test site. Vejdirektoratet, rapport 514, 2014. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
4. Drainage Asphalt and Noise Reduction over a Long Period. Bendtsen, Hans. Euro.noise 1998. Proceedings Euro.noise in Munich, volume 1. I-Ince.
5. Hans Bendtsen, Qing Lu, Erwin Kohler. Acoustic aging of asphalt pavements. A Californian / Danish comparison. Vejdirektoratet, rapport 171, 2009.  
Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
6. Ulf Sandberg, Piotr Mioduszeewski. The best porous asphalt pavement in Sweden so far. USB stick Proceedings, Internoise 2014 konferencen i Melbourne.
7. Carsten Bredahl Nielsen, Jørn Raaberg, Erik Nielsen. Holdbarhed af drænasfalt. Vejdirektoratet, Vejtekisk Institut Rapport 139, 2005. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
8. 2.G - System for dokumentation af støjreducerende slidlag "SRS". Vejregler. Marts 2013. Se: [www.vejregler.dk](http://www.vejregler.dk)
9. H. Bendtsen, B. Andersen, J. Oddershede. Støjdæmpning over lang tid støjreducerende tyndlagsbelægninger. Statusrapport 2010. Vejdirektoratet, Rapport 520, 2014.  
Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
10. Lars Ellebjerg, Hans Bendtsen. Two-layer Porous Asphalt – Lifecycle – The Øster Søgade Experiment. Vejdirektoratet, Vejtekisk Institut, Rapport 165, 2008. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
11. Bent Andersen, Lykke M. Iversen. Second life cycle - urban two-layer porous asphalt. CD ROM proceedings Euronoise 2012 i Prag
12. Bendtsen, Hans; Kragh, Jørgen. Replacement of porous top-layer – Process and noise effect. Vejdirektoratet, Vejtekisk Institut. Teknisk notat 58, 2007. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
13. U. Sandberg and J. A. Ejsmont. Tyre/Road Noise Reference Book. INFORMEX 2002. [www.informex.info](http://www.informex.info)
14. Hans Bendtsen. Forsøg med støjreducerende vejbelægninger. Statusrapport. Vejdirektoratet rapport 45, 1996.

15. H. Bendtsen. Brug af støjreducerende drænasfalt i Sverige. Artikel Trafik og Veje, september 2012. Se: [www.vejtid.dk](http://www.vejtid.dk)
16. Udviklingsopgave: Permeable belægninger – Billund. Opgavenr: 60. Slutrapport. NCC Roads
17. Jens Oddershede, Hans Bendtsen. Demonstration af støjreducerende slidlag - Målinger på SRS belægninger ved Igelsø. Vejdirektoratet. Rapport under publicering 2014.
18. Hans Bendtsen, Erik Olesen, Gilles Pigasse, Bent Andersen, Jørn Raaberg Bjørn Kalman og Julien Cesbron. Measurements at the Arnakke test site with small PERS sections. Vejdirektoratet. Rapport 128, 2013. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
19. U. Sandberg and J. A. Ejsmont. Tyre/Road Noise Reference Book. INFORMEX 2002. Se: [www.informex.info](http://www.informex.info)
20. Claus Petersen. Glatførevarsel for drænasfalt. Danmarks Meteorologiske Institut, København, Danmark, 2012
21. C. Petersen, Måling af vejtemperatur med forskellige sensorer i 3 vejbelægninger. Vejdirektoratet, rapport nr. 503, 2014. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
22. Xavier Cocu; Belgian Road Research Centre and Guy Lefebvre, Walloon Ministry of Equipment and Transport. A study into the winter behavior of a test section in two-layer porous asphalt. Se: [www.brrc.be/pdf/15/f01h\\_02.pdf](http://www.brrc.be/pdf/15/f01h_02.pdf)
23. Iwata, Hisashi, Watababe, Toru, Saito, Tatsuya. (2002) Study on the performance of porous asphalt pavement on winter road surface conditions. XIth PIARC International Winter Road Congress, Sapporo, 28-31.01.2002
24. H. Bendtsen. European experience. Winter service of porous asphalt. Report from a Scanning tour May 2011. Vejdirektoratet, notat 123 – 2012. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
25. Hans Bendtsen, Erik Nielsen, Bent Andersen og Rasmus Stahlfest Holck Skov. Optimering af støjreducerende slidlag. Vejdirektoratet. Rapport 2014 under publicering
26. Marianne Grauert og Mikkel Møllerup. Miljøfremmede stoffer i drænasfalten på Øster Søgade. Resultater fra analyser af vejopfeje. Vejdirektoratet, Rapport 524, 2014. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
27. Grauert, M., Larsen, M. R. og Møllerup, M. Sedimentanalyser fra 70 regnvandsbassiner – med fokus på indholdet af miljøfremmede stoffer. Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut. Rapport 191, 2011. Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)
28. van Bohemen, H. D. & Janssen van de Laak, W. H. The influence of road infrastructure on traffic on soil, water and air quality. Environmental Management 31(1), pp 50-68. DOI: 10.1007/s00267-002-2802-8.

29. Samenvattend rapport resultaten LVO onderzoeken 2010-2014. Wegen. InfraQuest-2014-41
30. Personlig E-mil kommunikation med Jan Voskuilen. Ministry of Infrastructure and Environment. Rijkswaterstaat, Department GPO. Holland
31. Beregnet ifølge Nord2000 med software SPL2000
32. Verkeersveiligheid en drainerend asfaltbeton (ZOAB). J.P.M. Tromp. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, R-93-35, SWOV 1993
33. J. Kragh, L. Nøhr Michelsen, J. Fryd, J. Jakobsen. NORD2000 – håndbog >>> Beregning af vejstøj i Danmark. Vejdirektoratet. Rapport 434, 2013.  
Se: [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk)

Vejdirektoratet har lokale kontorer i:

Aalborg, Flæng, Middelfart,  
Næstved og Skanderborg  
samt hovedkontor i København

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

Vejdirektoratet  
Niels Juels Gade 13  
1022 København K

Telefon 7244 3333  
[vd@vd.dk](mailto:vd@vd.dk)  
[vejdirektoratet.dk](http://vejdirektoratet.dk)

