



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Klimavejen

Udvikling af støjreducerende drænasfalt til regnvands- håndtering

Miljøprojekt nr. 1996

December 2017



Redaktion: Miljøstyrelsen

Tekst: Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-93614-93-2

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter indenfor miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at indlægget udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	6
2.	Sammenfatning og konklusion	7
2.1	Nytænkende produkt-/konceptudvikling	7
2.2	Udvikling med fuldskala demonstration	7
2.3	De funktionelle egenskaber	8
2.4	Teststrækningen	8
2.5	Anvendelse, drift og vedligehold	8
2.6	Projektets mål nået	9
3.	Summary and conclusions	10
3.1	Development of innovative product/concept	10
3.2	Development with full scale demonstration	10
3.3	Functional properties	11
3.4	The full-scale test section	11
3.5	Implementation, operation and maintenance	11
3.6	Project goals fulfilled	12
4.	Introduktion	13
4.1	Baggrund	13
4.2	Formål	14
4.3	Samarbejdet	14
4.4	State of the art	14
5.	Udvikling af multifunktionel drænasfalt	15
5.1	Baggrund	15
5.2	Grund-optimering af belægningssammensætning og indledende mix-design	16
5.3	Videre optimering, bindemiddelvalg og mekaniske egenskaber	19
5.3.1	Mekaniske egenskaber - sporkørings- og vridningsmodstand	21
5.3.2	Stivhedsmodul (bæreevne)	21
5.3.3	Bindemiddelegeskaber – polymermodificeret bitumen	21
5.3.4	Vedhæftning og holdbarhed	22
5.4	Fuldskalaforsøg på Korsdalsvej	23
5.5	Supplerende bestemmelse af deformationsmodstand ved dynamisk krybning	24
5.6	Delkonklusion for de gennemførte laboratorieforsøg	26
5.7	Referencer, asfaltudvikling	27
6.	Forsøgsstrækningen på Korsdalsvej i Rødovre	28
6.1	Teststrækningens placering	28
6.2	Testbelægningens udlægning	30
6.3	Fremtidige vurderinger af belægningen	32
7.	Overfladeegenskaber: Støj, regnvandshåndtering, friktion, tekstur, jævnhed etc.	34
7.1	Trafikstøj – støjreducerende egenskaber	34
7.1.1	CPX-målinger - målebetingelser	36

7.1.2	Måleresultater - støjmålinger	38
7.1.3	CPX og SPB målinger på drænasfalt	39
7.1.4	Støjreduktion underbygges af teksturmålinger	40
7.1.5	Konklusion om vejstøj	42
7.1.6	Referencer, vejstøj:	42
7.2	Drænegenskaber	42
7.2.1	Permeabilitet – Beckers metode	43
7.2.2	Måleresultater, Becker-permeabilitet:	44
7.2.3	Konklusion om permeabilitet, drænegenskaber og forsinkelseeffekt	46
7.2.4	Supplerende permeabilitetstest på drænasfalt belægninger	46
7.2.5	Referencer, permeabilitet	46
7.3	Rullemodstand	47
7.3.1	Vejbelægnings rullemodstand – definitioner og erfaringer	47
7.3.2	Rullemodstandsmålinger på Korsdalsvej i Rødovre	48
7.3.3	Måledata og tolkning	51
7.3.4	Konklusion om rullemodstand	52
7.3.5	Referencer - Rullemodstand	52
7.4	Friktion og trafiksikkerhed	52
7.5	Sporkøring og stabilitet	54
7.6	Jævnhed (IRI - International Roughness Index)	55
7.7	Samlet konklusion om overfladeegenskaber	56
8.	Den praktiske anvendelse – Koblingen mellem klimavej og afløbssystem	57
8.1	Retningslinjer for at vælge klimaveje	57
8.2	Afvandingskapacitet og dimensionering af klimaveje	59
8.3	Miljøforhold omkring vejvand	61
8.3.1	Nedsivning af vejvand	61
8.3.2	Udledning til recipient	62
8.3.3	Undersøgelse om eventuel afsmitning fra drænasfalt	62
8.3.4	Referencer – miljøforhold	63
8.4	Nye miljørigtige løsningsmuligheder på vej	64
9.	Intelligent vedligeholdelsesstrategi	66
9.1	Udfordringer med tilstopning af hulrum	66
9.2	Tilstopnings- og oprensingsforsøg i laboratoriet	67
9.3	Porestruktur vurderet med avanceret CT-skanning	73
9.4	Oprensning på vej bør planlægges fra starten	74
9.5	Konklusion om intelligent vedligeholdelsesstrategi	75
10.	Glatførebekæmpelse – udfordringer og muligheder	77
10.1	Temperatur	78
10.2	Salt i porer	78
10.3	Trafik og pumpeeffekt	79
10.4	Sne	79
10.5	Isslag	80
10.6	Udfordringer på grund af drænasfaltens åbne porestruktur	80
10.6.1	Reaktionsvarme på grund af saltopløsning	80
10.7	Forskellige serviceniveauer for glatførebekæmpelse, samt støjforhold	81
10.8	Miljøforhold og vinteromkobling	81
10.9	Risiko for islinsedannelser	82
10.10	Konklusion, glatførebekæmpelse	83
10.11	Referencer - glatførebekæmpelse:	85
11.	Konklusion	86

11.1	Generelt	86
Bilag 1.Oversigt: Tø-midlers miljøpåvirkninger på jordbund, planter og vand		88
Bilag 1.1	Natriumklorid, NaCl, "vejsalt"	88
Bilag 1.2	Magnesiumklorid, MgCl ₂	89
Bilag 1.3	Kalciumklorid, CaCl ₂	89
Bilag 1.4	Kaliumformiat	90
Bilag 1.5	Natriumformiat, NF, NaCHO ₂	91
Bilag 1.6	Safecote	91
Bilag 2.Procedure for prøveudtagning af vejvand		93
Bilag 2.1	Indledning	93
Bilag 2.2	Hvornår skal man tage prøver?	93
Bilag 2.3	Hvilke stoffer skal der måles for?	94
Bilag 2.4	Prøvetagningsprincipper	96
Bilag 2.5	Monitering af vandvolumen	97
Bilag 2.6	Potentielle udfordringer ved monitering af permeable veje	98
Bilag 2.7	Referencer	98

1. Forord

Målet for projektet "Klimavejen – Udvikling af støjreducerende drænasfalt til regnvandshåndtering" er at udvikle konceptet bag Klimavejen, der er en vej med både støjreducerende egenskaber og lang levetid, samt har drænende egenskaber, og derfor kan bidrage til direkte afledning af regnvand i byerne. Herved reduceres både støjgener i byerne, med færre sundhedsmæssigt skadelige påvirkninger til følge, og de miljømæssige gener ved oversvømmelser forårsaget af utilstrækkelig ledningskapacitet ved skybrud.

Projektet "Klimavejen – Udvikling af støjreducerende drænasfalt til regnvandshåndtering" er finansieret med støtte fra Miljøstyrelsens Miljøteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under "Grøn teknologi". Projektet er gennemført i perioden 2014 til 2017.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem projektpartnerne:

- Rødovre Kommune,
- HOFOR, Hovedstadens forsyningsselskab,
- Vejdirektoratet,
- NCC Industry,
- Asfaltindustrien,
- Teknologisk Institut (projektledelse)

Projektets styregruppe:

- Birgit Gerd Knudsholt, Rødovre Kommune,
- Nis Fink, HOFOR,
- Michael Ruben Anker Larsen, Vejdirektoratet
- Michael Brask, NCC Industry,
- Uno Helk, Asfaltindustrien,
- Dorthe Mathiesen, Teknologisk Institut
- Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut, projektleder

Projektets arbejdsgruppe:

- Birgit Gerd Knudsholt, Rødovre Kommune,
- Nis Fink, HOFOR,
- Michael Ruben Anker Larsen, Vejdirektoratet
- Bjarne Bo Lund-Jensen, NCC Industry,
- Uno Helk, Asfaltindustrien,
- Thomas Pilegaard Madsen, Teknologisk Institut
- Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut, projektleder

Emnet "klimatilpasning" har igennem de seneste år haft stigende fokus. Da området med klimatilpasning er ret nyt, bygger de fleste foreliggende vejledningsnotater dog langt hen ad vejen på begrænsede og/eller ældre erfaringer, specielt hvad angår optimering af permeable belægnings sammensætning og praktiske anvendelse.

Nærværende rapport beskriver i en række hovedafsnit hvordan en ny, multifunktionel, permeabel asfaltbelægning er udviklet og kan indarbejdes i gadebilledet. Rapporten er emnemæssigt opbygget, så de enkelte afsnit giver en belysning og praktisk tilgang til specifikke hovedemner som asfaltudvikling, overfladeegenskaber, miljøforhold, kobling til eksisterende ledningsnet, drift og vedligehold, samt vinterbekæmpelse og er tilstræbt udformet, så de enkelte afsnit vil kunne anvendes vejledende ved projektering, anlæg og drift af fremtidens klimaveje.

2. Sammenfatning og konklusion

Formålet med projektet "Klimavejen" er at udvikle et nyt koncept for klimatilpasset, permeabel slidlagsasfalt, som foruden en stor drænkapacitet også har gode støjreducerende egenskaber og en god holdbarhed. Projektet har opfyldt målet om at finde et multifunktionelt belægningskoncept, som kan være en løsningsmulighed for byernes bekæmpelse af generne fra klimaet og støjmiljøet, gennem optimering af begge effekter.

2.1 Nytænkende produkt-/konceptudvikling

Projektet "Klimavejen" har til formål at udvikle et nyt koncept for en multifunktionel, permeabel asfaltbelægning, som både kan fungere som støjreducerende belægning, og derved skabe et bedre bymiljø, samtidigt med at belægningen har så stor drænkapacitet, at den kan medvirke til at afbøde følgerne af de klimaforandringskabte "monster-regnsky", som ellers giver store oversvømmelsesproblemer som følge af det eksisterende kloaknets manglende kapacitet. Da det er vigtigt, at nye koncepter ikke er driftsøkonomisk urealistiske, er der ved udvikling af konceptet lagt stor vægt på at opnå forventede levetider i samme størrelsesorden som traditionelle, tætte asfaltslidlag. Der er i projektet desuden gennemført omfattende designtests og afdækning af en lang række drifts- og anvendelsesmæssige forhold. De gennemførte laboratorietests er desuden holdt op imod en fuldskala forsøgsstrækning udført på en ret trafikeret vej i Rødovre Kommune. I projektet er der desuden arbejdet med ibrugtagning af helt nye værktøjer i form af CT-skanning af asfaltprøver for optimering af hulrumsfordeling og oprensningsteknik, ligesom der er arbejdet med optimeret anvendelse og kobling til eksisterende vejafvandingsystemer, ligesom en lang række miljøparametre, samt optimeret glatførebekæmpelse, er belyst. Resultatet af projektet "Klimavejen" er således blevet et nyt, robust drænasfaltkoncept, som med den rette anvendelse og integrering i byområder vil kunne blive et vigtigt led i fremtidens klimatilpasningsløsninger med samtidigt forbedret støjmiljø.

2.2 Udvikling med fuldskala demonstration

I projektet er der indledningsvis gennemført et omfattende laboratoriarbejde med henblik på optimering af permeable drænasfaltslidlag. I projektgruppens stræben efter at gennemføre en state-of-the-art optimering, er der, foruden sporkøringstests, dynamisk krybetest, stivhedsmodulbestemmelse, mørteloptimering og vedhæftningstest etc. bl.a. gennemført nye state-of-the-art tests med en helt ny vridningsmodstandstest, udviklet på universitetet i Aachen, Tyskland. På materialesammensætningssiden er der med udgangspunkt i det eksisterende danske og internationale erfaringsgrundlag for drænasfaltbelægninger foretaget screeninger og optimering af materialesammensætningen.

På bindemiddelsiden er valgt en optimeret, polymermodificeret bitumen med særlige elastiske og holdbarhedsmæssige egenskaber, til sikring af belægningens lange forventede levetid. Drænasfalt er en særlig belægningstype, der kun ligger ret begrænset dansk erfaring med. Der var derfor, som udgangspunkt, et udtalt behov for en videreudvikling og optimering af dette produkt. I forbindelse med projektets omfattende testprogram har det da også vist sig, at visse testmetoder, som anvendes rutinemæssigt ved optimering af traditionelle asfaltbelægninger, ikke nødvendigvis er retvisende og hensigtsmæssige når man betragter drænasfaltbe-

lægninger. Dette synes bl.a. at gælde for den traditionelle "Hamburg" sporkøringstest, som udviste relativt svage data, til trods for belægningens fine funktionalitet i praksis på den gennemførte fuldskala teststrækning. Det blev derfor valgt at forfølge stabilitetsegenskaberne ved en alternativ CEN-test, dynamisk krybetest, hvor asfaltprøven belastes med dynamisk, pulserende belastning. Denne test udviste resultater på et forventet, normalt niveau, som passer overens med det på teststrækningen observerede.

2.3 De funktionelle egenskaber

Belægninger optimeret for støjreduktion alene er efter danske erfaringer ofte ret finkornede med en maksimal kornstørrelse på 5-8 mm. Til gengæld forholder det sig modsat med hensyn til dræningsegenskaber, hvor en stor maksimal kornstørrelse på 16 mm, eller evt. endnu mere, vil være med til ikke blot at sikre en drænasfalt et højt hulrumsniveau, men også hulrum med store porediametre, til sikring af hurtig og effektiv afdræning. I projektet er stenstørrelsen for den multifunktionelle drænasfalt, efter gennemførelsen af en række mix-designs, valgt som 11 mm, som bedste kompromis.

Med et hulrumsniveau på mellem 20 og 25% er der selvsagt god plads til at kunne fange og viderelede regnvand effektivt, og selv hvis regnintensiteten bliver høj, er der i drænasfalten mulighed for at opstuve en hel del vand. Beregninger og avancerede afløbstests i laboratoriet viser, at en belægning med permeable asfaltslid- og -bærelag fint vil kunne tage de forventede regnintensiteter.

2.4 Teststrækningen

På teststrækningen på Korsdalsvej i Rødovre er der gennemført en lang række målinger, herunder dokumentation af støjreducerende egenskaber. I denne sammenhæng er drænasfalt en unik belægningstype. Der findes en række forskellige asfaltslidlag, som udviser støjreducerende egenskaber ved at begrænse udviklingen af dæk-/vejstøj. Det specielle ved drænasfalt er, at den meget åbne, permeable overflade ikke blot mindsker støjudviklingen, men også støjspredningen, idet f.eks. den åbne "æggebakke" overfladestruktur og forbundne hulrum også dæmper motorstøjen, som typisk er dominerende ved hastigheder op til ca. 40 km/t. Ved støjmåling på teststrækningen er konstateret et samlet støjreduktionsniveau på ca. 4 dB(A). Diverse afdræningstests dokumenterer desuden belægningens gode drænegenskaber.

Som noget helt og epokegørende nyt er der på Klimavejs-teststrækningen også foretaget måling af belægningens rullemodstand. Rullemodstand er et ret nyt begreb, som i øjeblikket er ved at få stort fokus, idet en lav rullemodstand for bilernes dæk resulterer i brændstofbesparelser og dermed også mindre CO₂-udledning fra bilernes forbrændingsmotorer. På dette felt viser målingerne, at den optimerede multifunktionelle belægning ikke giver anledning til forøget CO₂-udledning, når rullemodstanden holdes op imod referenceniveauet fra en traditionel, tæt asfalt slidlagsbelægning.

2.5 Anvendelse, drift og vedligehold

En udfordring for drænasfalt er, at belægningens luftporer med tiden har en tendens til tilstopning med vejsnavs, nedfaldne blade etc. Det er derfor en god idé at man regelmæssigt (f.eks. årligt) renser belægningen med en spule-/sugebil, så dette bør indgå som en indkalkuleret driftsomkostning, som dog måske kan opvejes af reduceret eller ikke-eksisterende behov for oprensning af afvandringsriste og brønde på samme strækning.

Drænasfalt kan anvendes som enkeltlagsbelægning oven på eksisterende traditionel asfalt. Herved opnås en fornuftig støjreduktion og samtidigt vil drænegenskaberne sikre imod initial vandopstuvning på vejen, så skadeseffekten fra "first flush" begrænses. Ønskes en større effekt, bør hele vejaksen opbygges med permeable befæstelselag. Herved kan opnås et meget stort men i gadebilledet "skjult" vandreservoir. Vandet kan herfra enten nedsives, tilbageføres til

kloaknettet, eller renses lokalt før efterfølgende nedsivning. I forbindelse med eventuel nedsivning, eller udledning til recipient, er der typisk en række miljøforhold, som man skal tage højde for. Dette er vejledningsmæssigt beskrevet i et senere afsnit i denne rapport, ligesom tiltag for optimeret vinter-/glatførebekæmpelse er beskrevet.

2.6 Projektets mål nået

Projektet har således opfyldt målsætningen om at udvikle et nyt, robust belægningskoncept, som både giver støjreduktion og udviser gode drænegenskaber – og med et forventet levetidsniveau i samme størrelsesorden som for traditionelle asfaltbelægninger.

Projektet har desuden opstillet guidelines for en række relevante problemstillinger og emner, der er relevante for bygherrer, entreprenører og projekterende, som arbejder med klimatilpassningsløsninger med permeable belægninger, herunder:

- Produktudvikling og egnede testmetoder
- Overfladeegenskaber
- Praktisk anvendelse og indpasning
- Vedligeholdelse
- Glatførebekæmpelse

Endelig er der i projektet taget ny teknologi i brug i form af ikke-destruktiv CT-skanningsteknik, som bl.a. kan benyttes til bedømmelse af:

- Hvordan luftporestrukturen ændres ved nye asfaltsammensætninger
- Hvilken udvikling asfalten har ved accelererede nedbrydningsforsøg
- Hvordan porerne stopper til, samt hvilken effekt forskellige renseprocedurer har på permeabiliteten
- Hvordan forskellige vedligeholdelsestiltag, f.eks. coating med "rejuvenators", påvirker hulrummene

CT-skanning må således betragtes som et vigtigt værktøj i et videre optimeringsforløb af denne belægningstype.

Projektets resultater vil blive fremlagt ved en præsentation på årets Vejforum kongres, december 2017. Desuden vil projektets samlede rapport blive overdraget til Vejdirektoratets vejreglarbejde for videre implementering.

3. Summary and conclusions

The purpose of the present research and development project, "The Climate Road", is to develop a unique multifunctional pavement concept for permeable asphalt with high drainage capacity as well as good noise reducing properties and a good durability. The project has met the goal by developing a multifunctional pavement concept that can be a possible solution for the municipalities in their strive to combat the rain intensity challenges from the global climate changes as well as the increasing noise pollution, by optimizing both effects.

3.1 Development of innovative product/concept

The goal of the research and development project "The Climate Road" is to develop a new concept for a multifunctional permeable asphalt pavement, which both can function as noise reducing pavement, and thus contribute to create an environmental improvement in the cities, and at the same time demonstrate a drainage capacity large enough to contribute to mitigate the problematic effects of the climate-change induced "monster rainfalls", that cause flooding due too insufficient capacity of the existing sewage systems. As it is important that new concepts are not maintenance cost unrealistic, it has been important to ensure a solution with durability and service life at the same level as obtained with traditional, dense asphalt pavements. The project includes comprehensive design tests and focus on disclosure of a large series of implementation and maintenance topics. The performed laboratory tests have additionally been compared to a full-scale test section on a rather heavily trafficked road in the municipality of Rødovre. In the project, new techniques have been implemented in the form of CT-scanning of asphalt test cores, used for optimization of the interconnected air voids distribution and pore cleaning technique. Furthermore, work has been performed in order to optimize the implementation and connection to existing road drainage systems, and a large series of environmental issues have been considered, as well as optimized winter maintenance. The result of the project "The Climate Road" is thus a new, robust, porous asphalt concept, which, when correct integrated in urban areas, will be an important tool in the future climate adaptation plans with simultaneously improved noise environment.

3.2 Development with full scale demonstration

The project comprises initially comprehensive laboratory works in order to optimize permeable, porous asphalt pavements. The project group has strived to introduce a state-of-the-art optimization. Thus, in addition to performance of functional tests such as the wheel tracking tests, dynamic creep tests, determination of stiffness modulus, bitumen/filler mortar optimization and water resistance (adhesion), new state-of-the art test methods have been implemented, such as the Aachener Ravelling Tester, developed at the university of Aachen, Germany, For the mix design optimization, screenings and mix composition optimization has been performed on the basis of the existing Danish and international experience with porous asphalt.

Concerning optimum binder choice, a polymer modified bitumen with special elastic properties and high durability has been chosen in order to optimize the life time performance of the pavement. Porous asphalt is a special pavement type with limited Danish experience. Thus, the starting point has been the clear need for further development and optimization of the product type. In connection to the performance of the comprehensive laboratory test program, it has

been determined, that some test methods, that are commonly used for optimization of traditional, dense asphalt types, not necessarily are correct and appropriate for evaluation of porous asphalt pavements. This seems especially to be the case for the traditional "Hamburg" small size wheel tracking test, which showed relatively poor results for the porous asphalt, although fine functionality without rutting has been observed on the full-scale test section. It was thus decided to test the "true" stability by introduction of an alternative CEN-specified test method, dynamic creep test, where the test sample is loaded with dynamic, pulsating loads, simulating the loads from heavy traffic. This test showed results on the expected, normal level, in agreement with the observations from the full-scale test section.

3.3 Functional properties

Pavements optimized solely for low traffic noise generation are to Danish experience often rather fine grained with a small max. aggregate size of 5-8 mm. On the other hand, when optimizing a porous asphalt for maximum drainage capacity, a large 16 mm (or even larger) max. aggregate size will normally contribute to ensure not only a high voids level but also pores with sufficiently large diameters, to ensure fast and effective water drain-off. In the project, a max. aggregate size of 11 mm has been chosen as the best compromise.

With a voids content of 20-25 % there is of course sufficient space to store and distribute the rain water effectively, and even when the rain intensity becomes high, the porous asphalt is able to store a certain amount of water, keeping the surface dry. Calculations and advanced drain-off tests in the laboratory shows that a pavement consisting of permeable wearing- and base courses is well able to handle the expected rain intensities.

3.4 The full-scale test section

A long series of surface tests have been conducted on the test section, on Korsdalsvej in Rødovre Municipality, a.o. documentation of the noise reducing properties. In this connection, a porous asphalt is a unique pavement type. Different types of noise reducing pavements exist that reduce the noise by lowering the tyre/road noise generation. The special ability of porous asphalts is that the very open, permeable surface not only reduces the noise generation but, due to the open "egg-box" surface texture and interconnected voids also reduces the spreading of the cars' engine noise, which typically dominates at traffic speeds up to 40 km/h. From noise measurements on the test section, a total noise reduction level of approximately 4 dB(A) has been documented. In addition, several different drainage capacity tests have documented the good drain-ability of the pavement.

As something completely "groundbreaking" new, the project has also included measurement of the rolling resistance of the pavement. Rolling resistance of pavements is a rather new concept, which at present is considered a "hot" topic with large focus, as a low rolling resistance for the car tyres will result in fuel consumption savings and thus reduction of CO₂ (global warming) from the cars' combustion engines. In this field the measurements show, that the optimized multifunctional pavement does not lead to increased CO₂ emissions, when the rolling resistance level from the test section is compared to the reference level from a traditional, dense asphalt wearing course.

3.5 Implementation, operation and maintenance

A challenge for porous asphalt pavements is, that the pores with time has a tendency to clogging from road "dirt", leaves from trees etc. Thus, it is a good idea regularly to clean the pavement pores by use of a high-pressure spray/suction vehicle, repeated regularly on e.g. annual basis. So, the costs for cleaning should be included in the annual costs budget, but may though be met by the reduced or no longer existing need for cleaning/suction of drain grates and wells at the same road section.

Porous asphalt may be used as a single layer pavement on top of existing asphalt pavements. In this case a reasonable noise reduction is obtained and at the same time, the drain-ability properties will help to lower the risk of damages from “first flush” extreme rain intensities. If a larger drainage effect is wanted, the total road structure should be constructed by use of permeable pavement courses. By doing so, a very large, “hidden” water drainage reservoir will be obtained. From the reservoir the water may be either seeped down into the ground below, returned to the traditional road drainage system, or it may be locally cleaned before infiltration into the ground. In relation to possible seeping down or channelizing further on to a water recipient, one typically has to consider a series of environmental protection issues. This is for guidance described in a later section of this report, as well as actions for winter maintenance has been described.

3.6 Project goals fulfilled

To summarize, the project has fulfilled the goal to develop a new, robust pavement concept that both reduces the traffic noise and demonstrate good rain water drainage properties – and with an expected service life on same level as traditional dense pavements.

The project has in addition developed guidelines for a series of relevant topics, that may be relevant for road authorities, contractors as well as consultants, who work with projects involving climate change adaption with use of porous asphalt pavements. Amongst the items are:

- Product development and suitable test methods
- Surface characteristics
- Practical implementation and use
- Maintenance
- Winter maintenance

Finally, the project involves implementation of new technology in the form of non-destructive CT-scanning of asphalt specimens, which a.o. may be used to evaluate and optimize:

- How the air voids (pores) change with new asphalt mix compositions
- How the asphalt develops/behaves when subjected to accelerated deterioration in laboratory
- How/when the pores are clogging and for evaluation of the efficiency of different cleaning techniques
- How different maintenance techniques, e.g. rejuvenator treatments, effect the voids

The introduced state-of-the-art CT scan technique should thus be seen as a very important tool in the future work for further optimization of this essential pavement type.

The findings and conclusions will be presented at the Danish annual road conference “Vejforum”, in December 2017. Furthermore, the project report will be handed over to the Road Directorate’s working group for the Danish asphalt road regulations, for further implementation.

4. Introduktion

4.1 Baggrund

Det har igennem de senere år kunnet konstateres, at klimaforandringerne medfører stadig hyppigere nedbør med ekstrem intensitet. Klimatilpasning er derfor et stadigt stigende fokusområde i alle danske kommuner, specielt i byområder, hvor de mange tætte flader fra hustage og vejbelægninger, fortove og pladser minimerer mulighederne for naturlig nedsivning gennem grønne områder og hvor det eksisterende kloaknet slet ikke er dimensioneret til de nye, ekstreme regnintensiteter. Resultatet bliver stadig hyppigere oversvømmelser fra ekstremnedbør, som tilmed ofte opblandes med opstigende kloakvand, så sundheden også påvirkes. Omfattende separatkloakeringsløsninger er særdeles omkostningstunge, så der er i høj grad behov for alternative klimatilpasningsløsninger.

Der findes i dag en lang række ideer, tiltag og løsningsmuligheder for at imødegå "monsterregn" problematikken, herunder brug af regnbede, etablering af kanaler langs vejene, veje med omvendt V-profil, der kan fungere som midlertidigt regnvandsbassin, eller veje i havnære områder, der er udformet, så de under ekstremregn kan fungere som "vandaflædningsårer" til nærmeste havn, etc.

En meget oplagt kandidat til klimatilpasningsløsning i bygader er at anvende en permeabel vejbelægning med et stort porevolumen – enten som "solo" slidlagsbelægning, der kan fungere som et (begrænset) forsinkelsesbassin for den initialt opstående "first flush" regn, eller som et led i en mere omfattende belægningsopbygning, hvor både asfaltslidlaget, asfaltbærelaget og det underliggende grusbærelag opbygges af permeable befæstelsesmaterialer. Herved kan opnås en stor, "skjult" regnvandsmagasinerings effekt, hvorfra vandet kan nedsives eller viderføres kontrolleret, så der ikke sker overbelastning på det eksisterende kloaknet. Vejens belægningsopbygning indgår på denne måde som et aktivt element i afvandingen og klimatilpasningsløsningen.

Trafikstøj er desuden et stigende problem i byområder, hvor støjen skaber stress og påvirker helbredet (hjerte/kar sygdomme, koncentrationsbesvær, søvnmangel m.v.). Facadeisolering og støjmur/-volde er nogle af de mulige tiltag for støjreduktion, men er ofte omkostningstunge og måske af pladsmæssige årsager heller ikke mulige at placere i gadebilledet. Et oplagt fokusområde er derfor at fokusere på at reducere genereringen af trafikstøjen direkte ved kilden. Trafikstøj er i væsentligt omfang dæk/vej-støj, specielt ved hastigheder over ca. 40 km/t. Drænasfaltbelægninger er kendt for gode støjreducerende egenskaber, hvor den åbne porestruktur ikke blot mindsker støjudviklingen, men desuden dæmper den opståede støjs udbredelse (altså også dæmpning af motorstøjen), da lyden "løber død" i den porøse overfladestruktur. I modsætning til andre støjreducerende belægningstyper er drænasfalt således, som noget unikt, også i stand til at dæmpe udbredelsen af motorstøjen fra trafikken.

Projektet "Klimavejen" har derfor haft som mål at udvikle en multifunktionel drænasfaltbelægning, som både har gode drænegenskaber og samtidigt kan reducere trafikstøjen i byer og bynære områder. Tidligere forsøg med støjreducerende drænasfalt har imidlertid indikeret, at en sådan belægning traditionelt har kortere levetid end traditionelle, tætte asfaltbelægninger. Det har derfor været et vigtigt element i projektets udviklingsarbejde at udvikle en ny, permeabel asfalsammensætning, som både sikrer god støjreduktion, god drænevne og en levetid på højde med traditionelle, tætte vejbelægninger.

4.2 Formål

Projektets formål har som nævnt i forrige afsnit været at udvikle en multifunktionel, permeabel asfaltbelægning til KLIMAVEJE, til brug i byområder, og som både sikrer væsentligt reduceret trafikstøj, god levetid og en stor drænkcapacitet til at undgå eller imødegå effekterne af den klimaskabte ekstremnedbør.

Projektet er desuden gennemført med henblik på at afdække og belyse en række af de væsentligste forhold omkring anvendelse af permeable asfaltbelægninger, herunder

- Udvikling af en ideel, multifunktionel asfaltbelægning med god forventet levetid,
- Belysning af opnåelige overfladeegenskaber, både med hensyn til afdræningsevne og magasinerings effekt, støj dæmpende egenskaber, etc.
- Anvendelse og kobling til eksisterende afvandingssystemer,
- Miljøforhold ved nedsivning,
- Vedligeholdelse
- Vintervedligehold og glatførebekæmpelse

4.3 Samarbejdet

Projektet er udført i regi af et samarbejde imellem projektpartnerne Rødovre Kommune, som stillede vejstrækning til rådighed for fuldskala-teststrækning og desuden har bidraget omkring bl.a. miljøforhold, HOFOR, som har bidraget omkring dimensionering og kobling til eksisterende afvandingssystemer, Vejdirektoratet, som har bidraget med viden omkring overflademålinger, vintervedligehold og glatførebekæmpelse, NCC, som har bidraget omkring asfaltudvikling og prøvning, asfaltudlægning på teststrækning, konceptopbygning m.v., Asfaltindustrien, som har bidraget med bl.a. vidensformidling og artikler, og Teknologisk Institut, som har bidraget med idéoplæg, tilstopnings-/oprensningforsøg, introduktion af ny teknik med CT-skanning, udvasknings- og andre laboratorieforsøg, samt vidensformidling og projektledelse.

4.4 State of the art

I projektet er anvendt baggrundsinformation fra tidligere danske erfaringer med støjreducerende drænasfalt i kombination med erfaringer fra det danske vejregelarbejde, det internationale (CEN) arbejde på asfalmaterialeområdet, samt seneste ind- og udenlandske state-of-the-art informationer og erfaringer fra anvendelse af drænasfaltbelægninger, herunder bl.a. erfaringer og præsentationer fra TRB, Washington (2016), og Euroasphalt/Eurobitume kongres, Prag 2016. De foreliggende erfaringer er i det væsentlige baseret på anvendelse af permeabel asfalt som støjreducerende belægning og kun i begrænset omfang som drænende belægning, hvorimod målet om at opnå en multifunktionel kombination til miljø- og klimatilpasning synes at være en ny tilgang til permeable belægninger.

5. Udvikling af multifunktionel drænasfalt

Projektet "KLIMAVEJEN" har som mål at udvikle en ny, multifunktionel drænasfaltbelægning, som både giver et markant bidrag til at reducere vejstøjen i byområder, gennem sit store porevolumen, og som samtidigt har så stor drænkapacitet, at vejbelægningen kan fungere som et forsinkelsesbassin under ekstremnedbør. Dette afsnit beskriver projektforsøget ved udviklingen af en ideel, multifunktionel drænasfaltbelægning.

5.1 Baggrund

Støjproblemet er størst i de større byer, hvor trafikintensiteten er størst. Opsætning af støjskærme er som regel ikke en fysisk mulighed i tætbefolkede byområder og facadeisolering af bygninger, herunder opsætning af særlige vinduestyper er ikke en billig løsning. Et oplagt mål er derfor, at starte med at reducere den genererede dæk-/vejstøj ved kilden, gennem brug af støjreducerende vejbelægninger.

Det er alment kendt, at drænasfaltbelægninger kan optimeres til at udvise rigtig gode støjreducerende egenskaber [L.5.1-1 m.fl.]. I modsætning til andre belægningstyper medvirker den poreholdige overflade ("æggebakkestruktur") desuden til at ikke blot dæk-/vejstøjen men også motorstøjen dæmpes, når lyden passerer hen over belægningen. Der har i Danmark forsøgsvis været arbejdet med støjreducerende vejbelægninger igennem de seneste to årtier, med Øster Søgade forsøgene i København som bedst kendte forsøg [L.5.1-2 – L.5.1-6]. Ved disse forsøg blev anvendt asfaltbelægninger med 2 lag drænasfalt. Belægningerne udviste indledningsvis en flot støjreduktion, men for at bibeholde den støjreducerende effekt længst muligt, kræves systematisk planlagt oprensning af vejsnavs i belægningens porer, typisk 1-2 gange årligt. På grund af den åbne porestruktur er drænasfalt desuden mere påvirkelig af oxidation og bindemiddelhærdning fra UV-stråling.

Forsøgene bekræftede således, at den anvendte drænasfaltbelægning har kortere funktionel levetid end traditionelle asfaltslidlag, hvilket ikke driftsmæssigt er ideelt. I de senere år har man derfor i Danmark i betydeligt større omfang anvendt tynde, støjreducerende slidlag - typisk SMA-specialvarianter, de såkaldte "SRS"-belægninger, som ikke kræver oprensning, men til gengæld heller ikke typisk udviser helt så markant støjreduktion. Holdbarheden af disse SRS-belægninger er dog diskuteret en del igennem de seneste år og synes heller ikke helt på højde med traditionelle asfaltslidlag. Der er derfor konstateret et udtalt behov for udvikling af en drænasfaltvariant med gode støjreducerende egenskaber, som samtidigt kan opnå en levetid mindst på højde med SRS-belægningerne og gerne på højde med traditionelle, ikke-støjreducerende asfaltslidlag.

Trods de seneste års tiltag med begyndende separatloakering er problemet med de voldsomme ekstremnedbørsmængder langt fra løst, og samtidigt er der mange steder ikke plads til nedlægning af tilstrækkeligt store drænledninger, ligesom opgravninger er en udfordring for mange nedgravede forsyningsledninger i byerne. Der er et stadigt stigende behov for at klimasikre især tætbefolkede bymiljøer, så opstigende regnvand ikke forårsager oversvømmelser og deraf afledte omfattende skader på boliger m.v. Fænomenet er endvidere særligt kritisk i

områder, hvor regnvandet ledes gennem kloaknettet, så det opstigende vand er forurenet med kloakvand og derved kan skabe meget alvorlige sundhedsmæssige udfordringer samt langt mere omfattende skader på berørte bygninger.

Drænasfalten kan anvendes som et-lags slidlagsbelægning, som del af en to-lags asfaltbelægning (som f.eks. anvendt på Øster Søgade), eller indgå i en flerlags permeabel konstruktion, hvor underlaget f.eks. kan være drænstabil grus. Den praktiske anvendelse, valg af underlag og opbygning, samt kobling til eksisterende afløbssystemer er nærmere beskrevet i et efterfølgende afsnit. Der er under produktudviklingen lagt stor vægt på at optimere belægningens sammensætning, så både støjhensyn og drænegenskaber tilgodeses. Der er desuden holdt et målrettet fokus på holdbarhed, herunder specielt ved et konsekvent valg af polymermodificeret bindemiddel med højt indhold af elastiske polymerer, hvorfor det vurderes realistisk at opnå en forventet levetid af samme størrelsesorden, som opnåeligt for traditionelle asfaltslidlag. Der er således arbejdet med at optimere og videreudvikle et nyt drænasfalt belægningskoncept for opnåelse af en ideel kombination af følgende:

- Gode støjreducerende egenskaber – Da belægningen primært tænkes anvendt i tæt bebyggede byområder er det essentielt, at der benyttes en belægningstype, der giver et tydeligt bidrag til at reducere trafikstøjen og således skaber et bedre støjklima med færre gener. Der i denne sammenhæng udgangspunkt i drænasfalt, principielt med udgangspunkt i de gode erfaringer fra Øster Søgade. Erfaringer viser her, at hvis der anvendes en for grov/storkornet asfalttype, bliver "rumleeffekten" for stor (en grovkornet overflade skaber vertikale svingninger når dækket passerer hen over belægningen, hvilket skaber lavfrekvent rumlestøj. Danske erfaringer peger på bedst støjreduktion ved et højt hulrum og en maksimal kornstørrelse på ikke over 11 mm (ideelt ikke over 5-8 mm).
- Gode drænegenskaber – God vandafledningskapacitet, gennem optimerede dræningsegenskaber, er essentielt ved bekæmpelse af fremtidige klimaforandringskabte ekstremnedbørsmængder. Belægningen optimeres primært til anvendelse i tæt bebyggede byområder, hvor de mange bygninger og hårde belægninger minimerer naturlig nedsivning. Der tages af denne årsag udgangspunkt i belægninger af drænasfalttypen, som er den asfaltbelægningstype, som har størst hulrumsniveau. Jo større stenstørrelse (8-11 eller 11-16 mm), desto større luftporer og dermed hurtigere dræneffekt. Der tilstræbes et højt luftpore hulrum på ca. 25 % (tæt ved det teoretisk maksimalt opnåelige).
- God holdbarhed – Drænasfaltbelægninger, som har den mest ideelle kombination af støjreducerende og drænende egenskaber, tillægges normalt en noget kortere levetid end for traditionelle tætte asfaltslidlag. Dette skyldes i væsentlig grad, at den åbne porestruktur i belægningen medfører større iltning af bitumenhinderne (og dermed hurtigere oxidation og sprødhed) end det er tilfældet i tætte belægninger. Desuden kræver fastholdelse af dræneffekt over tid, at belægningen systematisk oprenses med en speciel spule-/sugebil, hvilket også slider på bitumenhinderne omkring stenene i belægningen. Der anvendes derfor i dette projekt nogle nye, videreudviklede typer af polymermodificeret bindemiddel med særligt højt polymerindhold i kombination med klæbeaktiv filler og knust klippe stenmaterialer af høj kvalitet. Samtidigt lægges ved mix design op til valg af belægninger med et højere bindemiddelindhold end typisk hidtil anvendt for drænasfalt, med deraf følgende tykkere bitumenhinder og længere forventet levetid.

5.2 Grund-optimering af belægningssammensætning og indledende mix-design

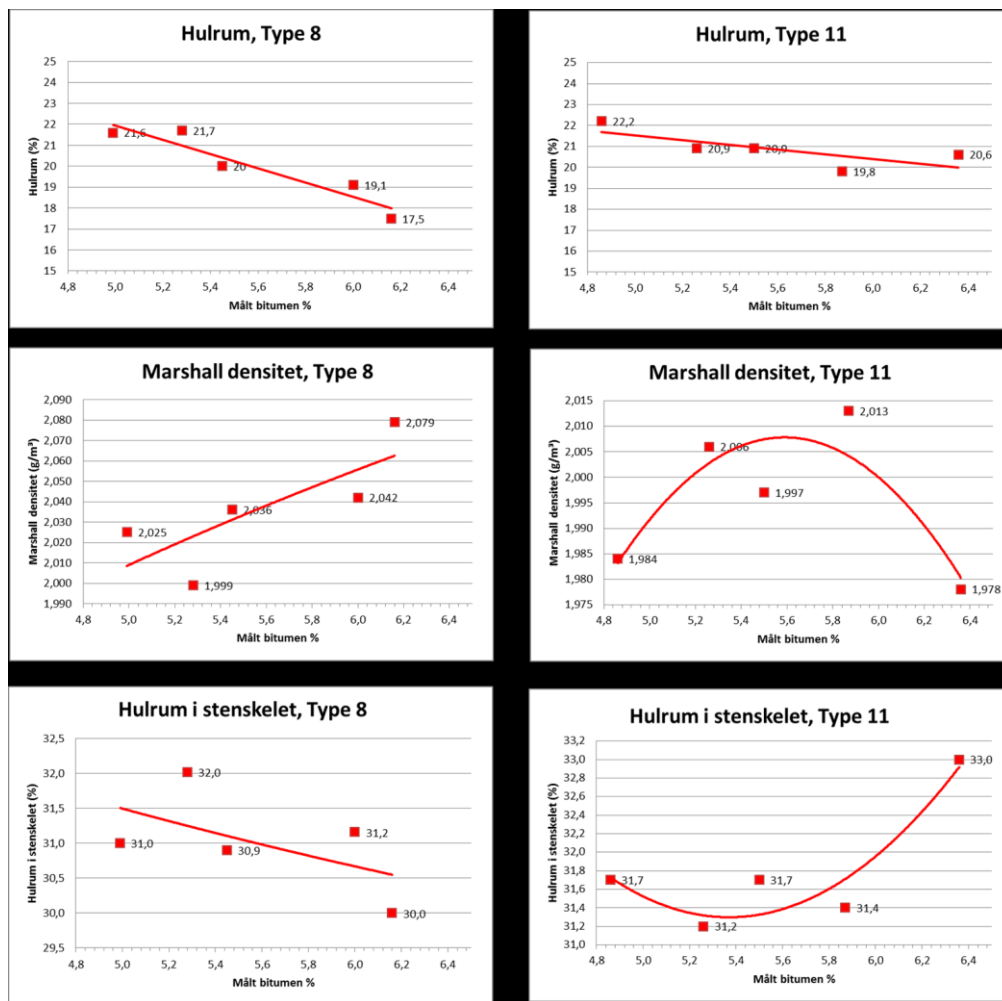
Det er valgt at tage udgangspunkt i en asfaltbelægning af drænasfalttypen (DA), hvor der i denne indledende fase dels ses på en 0/8 mm drænasfalt (en lille stenstørrelse giver jf. Østersøgade forsøgene erfaringsmæssigt bedst støjreduktion) og dels parallelt hermed en 0/11 mm drænasfalt, som muligvis har en anelse mindre støjreduktion, men til gengæld større luftporer

og dermed forventelig bedre/hurtigere dræneffekt. Der tages udgangspunkt i anvendelsen af stenmateriale af norsk knust klippegranit, i det aktuelle tilfælde fra Jelsa. For at finde det optimale bindemiddelindhold er der indledningsvis udført såkaldt "Marshall-mix-design", hvor hver stenmaterialesammensætning er testet med 5 forskellige bindemiddelindhold, for derved at finde det for belægningen optimale indhold. For at afgrænse prøvningsomfanget er der indledningsvis gennemført Marshall mix-design med 40/60 standardbitumen, hvorefter der i en senere fase er foretaget blandinger med forskellige bindemiddeltyper ved det optimale bindemiddelindhold.

Mix-design blev gennemført på en DA 8 og DA 11 med en sammensætning på 90 % 5/8 hhv. 8/11 mm klippegranit og 10 % klippegranit stenmel. Der blev tilsat 2 % cement som klæbeaktiv filler (mest udbredte klæbeaktive filler-type i Danmark) og 0,25 % cellulosefibre (som støttefiller for at bevare asfaltens konsistens og sikre imod afblanding og bitumenafløb under produktion, lagring og transport af varm asfalt).

Laboratorie nr.	Blandinger med 5/8 Jelsa					Blandinger med 8/11 Jelsa				
	201501542	201501543	201501544	201501545	201501546	201501547	201501548	201501549	201501550	201501551
Blanding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bitumen %(teoretisk)	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6
Bitumen %(målt)	5,0	5,3	5,5	6,0	6,2	4,9	5,3	5,5	5,9	6,4
Marshall Densitet Gns. (g/cm ³)	2,025	1,999	2,036	2,042	2,079	1,984	2,006	1,997	2,013	1,978
Stendensitet (g/cm ³)	2,787	2,787	2,787	2,787	2,787	2,763	2,763	2,763	2,763	2,763
Bitumendensitet (g/cm ³)	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
Hulrum (%)	21,6	21,7	20	19,1	17,5	22,2	20,9	20,9	19,8	20,6
Hulrum i stenskelet Hs (%)	31,0	32,0	30,9	31,2	30,0	31,7	31,2	31,7	31,4	33,0
V _b (%)	9,90	10,35	10,88	12,07	12,55	9,45	10,34	10,77	11,58	12,34
V _s (%)	68,97	67,97	69,08	68,85	69,99	68,32	68,78	68,31	68,57	67,00
V _b / V _s (%)	0,144	0,152	0,158	0,175	0,179	0,138	0,150	0,158	0,169	0,184
Bitumenfyldning - Gns. (%)	32	32	35	39	42	30	33	34	37	37
Gennemfald										
11,2 mm	100					88				
8,0 mm	91					30				
5,6 mm	28					20				
2,0 mm	16					18				
0,5 mm	11					13				
0,063 mm	5,6					8,6				

Tabel 5.2-1: Indledende Marshall-mix-design



Figur 5.2-1: Marshall mix-design kurver for valg af optimalt bindemiddelindhold. Der opnås for begge typer et fornuftigt hulrum på godt 20 % ved ca. 5,5 % bitumen.

Da der således for begge varianter blev opnået omtrent samme hulrumsniveau (en anelse højere i DA type 11), og porestørrelsen (og dermed dræneffekten) samtidigt er størst i 11 mm varianten, blev det vedtaget at arbejde videre med denne, med en ny, yderligere optimeret sammensætning, i bestræbelserne på at opnå et endnu højere hulrumsniveau i nærheden af de tilstræbte 25 %.

Fase 2: Der blev gennemført supplerende mix design for en DA type 11 med tilslag af 100 % 8/11 mm Jelsa granit. For at opnå et højere hulrumsniveau, blev der gennemført blandinger helt uden stenmel. Der blev dog ikke opnået forhøjet hulrum i praksis, da blandingerne med samme bitumenindhold blot blev mere "fede" (Data fra denne serie ikke gengivet af pladshensyn). Drænasfalten har tilsyneladende brug for et vist minimumsindhold af stenmel for at bevare sin konsistens bedst muligt og undgå afblanding under produktion/lagring/udlægning. Det blev derfor valgt at foretage en tredje mix-design optimering af stensammensætningen.

Fase 3: Der blev her gennemført mix-design med en fjerde materialesammensætning ved en DA type 11 med 95 % 8/11 mm Jelsa og 5 % 0/2 mm stenmel. Denne variant viste sig at være den mest ideelle til praktisk opnåelse af højest muligt hulrum, når der samtidigt ud fra et holdbarhedsmæssigt synspunkt prioriteres (og fastholdes) krav til et højt indhold af bitumen. De opnåede data fremgår af efterfølgende tabel.

	Blandinger med 95 % 8/11 Jelsa (kornkurve 4)							
Laboratorie nr.	20150318		20153119		20150320		20153121	
Blanding	18	18.a	16	16.a	19	19.a	20	20.a
Bitumen % (teoretisk)	5,1		5,5		5,9		6,3	
Bitumen % (målt)		5,0		5,2		5,7		6,2
Marshall Densitet (g/cm ³)	1,957		1,926		1,940		1,951	
Stendensitet (g/cm ³)	2,764		2,764		2,764		2,764	
Bitumendensitet 40/60 (g/cm ³)	1,020		1,020		1,020		1,020	
Hulrum (%)	23,0	23,2	23,8	24,1	22,7	23,0	21,8	22,0
Hulrum i stenskelet H _s (%)	32,8	32,8	34,2	33,9	34,0	33,8	33,9	33,8
V _a (%)	9,8	9,6	10,4	9,8	11,2	10,8	12,0	11,9
V _v (%)	67,2	67	65,8	66,1	66,0	66,2	66,1	66,2
V _a / V _v (%)	0,15	0,14	0,16	0,15	0,17	0,16	0,18	0,17
Bitumenfyldning (%)	30	29	30	29	33	32	36	35
Gennemfald								
11,2 mm	88							
8,0 mm	24							
5,6 mm	12							
2,0 mm	10							
0,5 mm	8							
0,075 mm	3,9							

Tabel 5.2-2: Data fra endeligt valgte kornkurvesammensætning med 5 % stenmel. Der opnås et Marshall-hulrum på ca. 23-24 % ved et bindemiddelindhold på ca. 5,5 %. Dette, teoretisk optimale bindemiddelindhold er fastholdt i de efterfølgende bindemiddeloptimeringsforsøg.

5.3 Videre optimering, bindemiddelvalg og mekaniske egenskaber

For at opnå en ideel holdbarhed er det essentielt at anvende et polymermodificeret bindemiddel. Efter afslutningen af de egentlige Marshall-mix-designs (forsøgsrækkens del 1), blev der efterfølgende udført en lang række avancerede tests, herunder bindemiddeltests og mekaniske tests, på blandinger af DA type 11 med tre forskellige bindemidler. Som reference valgtes en standard bitumen 70/100. Modificeret bitumen kan principielt fremstilles på to forskellige måder: Enten "in-situ", hvor en polymer i pulverform tilsættes direkte i asfaltblanderen under selve asfaltfremstillingen, eller ved at forud-fremstille et veldefineret polymermodificeret bindemiddel med forud kendte, optimerede egenskaber. Ved begge varianter er der i forsøgsserien anvendt et for den pågældende type højt polymerindhold, i bestræbelserne på at opnå optimale asfaltegenskaber og holdbarhed. De tre varianter i forsøgsserien var således:

- Standard bitumen 70/100 (reference)
- Bitumen 160/220 tilsat 5 % P-Flex elastisk polymer (in-situ polymermodificeret bindemiddel, NCC)
- Polymermodificeret bitumen med 8 % SBS i blød bitumen (Nybit PM 250), (forud fremstillet polymermodificeret bindemiddel)

Med hensyn til valg af bindemiddel er der konsekvent søgt efter anvendelse af specialbindemidler med et forholdsvis blødt udgangspunkt og samtidigt med ekstra højt indhold af polymer for at sikre belægningen stor elasticitet og kohæsion, til sikring af længst mulig levetid, gerne mindst på højde med traditionelle tætte slidlagsbelægnings. Tilsvarende er der, som tidligere nævnt, konsekvent valgt et bindemiddelindhold på 5,5 %, hvilket for en DA type 11 er højere, end hvad man af stabilitetsmæssige årsager traditionelt ville vælge. Dette kan naturligvis have en mindre indflydelse på belægningens resulterende hulrumsindhold, men vil til gengæld være væsentligt medvirkende til at sikre belægnings med længere levetid, end normalt kendt fra drænasfalttyper (som f.eks. kendt fra de danske Øster Søgade forsøg, samt f.eks. de hollandske motorveje). For at kunne få et overblik over hulrumsoptimeringens eventuelle indflydelse på de funktionelle egenskaber, er der i denne fase desuden foretaget afprøvning af to forskel-

lige materialesammensætninger, dels en sammensætning med 90 % 8/11 mm Jelsa og 10 % stenmel, resulterende i et Marshall-hulrum på ca. 20 %, dels en sammensætning med 95 % 8/11 mm Jelsa og 5 % stenmel, resulterende i et tilstræbt Marshall hulrum på ca. 25 % (i praksis opnået godt 22 %). I begge varianter indgår cement som klæbeaktiv filler.

Klimavejen - Del 2:	20 % hulrum (Tilstræbt) (Baseret på sigte kurve 2 med 90 % 8/11 Jelsa og 10 % 0/2 jelsamix 9 + filler)			25 % hulrum (Tilstræbt) (Baseret på sigte kurve 4 med 95 % 8/11 Jelsa og 5 % 0/2 jelsamix 9 + filler)		
	8 % SBS i blød bitumen (Nybit 250 PM)	5 % P-flex i 160/220	Standard 70/100	8 % SBS i blød bitumen (Nybit 250 PM)	5 % P-flex i 160/220	Standard 70/100
Laboratorie nr.	201504182	201504183	201504184	201504185	201504186	201504187
Blanding	22	23	24	25	26	27
Bitumen %(teoretisk)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Bitumen %(aktuel)- asfaltanalysator	5,2	5,3	5,5	5,7	5,2	5,4
Marshall Densitet (g/cm ³)	2,004	2,062	2,031	1,950	1,978	1,953
Stendensitet (g/cm ³)	2,764			2,763		
Bitumendensitet (g/cm ³)	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
Hulrum (%)	21,0	18,6	19,6	22,6	22,0	22,8
E-værdi ved 20°C (Mpa)	1053	1799	1680	954	1479	1599
Analyser efter genindvinding:						
K&R (°C)	92,5	52,4	49,2	92,0	51,2	50,2
Pen (1/100 mm)	65	76	57	59	78	55
Elastisk tilbagegang 10°C (%)	91,2	80,1	24,9 *	88,5	81,7	31,2**
Elastisk tilbagegang 25°C (%)	98,1	73,3	15,8	98,4	78,1	16,7
Brudpunkt Frass (°C)	-29,5	-17,5	-12,0	-29,5	-17,5	-12,0
Partikkeltab i henhold til DS/EN 12697-17 (%)	4	7	11	4	10	12
Bestemmelse af følsomhed overfor vand i henhold til DS/EN 12697-12 (%)	95,6	79,1	76,4	95,3	83,7	70,1
Stentabstest i henhold til DS/EN 12697-50: ARTe (udført af RWTH-institut für Strassenwesen Aachen Der blev sendt 4 plader af hver blanding (25, 26 og 27) til test, men ikke alle plader er taget med i det endelige resultat, da der var problemer med nogle af pladerne.						
Vægttab (g)				587	174	339
Vægttab - gennemsnit (%)				9,0	2,5	5,0
Sporkøring i henhold til DS/EN 12697-22 ved 50°C						
Slutdybde (mm)	3,12	10,58 (stoppet efter 4000 overkørsler)	12,66 (stoppet efter 2000 overkørsler)	3,22	11,93 (stoppet efter 2000 overkørsler)	14,65 (stoppet efter 2000 overkørsler)
Spordybde efter 2000 overkørsler (mm)	1,53	5,46	12,66	1,70	11,93	14,65

* ET ved 10° C på prøver. 201504184: Prøverne kunne kun trækkes 7 og 10 cm inden brud.

** ET ved 10° C på prøver. 201504187: Begge prøver kunne kun trækkes 8 cm inden brud.

Udgangsværdier på de 3 anvendte bindemidler:

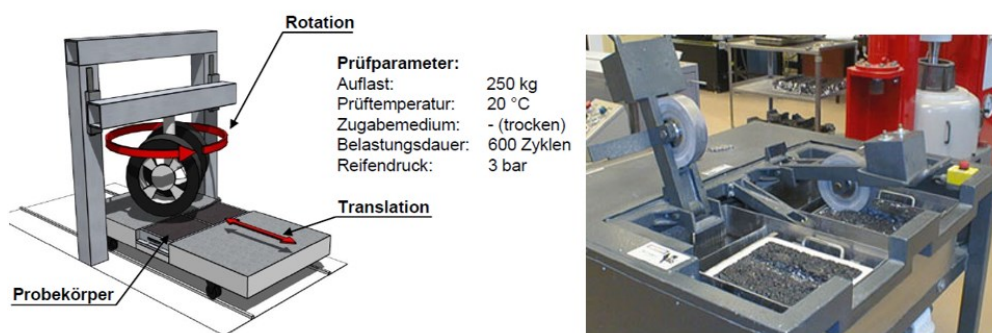
Bindemiddel	K&R (°C)	Pen ved 25°C (1/10 mm)
Nybit 250 PM + 8% SBS	93,0	95
160/220 + 5% P-Flex	55,4	105
70/100	47,6	79

Tabel 5.3-1: Opnåede laboratoriedata ved den fortsatte belægningsoptimering med forskellige bindemiddeltyper og mængder ved to forskellige hulrumsniveauer.

Der ses indledningsvis ikke signifikant forskel på de mekaniske egenskaber for de to serier med hhv. 20 og 25 % tilstræbt hulrumsniveau. Derfor foretrækkes varianten med størst hulrum fremadrettet a.h.t. bedst mulige støjreduktions- og drænegenskaber.

5.3.1 Mekaniske egenskaber - sporkørings- og vridningsmodstand

Ved den gennemførte forsøgsrække er der bl.a. udført sporkørings- og vridningstests (DS/EN 12697-22, "Hamburg" small scale) for at vurdere modstandsevnen mod tung trafik. På grund af den åbne struktur i drænasfalt, hvor der ikke er megen "mørtel" imellem stenene, kunne man måske frygte, at der kunne opstå risiko for nedbrydning fra påvirkning af tunge lastbilers vridende bevægelser, når hjulene tvinges rundt med servostyring. Der er derfor udført særlige vridningsmodstandstests på universitetet i Aachen, Tyskland, efter en nyudviklet tysk testmetode, "ARTE" (EN 12697-50), som netop har til formål at teste modstandsevnen mod simuleret opvridning fra tunge, drejende/vridende lastbilshjul.



Figur 5.3-1: ARTE-vridtest, principskitse (t.v.). Forsøgene er udført på universitetet i Aachen, Tyskland. Billedet til højre viser sporkøringsstest efter CEN-/”Hamburg” metoden (DS/EN 12697-22).

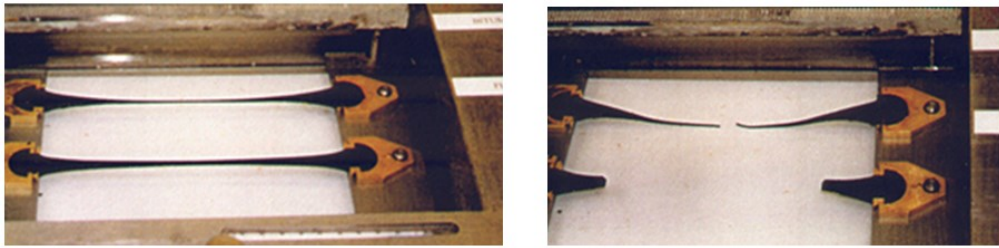
De gennemførte sporkørings- og vridningstests af belægningsmateriale, som bindemiddelmæssigt er optimeret for lang levetid, viste generelt en lavere mekanisk sporkøringsmodstand end forventet – dette gælder specielt for referencen med standardbitumen og varianten med blød og fleksibel P-Flex modificering. Varianten med højt SBS-indhold faldt her klart bedst ud. Tilsvarende udviste de i Tyskland gennemførte ARTE slitagetests (kun gennemført på den mest åbne stensammensætningsvariant) at belægningsmateriale fremtrådte ret "fedtede" og flere delresultater måtte afvises, da testhjulet på grund af det klistrende bindemiddel (højt indhold og "klistret" polymer) plukkede sten op af asfalten. Trods dette har fuldskala-forsøgsbelægningen dog ikke udvist tegn på manglende stabilitet (se afsnit 5.4).

5.3.2 Stivhedsmodul (bæreevne)

Ved bestemmelse af materialestivheden (stivhedsmodul, DS/EN12697-26, Nottingham Asphalt Tester) udviste Nybit-varianten, overraskende, lavere stivhedsmodulværdier ved 20 °C (ca. 1000 MPa) end de to øvrige blandinger (ca. 1500-1800 MPa). Dette må skyldes det høje indhold af elastisk polymer i kombination med et relativt blødt udgangsbindemiddel. Der bør muligvis tages højde for dette fænomen ved strukturel dimensionering af klimavejsopbygninger. Til sammenligning angiver Vejdirektoratets håndbog for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægningsmateriale (i dennes tabel 8) en belægningsdimensioneringsmæssig standardværdi på 1500 MPa (30 °C) for drænasfalt med polymermodificeret bitumen. Det lavere stivhedsmodul for Nybit-varianten kan således indikere et muligt behov for en let forøget asfalttykkelse for at opnå den ønskede bæreevne.

5.3.3 Bindemiddelegenskaber – polymermodificeret bitumen

Hvad angår bindemiddelegenskaber, så er der som forventet opnået klart bedst egenskaber ved anvendelse af Nybit 250 med højt SBS-indhold. Dette afspejles både af elastisk tilbagegang og brudpunkt Fraass (kulderevnebestand), hvor Nybit-blandingerne viser større fleksibilitet og kulderevnebestand end de øvrige testede belægningsmateriale.



Figur 5.3-2: Eksempel på test af elastisk tilbagegang. "Kødbensformede" bitumenprøver udstøbes og monteres i vandbad ved forud defineret temperatur i trækapparat. Billedet t.v. viser begge bitumenprøver i udstrakt form. Nederste billede viser evnen til at trække sig sammen efter udstrækning og overligning (elasticitet). Den øverste prøve er standardbitumen. Den nederste af de to prøver er polymermodificeret og genfinder mere end 70 % af sin oprindelige form, hvilket er et udtryk for bindemidlets elastiske egenskaber og "fastholdelsesevne".

5.3.4 Vedhæftning og holdbarhed

Vejdirektoratets vejregel (AAB) for varmblandet asfalt stiller for asfaltslidlag krav om at anvende tilsætning af min. 1,5 % cement som "klæbeaktiv filler" (eller anden vedhæftningsforbedrer med samme effekt). For en åben asfalttype er det særligt vigtigt at sikre god klæbeevne imellem sten og bindemiddel og dermed resistens mod udvaskning. I forsøgsrækken indgik derfor vandfølsomhedstest jf. DS/EN 12697-12 (spaltetrækstyrkeforsøg før/efter vandlagring, jf. gældende CEN-testmetode). Her udviser begge polymerholdige blandinger tilfredsstillende data med et tilfredsstillende niveau på mindst ca. 80 %. Bedste data blev opnået med Nybit-varianten.

I alle de indledende forsøg er anvendt cement som klæbeaktiv filler. For (som supplerende optimering) at bedømme effekten af forskellige klæbeaktive filler-typer, blev der udført et supplerende prøvningsprogram, hvor disse filleres effekt blev testet efter den svenske "Våndskakmetode", hvor små "propper" af finmateriale og bitumen fremstilles og forbehandles, hvorefter de fyldes i vandfyldte rør, som mekanisk "gennemrystes", hvorefter væggtabet bestemmes (Svensk FAS-metode). Ved denne forsøgsrække blev cement testet op imod hydratkalk (typisk tidligere anvendt i Danmark til drænasfalt slidlag, bl.a. Øster Søgade) og en reference bestående af Jelsa granit stensmelfiller.

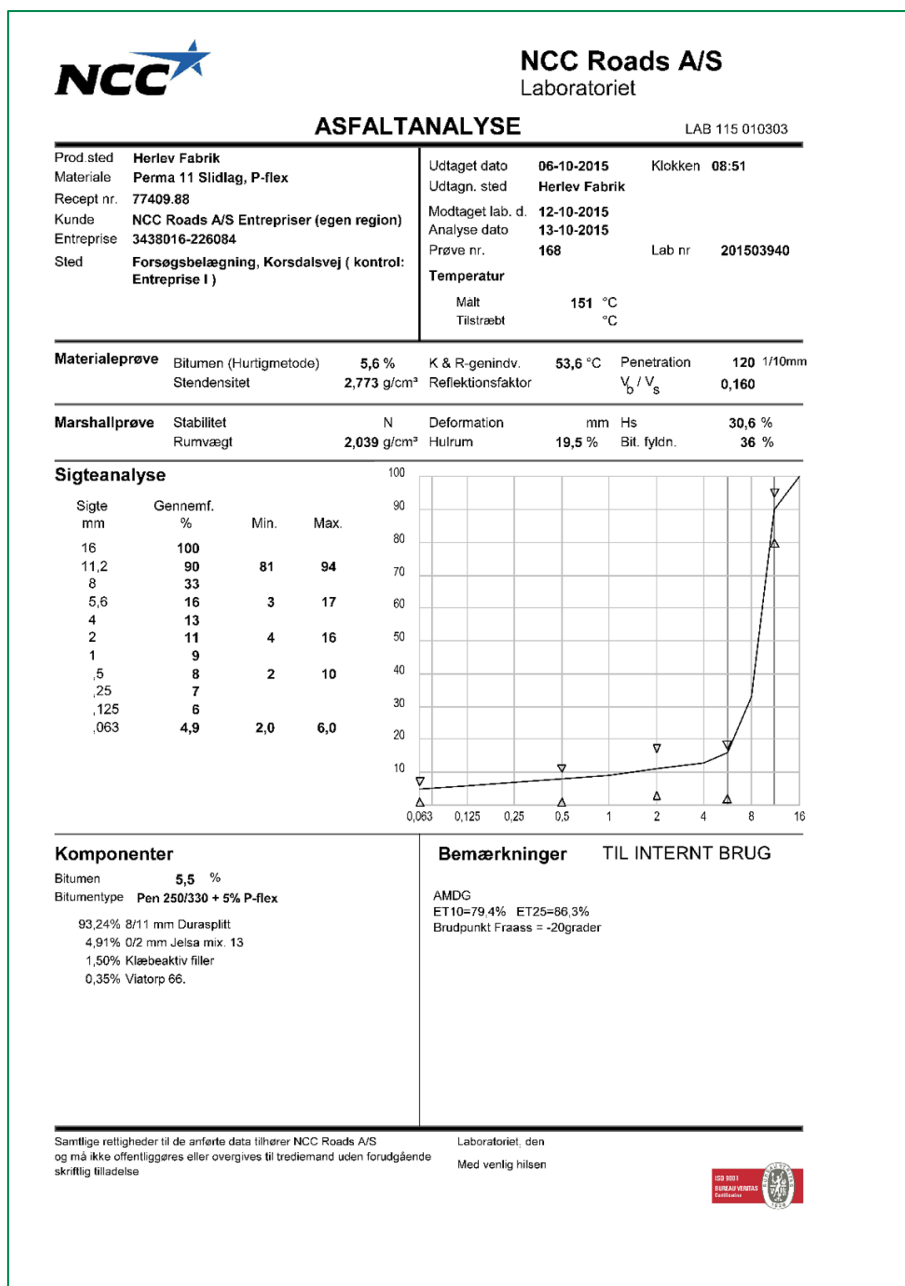


Figur 5.2-3: Våndskak-test for bedømmelse af forskellige filleres vedhæftningsevne. Testudfald t.v. og testrør t.h.

Den gennemførte forsøgsrække viste, at metoden ikke i tilstrækkelig grad tager højde for de forskellige anvendte fillertypers meget forskellige densiteter (og dermed volumen/vægt forhold og hulrum), men en forsigtig konklusion tyder på, at der opnås bedst klæbeforbedrende effekt ved tilsætning af cement, som også er den i dette projekts forsøgsrækkes hidtil anvendte klæbeaktive filler. Der ses således ingen behov for at foretage ændret valg af klæbeaktiv filler. I øvrigt ses (ikke overraskende), at modificering af bitumen forstærker belægningens udvaskningsmodstand.

5.4 Fuldskalaforsøg på Korsdalsvej

Af hensyn til den samlede historik for produktudviklingen er de gennemførte laborietest fra fuldskalastrækningen indsat i dette afsnit. Fuldskalastrækningens placering m.v. er derimod omtalt særskilt i afsnit 6. De indledende laborietests (sporkøringstests og ARTe) indikerer som tidligere anført en mulig relativt lav deformationsmodstand for drænasfalten. I virkelighedens verden har fuldskalaforsøget på Korsdalsvej dog efter mere end et års relativt tung trafikpåvirkning udvist fin holdbarhed og god stabilitet over for den middelhårde trafikbelastning, som også omfatter en hel del bus- og lastbiltrafik. Dette endda til trods for at fuldskalaforsøget faktisk er gennemført med et endnu blødere bindemiddel end de i laborietestene anvendte.



Figur 5.4-1: Analysedata fra fuldskalastrækningen på Korsdalsvej i Rødovre, oktober 2015. Der er ved denne produktion anvendt 8/11 mm Durasplitt skærver (vurderes ikke signifikant ændring) samt blød bitumen 250/330 + 5 % P-Flex, som er blødere end de i de efterfølgende laborieforsøg anvendte bindemidler.

Af hensyn til at sikre udlægningsarbejdets gennemførelse under gunstige vejrforhold var det nødvendigt at foretage udlægningen allerede primo oktober 2015, hvor laboratorieoptimeringen af recepten endnu ikke var færdiggjort – derfor det bløde bindemiddelvalg.

Den på fuldskalastrækningen anvendte asfaltrecept er derfor en anelse blødere end de efterfølgende laboratorieoptimerede blandinger, men udviser trods dette ingen signifikant sporkøring. Noget kunne derfor tyde på, at de anvendte laboratorietestmetoder ikke er ideelle til bedømmelse af drænasfaltbelægninger, som "på vejen" får sin væsentligste styrke fra skærvematerialets "skulder-ved-skulder" låsning, hvilket ikke helt kan genskabes i de i laboratoriet nedskalerede sporkøringstests eller ARTe-vrid-forsøg.

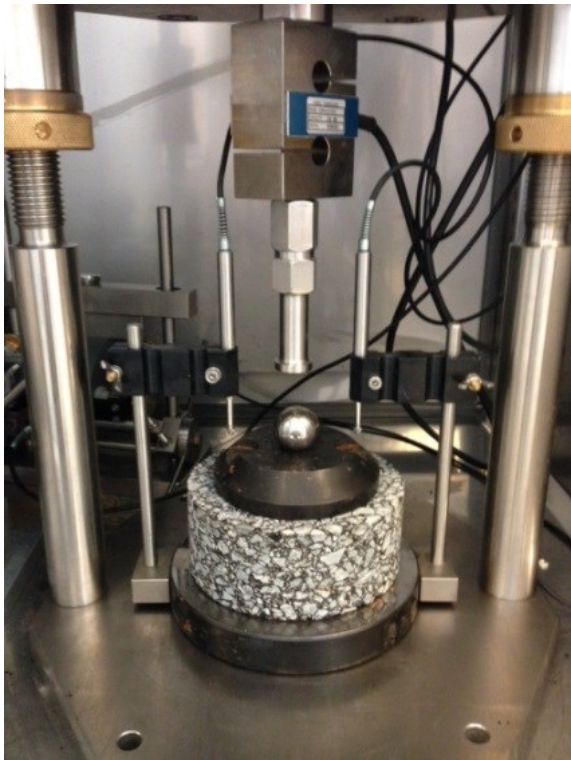
Der er fra fuldskalaproduktionen opnået et Marshall-hulrum på lige knap 20 %, hvilket er lidt mindre end de oprindeligt tilsigtede 25 %. Den elastiske tilbagegang er med et niveau på knap 80 % meget tilfredsstillende. På vejen har belægningen et ensartet, homogent udseende, som visuelt bedømt har den ønskede overfladestruktur. For flere detaljer om fuldskalastrækningen henvises til efterfølgende afsnit 6.



Figur 5.4-2: Trods hyppig bustrafik på fuldskala-forsøgsstrækningen på Korsdalsvej i Rødovre, ses ingen signifikant sporkøring eller instabilitet.

5.5 Supplerende bestemmelse af deformationsmodstand ved dynamisk krybning

Som nævnt under afsnit 5.3.1, udviste de gennemførte sporkøringstests ikke så stor resistens som forventet. Det blev derfor besluttet at supplere med laboratorietests, gennemført ved dynamisk krybetest med Nottingham Asphalt Tester (NAT), hvor der benyttes den såkaldte "Donut-metode", hvor der for opnåelse af en vis sidestøtte anvendes et Ø150 mm cylindrisk legeme, som belastes med en mindre Ø100 mm belastningsplade (jf. CEN-standarden EN 12697-25 Method A).



Figur 5.5-1: Dynamisk krybetest med Nottingham Asphalt Tester. Prøvelegemet udsættes for dynamisk, pulserende belastning, som simulerer trafikpåvirkningen ved hyppigt passerende bilhjul.

Det blev samtidigt besluttet at udvide testprogrammet yderligere, så der også blev testet en variant med hårdere bitumen 70/100 + 5 % P-Flex, samt endnu en variant af samme, hvor der tillige forsøgsvis blev tilsat 3 % ekstra kalkfiller, som ekstra "mørtel-forstivning". Resultaterne fremgår af efterfølgende tabel 5.5-1.

De gennemførte tests viste stabilitetsresultater (creep rate på ca. 0,3 – 0,5 microstrain/cycle for de polymermodificerede varianter) på niveau med traditionelle slidlag (AB 11t og SMA 11 ligger typisk på samme niveau) og antyder dermed, at der ved optimering af drænasfaltbelægninger måske skal tages udgangspunkt i lidt andre testmetoder, end hvad der normalt benyttes for de traditionelle asfalttyper, så ikke materialestabiliteten fejlagtigt "over-optimeres" på bekostning af levetiden/holdbarheden.

Det bedste resultat blev opnået med Nybit SBS-polymer varianten (første kolonne i tabel), men også varianten med bitumen 70/100 + 5 % P-Flex gav meget tilfredsstillende værdier. Ved yderligere tilsætning af 3 % ekstra kalkfiller kunne varianten med bitumen 70/100 + 5 % P-Flex (sidste kolonne i tabel) bringes til at give næsten identisk deformationsmodstand som Nybit-varianten, hvilket dog samtidigt resulterede i et ca. 3 % lavere hulrum. Nybit-varianten er således fortsat mest ideel, om end varianten med 70/100 + 5 % P-Flex også giver fornuftige data.

Klimavejen: Blandinger til Dynamisk Krybetest	25 % hulrum (Tilstræbt)				
	8 % SBS i blød bitumen (Nybit 250 PM)	5 % P-flex i 160/220	Standard 70/100	5 % P-flex i 70/100	5 % P-flex i 70/100 (tilsat 3% ekstra kalk i forhold til bl. 28)
Laboratorie nr.	201600360	201600361	201600362	201600363	201600364
Blanding	25	26	27	28	29
Bitumen %(teoretisk)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Bitumen %(aktuel)- Forbrænding	5,0	4,9	5,3	5,2	5,1
Marshall Densitet (g/cm ³)	1,986	1,985	1,978	1,992	2,065
Stendensitet	2,774	2,773	2,777	2,769	2,768
Bitumendensitet (g/cm ³)	1,020				
Hulrum (%)	22,3	22,4	22,3	21,6	18,9
Gennemfald					
11,2 mm	92	90	89	92	92
8 mm	28	26	28	30	30
5,6 mm	14	13	15	15	17
2 mm	11	10	12	12	14
0,5 mm	9	8	9	9	11
0,063 mm	5,5	4,9	6,0	5,5	6,7
Dynamisk krybetest (gennemsnit af 2 kerner)					
Creep Rate (fc, microstrain/cycle)	0,29	0,48	0,58	0,40	0,31
Permanent deformation after 3600 pulses (mm)	0,39	0,58	0,67	0,60	0,31
Axial strain after 3600 pulses (%)	0,64	0,95	1,10	1,00	0,50

Tabel 5.5-1: Resultater af dynamisk krybetest (NAT) på diverse receptvarianter, Den mest interessante parameter er materialets tendens til fortsat deformation ("creep rate").

5.6 Delkonklusion for de gennemførte laboratorieforsøg

Valg af en ideel belægningssammensætning for den multifunktionelle drænasfalt indebærer et kompromis imellem støjreduktion (god støjreduktion kræver stort hulrum men lille maksimal kornstørrelse), drænkapacitet (stor porediameter opnås med stor maksimal kornstørrelse) og holdbarhed (et relativt højt indhold af bitumen sikrer levetid bedst, men kan reducere det opnåede hulrum). Ud fra den i dette projekt gennemførte forsøgsrække kan følgende konkluderes:

- Det mest ideelle valg vurderes at være en drænasfalt type 11, idet:
 - En større stenstørrelse (f.eks. 16 mm) erfaringsmæssigt giver dårligere støjegenskaber
 - En mindre stenstørrelse (5,6 eller 8 mm) giver mindre porediameter i materialet, som derved nemmere stopper til og vurderes sværere at oprense.
- En kornkurve med 5 % stenmel giver optimale drænegenskaber og bidrager samtidig til materiale- og mørtelstabilitet.
- Marshall mix design viser, at der ved anvendelse af ovennævnte kornkurve (materiale-sammensætning) og et relativt højt bindemiddelindhold på 5,5 % opnås 20 – 25 % hulrum. Der er således valgt et bindemiddel-indhold, som prioriterer opnåelse af lang levetid.

- Det er væsentligt at der anvendes et polymermodificeret bindemiddel – både af hensyn til stabilitet og af hensyn til at tillade et højt bindemiddelindhold (og dermed langtidsholdbarhed). Anvendelse af højmodificeret blød bitumen (Nybit 250 med 8 % SBS) udviste de bedste materialeegenskaber:
 - Forbedret deformationsmodstand
 - Bedre slidegenskaber
 - Bedre fleksibilitet og kuldeegenskaber (mindre risiko for revnedannelser)
- Sporkøringsforsøgene viser begrænset modstand mod sporkøring, hvorimod den dynamiske krybetest viser tilfredsstillende resultater på niveau med standard asfalttyper. Den udførte prøvestrækning viser ingen tegn på sporkøring, på trods af anvendelse af et endnu blødere bindemiddel end anvendt i sporkøringsforsøgene.
- ARTE-forsøgene, som simulerer modstand mod vridpåvirkning, er påvirket af det høje bindemiddelindhold og klæbende polymerer, men der opnås de bedste resultater på varianten med in-situ modificeret bitumen.
- Stivhedsmodulerne på testede drænasfalttyper er ca. 2/3 af værdierne på tilsvarende standard asfalttyper med samme bindemiddel. Dette betyder, at der for opnåelse af samme bæreevne skal udlægges lidt tykkere asfaltlag. Den øgede lagtykkelse vil afhænge af den aktuelle trafikbelastning.
- Spaltetrækforsøgene viser, at begge varianter med modificeret bitumen opnår et tilfredsstillende niveau for vedhæftning, bedst med højmodificeret bitumen.
- Våndskakforsøg indikerer, at der opnås den bedste mørtelstyrke (vedhæftning) ved anvendelse af cement som vedhæftningsmiddel.

På baggrund af den gennemførte forsøgsrække konkluderes, at en ideel drænasfalt til klima-veje er en belægning med:

- 11 mm maksimal Kornstørrelse, 5 % stenmel og 1,5 % cement som klæbeaktiv filler.
- et hulrum i intervallet 20 – 25 %.
- Højmodificeret, blød SBS bitumen.

5.7 Referencer, asfaltudvikling

[L.5.1-1] "Tyre/noise reference book", Ulf Sandberg & Jerzy A. Ejsmont, Informex, 2002, ISBN 91-631-2610-9

[L.5.1-2] Vejdirektoratets rapport nr. 530: "Undersøgelser af drænasfalt som støjreducerende slidlag", Hans Bendtsen, 2015.

[L.5.1-3] "Permeable Belægninger", Vejledningsnotat, Vejdirektoratet, 2015,

[L.5.1-4] "Øster Søgade" – 8 år med 2-lags drænasfalt, Jørn Raaberg og Annette Neidel, Vejdirektoratet, Rapport 168, 2009

[L.5.1-5] "Drænasfaltens anden ungdom – Det nye toplag på Øster Søgade", Lykke Møller Iversen og Hans Bendtsen, Vejdirektoratet, Trafik & Veje april 2011,

[L.5.1-6] "Støjreducerende drænasfalt", Michael Rasmussen og Ole Grann Andersson, Dansk Vejtidskrift, april 2006.

[L.5.1-7] "Quiet Asphalt – A tire/pavement noise symposium" Purdue University, Indiana, USA, 2005

[L.5.1-8] "Pervious pavement testing methods. State-of-the-Art and laboratory and field guideline for performance assessment", H. Kuosa, E. Niemeläinen & J. Korkealaakso, VTT, Finland, 2014.

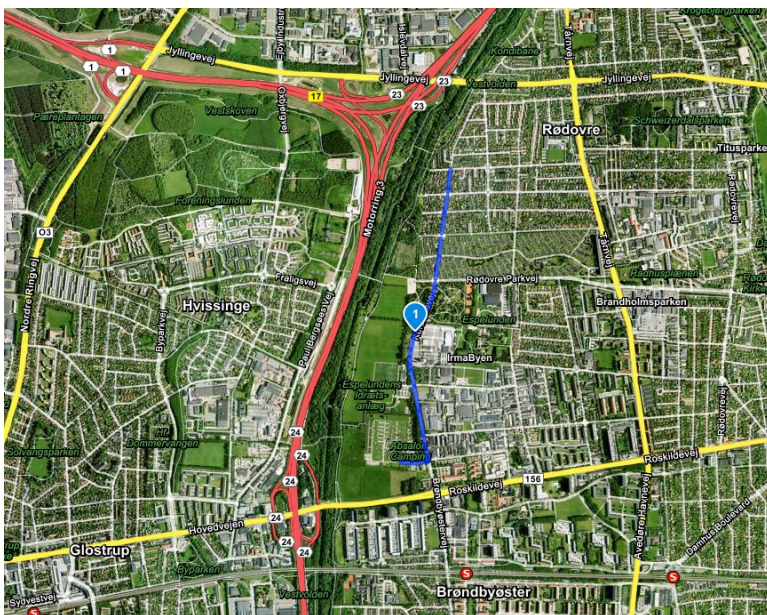
6. Forsøgsstrækningen på Korsdalsvej i Rødovre

Ved anvendelse af en multifunktionel KLIMAVEJ drænasfaltbelægning er der en lang række overfladeegenskaber, som ændres i forhold til traditionelle, tætte asfaltslidlag.

6.1 Teststrækningens placering

I forlængelse af den i afsnit 5 beskrevne produktudvikling blev det fundet essentielt for projektets udbytte, at der også kunne foretages evaluering af den udviklede belægnings egenskaber i skala 1:1 på en reel vejbelægning, hvor de opnåede overfladeegenskaber, herunder specielt de støjreducerende egenskaber, kunne bedømmes med de samme målebiler, som i praksis anvendes på det danske vejnet. Det blev derfor besluttet, at de i projektet oprindeligt planlagte små mock-ups skulle erstattes af en egentlig fuldskala forsøgsstrækning.

For at kunne udføre en til formålet egnet teststrækning skulle der indledningsvis findes en væsentligt trafikeret vejstrækning (men ikke så meget at jævnlige efterfølgende visuelle vurderinger og målinger var umuliggjort). Der skulle kunne tillades udlægning af et testfelt på minimum ca. 50 meters længde (minimum for at kunne foretage CPX-støjmålinger med special måletrailer, her Vejdirektoratets "Decibella"). Der skulle endvidere være et tæt asfaltunderlag, nogenlunde retlinet forløb, helst uden store bygninger tæt på (af hensyn til støjmåling), kantsten langs vejsider, uden væsentlige længdeprofilmæssige stigninger/fald, uden væsentlige sideveje eller indkørsler, uden lysreguleringer og kryds, og med en placering, der kunne sikre tilstrækkelige accelerationsbaner i begge enders forlængelse, til brug for de anvendte målekøretøjer. Rødovre Kommune, som er en af projektets partnere, fandt en sådan egnet strækning på Korsdalsvej i Rødovre. Placeringen fremgår af nedenstående kort.



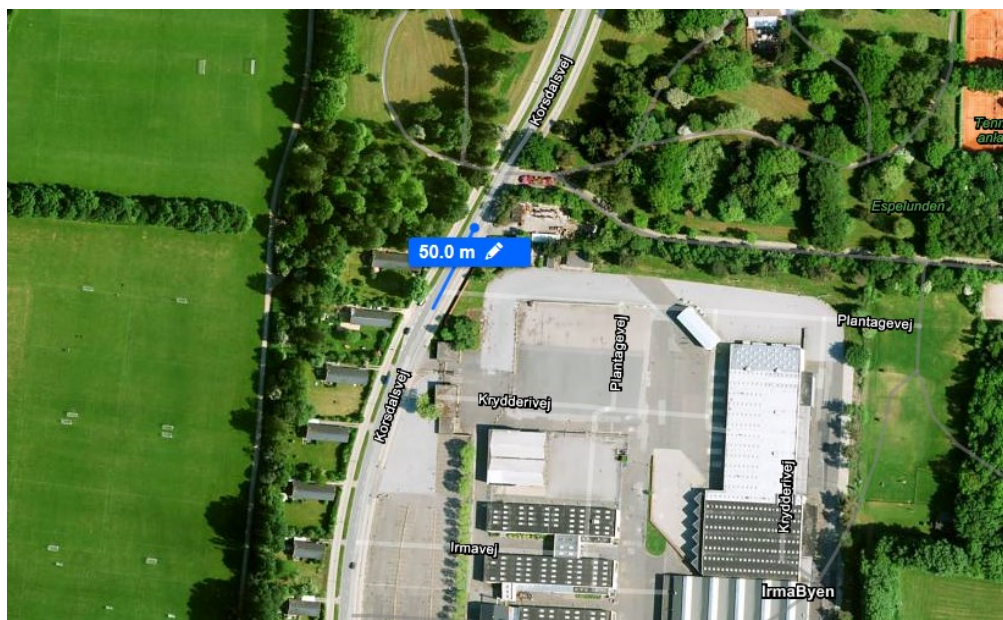
Figur 6.1-1: Fuldskala forsøgsstrækningen blev etableret på Korsdalsvej i Rødovre, ud for "IrmaByen"

Målested 01101502 nr 88
 Bestyrer 175 Rødovre
 Vej 1750468-0 Korsdalsvej
 Lokalitet 1/95 Rødovre
 RetningSpør T Total trafik
 Køretøjsart
 Periode 01.10-14.10.2015 (metro_m_ek)
 Kommentar

Resultater for	År
Årsdøgn	5.562
Julidøgn	4.674
Hverdagsdøgn	6.441
Æ10høj	185
Æ10lav	105
Talte dage	11,2
Trafiktype	Bolig-arbejdssted

Køretøjsart	Kun fuldt talte dage indgår																	
	Hverdage (pr. døgn)			Lørdage (pr. døgn)			Søndage (pr. døgn)			Helligdage (pr. døgn)			Ugedøgn (5*hvd+lør+søn)/7					
	Døgn 6	antal	% akk.%	Døgn 1	antal	% akk.%	Døgn 1	antal	% akk.%	Døgn 2	antal	% akk.%	Døgn 2	antal	% akk.%			
Person- og varebiler	5.774	87	87	5.318	93	93	4.254	94	94	2.346	93	93	5.492	88	88			
Lastbil 2akslet	557	8	95	175	4	97	116	2	96	72	3	96	439	8	96			
Lastbil 3akslet	18	0	95	3	0	97	1	0	96	4	0	96	13	0	96			
Lastbil 4akslet	3	1	96	1	0	97	0	0	96	0	0	96	2	0	96			
Lastvognstog 2/1-3	23	0	96	7	0	97	2	0	96	4	0	96	18	0	96			
Lastvognstog 3/2-3	0	0	96	0	0	97	0	0	96	0	0	96	0	0	96			
Sættevogn 2/1	2	0	96	4	0	97	7	1	97	1	0	96	3	0	96			
Sættevogn 2/2	2	0	96	3	0	97	1	0	97	0	0	96	2	0	96			
Sættevogn 2/3	3	0	96	0	0	97	0	0	97	0	0	96	2	0	96			
Sættevogn 3/1-2	1	0	96	0	0	97	0	0	97	0	0	96	0	0	96			
Sættevogn 3/3	1	0	96	0	0	97	0	0	97	0	0	96	0	0	96			
Busser	126	2	98	98	2	99	95	2	99	52	2	98	117	2	98			
Andre køretøjer	140	2	100	83	1	100	59	1	100	42	2	100	120	2	100			
I alt antal	6.649			5.692			4.535			2.519			6.208					

Tabel 6.1-2: Trafikbelastning på strækningen, optalt oktober 2015. ADT udgør 5.562, men der forekommer på hverdage ikke mindre end 126 busser. Korsdalsvej ligger i byzone, men der er på delstrækninger tilladt 60 km/t.



Figur 6.1-2: Testfeltets placering på Korsdalsvej.

For at kunne opnå tilstrækkelig lang afprøvningstid til vurdering af den udviklede belægnings-types funktionsegenskaber i marken, inden den oprindeligt planlagte projektafslutning ultimo 2016, blev der allerede primo oktober 2015 gennemført en fuldskaudlægning på en knap 50 m lang og 7,5 m bred delstrækning af Korsdalsvej (ud for "IrmaByen").

Når der anvendes en åben drænasfalt, vil regnvandet hurtigt ledes ned til belægningsens bund, og derefter opstuve eller videre nedsive, hvis underlaget er åbent eller porøst. Da teststrækningen kun omhandlede udvikling og optimering af den multifunktionelle drænasfaltbelægning, blev det besluttet at udlægge drænasfalten oven på den eksisterende, tætgraderede asfaltbeton. Herved kunne samtidigt sikres fortsat uhindret afvanding fra den eksisterende belægning i begge tilslutningsender af teststrækningen, så følgearbejdet kunne minimeres. Der blev etableret ca. 4-5 m lange tilslutningsramper i begge ender med tætgraderet asfaltbeton, så målekøretøjer og almen trafik kunne passere strækningen uden opspring eller bump. Det må dog i

praksis konstateres, at de anvendte målekøretøjer (se efterfølgende afsnit 7) alle i et vist omfang blev påvirket af affjedrings-svingninger under passage af ramperne.



Figur 6.1-3: Testfelt med tilslutningsramper. Nedløbsristen i forgrunden er en "snydebrønd" med forbindelse til den bagvedliggende nedløbsbrønd, til sikring af afvanding i korrekt højde.

I vejstrækningens sydlige ende var der inden for teststrækningsarealet i hver vejside placeret nedløbsbrønde. Disse nedløbsriste blev hævet op i flugt med drænasfaltbelægningens overside, men med indborede drænhuller/slidser, som kunne tillade fri vandgennemstrømning fra drænasfaltens underside. For at sikre korrekt afvanding bag rampen blev det ved denne korte forsøgsstrækning valgt at forlænge de to brønde til en placering umiddelbart syd for teststrækningen, hvor der blev placeret to "snydebrønde" med forbindelse til de oprindelige brønde.

6.2 Testbelægningens udlægning

Det asfalmæssige udgangspunkt er her en DA 11 med 5 % stenmel og 1,5 % cement som klæbeaktiv filler. På dette tidspunkt var de laboratoriemæssige produktoptimeringsforsøg ikke endeligt afsluttet, idet vurderingen af de forskellige polymermodificerede bindemidler endnu udestod. Som bindemiddel blev på teststrækningens udførelsestidspunkt, af hensyn til at optimere levetidsegenskaberne, valgt en ret blød bitumen 250/330 med 5 % P-Flex (altså blødere end P-Flex varianten fra det efterfølgende laboratorieblandede mix-design). Trods dette bløde bindemiddel blev der opnået et fornuftigt Marshall-hulrum på ca. 20 %. Prøver udtaget af produktionen udviste alle fornuftige og forventelige egenskaber (opnåede laboratoriedata fremgår af foregående afsnit 5).



Figur 6.2-1: Udlægning af multifunktionel drænasfalt på Korsdalsvej i Rødovre 06-10-2015.



Figur 6.2-2: "Grøn" multifunktionel drænasfalt umiddelbart efter udlægningen. Bemærk den åbne porestruktur.



Figur 6.2-3: Multifunktionel Klimavej drænasfalt: Nydelig, plan og ensartet belægning med tydelig hulrumstruktur. Efter to ugers trafikpåvirkning samt vind og vejr er det initialt glinsende præg aftaget.



Figur 6.2-4: Efter 10 måneders trafikpåvirkning ser belægningen fortsat fin ud. De lidt lysere spor i køresporene skyldes ikke sporkøring eller "fedme", men er et udtryk for den begyndende afslidning af bitumenhinderne på toppen af stenene i overfladen – et fænomen, som er kendt fra alle asfaltslidlag, men som normalt forekommer noget tidligere end her, hvor der er anvendt en særlig robust polymermodificeret bitumensammensætning.

De opnåede overflademålinger på teststrækningen fremgår af efterfølgende afsnit 7.

6.3 Fremtidige vurderinger af belægningen

Det har efter forsøgsstrækningens udførelse og efterfølgende funktionsmålinger vist sig, at strækningen på grund af et igangsat byggeprojekt på den tilstødende "IrmaByen" grund både vil blive påvirket af byggetrafikken og desuden blev større delområder partielt opgravet (ultimo 2016) af hensyn til byggeprojektets kloak-/forsyningstilslutninger. Teststrækningen fremstår derfor i dag desværre som et større "patchwork" af lapper af varierende jævnhed, ligesom en

del af porerne er blevet fyldt med sand og jord. Det vil derfor desværre ikke være muligt at kunne følge teststrækningens udvikling efter dette projekts afslutning.



Figur 6.2-5: Teststrækningen er et godt eksempel på de problemer, som hurtigt kan opstå ved en ellers nøje planlagt forsøgsstrækning: På den gamle Irma-grund langs Korsdalsvej skulle bygges nye attraktive boliger. Allerede ultimo 2016, umiddelbart efter de sidste målinger i Klimavej-projektet var gennemført, blev teststrækningen udsat for omfattende opgravninger for forsyningsledninger. Endvidere opstod en del byggeplads trafikskrammer, ligesom belægningens porer i væsentligt omfang blev fyldt med fastkørt sand/jord fra byggepladsen. Det vurderes derfor desværre ikke realistisk at foretage fremtidige, opfølgende målinger (ud over dette projekt) på belægningen.

7. Overfladeegenskaber: Støj, regnvandshåndtering, friktion, tekstur, jævnhed etc.

Ved anvendelse af en multifunktionel KLIMAVEJ drænasfaltbelægning er der en lang række overfladeegenskaber, som ændres i forhold til traditionelle, tætte asfaltslidlag. Dette afsnit beskriver de konstaterede overfladeegenskaber fra den udførte teststrækning på Korsdalsvej i Rødovre. Blandt de målte parametre og egenskaber er støjreduktion og overfladetekstur, drænegenskaber (permeabilitet), rullemodstand, friktion og sikkerhed, stabilitet og jævnhed.

I forbindelse med gennemførelsen af MUDP-projektet "Klimavejen" er der, som nævnt i denne rapport's afsnit 6, som en del af projektet, udført en fuldskala testbelægning med den udviklede, multifunktionelle drænasfaltbelægning på en knap 50 m lang sektion af Korsdalsvej i Rødovre.

Efter belægningens udførelse er der foretaget en række målinger til bestemmelse og vurdering af bl.a.:

- Trafikstøj – undersøgelse af den multifunktionelle belægningens støjreducerende egenskaber
- Drænegenskaber – undersøgelse af belægningens permeabilitet og dræningsevne
- Rullemodstand – undersøgelse af belægningens rullemodstand og eventuelle potentiale for brændstof- og CO₂-besparelser
- Friktion og trafiksikkerhed – undersøgelse af den multifunktionelle belægningens friktions-egenskaber og trafiksikkerhed
- Sporkøring og stabilitet – undersøgelse af belægningens stabilitet overfor trafikens belastning over tid
- Jævnhed- undersøgelse af den aktuelt udførte testbelægningens jævnhed

De opnåede resultater fremgår af de efterfølgende delafsnit. En sammenfattende konklusion er indsat i afsnit 7.7.

7.1 Trafikstøj – støjreducerende egenskaber

Trafikstøjen skaber gener i tæt bebyggede områder og kan medføre stress og påvirke nærvæd boendes helbredstilstand, herunder øget forekomst af hjerte-/karsygdomme og dødelighed [L7.1-1]. Trafikstøjen kan dæmpes ved facadeisolering af bygninger (hvilket er ret kostbart), eller ved opsætning af støjvolde/-mure, men sådanne er der oftest ikke plads til i det urbane gadebillede. Et oplagt sted at påbegynde støjreduktionen synes at være ved indsats omkring selve støjilden, altså dæk/vej kontaktfladen. Der findes i dag bildæk, som er designet til at give lavere støjniveau end tidligere, men også vejbelægningens udformning spiller kraftigt ind på den genererede vejstøj. Det er derfor et vigtigt led i dette udviklingsprojekt at skabe et "grønt", multifunktionelt belægningkoncept, som reducerer vejstøjen ved kilden.

Vejtrafikens bidrag til støj består i det væsentlige dels af motorstøj, dels af dæk-/vejstøj. Sidstnævnte kan igen opdeles i en lavfrekvent rumlestøj, hvor dækket sættes i vibrationer af stenene vejoverfladen, dels af en luft-pumpe-støj, der igen kan opdeles i en "sluup" luft-suge-støj og en "psst" højfrekvent "hvislestøj", der opstår, når luften under dækket presses ud gennem belægningsoverfladen [L7.1-2]. For at reducere rumlestøjen mest muligt, skal der anvendes en finkornet belægning med stor jævnhed og små stentoppe i overfladen. For at undgå luftpumpeeffekt skal der til gengæld skabes en belægningsoverflade med så stor porøsitet, at der ikke kan opstå de høje luftpumpestryk i kontaktfladen, som skaber de generende højfrekvente lyde.

Erfaringer fra både Danmark og udlandet viser, at der opnås god støjreduktion med drænasfalt, hvis "æggebakkeagtige" overfladestruktur også virker støj dæmpende for motor- og udstødningsstøjen. Disse belægninger sænker den højfrekvente dæk-/vejstøj markant, men har typisk ringe dæmpende effekt på den lavfrekvente rumlestøj. Set i et gennemæssigt perspektiv er det dog typisk de "skærende", højfrekvente lyde, som af det menneskelige øre opfattes som mest generende, hvilket passer fint med dette projekts multifunktionelle drænasfaltbelægning. En drænasfalt med 6 eller 8 mm maksimalkornstørrelse ville givetvis kunne have øget den støjreducerende effekt (reduceret rumlestøjen), men da belægningen samtidigt skal have effektive regnvandsdrænende egenskaber er det vigtigt, at belægningens hulrums-porer ikke bliver for små. Valget er derfor faldet på en optimeret drænasfalt med 11 mm maksimalkornstørrelse.

Trafikstøj måles traditionelt ved såkaldt "SPB-måling" ("Statistical Pass-By"), hvor en mikrofon opstilles i vejsiden og måler støjen fra passerende biler over et givent tidsrum, hvorefter niveauet sammenlignes med en referenceværdi, svarende til et ca. 8 år gammelt slidlag. Alternativt har man igennem det seneste årti regelmæssigt foretaget målinger efter "CPX" metoden (Close Proximity), hvor der anvendes en speciel støj-måletrailer, som med påmonterede mikrofoner måler den støj, der udvikles ved dæk/vejkontakten. CPX-målinger er hurtigere og mere bekvemme at gennemføre og dermed også mindre kostbare, men resultatet er således kun et udtryk for den direkte genererede støj mellem dæk og vej og tager ikke hensyn til f.eks. motorstøj. Da støj i bygninger og omgivelser normalt relaterer til SPB-metoden, har man i Danmark valgt at omregne CPX-støjmålinger til korrelerende SPB-værdier.



Figur 7.1-0: Princip ved Statistical Pass-By støjmåling, hvor et antal forbigående bilers støjafgivelse opfanges af en mikrofon i en fast defineret placering i vejens yderside. SPB-metoden giver således et billede af den samlede trafikstøj – både motorstøj og dæk/vejstøj



Figur 7.1-1: Vejdirektoratets CPX støjmåletrailer "DeciBella" med mikrofoner placeret tæt op ad dækkene.

I forbindelse med den i projektet udførte forsøgsbelægning på Korsdalsvej i Rødovre er der to gange i projektføreløbet udført støjmåling. Begge målinger er udført som såkaldte CPX-målinger med Vejdirektoratets måletrailer "DeciBella". Støjmåling skal altid udføres på ren og tør vej (uden vand i vejens porehulrum) og bør derfor normalt ikke udføres om vinteren. Første gang der blev målt på Korsdalsvej, blev der dog af hensyn til det forestående vintervejr udført orienterende målinger på en tørvejrsgang den 10. november 2015, altså knap en måned efter asfaltarbejdets afslutning. Disse målinger blev derfor gennemført inden trafikken havde nået at tilslide bitumenhinderne i belægningstoppen, og skal derfor kun betragtes som skønsmæssigt vejledende målinger, da de givne forhold på måletidspunktet ikke følger anbefalingerne for støjmålinger i Vejdirektoratets "SRS-system" for Støj-Reducerende Slidlag. Målingerne blev derfor gentaget i sommervejr den 12. august 2016. Samtidig med disse støjmålinger blev der desuden udført teksturmålinger i hvert hjulspor, så overfladens "hulrumsdybde" til sammenligning kunne vurderes.

I det efterfølgende beskrives de udførte målinger, hvordan belægningen bedømmes efter det danske SRS system for støjreducerende slidlag, hvilke udfordringer der er med bedømmelse af porøse belægninger med CPX metoden, samt hvad der kan udledes af teksturmålingerne.

7.1.1 CPX-målinger - målebetingelser

Målingerne på klimavejen er udført efter CPX (Close Proximity) [L7.1-3] metoden med Vejdirektoratets CPX-trailer "DeciBella", og data er korrigeret for temperatur, hårdhed af referencedækkene og måletrailerkonstant.



Figur 7.1-2: Nærbillede af mikrofonplacering på anvendte "DeciBella" støjmåletrailer efter CPX-metoden.

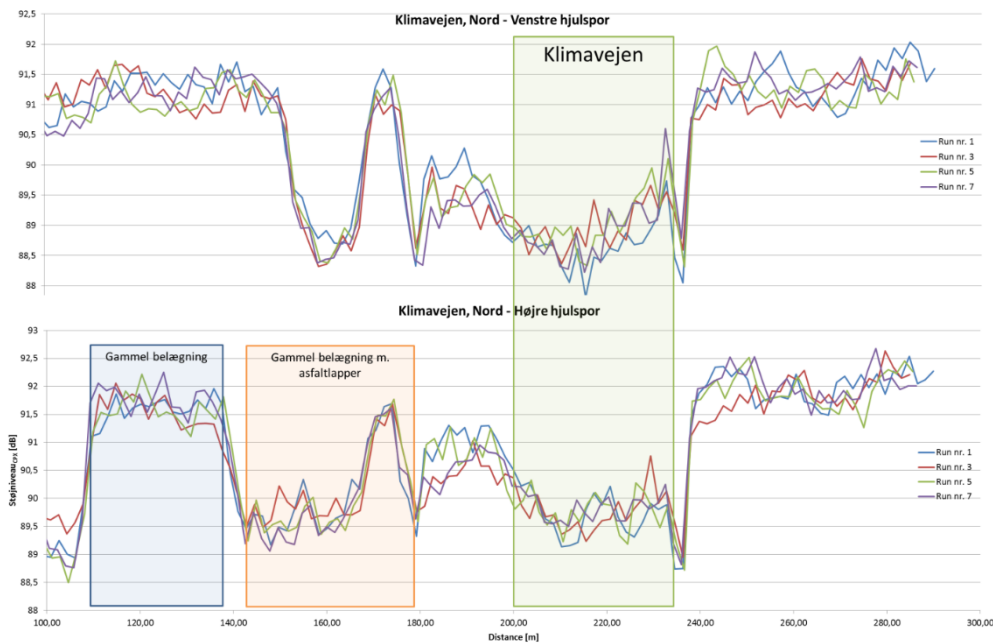
Målemetoden opdeler vejstrækninger i segmenter á 20 m. Den teoretiske minimumslængde for en målestrækning er således 20 m, plus indkøringsstrækning. For at have et tilstrækkeligt statistisk grundlag anbefales normalt, at målestrækninger er længere end 100 m. Teststrækningen på Korsdalsvej er dermed lidt vanskelig at måle, idet den kun er ca. 50 m lang. Specielt ramperne exciterer dækkene, og skaber vibrationer i måletraileren, hvilket giver en øget usikkerhed på målingerne. De opnåede støjreduktionsværdier kan således betragtes som ret konservative, idet en længere målestrækning givetvis ville have reduceret "randzonepåvirkningerne". De opnåede data skal derfor ses i dette lys.

På efterfølgende figur 7.1-3 ses støjniveauerne af de forskellige belægninger på Korsdalsvej. Der ses tydeligt, at den porøse testbelægning (Klimavejen) har en markant støjreducerende egenskab, sammenlignet med den eksisterende belægning.

Der blev foretaget 4 gennemkørsler i begge retninger, ved hastigheden 50 km/h, og måleresultaterne er et gennemsnit af disse. I tabel 7.1-1 ses temperaturinformationer, dækdata og anvendte trailerkonstanter for måleudstyret ifm. målingerne fra 2016:

Måledato	Temperatur (°C)	Måledæk			Trailerkonstant ved 50 km/h [dB]
		Betegnelse	Dækhardhed [Shore A]	Kørt inden måling [km]	
2016.08.12	22,4	SRTT15R/L	65	1988	0,5

Tabel 7.1-1: Data for temperatur, måledæk og trailerens korrektionskonstant i forbindelse med målingerne.



Figur 7.1-3: Rå CPX data for 4 kørsler på Korsdalsvej. Øverst: venstre hjulspor; Nederst: højre hjulspor. Placering af Klimavej-belægningen, den ældre oprindelige belægning, samt gammel belægning med nyere asfalt-reparationer er markeret. (Området med nyere lapper har tilsyneladende et relativt lavt støjniveau grundet anvendelse af en finkornet asfalt, som dog er tæt og ikke har drænegenskaber).

7.1.2 Måleresultater - støjmålinger

I tabel 7.1-2 ses de målte CPX støjniveauer på Klimavejen. Det fremgår desuden af tabellen hvordan CPX støj-reduktionen bedømmes ift. referenceværdien i SRS-vejreglen.

Målt støj (CPX dB _A)	Nord		Syd	
	CPX _{kor}	CPX reduktion	CPX _{kor}	CPX reduktion
2016	90,2	2,8	90,0	3,0

Tabel 7.1-2: Målt CPX-støjniveau ved 50 km/h og CPX støjreduktion ift. SRS-systemets CPX-reference. Det skal for god ordens skyld bemærkes, at der også indledningsvis blev gennemført støjmålinger i 2015, men at disse a.h.t. ugunstigt måletidspunkt lige umiddelbart efter udlægningen ikke er medtaget i denne rapport. Målingerne fra august 2016 følger derimod SRS-systemets anvisninger, men er et udtryk for støjreduktion næsten et helt år efter udførelsen – inklusive påvirkninger fra den første vinters sneerydning og det første års indledende vejsnavs. Det må derfor forventes, at belægningen inden den første vinter givet vis udviste et lidt højere støjdempningsniveau. Se dog også efterfølgende afsnit om omregning til gældende SPB-værdier.

Vedrørende bedømmelse af støjreduktioner skal det som tidligere anført bemærkes, at CPX-målinger kun bedømmer det direkte bidrag fra dæk/vej støjen ved støj-kilden. I Danmark betragtes normalt støjreduktionsværdier omregnet ift. målemetoden SPB (Statistical Pass-By) [L.7.1-4], hvilket er målinger der foretages med mikrofoner opstillet i vejsiden og derved repræsenterer den støj, som vejens naboer reelt oplever. SPB reduktionen beregnes dog ofte ved at foretage en måling med CPX metoden, for så efterfølgende at omregne til SPB-værdi (jf. vejledning for 2.G støjreducerende slidlag "SRS"). Sammenhængen mellem SPB og CPX er dog fundet for tætte belægninger, hvor der ikke sker nogen støjreduktion når lyden udbreder sig henover en belægning, hvilket der sker for porøse drænasfalt belægninger. I Vejdirektoratets forsøg på Østersøgade [L.7.1-5] har SPB værdierne for drænasfalterne været i størrelsesordenen 1-1,5 dB lavere end den generelle sammenhæng mellem SPB- og CPX-målinger, hvorfor man kan formode, at de støjreducerende egenskaber af Klimavejes-drænasfalten reelt ville være ca. 1-

1,5 dB bedre ved en direkte SPB-måling end ud fra den beregnede værdi SPBCPX.

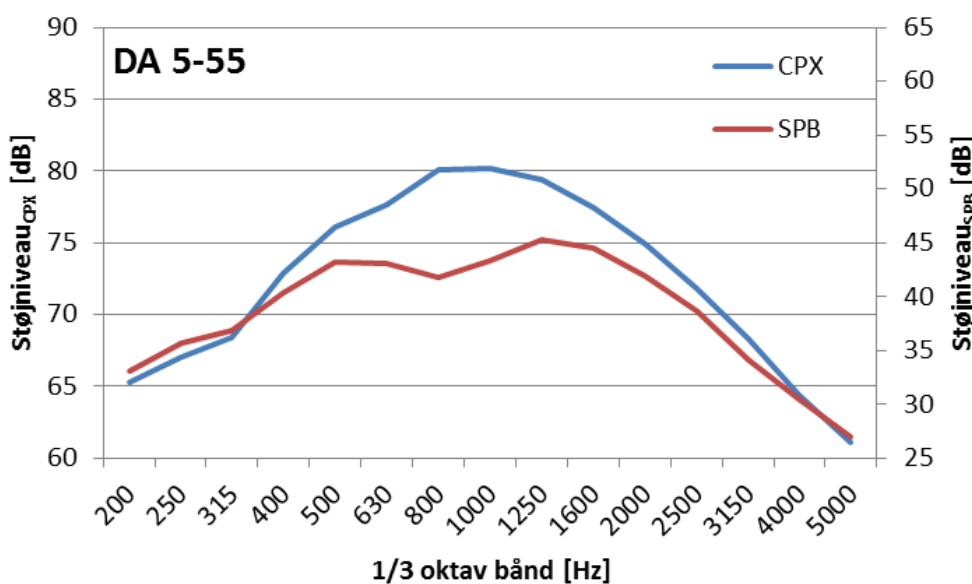
Nogle af forskellene i måleresultater fra CPX og SPB målinger på drænasfalt er illustreret i næste afsnit. I tabel 7.1-3 er de beregnede og korrigerede SPB værdier vist. Den beregnede støjreduktion for 2016-målingerne er ca. 3 dB, men da der er tale om en drænasfalt med stor porestruktur, kan det formodes, at den faktiske SPB støjreduktion er i størrelsesordenen ca. 4 dB.

Omregnet støjværdi dB _A	Nord		Syd			
	År	SPB _{CPX}	SPB reduktion	SPB reduktion + (1,0-1,5) dB	SPB _{CPX}	SPB reduktion
2016	69,4	2,6	3,6-4,1	69,2	2,8	3,8-4,3

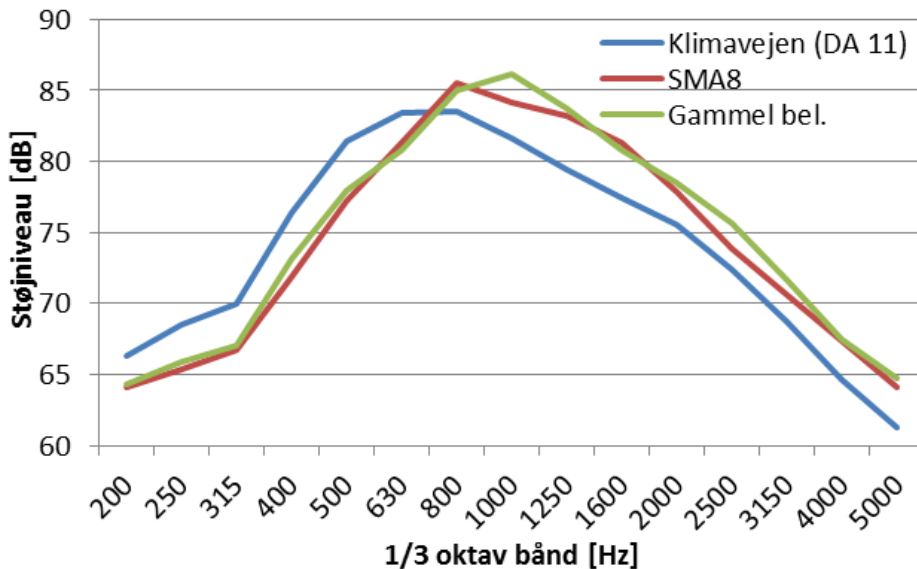
Tabel 7.1-3: Beregnede SPB værdier og SPB reduktioner ved omregning fra målt CPX-støj, samt formodede reelle støjreduktioner, som de ville fremstå, hvis der havde været målt direkte med SPB-metoden (reference-metode).

7.1.3 CPX og SPB målinger på drænasfalt

På figur 7.1-4 illustreres et eksempel på, hvordan SPB og CPX støjspektre fra den samme drænasfalt afviger fra hinanden. CPX metoden måler kun rullestøjen fra dækkene, mens SPB metoden måler en kombination af rullestøj fra dækkene, samt støj fra bilens motor og udstødning. Ved SPB metoden vil måleresultatet desuden også være påvirket af lydets udbredelse henover vejen, hvilket for porøse belægninger har en støjreducerende effekt. (Det skal i øvrigt bemærkes, at de to viste spektre (CPX og SPB) pga. de to forskellige målemetoder har forskellige støjniveauer, og derfor er illustreret på hver sin akse).



Figur 7.1-4: Støjspektre fra CPX og SPB måling for en finkornet drænasfalt (DA 5-55, maksimal stenstørrelse 5 mm, tykkelse 55 mm) på Østersøgade [L7.1-5]



Figur 7.1-5: CPX støjspektre for nordgående retning af klimavejen (DA 11) og gammel belægning fra Korsdalsvej (fra Figur 7.1-1). Erfaringsdata fra en SMA 8 er til sammenligning indsat som reference. Bemærk Klimavejs-drænasfaltens markante støjreduktion omkring (og over) 1000 Hz, hvor det menneskelige øre har størst følsomhed.

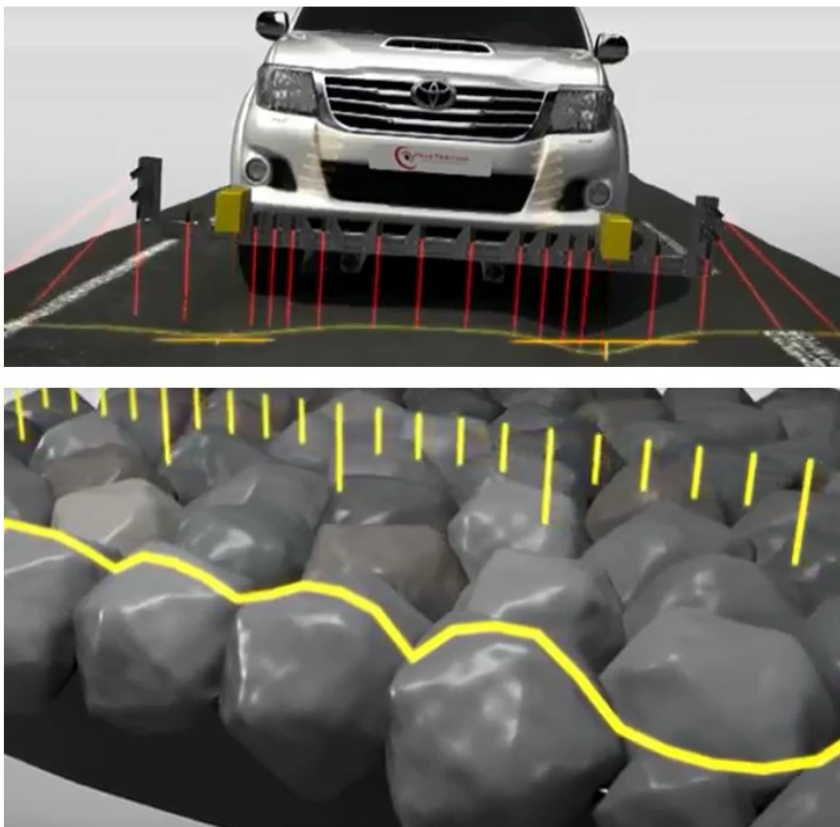
På Figur 7.1-5 ses støjspektret fra målingerne på Klimavejen, samt den gamle belægning på Korsdalsvej fra figur 7.1-1. Til sammenligning er støjspektret fra en ny SMA 8 indsat. Det ses tydeligt, at spektrene fra den gamle belægning og SMA 8 er meget lig hinanden. Klimavejen og de to spektre krydser hinanden ved ca. 800 Hz.

I det lavfrekvente område under 800 Hz udviser DA 11 på Klimavejen lidt højere støjniveau end SMA 8, altså lidt mere "rumlestøj". Dette skyldes den større stenstørrelse (11 mm sten imod de traditionelle belægnings 8 mm) og den lidt mere ujævne overfladetekstur (pga. den korte teststrækning), som genererer flere vibrationer i dækket (er givetvis påvirket af randzoneeffekten fra ramperne).

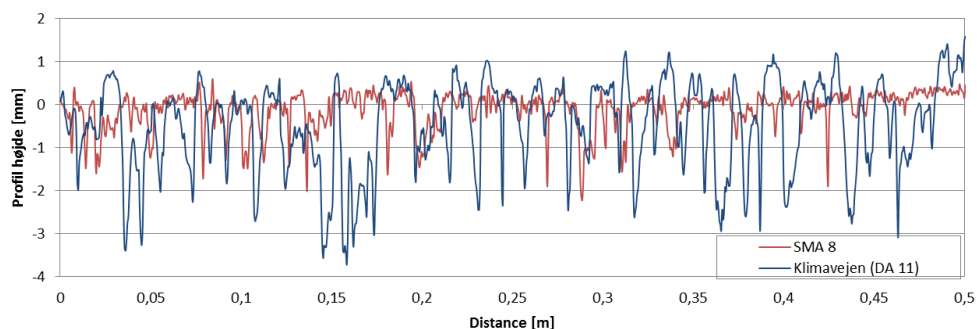
I området over 800 Hz har DA 11 Klimavejsbelægningen markant lavere støjniveau end SMA 8 og den gamle referencebelægning, altså mindre "susen" og "hvislestøj". Dette skyldes den porøse struktur, hvor en del af støjen absorberes i lufthullerne i belægningen ("æggebakkeeffekt"). Samtidig er den porøse overfladetekstur med til at skabe væsentligt mindre luftpumpestøj fra belægningen.

7.1.4 Støjreduktion underbygges af teksturmålinger

Sammen med CPX målingerne af belægningen er der af Vejdirektoratet supplerende udført teksturmålinger i hjulsporene, til illustration af vejbelægningens "hulrumsdybde". Som beskrevet i ISO 13473-1 er der store usikkerheder forbundet med at måle teksturprofilen af en drænasfaltbelægnings porøse overflade, og de typiske teksturparametre som MPD (Mean Profile Depth - gennemsnitlig teksturdybde, eller overfladehulrums-dybde) og tekstur spektre kan derfor ikke anvendes på denne type belægnings. Teksturmålingerne kan dog anvendes til sammenligning af overfladeteksturen med andre belægnings. På figur 7.1-5 ses 0,5 m af Klimavejens teksturprofil. Til sammenligning er en ny SMA 8 indsat som reference. På profilet ses den porøse overflade af DA 11 belægningen tydeligt, med markant dybere hulrumspor i overfladen. Det ses ligeledes hvordan SMA 8 belægningen er mere "flad" end DA 11, hvor enkelte sten "peger op" fra overfladen. Disse enkelte sten vil excitere dækkene og medvirke til den øgede rumlestøj.



Figur 7.1-6: Princip for teksturmåling med laserbaseret profilograf [L7.1-6]. Samtidigt med støjmålingerne er der foretaget bestemmelse af overfladestrukturdybden, altså et udtryk for overfladens hulrumsdybde. Denne måling er på Klimavejen foretaget med Vejdirektoratets Profilograf, som har 25 lasere monteret under en 2,5 meter bred tværbjælke foran på vognen. Måleprincippet for profilografmåling fremgår af ovenstående figur. Øverst ses den lasermonterede målebæjle og nederst et forstørret udsnit af en lasers bevægelse hen over belægningsoverfladen under kørslen. Ud fra lasermålingerne kan optegnes et nøjagtigt profilforløb. Målingen foregår ved trafikens hastighed. Vejdirektoratets profilograf måler præcist ved almindelige kørsels-hastigheder og registrerer objektivt vejens overfladeprofil.



Figur 7.1-7: Rå teksturprofil af 0,5 m længdesektion af Klimavejen. En ny SMA 8 er indsat som reference. Klimavejs-drænasfalten har tydeligt større hulrumsdybde, som medvirker til de støjreducerende og drænen-de egenskaber.

Teksturforholdene på en belægning bliver normalt benyttet som en indikation for de funktionelle egenskaber, så som støj, friktion etc. For teststrækningen ligger MPD (Mean Profile Depth – den gennemsnitlige overflade-hulrumsdybde) på omkring 1,5 mm, hvis man ser bort fra de først og sidste 10 meter af strækningen, som består af tilkørselsramperne til selve testbelægningen. Teksturmålingerne viser således et højt MPD-tal, sammenlignet med traditionelle slidlagstypers MPD-tal på godt det halve.

7.1.5 Konklusion om vejstøj

De gennemførte støjmålinger viser en forventelig SPB-støjreduktion i størrelsesorden omkring 4 dB(A), set i forhold til SRS-systemets generelle referenceværdi for en ældre, tætgraderet belægning. Dette dokumenterer, sammen med det ændrede støjfrekvensforløb, der "klipper toppen" af de generende, højfrekvente hvislelyde, at den udviklede multifunktionelle drænasfalttype har tydeligt støjreducerende egenskaber.

Det skal desuden bemærkes, at støjmålestrækningen på Korsdalsvej på grund af det korte forsøgsfelt er forbundet med betydelig usikkerhed i form af formodede støjillæg fra ramper og mindre jævnhed end opnåeligt på en længere, reel slidagsstrækning. Det opnåede støjreduktionsniveau må derfor opfattes som et konservativt bud på den reelt opnåelige støjreducerende effekt med Klimavejsbelægningen.

De samtidigt gennemførte teksturmålinger med Vejdirektoratets Profilograf dokumenterer, at den multifunktionelle drænasfalt har dybe hulrumspor i overfladen, til gavn for både støjreduktion og drænegenskaber.

7.1.6 Referencer, vejstøj:

[L.7.1-1] Ole Grann Andersson: "Vejen til et bedre støjmiljø", Trafik&Veje, nov. 2004

[L.7.1-2] Ulf Sandberg og Jerzy A. Ejsmont: "Tyre/Road Noise Reference Book", Informex, 2002

[L.7.1-3] ISO/FDIS 11819-2

[L.7.1-4] ISO 11819-1

[L.7.1-5] Two-layer porous asphalt – lifecycle - The Øster Søgade experiment, Vejdirektoratet, rapport nr. 165, 2008.

[L.7.1-6]: wn.com: PAVEPROF Laser Profilometer PaveTesting, Web – fotos.

7.2 Drænegenskaber

En af den multifunktionelle drænasfalts vigtigste egenskaber er at kunne sikre en effektiv afdræning af regnvand i forbindelse med klimaforandringernes stadigt hyppigere forekommende ekstremnedbørsmængder ("monsterregn"), hvor store regnmængder falder meget koncentreret og med en sådan intensitet, at det normale gadeafvandingsystems kapacitet ikke altid er tilstrækkelig.

Som det fremgår af denne rapport's afsnit 5 er den multifunktionelle drænasfaltbelægning sammensat, så der opnås et højt hulrumsniveau (tilstræbt op imod 25 %) og med en anvendt stenstørrelse (11 mm), som sikrer den for asfalttypen størst mulig porediameter, når der samtidigt optimeres for opnåelse af støjreducerende egenskaber.

Umiddelbart efter asfaltudlægningen på Korsdalsvej blev der udført et simpelt in-situ forsøg ved blot at hælde vand fra en vanddunk ud over belægningen og sammenligne med den tætte belægning ved eksisterende vej og ramper.



Figur 7.2-1: Simpelt men illustrativt forsøg. Når vanddunken bevæges fra den traditionelle tætgraderede asfaltbelægning på rampen (t.v.) ind over drænasfaltbelægningen (t.h.) "forsvinder" vandet ned i drænasfalten.

Ved det simple forsøg, udført allerede 16-10-2015, kunne det konstateres, at den multifunktionelle drænasfalt har tydelige afdræningsegenskaber. Dette er dog ikke en kvantificerbar test, hvorfor der efterfølgende er gennemført officielle tests for permeabilitetsbestemmelse.

7.2.1 Permeabilitet – Beckers metode

For at kunne bedømme den multifunktionelle Klimavejsbelægningens afdræningskapacitet (afdræningshastighed) er der af Vejdirektoratet foretaget permeabilitetstest efter den såkaldte Becker-metode, hvor der bestemmes hvor lang tid der går for en given vandmængde at løbe gennem belægningen. Vejdirektoratets udstyr og fremgangsmåde ved Becker permeabilitetstest svarer stort set til CEN-metoden DS/EN 12697-40, bortset fra rørets dimensioner og den gennemstrømmende mængde vand. Becker-metoden er tidligere benyttet ved bl.a. Øster Søgade forsøgene og benyttes også på det hollandske motorvejsnet [L.7.2-1].



Figur 7.2-2: Bestemmelse af permeabilitet efter Becker-metoden. Pleksiglasrøret monteres med tætsluttede gummiring/kit mod asfaltoverfladen. Der fyldes vand i til glassets øverste markeringsring, hvorefter der med stopur foretages bestemmelse af udløbstiden, indtil vandsøjlen passerer den nederste markeringsring på røret. Udløbstiden bestemmes i sekunder pr. 10 cm vandsøjle.

Becker-metoden er en alment kendt, ret simpel men effektiv metode til bedømmelse af permeabilitet. Ved måling registreres den tid, det tager for en 10 cm vandsøjle at passere igennem belægningen. Målerørets diameter er 140 mm. Et måleresultat er middel af tre individuelle gennemløbsforsøg. [L7.2-1]

Testbelægningen på Korsdalsvej blev udført den 6. oktober 2015, men på grund af nødvendig afventning af naturlig overflade-tilslidning, samt efterfølgende på grund af vintervejr, blev måling af in-situ dræningsegenskaberne på teststrækningen først gennemført i marts 2016. Dræningsegenskaberne er således bestemt efter knap et halvt års bytrafik. Det skal endvidere bemærkes, at der efter asfaldlægningen på dele af strækningen er foretaget omlægning af tilstøden- de stibelægning (chaussestensbelægning), hvorved en del af belægningens overflade er blevet tilsmudset med fint sand.

7.2.2 Måleresultater, Becker-permeabilitet:

Måleresultatet af den gennemførte Becker-test fremgår af nedenstående tabel 7.2-1:

Måle- punkt	Placering	Højre vejside				Venstre vejside			
		Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middel	Måling 1	Måling 2	Måling 3	Middel
1	Højre hjulspor	26	29	30	28				
2	Højre hjulspor	34	39	41	38				
3	Midt	50	56	61	56				
4	Midt	15	16	17	16				
5	Midt	25	27	29	27				
6	Venstre hjul- spor					12	15	16	14
7	Snavset over- flade					45	50	56	50
8	Højre hjulspor					10	10	10	10

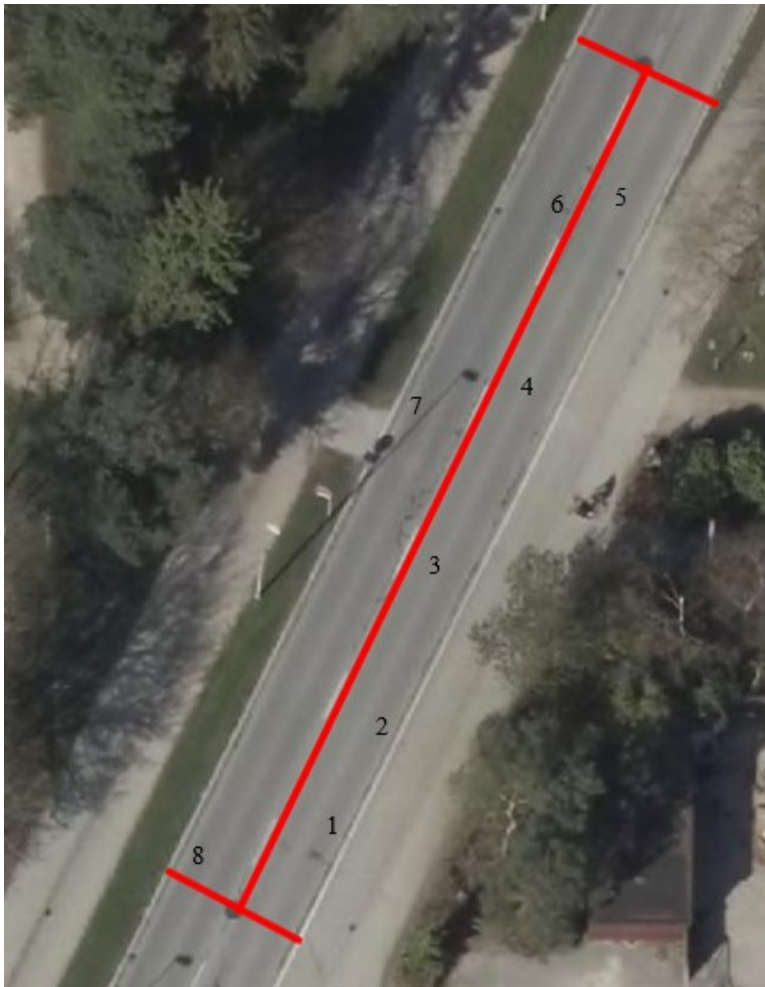
Tabel 7.2-1: Permeabilitetsmåling med Becker-metode på Klimavejsbelægningen, efter knap 6 mdr. trafik, marts 2016. Målepunkterne 3 og 7 er placeret på områder, hvor overfladen synligt var forurenet med sand ved tilsluttende sti-/fortovsarbejder, hvilket forklarer den længere gennemløbstid. Farvekoderne refererer til de hollandske bedømmelseskriterier angivet i efterfølgende tabel 7.2-2.

Hollandske erfaringer omkring permeabilitetsmålinger på drænasfaltbelægninger angiver følgende karakterskala for permeabilitet efter Beckers metode [L7.2.1]:

Tilstopningsgrad	Udløbstid, Becker	Permeabilitet
Ny drænasfalt	< 30 sekunder	Høj
Delvis tilstoppet, kan oprensnes	30 – 50 sekunder	Middel
Tilstoppet, kan ikke længere oprensnes	> 75 sekunder	Lav

Tabel 7.2-2: Hollandske erfaringsmæssige bedømmelseskriterier for drænasfalt

Målepunkternes individuelle placering på Korsdalsvej fremgår til orientering af efterfølgende figur 7.2-3.



Figur 7.2-3: Placering af målepunkter for Becker permeabilitetstest, marts 2016.



Figur 7.2-4: Belægningsoverfladen ved målepunkt 7 var tydeligt forurenet med sand ved måletidspunktet.

7.2.3 Konklusion om permeabilitet, drænegenskaber og forsinkelseeffekt

Som det fremgår af tabel 7.2-1 er der opnået Becker-permeabilitetsværdier fra 10 til 56 sekunder for udløb af 100 mm vand. De længste udløbstider (position 3 og 7) er dog relateret til en visuel tydelig overfladeforurening med sand. Hvis der ses bort fra disse forureningspunkter, er der gennemsnitligt opnået en udløbstid på 22 sekunder for 100 mm vandsøjle.

Sammenholdes disse måleværdier med de hollandske erfaringsdata fra tabel 7.2-2, ses at måleresultatet fint falder inden for de hollandske kriterier for helt ny og effektivt fungerende drænasfalt.

Belægningens egenskab som "forsinkelsesbassin" kan beregnes ud fra belægningens tykkelse og hulrumsprocent. Antages, at den multifunktionelle belægning anvendes som en ét-lags drænasfalt, udlagt på tæt underlag (som det er tilfældet ved Klimavejsbelægningen på Korsdalsvej i Rødovre), opnås et estimeret forsinkelsesvolumen på 10 liter pr. kvadratmeter. Dette er ikke i sig selv et enormt volumen, men måske lige nok til at undgå de indledende "first flush" relaterede overløbsskader, som er set ved de seneste års klimaforandringskabte monsterregn.

En mere ideel løsning for opnåelse af et stort "forsinkelsesbassin" er at opbygge hele vejkassen som er permeabel befæstelse, med flere lag permeabel asfalt, udlagt på permeabelt drænstabilgrus. Se mere om dette i afsnit 8.

7.2.4 Supplerende permeabilitetstest på drænasfalt belægninger

For at kunne bedømme den opnåelige vandgennemstrømningskapacitet i drænasfaltbelægninger, anvendt til en samlet permeabel belægningskonstruktion, er der i Teknologisk Instituts Rørcenter-laboratorium [L.7.2-2], gennemført en supplerende forsøgsrække. I denne forsøgsrække indgår permeabilitetstest for at bestemme vandgennemtrængeligheden af en DA 0/11 mm slidlagsbelægning (med materialemæssig sammensætning (omtrent) som Klimavejsprojektets multifunktionelle slidlagsbelægning). Desuden blev testet en DA 0/16 mm permeabel drænasfalt-bærelagsbelægning ("PermaGAB"). Til testformålet er anvendt indtromlede, kvadratiske asfaltprøveemner med et gennemstrømningsareal på 31,5 x 31,5 cm. Prøvepladerne har en lagtykkelse på hhv. 4 cm (DA 0/11 slidlag) og 10 cm (DA 0/16 bærelag), hvilket er i samme størrelsesorden, som i praksis anvendt på mindre trafikerede klimaveje og -bygader med permeabel opbygning. Ved gennemstrømningsforsøget placeres testemnerne (enkeltvis) i en prøvestand, hvor der sikres et konstant vandflow gennem prøven (siderne er tillukket). Vandtilførslen reguleres, så der holdes en konstant vandstand på 2 cm over prøven over en testperiode på 10 minutter. Vandtilføringen kontrolleres med flowmåler.

For drænasfaltslidlaget viste prøvningen en permeabilitet på 2,1 – 2,3 liter/sek. sv.t. 21 - 23 liter/sek/m². For drænasfalt bærelaget blev målt en permeabilitet på 1,0 liter/sek. sv.t. 10 l/s/m². Placeres et 4 cm tykt DA 11 slidlag ovenpå det 10 cm tykke DA 16 bærelag vil den samlede belægning have en permeabilitet svarende til bærelagets, idet slidlaget med mere end dobbelt så stor vandgennemstrømningskapacitet ikke virker som en bremse for bærelagets afdræning. I en 2-års regn er den maksimale 10-minutters intensitet 0,014 l/s/m². I en 100-års regn er den maksimale 10-minutters intensitet ca. 0,058 l/s/m² (580 l/s/ha). Dette betyder, at belægningerne uden problemer kan bortlede regnmængderne i både hverdagsregn, dimensionsgivende regn og skybrud (basis: DS 432).

7.2.5 Referencer, permeabilitet

[L7.2-1] Two-layer porous asphalt – lifecycle - The Øster Søgade experiment, Vejdirektoratet, rapport nr. 165, 2008.

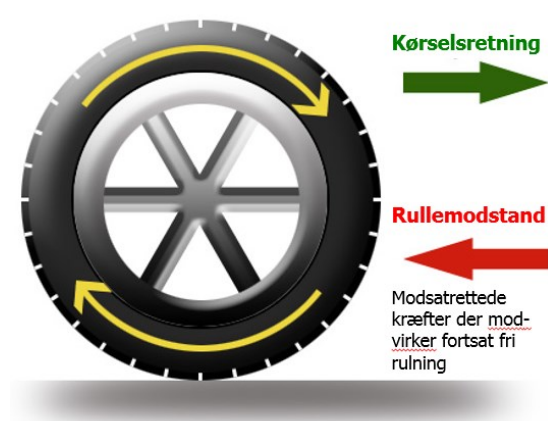
[L.7.2-2] Forsøg med permeabel asfaltbelægning, Prøvningsrapport, Teknologisk Institut, 2017.

7.3 Rullemodstand

I forbindelse med optimering af vejbelægninger er der som noget helt nyt begyndt at komme fokus på at mindske vejbelægningers rullemodstand – og dermed det samfundsmæssige potentiale for brændstofbesparelser ved trafikens afvikling. Denne innovative synsvinkel er derfor også belyst i nærværende projekt for de multifunktionelle drænasfaltbelægninger.

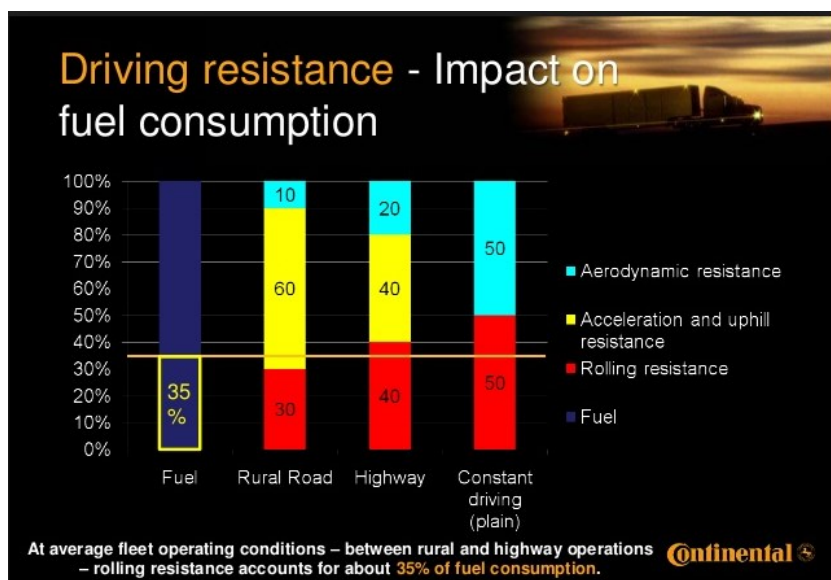
7.3.1 Vejbelægningers rullemodstand – definitioner og erfaringer

Klimaforandringer, global opvarmning og et stærkt øget fokus på energibesparelser og deraf afledte besparelser i CO₂ har igennem de seneste år haft stor bevågenhed. Inden for køretøjsteknologien er der sket store effektivitetstiltag med hensyn til mere brændstofbesparende køretøjer og et øget fokus på biler med alternative drivmidler, herunder elbiler, brintbiler m.v. i kombination med f.eks. brændstofbesparende systemer, der kan opsamle og genanvende en del af den energi, der skabes under bilernes nedbremsning. En ikke helt uvæsentlig del af brændstofforbruget kan relateres til det, som man kunne kalde "kørselsmodstanden", som er sammensat af flere faktorer, herunder aerodynamisk modstand, acceleration og gravitet (op/ ned ad bakke) og rullemodstanden. Sidstnævnte defineres som er et udtryk for modstanden mod dækkets fortsatte rullen, når det ruller hen ad vejbelægningen med konstant fart. En del af rullemodstanden kan optimeres med mere energirigtige dæktyper, med ændret gummi-blanding og mønster, men en ikke uvæsentlig andel ligger i vejbelægningens udformning i kontaktzonen mellem dækket og vejbelægningen.



Figur 7.3-1: Princip for rullemodstand

Et af de væsentligste nye tiltag på dette område er introduceret gennem det epokegørende danske COOEE-projekt (se f.eks. www.cooee-co2.dk), som har fokuseret på disse mekanismer. I projektet er tillige udviklet belægninger med optimerede overfladeegenskaber, så rullemodstanden kan reduceres, og derigennem opnås en generel samfundsmæssig brændstofbesparelse. Ser man på energiforbruget i Danmark, så går ca. en fjerdedel af Danmarks samlede nettoenergiforbrug til vejtransport og heraf går ikke mindre end en tredjedel til at overvinde rullemodstand [L7.3-1]. Hvis blot der kunne opnås en lille reduktion i rullemodstanden, vil dette således samlet set kunne skabe meget store økonomiske og miljømæssige gevinster for samfundet. Emnet er blevet udbredt til resten af verden, og kunne f.eks. ved seneste Euroasphalt & Eurobitume Congress i Prag 2016 opleves som et varmt emne på europæisk plan [L7.3-2, L7.3-3].



Figur 7.3-2: Skønsmæssigt brændstofforbrug til "Kørselsmodstand" [Kilde: Continental]

De foreløbige danske forsøg (COOEE) med belægninger med lav rullemodstand tyder på, at disse skal være relativt tætte belægningstyper, med lille maksimal Kornstørrelse og en optimeret overfladetekstur, i form af specialudviklede SMA 6 eller SMA 8 varianter [L7.3-1]. COOEE projektet har vist, at når tekturen på en belægningsoverflade mindskes væsentligt, kan der opnås en besparelse på brændstofforbruget på op imod 6 % [L7.3-4] i forhold til en traditionel, slidt vejbelægning.

Sammensætning af vejbelægninger er imidlertid altid et kompromis imellem en lang række forskellige faktorer, herunder bl.a. også holdbarhed, friktion, stabilitet, kørselskomfort, støj- og drænegenskaber m.v. Det nye fokus på rullemodstanden (og deraf opnåede brændstofbesparelser) viser dog, at det under alle omstændigheder er væsentligt også at vurdere på denne parameter ved fremadrettet udvikling og introduktion af nye belægningstyper. Herved sikres, at der ikke introduceres nye belægningstyper, der har en negativ indvirkning og dermed i værste fald skaber forøget brændstofforbrug.

7.3.2 Rullemodstandsmålinger på Korsdalsvej i Rødovre

Den multifunktionelle drænasfalttype, som er udviklet i dette MUDP-projektet "Klimavejen", har af hensyn til optimering af støjreduktion og samtidigt optimeret dræneffekt en meget åben porestruktur som er væsentligt grovere end traditionelle, tætte vejbelægninger. Set i lyset af konklusionerne fra COOEE projektet, kunne dette derfor antyde, at der måske var forøget rullemodstand for denne drænasfalt. Det blev derfor besluttet, som en del af projekt "Klimavejen", at undersøge den nyudviklede multifunktionelle drænasfaltbelægningens indvirkning af rullemodstanden.



Figur 7.3-3: Nærbillede af drænasfalten på Korsdalsvej, som hovedsageligt består af 8/11 mm granitskærver. Belægningen har en overflade som er mere hulrumrig og med grovere tekstur end de specielle, mere finkornede COOEE belægningstyper, som er optimeret for lav rullemodstand, men til gengæld har lav dræningsevne.

Vejdirektoratet har i forbindelse med rullemodstandsmålinger i COOEE projektet anvendt et måleudstyr, som er udviklet af det tekniske universitet i Gdansk (TUG). Det blev derfor besluttet at rekvirere TUG til målingerne på Korsdalsvej. Målingerne blev udført i umiddelbar forlængelse af de øvrige målinger på de danske COOEE belægninger.

Målingerne blev gennemført den 5. august i tørvej og med en lufttemperatur på ca. 23 °C og belægnings-overfladetemperatur ca. 28 °C. Af hensyn til forsøgsstrækningens korte længde på mindre end 50 m blev der målt 6 gange i hver kørselsretning og data herefter midlet. Rullemodstandsmåling foretages ofte ved både 50 og 80 km/h. Da strækningen ligger i byzone (skiltet 60 km/h på dele af Korsdalsvej), er der dog kun foretaget måling ved 50 km/h.



Figur 7.3-4: Rullemodstanden på Klimavejsbelægningen på Korsdalsvej blev bedømt med specialudviklet måletrailer fra det tekniske universitet i Gdansk, Polen (TUG)



Figur 7.3-5: Til rullemodstandsmåling benyttes den trehjulede trailer fra TUG. Rullemodstanden måles ved det bageste hjul (afskærmet - Billedet viser målehjul ved afmonteret afskærmning). Det sikres løbende at dæktrykket er korrekt.



Figur 7.3-6: Ved rullemodstandsmåling anvendes tre forskellige dæk. Et personbilsdæk med f. hv. lav rullemodstand (Michelin Primacy), et referencedæk (SRTT) og et grovmønstret dæk (Avon AAV4), som simulerer (mindre) lastbiler. [L7.3.-4]

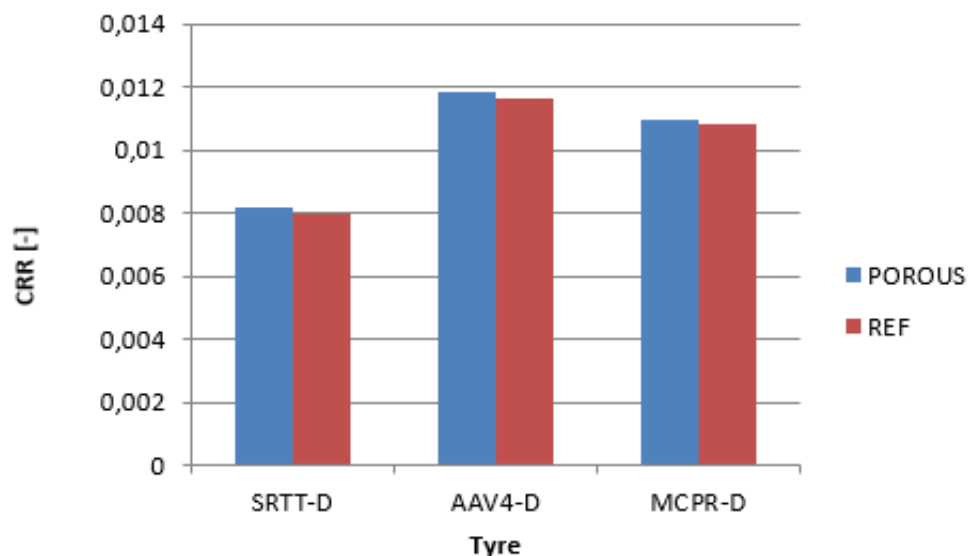
I begge ender af den korte teststrækning ligger en gammel, tætgraderet AB t belægning. Denne er ved rullemodstandsmålingerne anvendt som direkte reference.



Figur 7.3-7: Den gamle, tætgraderede AB t belægning er ved rullemodstandsmålingerne anvendt som reference.

7.3.3 Måledata og tolkning

De opnåede måledata for rullemodstand på henholdsvis den åbne drænasfalt ("Porous", blå) og den eksisterende AB 8t referencebelægning (rød) fremgår af nedenstående figur:



Figur 7.3-8: Rullemodstand målt på Korsdalsvejs drænasfalt (blå) og reference (rød). (Data er ikke temperatur korrigerede, men målingerne er udført ved samme temperatur).

Som det fremgår af figuren, er der med alle tre typer måledæk opnået omtrent identiske værdier for drænasfalt forsøgsbelægningen og den eksisterende tætgraderede belægning, altså ingen signifikant forskel.

Det er fra COOEE projektet kendt, at der normalt er en sammenhæng imellem en asfaltbelægnings tekstur-dybde og rullemodstand, hvor en lav rullemodstand kræver en relativt lille tekstur (og lille maksimal kornstørrelse). Det var derfor forventeligt, at en drænasfalt med 11 mm sten og stor teksturdybde måske ville udvise noget større rullemodstand end traditionelle tætgraderede belægninger. Testbelægningen på Korsdalsvej har (jf. tidligere afsnit om måledata) opnået en middelteksturdybde på ca. 1,6 mm, hvor "normale", tætte asfaltbelægninger har en middelteksturdybde på omkring det halve. Trods dette forhold, har den multifunktionelle drænasfalt i praksis ikke udvist signifikant højere rullemodstand end referencebelægningerne.

Det skal i denne sammenhæng yderligere bemærkes, at måling af rullemodstand udføres med et meget følsomt udstyr, som bl.a. er afhængig af et helt jævnt forløb. Det kan derfor ikke udelukkes, at drænasfalt forsøgsbelægningens hævede placering med tilslutningsramper kan have påvirket teststrækningens måleresultat i negativ retning (højere rullemodstand). Desuden har den meget korte teststrækning ikke samme jævnhed, som forventeligt ville kunne opnås ved en længere, reel belægningsstrækning.

Set i lyset af ovennævnte, kan det som en konservativ vurdering konkluderes, at den nyudviklede, multifunktionelle drænasfalt ikke synes at øge rullemodstanden, sammenlignet med en traditionel tætgraderet asfaltbelægning. Anvendelse af multifunktionel drænasfalt kan således betragtes som et CO₂-neutralt valg med uændret brændstofforbrug.

Ved sammenlignende målinger med brug af forskelligt måleudstyr under det europæiske MIRIAM projekt [L7.3-5] kunne det konkluderes, at rullemodstand målt med TUG's udstyr ikke giver signifikant forskel om der måles med 50 eller 80 km/h. Dette betyder, at vores måledata fra Korsdalsvej principielt også kan sammenlignes med de data, som Vejdirektoratet samme dag opnåede på COOEE forsøgsstrækningerne ved 50 og 80 km/h. Disse målinger er endnu

ikke officielt publiceret, men ud fra de opnåede data oplyst af Vejdirektoratet kan følgende konkluderes:

For SRTT-dækket ligger drænasfaltbelægningen på Korsdalsvej på omtrent samme niveau som Vejdirektoratets standard reference (standard SMA 8) og (som forventet) lidt højere end de rullemodstandsoptimerede COOEE belægninger. For Michelin-dækket er der på Korsdalsvej større spredning imellem de to kørselsretningers data, men overordnet er der opnået rullemodstand i omtrent samme niveau som referencen og højere end COOEE belægningerne. For Avon "lastbilsdækket" med det grove mønster, ligger værdierne fra Korsdalsvejs drænasfaltbelægning noget højere end referencebelægningen, hvilket må kunne forklares med, at kombinationen af grove gummiklodser i dækmønsteret og grove skærver i asfaltoverfladen skaber øget vibration og dermed rullemodstand. Dette harmonerer også med, at drænasfaltbelægninger sænker den højfrekvente dæk-/vejstøj, hvorimod den lavfrekvente rumlestøj ofte samtidigt stiger en smule.

7.3.4 Konklusion om rullemodstand

Der er i august 2016 gennemført rullemodstandsmåling på Klimavej-projektets drænasfaltbelægning på Korsdalsvej i Rødovre. Målingerne er udført af de polske målespecialister fra TU Gdansk, som på verdensplan er blandt de førende på dette område. Måleresultaterne skal generelt tages med et vist forbehold, da rullemodstandsmålinger erfaringsmæssigt kan påvirkes negativt af jævnhedsvariationer, hvor strækningen på Korsdalsvej, som følge af den ultrakorte længde (<50 m) og en placering med tilslutningsramper i begge ender, ikke i denne henseende er ideel til målinger.

Som en konservativ vurdering kan det på baggrund af de opnåede data konkluderes, at den multifunktionelle drænasfaltbelægnings rullemodstand (trods en "grov" hulrumsstruktur og 11 mm maksimalkornstørrelse) ikke afviger signifikant fra den eksisterende traditionelle AB 8t referencebelægning på samme strækning. Sammenlignes med de igangværende danske rullemodstandsforøg (opfølgning på det danske COOEE udviklingsprojekt), ses desuden for de to personbilsmåledæk (SRTT og Michelin) et rullemodstandsniveau omtrent på niveau med en SMA 8 referencebelægning, men ikke så lavt som de i COOEE projektet rullemodstandsoptimerede specialbelægninger med lille maksimalkornstørrelse.

Hovedkonklusionen bliver således, at anvendelse af den nye, multifunktionelle drænasfaltbelægning ikke forventeligt medfører forøget brændstofforbrug for bilisterne – og dermed miljømæssigt kan anses som et "CO2-neutralt" valg.

7.3.5 Referencer - Rullemodstand

[L7.3-1]: Pettinari, Jensen og Schmidt: "Ny belægningstype med lav rullemodstand", Trafik & Veje april 2014

[L7.3-2]: Pettinari, Lund-Jensen & Schmidt: "Low rolling resistance pavements in Denmark", 6th Euroasphalt & Eurobitume Congress, Prague, June 2016

[L7.3-3]: Bjarne Schmidt: Præsentation, 6th Euroasphalt & Eurobitume Congress, Prague, June 2016

[L7.3-4]: Bjarne Schmidt: "Brændstofbesparende vejbelægninger", Trafik & Veje, april 2015

[L7.3-5]: Bergers, et al.: "Comparison of Rolling Resistance Measuring Equipment – Pilot Study", MIRIAM, SP1, Deliverable 3, 2011

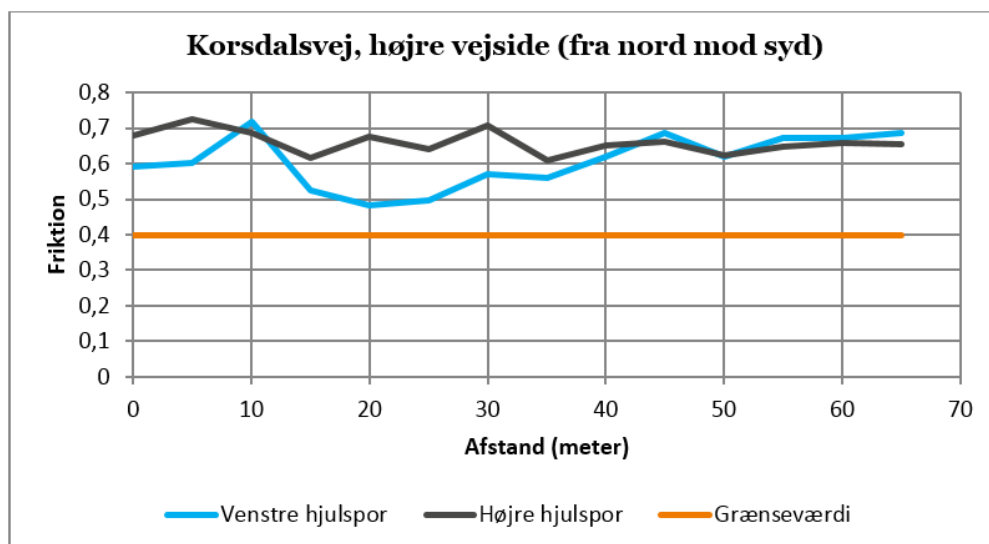
7.4 Friktion og trafiksikkerhed

En essentiel sikkerhedsmæssig forudsætning for at en vejbelægning er anvendelig er, at den har gode friktionsegenskaber. Friktionen skal være til stede for at kunne bringe køretøjer til

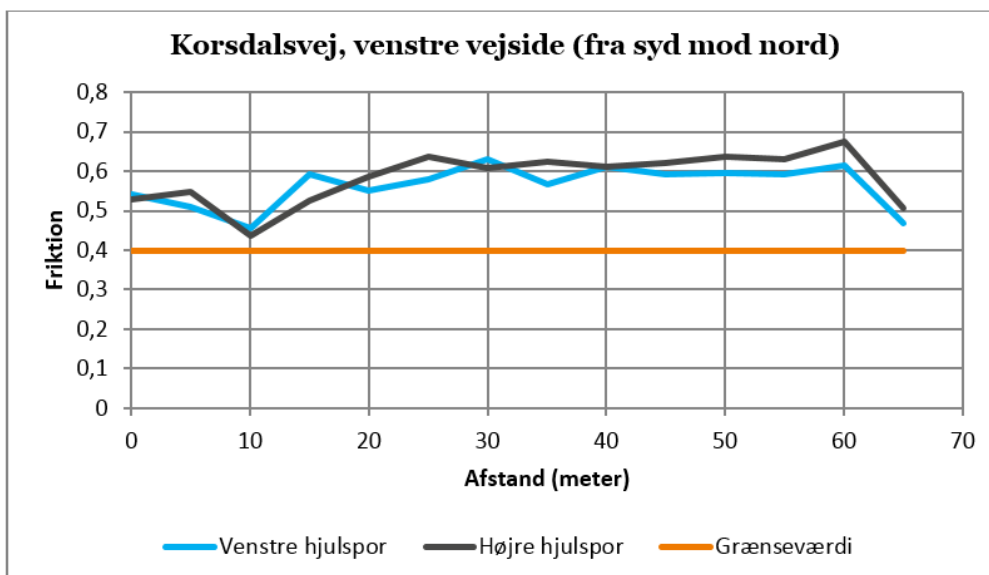
standsning på en forsvarlig måde, både ved normal opbremsning og ved katastrofeopbremsning. Friktion måles med et specielt målekøretøj eller -trailer (Vejdirektoratets ROAR, eller den netop introducerede afløser, VIAFRIK målebilen).

Kravet til friktionskoefficienten for nyudlagt asfalt, hvor den tilladte hastighed er 60 – 80 km/t, er i følge Vejreglerne for varmblandet asfalt (AAB), at friktionskoefficienten skal være mindst 0,4.

Figur 7.4-5 og 7.4-6 viser den målte friktion på Korsdalsvej for begge hjulspor i hhv. højre og venstre vejside.



Figur 7.4-1. Målt friktion på Korsdalsvej i højre vejside for begge hjulspor. Grænseværdien på 0,4 er endvidere angivet. Det ses, at der generelt er opnået en meget høj friktion.



Figur 7.4-2. Målt friktion på Korsdalsvej i venstre vejside for begge hjulspor. Grænseværdien på 0,4 er endvidere angivet. Det ses igen, at der er opnået en meget høj friktion.

Friktionsmålingerne blev af hensyn til det årstidsmæssigt sene udlægningstidspunkt i oktober 2015 ikke gennemført på daværende tidspunkt. Målingerne er således først udført 20. juni 2016, efter ca. 8 måneders trafik. Som man kan se af de to figurer, overholder belægningen

fint vejreglernes krav til friktionskoefficienten. De gode friktionsegenskaber var også hvad man ville forvente, når man tager belægningstypen og de gennemførte strukturdybdemålinger i betragtning (jf. foregående afsnit om trafikstøj).

Den multifunktionelle drænasfaltbelægning har således fremragende friktionsegenskaber og med den åbne porestruktur reduceres desuden opsprøjtet i vådt føre, til yderligere sikring af en høj trafikikkerhed.

Eneste mulige trafikikkerhedsmæssige udfordring er forholdene under vintervejr med sne og is, hvor der for denne belægningstype saltningsmæssigt og snerydningsmæssigt kræves særlig opmærksomhed. Disse forhold er nærmere omtalt i rapportens afsnit 10.

7.5 Sporkøring og stabilitet

Sporkøring kan opstå når asfalten bliver udsat for belastning i køresporet. Sporkøringen opstår hvis asfalten ikke er tilstrækkeligt stabil, så materialerne i køresporet bliver presset sammen eller skubbes ud til siden under køretøjernes vægt. Det er specielt tunge køretøjer som lastbiler og busser, der udsætter asfalten for denne belastning. Figur 7.5-1 viser et eksempel på sporkøring. Som det kan ses af figuren giver sporkøring en øget risiko for akvaplaning, hvis regnvand samles i køresporene. De danske vejregler for varmblandet asfalt (AAB) angiver følgende: *”Sporkøring bør ikke forekomme i en sådan dybde, at der er risiko for akvaplaning. Spordybden må dog intet sted overskride 10 mm målt ved hjælp af en 2 m lang retskede”.*



Figur 7.5-1: Eksempel på sporkøring (Arkivfoto - billedet er IKKE fra Korsdalsvej)

Måleresultaterne viser at der er konstateret en sporkøring på mellem 0,6 mm og 2,02 mm med et gennemsnit på 1,24 mm, hvilket er at betragte som stort set ingen sporkøring. Ses der endvidere bort fra indflydelse fra rampeovergangsstykkerne opnås generelt en sporkøringsværdi på ca. 1 mm. I denne sammenhæng skal det bemærkes, at sporkøring opstår når vejbelægningen over tid (typisk over flere år) er blevet belastet af trafikken. Da asfaltens bindemiddel, bitumen, med tiden hærdner op, ses dog typisk en aftagende tendens til sporkøringsdannelse over tid. De fine resultater i denne afrapportering bekræfter således den gode sporkøringsmodstand man normalt vil forvente på en 8 måneder gammel slidlagsbelægning i samme vejkategori.

I modsætning til de laboratiemæssigt gennemførte sporkøringstests (afsnit 5) ses således i praksis på forsøgsvejen ingen signifikant sporkøring for belægningen. Dette er i overensstemmelse med de supplerende udførte dynamiske krybetests (ligeledes omtalt i afsnit 5).

Det kan således konkluderes, at den udviklede multifunktionelle belægning udlagt på Korsdalsvej, trods holdbarhedsmæssig optimering med ekstra højt bindemiddelindhold, ikke udviser tendens til sporkøringsproblemer eller for lav stabilitet.



Figur 7.5-2. Vejdirektoratets Profilograf måler samtidigt jævnhed, sporkøring, tekstur og tværfald.

7.6 Jævnhed (IRI - International Roughness Index)

Vejens jævnhed bliver bedømt med index'et IRI (International Roughness Index). I princippet er IRI-tallet et udtryk for summen af de vertikale bevægelser, som bilisten bliver udsat for over en strækning på 1 km og med en hastighed på 80 km/t.

IRI-tallet bliver beregnet på baggrund af et overfladeprofil målt med laserteknologi med profilografen (fig. 7.5.2). Tværbommen, der sidder forrest, nederst på bilen, er udstyret med 23 jævnhedslasere og 2 teksturlasere, der måler overfladeprofilet. Ud fra disse måledata kan IRI-tallet beregnes.

De gennemførte målinger viser, at de fleste resultater ligger omkring 0,9 – 1,1 med nogle få til den høje ende. Det betyder, at teststrækningen godt kunne være mere jævn end tilfældet er, men jævnheden er influeret af underlaget til teststrækningen, samt brønde og dæksler i teststrækningen, så jævnheden er på et niveau, som forventeligt på en kort teststrækning som denne. Som reference til de viste IRI-tal, kan det nævnes, at det gennemsnitlige IRI-tal for hele statsvejnettet ligger på ca. 1,0 og en ny statsvej typisk åbnes med et IRI-tal mellem 0,5 og 1.

Det opnåede jævnhedsniveau kan således i større grad relateres til underlaget, og de ydre omstændigheder ved ramper og ultrakort testfeltlængde, end til belægningstypen, og er derfor ikke nærmere beskrevet i det efterfølgende.

7.7 Samlet konklusion om overfladeegenskaber

Den i projektet "Klimavejen" udviklede multifunktionelle drænasfaltbelægning har på teststrækningen på Korsdalsvej i Rødovre udvist følgende egenskaber:

- Trafikstøjen reduceres i størrelsesorden ca. 4 dB, når der tages højde for målemetode og korrektion ved omregning til den generelle SPB-målemetode,
- Belægningen har god permeabilitet og kan ved Becker-måling afdræne 10 cm vandsøjle på ca. 22 sekunder. Endnu større dræneffekt vil muligvis kunne opnås ved kombination med drænende asfaltbærelag i stedet for testbelægningens tætte underlag.
- Gennemstrømningsforsøg i laboratoriet på indtromlede asfaltplader af drænasfalt slidlag og drænasfalt bærelag, i anvendelsesmæssigt realistiske lagtykkelser, viser, at belægningerne uden problemer vil kunne bortlede regnmængderne i både hverdagsregn, dimensionsgivende regn og skybrud
- Belægningen udviser trods den grovere overfladetekstur ingen signifikant negativ indflydelse på rullemodstanden, set i forhold til traditionelt anvendte slidlagstyper. Anvendelse af belægningen har således ingen negativ effekt på bilernes brændstofforbrug eller CO₂-udledning.
- Belægningen har et højt friktionsniveau, som sammen med den dybe hulrumsstruktur (tekstur) i overfladen, der modvirker opsprøjt i vådt føre, sikrer god trafiksikkerhed på både tør og våd vej.
- Belægningen udviser efter et halvt års trafikpåvirkning kun minimal sporkøring, som er normalt forventeligt, og udviser derfor den fornødne stabilitet over for trafikbelastningen.
- Den aktuelle teststrækningens jævnhed er ikke optimal, hvilket primært skyldes den meget korte teststrækning på mindre end 50 m længde, samt konstruktionen med ramper i begge ender. Det må formodes, at der under normale udlægningsforhold vil kunne opnås bedre jævnhed, hvilket givetvis vil kunne influere positivt på den opnåede støjreduktion og måske også resultere i en forbedret rullemodstandsværdi (lavere energiforbrug).

8. Den praktiske anvendelse – Koblingen mellem klimavej og afløbssystem

Hvordan sammenkobles KLIMAVEJ strækningen med øvrige strækningers afvandingsystem? Hvordan skal vejen afvandingsmæssigt dimensioneres? Kan vandet nedsives eller ledes til recipient, eller skal det renses først? Smitter asfalten af på vandet? Og hvilke muligheder er der for at anvende en total, permeabel belægningsopbygning? Disse emner belyses nærmere i dette afsnit.

I de foregående afsnit er det beskrevet, hvordan en ny multifunktionel drænasfaltbelægning er udviklet og hvilke overfladeegenskaber, der med en sådan belægning kan opnås. Det gode spørgsmål er så hvordan man i praksis mest hensigtsmæssigt benytter en sådan løsning – og i hvilke tilfælde det er hensigtsmæssigt.

Dette afsnit beskriver derfor dels nogle overordnede retningslinjer for valg og anvendelse af klimaveje, hvordan klimavejes afvandskapacitet beregnes og dimensioneres, samt hvilke miljøforhold man skal forholde sig til omkring nedsivning af vejvand, eller afledning af vejvand til recipient.

8.1 Retningslinjer for at vælge klimaveje

DMI forudsår, at der i 2100 vil komme 25-55 % mere nedbør i vintermånederne, mens nedbøren i sommermånederne forventes at falde 0-40 %. Samtidig bliver nedbøren mere intens. Intensiteten af de kraftige byger forventes at stige med 20 -50 % - mindst for de hyppige hændelser og mest for de meget sjældne hændelser. Ændringerne har stor betydning for, hvordan regnen vil strømme af på overfladerne og på belastningen af kloaksystemer og vandløb.

Intensiteten af regn, som statistisk set forekommer én gang for hvert 10. år, vil frem til 2100 øges med ca. 30 %. Det bevirker, at kloakkerne i fremtiden skal håndtere en regnvandsmængde, der i den maksimale situation er omkring 30 % større end i dag, hvis afløbssystemet skal leve op til de samme krav og den samme funktion som i dag. Hvis denne udfordring skulle imødegås alene ved en udvidelse af det eksisterende kloaksystem, ville det bare for Københavns Kommune koste i omegnen af 10 mia. kr.

En måde at undgå at lægge større rør til at håndtere de øgede regnmængder vil være at frakoble regnvand fra det eksisterende kloaksystem og håndtere vandet på en alternativ måde, enten ved nedsivning, direkte udledning til recipient eller andre former for alternativ bortledning.

Københavns Kommune har vedtaget en klimatilpasningsplan og en skybrudsplan, som beskriver, hvordan Københavns Kommune skal klima- og skybrudssikres for at håndtere den generelt øgede nedbør samt ekstremnedbør, som forventes som følge af klimaforandringer.

Målsætningen for klima- og skybrudssikringen er i planerne fastsat til max 10 cm vand på terræn under en 100 års regn i 2110. I henhold til de overordnede intentioner i Skybrudsplanen er det endvidere et mål at udforme løsninger, der også har en værdi i sig selv og kan bibringe byen attraktive grønne og blå elementer. Endvidere er der i Københavns Kommunes strategi for klimatilpasning defineret en målsætning om, at den generelle klimatilpasning i forhold til regnvandsafledningen skal foregå ved at frakoble gennemsnitlig 30 % af tag- og overfladevandet på de befæstede arealer fra fælleskloaksystemet, således at de øgede regnmængder kan håndteres af det eksisterende kloaksystem.

Skybrudssikringen skal ske ved en kombination af overfladeløsninger som skybrudsveje, forsinkelsesveje, forsinkelsespladser og grønne veje, som skal lede skybrudsvandet til steder, hvor det ikke gør skade eller til store skybruds-ledninger, der ender i havnen.

I masterplanerne er udpeget en række veje som potentielle til omdannelse til grønne veje. Udvalgelsen er foretaget således, at der er udvalgt veje, der ligger med ensrettet fald mod de foreslåede skybrudsveje. Således kan de grønne veje aflede overfladisk til skybrudsvejene uden etablering af skybrudselementer i øvrigt. Det er foreslået, at de grønne veje etableres med vejbede og/eller forsinkelse under permeable belægninger, således at arealet kan anvendes til parkering.

Princippet er, at der i de grønne veje etableres forsinkelse svarende til ca. 50-60 mm nedbør for veje og de fortovs-vendte tagarealer. Dette svarer omtrent til en regnhændelse med en gentagelsesperiode på 10 år ved et afløbstal fra vejbedene på 2 l/s pr. ha. Herved reduceres belastningen af skybrudsvejene, og det eksisterende afløbssystem aflastes, så behovet for at opdimensionere de lokale kloakledninger som følge af klimaændringer generelt efter nedbør minimeres.



Figur 8.1-1: Udsnit af masterplan for skybrudshåndtering på Vesterbro i København, der viser den mulige udbredelse af "Grønne veje", hvor anvendelsen af drænasfalt kunne komme på tale.

Det er således helt i tråd med kloakforsyningens overordnede strategi, at regnvand håndteres på andre måder end ved direkte afledning gennem det eksisterende kloaksystem. Her vil veje med drænasfalt kunne udgøre et væsentligt bidrag ved at etablere muligheder for nedsivning af vejvand eller alternativ bortledning/magasinerings.

Det skal også så vidt muligt sikres, at håndteringen af regnvand sker på den (samfunds)økonomisk mest effektive måde. I en sådan vurdering skal både anlægsøkonomi og driftsomkostninger over anlæggets samlede levetid indgå ved en sammenligning af forskellige løsningsmodeller.

Det er også væsentligt at pointere, at den alternative håndtering af regnvand skal være af permanent karakter, forstået på den måde, at kloakforsyningen kun har gavn af en klimavej, hvis de vandmængder, som klimavejen forventes at håndtere, ikke skal medregnes ved planlægning og dimensionering af det øvrige kloaksystem.

Det er derfor væsentligt at porestrukturen i belægningen (drænasfalt eller andre former for permeabel belægning) holdes åben. Der kan være en tendens til at belægnings eller fuger stopper til og derfor er opbygning og drift væsentlige opmærksomhedspunkter.

8.2 Afvandingskapacitet og dimensionering af klimaveje

Serviceniveauet for funktionen af kloaksystemet i en kommune fastlægges i den enkelte kommunes spildevandsplan. Langt de fleste kommuner har valgt at henvise til Spildevandskomiteens Skrift 27 "Funktionspraksis for afløbssystemer under regn". Minimumsfunktionskravene er her angivet som tilladelig gentagelsesperiode for opstuvning til terræn. Dette må ske højst hvert 10. år i fælleskloakerede oplande og hvert 5. år i separatkloakerede oplande.

Det er op til den enkelte kommune i sin spildevandsplan at angive, om disse funktionskrav kun gælder nyanlagte og renoverede kloakanlæg eller også skal gælde for allerede eksisterende kloakanlæg.

Som udgangspunkt bør en regnvandsløsning dimensioneres til gældende serviceniveau i den pågældende kommune, der typisk vil være opstuvning til terræn sjældnere end hvert 5. år med kontrolleret overløb, der ikke er skadevoldende. Det anbefales at bruge SVK's LAR-dimensionerings-regneark til dimensionering, såfremt der er tale om en nedsivningsløsning. Det anbefales desuden at følge retningslinjer beskrevet i "Rørcenter-anvisning 016" ved anlæg af nedsivningsløsninger. Hvis der ikke er tale om en nedsivningsløsning bør der dimensioneres et forsinkelsesvolumen. Hertil anbefales det at bruge SVKs bilag "Regional regnrække - regneark" til skrift 30 "Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter" som kan anvendes til overslagsmæssig dimensionering af simple bassiner.

Link til Spildevandskomiteens skrifter og regneark: <https://universe.ida.dk/netvaerk/energi-miljoe-og-global-development/spildevandskomiteen/spildevandskomiteens-skrifter/>

Link til Teknologisk Instituts Rørcenter-anvisninger: <http://www.teknologisk.dk/ydelser/roercenter-anvisninger-og-rapporter-fra-roercentret/roercenter-anvisninger-og-rapporter/486>

Ved valg af klimafaktor bør anlæggets levetid tages i betragtning, således at det ikke dimensioneres til at kunne håndtere en 5 års-regn om 100 år, hvis den estimerede levetid kun er 30-50 år.

Ved dimensionering af en klimavej skal det samlede opland, der afvander til vejen, medregnes. Det vil sige, at det skal afgøres, om vejen kun skal håndtere den nedbør, der falder på selve vejen, eller der også strømmer vand fra tilstødende arealer (cykelstier, fortove og tage) til vejen. Den vandmængde, som en klimavej skal kunne håndtere vil derfor være et produkt af en valgt regnintensitet, et antal sikkerhedsfaktorer og et tilsluttet oplandsareal.

Valget af dimensioneringsmetode afhænger af udformningen og opbygningen af den konkrete klimavej. Der er tre principielt forskellige udformninger:

1. Drænasfalt udlagt på tæt belægning (gammel asfaltbelægning)
2. Nedsivning gennem drænasfalt og nedsivning til grundvand
3. Nedsivning gennem drænasfalt og opsamling i drænledning

Ad 1. Enkelt lag drænasfalt som "forsinkelsesbassin"

Den simpleste anvendelse af drænasfalt ved klimaveje er ved blot at udlægge et (eller evt. to) lag drænasfalt oven på en eksisterende, tæt belægning. I dette tilfælde benyttes drænasfalten blot som "forsinkelsesbassin", men regnvandet føres direkte til det eksisterende kloaknet. Da drænasfalten har en åben hulrumsstruktur, er det i sådanne tilfælde helt essentielt at forsegle den underliggende, gamle belægning effektivt med bitumenemulsion inden drænasfalten udlægges, for at sikre imod videre, utilsigtet nedsivning.

Projektets testfelt på Korsdalsvej i Rødovre er opbygget på denne måde ved at drænasfalt er udlagt som nyt slidlag oven på den eksisterende belægning, efter den gamle belægnings overflade effektivt er forsejlet med bitumenemulsion. Der ændres som udgangspunkt ikke i vejens afvanding, idet de eksisterende vejbrønde bruges. Disse udformes, så vandet kan strømme gennem drænasfallaget og ind i siden af vejbrønden. Denne konstruktion vil kunne forsinke ca. 10 mm regn, baseret på en lagtykkelse på 4 cm og et porevolumen på 25 % (jf. rapportens afsnit 5). Større regnskyl vil afstrømme på vejoverfladen som normalt, idet overfladeafstrømning fra vejen vil løbe i risten. Det skal sikres, at der er tætte sider på asfaltbelægningen, f.eks. i form af kantsten, så vandet ikke løber ud af siden på belægningen, men følger vejens hældning ned i vejbrøndene. På denne måde ændres der ikke ved dimensioneringsforudsætningerne for hverken vejafvandingsystemet eller det efterfølgende kloaksystem.

Ad 2. Nedsivning gennem den drænende vejbelægningsopbygning.

I dette tilfælde tænkes vejbelægningen opbygget som permeabel belægning med flere lag drænasfalt, udlagt oven på drænstabil grusbærelag, så den samlede vejkonstruktion fungerer som et stort "forsinkelsesbassin", hvorfra vejvandet kan nedsive gennem underliggende jordlag. Vejen skal her dimensioneres som nedsivningsanlæg. Der opbygges en helt ny vejkasse af drænstabil, hvorved vejen kan opsamle regnvand, som derefter nedsiver til grundvandet. Dette kræver en nedsivningstilladelse fra miljømyndighederne jfr. afsnit 8.4. Se mere om muligheder og udfordringer i det efterfølgende afsnit 8.3.

Ad 3. Nedsivning gennem drænasfalt og opsamling i drænledning.

Her tænkes vejen opbygget med to eller flere lag drænasfalt samt dræn-stabil grusbærelag (principielt som ovenstående løsning 2), men med afslutning med en tæt membran, f.eks. bentonit, så belægningens samlede vejkasse kan fungere som "forsinkelsesbassin", men hvor regnvandet opsamles af en drænledning i bunden af vejkassen og efterfølgende ledes tilbage til regnvandsnettet eller til recipient - hvis en sådan findes i nærheden af den bymæssigt placerede klimavej.

Vejen skal i denne situation dimensioneres som et bassinvolumen med droslet afløb. Vejkassen skal omslutes af en tæt membran og der placeres et drænrør nederst i vejkassen. Drænrøret forbindes til kloaksystemet eller et separat udløb til en recipient, hvis der kan opnås udledningstilladelse til dette. Endelig kan det overvejes at føre det opsamlede vand videre til nedsivning, hvor der måtte kunne opnås tilladelse til dette.

Med denne løsning skabes mulighed for vinteromkobling, så saltholdigt vand kan ledes til det eksisterende kloaknet. I forbindelse med eventuel udledning til recipient kan det tilsvarende være hensigtsmæssigt at sikre mulighed for vinteromkobling, således at vejvandet i perioder hvor der vintersaltes på vejene kan omkobles og ledes til det eksisterende kloak-/regnvandsnet.

Da de fleste klimaforandringskabte ekstremnedbørsmængder forekommer i sommerhalvåret, vil det givetvis ikke være problematisk at kunne omkoble i den nedbørsmæssigt mindre intensive vintersæson. En løsning med nedsivning og vinteromkobling vil givetvis også have en fornuftig indflydelse på vandkredsløbet, idet der foretages nedsivning til grundvand i de varme perioder, hvor der sker størst naturlig fordampning, hvorimod vandet ledes til kloaknettet i de kolde perioder med begrænset fordampning.

8.3 Miljøforhold omkring vejvand

I forbindelse med overvejelser om muligheder for nedsivning af vejvand, eller udledning af vejvand til recipient, er der en række forhold, som skal iagttages: Vejvand indeholder en række stoffer, der kan være problematiske både i forhold til nedsivning til grundvand og i forhold til udledning til recipient.

8.3.1 Nedsivning af vejvand

I forhold til nedsivning til grundvand er det mest problematiske stof vejsalt. Naturstyrelsen når i en rapport fra 2013 [L.8.3-1] frem til, at nedsivning af vejvand i et typisk villaområde i Østdanmark vil medføre en kloridkoncentration i det nedsivende vand på 270-790 mg/l ved normal saltningspraksis og dermed overskridelse af grænseværdien for drikkevand.

Nedsivning af vejvand i byområder i Østdanmark vil derfor typisk kræve vinteromkobling eller alternativ glatførebekæmpelse. Organiske tømidler som CMA (Calcium Magnesium Acetat) og KF (Kalium Format) er mere grundvandsvenlige og bør generelt kunne tillades anvendt på veje, hvorfra vandet nedsives til grundvandet.

Den organiske komponent acetat (eddikesyre) eller format (myresyre) er meget let nedbrydelig under både aerobe og anaerobe forhold og udgør derfor ikke en risiko for grundvandet. Den uorganiske komponent Calcium eller Kalium bliver ionbyttet med natrium i jordmatricen. Ved normal saltningspraksis vil der, selv i byområder, ikke ske overskridelse af drikkevandskriteriet for natrium på 250 mg/l.

Vejvand indeholder også en række andre stoffer såsom tungmetaller, PAH'er mv [L.8.3-2]. Også disse stoffer kan være problematiske i forhold til nedsivning til grundvandet, hvis der ikke sker en forudgående rensning af vejvandet. Rensning kan ske ved nedsivning gennem en aktiv jordbund (filtermuld), hvor stofferne enten nedbrydes eller tilbageholdes i de øverste jordlag, som så typisk må udskiftes efter f.eks. 50 år, når afskæringskriteriet for tungmetaller og/eller PAH'er overskrides.

Også ved nedsivning gennem en permeabel asfalt med underliggende vejkasse sker der en tilbageholdelse af tungmetaller og miljøfremmede stoffer. Naturstyrelsen når i en rapport fra 2014 [L.8.3-3] frem til, at grundvandskriteriet var overholdt for alle tungmetaller undtagen bly ved nedsivning af vejvand gennem seks testfelter i København.

Nedsivning af vand fra offentlige veje er reguleret af spildevandsbekendtgørelsens [L.8.3-4] §40, som siger, at en tilladelse kan gives, såfremt:

1. Tilladelsen ikke er i modstrid med områdets vandforsynings-, spildevands- kommuneplaner- og bekendtgørelser om henholdsvis miljømål og indsatsprogram udstedt i medfør af lov om vandplanlægning.
2. De hydrogeologiske forhold sandsynliggør, at nedsivningen vil kunne ske uden risiko for forurening af anlæg til indvinding af vand.
3. Nedsivningen ikke vil medføre forurening af grundvandsressourcer, der er anvendelige til vandforsynings-formål.
4. Nedsivningen ikke er til hindring for, at de miljømål for kvaliteten af grundvand, vandløb, søer og havet, der er fastsat for vandområdet i bekendtgørelse om miljømål udstedt i medfør af lov om vandplanlægning, kan opfyldes.

5. Afstanden til vandløb, søer og havet er mindst 25 meter.

Den kommunale miljømyndighed vil i den enkelte sag skulle tage konkret stilling til, om ovenstående betingelser kan anses for at være opfyldt, således at en nedsivningstilladelse kan meddeles.

8.3.2 Udledning til recipient

Umiddelbart vil det givetvis være svært for klimavejsbelægninger i tætbefolkede urbane områder at finde nærliggende recipienter, som kan benyttes for udledning af opsamlet vejvand. I det efterfølgende er dog oplistet hvilke forholdsregler, der i givet fald kommer i spil.

Hvad angår udledning til recipient er traditionelt vejsalt som oftest et mindre problem, med mindre en meget stor del af oplandet er befæstet, og der er tale om en fersk recipient. Organiske tømidler er derimod problematiske i forhold til udledning til recipient, idet de giver risiko for iltsvind.

Vand fra veje, hvor der er gennemført glatførebekæmpelse med organiske tømidler (som jf. foregående afsnit er hensigtsmæssige ved direkte nedsivning til grundvand), har et indhold af organisk stof, der omtrent svarer til ufortyndet husspildevand. Umiddelbart kan glatførebekæmpelse med organiske tømidler derfor ikke anbefales, hvis vandet ønskes udledt til recipient og især ikke til en sårbar recipient som et mindre vandløb eller en mindre sø.

Ved udledning af vand fra større veje til recipient betragtes rensning i vådbassiner normalt som bedste tilgængelige teknologi (BAT). I vådbassinerne nedbrydes visse organiske forbindelser, næringssalte omsættes, og tungmetaller bindes til sedimentet. Desuden bundfælder sedimentært materiale.

Vejvand, der er sivet ned gennem en permeabel asfalt med underliggende vejkasse, vil allerede være blevet rensset i et vist omfang [L.8.3-3]. Udledning af vejvand til recipient er reguleret af spildevandsbekendtgørelsens [L.8.3-4] §17.

Det vil bero på en konkret vurdering fra den kommunale miljømyndighed, om rensning gennem den permeable asfalt og vejkassen kan anses for at være tilstrækkelig set i relation til vejarealets størrelse, samt trafikbelastningen og recipientens følsomhed. Den kommunale miljømyndighed skal i den forbindelse blandt andet lægge vægt på princippet om bedste tilgængelige teknologi (BAT).

Hvad angår udtagning af vejvandsprøver er det en udfordring, at det største indhold af forurenende stoffer vil forekomme i first flush. For at få en repræsentativ prøve er det derfor nødvendigt at udtage flowproportionale prøver. Se mere herom i denne rapport's bilag 2.

I forhold til litteraturstudier er det vigtigt at være opmærksom på, at historiske data for sammensætningen af vejvand kan være forældede. F.eks. anvendes der ikke længere bly i benzin, sammensætningen af dæk har ændret sig, og olietab fra moderne biler er generelt lavt undtaget ved spild og uheld.

8.3.3 Undersøgelse om eventuel afsmitning fra drænasfalt

Som et led i overvejelserne om anvendelse af drænasfalt som et aktivt led i vejens afvandingsløsning støder man nu og da på spørgsmålet, om der kan være risiko for afsmitning af asfaltens bindemiddel, bitumen, når regnvandet passerer ned gennem belægningen. For at efterforske denne tese er der udført en supplerende serie udvaskningsforsøg i Teknologisk Instituts Rørcenter-laboratorium [L.8.3-5]. I denne forsøgsserie er anvendt en DA 11 drænasfalt, med sammensætning (omtrentligt) svarende til projektets klimavejsbelægning.

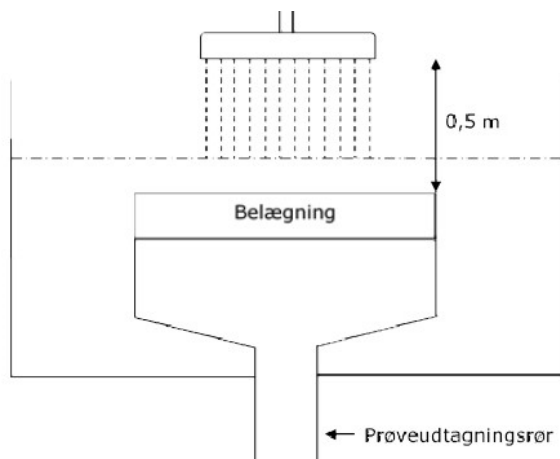


Fig. 8.3.1: Princip for opstilling til udvaskningsforsøg gennem drænasfalt belægning.

I prøvestanden er anvendt prøveemner (indtromlede asfaltplader) med dimension 31,5 x 31,5 cm og lagtykkelse 4 cm. Asfaltprøven placeres i prøvestanden, så der er en afstand på 50 cm til et ovenfor placeret brusehoved med dimension $\text{Ø}200$ mm. Der anvendes en konstant vandstrøm svarende til 0,02 liter/sek. Rent drikkevand anvendes som reference for prøverne.

Til tiden 0 startes udledningen af drikkevandet gennem brusehovedet, så vandet ledes gennem prøveemnet. Der udtages prøver af det gennemstrømmede vand til tiden 0 samt én gang i døgnet over de efterfølgende 4 døgn. Prøverne er efterfølgende sendt til et anerkendt miljøkemisk laboratorium for analyse. Da bitumen ikke er et fast "stof" men en blanding af kulbrinter, er der foretaget måling af kulbrinter i udvaskningsvandet, som indikator for evt. bitumenafsmiltning.

Det fremgår af analyseresultatet, at der i løbet af de 4 døgn ikke er målt totale kulbrinter over detektionsgrænsen. Det kan derfor konkluderes, at der ikke sker udvaskning af bitumen ved nedsivning gennem den permeable asfaltbelægning.

8.3.4 Referencer – miljøforhold

[L.8.3-1] Risiko for forurening af grundvandet ved forskellige typer glatførebekæmpelse. Naturstyrelsen 2013.

[L.8.3-2] Risiko ved nedsivning og udledning af separatkloakeret regnvand, Baggrundsrapport, Udkast oktober 2012, Thomas H. Larsen, Jes Vollertsen og Søren Gabriel, Aalborg Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Teknologisk institut & Orbicon A/S - 2012

[L.8.3-3] Fuldskalaforsøg med permeable belægninger til afledning af regnvand. Naturstyrelsen september 2014.

[L.8.3-4] Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, BEK nr. 726 af 1. juni 2016

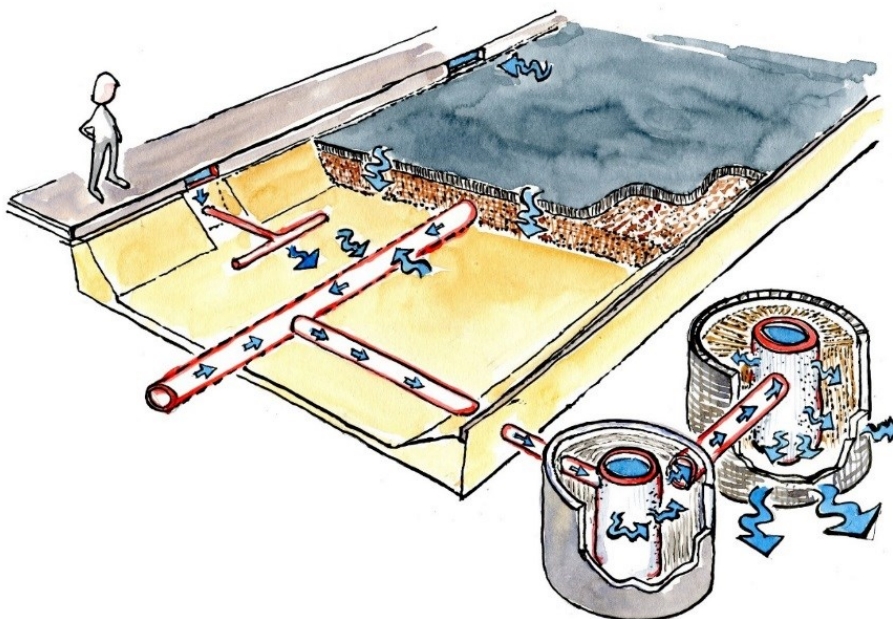
[L.8.3-5] Forsøg med permeabel asfaltbelægning, Prøvningsrapport, Teknologisk Institut, 2017.

[Bilag 2] Procedure for prøvetagning, Teknologisk Institut, juni 2015

8.4 Nye miljørigtige løsningsmuligheder på vej

Der arbejdes løbende med klimatilpasningsløsninger, som er et af tidens helt store fokusområder. I denne forbindelse gennemføres bl.a. et Forsknings- og Udviklingsprojekt "AkvaVejen" i fælles regi af NCC og Teknologisk Institut (projektledelse) for Klimapartnerskabet bestående af Københavns Kommune, HOFOR, Tårnby Kommune, Tårnby Forsyning og Markedsmodningsfonden.

Der er i dette projekt udviklet et nyt koncept, hvor der opbygges en vejkasse med permeabel drænasalt, udlagt på permeabelt dræn-stabil-grus, udlagt oven på en tæt membran.



Figur 8.4-1: Grundprincip fra projektet AkvaVejen. Vejvandet opsamles og opmagasineres i den permeable belægning og kan efterfølgende vis sekventielle rensebrønde renses, så det umiddelbart efter er egnet til nedsivning eller afledning til recipient, hvis mulighed foreligger.

Vandet samles op med drænledninger i bunden af vej-kassen, over membranen. Nedsivningsløsningen kombineres med, at eventuelt "overløb" fra belægningen (hvis regnintensiteten overstiger drænasfaltens permeabilitetshastighed) via indløb i kantsten ledes ned i det underliggende dræn-reservoir.

Det opsamlede vand fra vej-kassen ledes derefter til en serie af sekventielle rensebrønde, som renses vejvandet effektivt, herunder også for tungmetaller og bly, således at det rensede vand overholder kriterierne for nedsivning til grundvand og til afledning til recipient. Vejstrækningen kan således afkobles helt fra kloak-/regnvandsnettet. Af hensyn til problematikken med vintersaltning vil det dog givetvis være hensigtsmæssigt at udforme løsningen, så der er mulighed for vinteromkobling til kloak-/regnvandsnettet i de saltningskrævende vintermåneder, hvor omfanget af ekstremnedbør samtidigt er mindre.

Der er udført en fuldskala teststrækning efter dette koncept i 2017 på Bredagervej i Tårnby Kommune. I det konkrete projekt var vejen kommunal men det tilstødende grønne areal privat (boligforening). For at sikre klare linjer omkring ejerskab og ansvarsforhold blev den i praksis valgte løsningsopbygning derfor suppleret med endnu et reservoir (et lag drænggrus), placeret under den vandtætte membran, således at det rensede vejvand blev tilbageført ind under membranen for derefter at kunne tillades nedsivet uproblematisk direkte under vejen. (Se evt.

mere her: <https://www.teknologisk.dk/akvavejen-en-innovativ-klimatilpasningsloesning/38599?cms.query=akvavejen>).



Figur 8.4-2: Princip fra projektet "AkvaVejen". Efter rensning af vejvandet i en serie lokale, sekventielt forbundne rensbrønde, kan det rensede vand f.eks. anvendes til rekreative formål som springvand etc. samt tillades nedsivet i grønne områder, hvor nedsivningen hjælper til at modvirke fordampningen i sommermånederne. Ved den i praksis udførte løsning blev det valgt at indbygge endnu et drængrus vandmagasin under den vandtætte bundmembran, således at det rensede vejvand kunne nedsives på stedet, direkte under vejen.



Figur 8.4-3: Demonstrationsforsøg fra AkvaVejens indvielse: Trods fuld vandstråle (af rent vand) fra slamsugerbilens blev alt vandet straks "slugt" af den permeable belægning! De blå cirkler er udsmykning, der symboliserer, at der er tale om en klimatilpasset vej, da løsningen ellers er "usynlig" i det daglige gadebillede

9. Intelligent vedligeholdelsesstrategi

Drænasfalt er en meget åben og permeabel belægningstype med op imod 25% lufthulrum. Hulrummet er nødvendigt for at sikre de gode drænegenskaber og støjreduktionsevnen. Til gengæld kan det ikke undgås, at disse hulrum over tid begynder at stoppe til med vejsnavs, nedfaldne blade etc. Det er derfor nødvendigt at rense belægningen med faste (typisk årlige) intervaller for at sikre en fortsat permeabilitet. Dette afsnit beskriver disse udfordringer og giver gennem introduktion af ny teknologi med CT-skanning en unik ny mulighed for belægningsoptimering og tilrettelæggelse af en optimeret vedligeholdelsesstrategi.

For at sikre en multifunktionel drænasfalt bedst mulig bevarelse af de oprindelige støjreducerende og drænende egenskaber, er det vigtigt, at vedligeholde vejbelægningen på den mest hensigtsmæssige måde. I dette afsnit beskrives nogle af de særlige udfordringer, som er forbundet med vedligeholdelse af drænasfalt, samt hvordan disse imødegås. Det beskrives endvidere, hvordan der er udviklet en ny teknik, der i laboratoriet på få dage kan simulere den tilstopning af belægningens porer, som i praksis foregår hen over en længere årrække. Endelig beskrives, hvordan det gennem innovativ anvendelse af avanceret CT-skanningsteknik er muligt at foretage en ikke-destruktiv fastlæggelse af ikke blot en asfaltprøves korn- og hulrumsfordeling, men også hvor og hvordan en belægningskerne tilstoppes af vejsnavs.

Med denne nyudviklede teknik er det nu muligt at forudsige og sammenligne forskellige drænasfalttypers tilstopningstendens. Herved er opnået et vigtigt nyt værktøj for mix-design optimering af drænasfalt. Endelig kan denne innovative teknik benyttes til optimering af oprensningsprocedurer i laboratorieskala, samt bedømmelse af effekten fra forskellige hulrums-overfladecoatings.

9.1 Udfordringer med tilstopning af hulrum

Erfaringer med drænasfaltbelægninger, herunder de danske erfaringer fra Øster Søgade forsøgene i København, angiver, at anvendelse af drænasfaltbelægninger medfører nogle særlige udfordringer omkring fastholdelse af belægningens porestruktur og dermed støjreduktion og afdræningseffekt. Erfaringerne viser, at drænasfaltbelægningers porer har en generel tendens til med tiden at stoppe til med "vejsnavs" i form af f.eks. nedfaldne blade, støv og fint sand/jord, afrevne dæk-gummipartikler, evt. oliespild m.v.

For at sikre optimal dræneffekt igennem en lang årrække er det derfor nødvendigt at indføre særlige procedurer for regelmæssig oprensning af porerne med egnet spule-/sugeudstyr. Erfaringerne fra bl.a. hollandske motorveje antyder, at oprensning med spule-/sugebil 1-2 gange årligt vil være hensigtsmæssigt for at sikre længst mulig dræneffekt (og dermed også længst mulig støjreducerende effekt).

Det er vanskeligt og tidskrævende at gennemføre et langtidsforsøg på en fuldskala vejbelægning, så man kan belyse forskellige drænasfalt-optimeringers langtidseffekt m.h.t. bibeholdelse

af den åbne hulrumsstruktur. I nærværende projekt, med begrænset tidsmæssig udstrækning, har vi derfor sat fokus på at udvikle hurtigt gennemførlige laboratorietests, der kan benyttes til screening og dermed optimering af drænasfaltens sammensætning. Der er på denne baggrund udviklet nye metoder til simulering af tilstopning med vejsnavs på vejen, ligesom spule-/sugebils oprensning også er simuleret i laboratoriet.

For at kunne vurdere effekten af de forskellige tiltag er der gennemført vandgennemløbstest på asfaltprøvelegemer både før tilstopning, efter laboratoriesimuleret tilstopning, samt efter forskellige former for laboratoriesimuleret oprensning. En vigtig parameter i denne forbindelse er også at studere tilstopningsfænomenets virkemåde og udbredelse, herunder hvordan og i hvilken dybde vejsnavset fæstnes, så renseprocedurer efterfølgende kan optimeres. Der er således behov for at kunne skabe et "røntgenbillede" af de tilstoppede og oprensede borekerner.

I dette projekt har vi introduceret ny, avanceret teknologi til ovennævnte formål. Teknologisk Institut råder bl.a. over avancerede CT-skannere (som f.eks. kendt fra hospitalsverdenen), som kan give et tredimensionelt billede af asfaltprøvelegemers hulrumsstruktur. Der er derfor gennemført CT-skans på udvalgte kerner i forlængelse af de gennemførte tilstopnings- og oprensningsforsøg for, som noget helt nyt, at kunne bedømme den tredimensionelle effekt af de foretagne tiltag.

Resultaterne, som oplistes i delrapportens konklusion, dokumenterer, at der med CT-skans er fundet et nyt, effektivt værktøj til simulering og vurdering drænasfaltmaterialers tendens til tilstopning, samt vurdering af effektiviteten af introducerede oprensningstiltag.

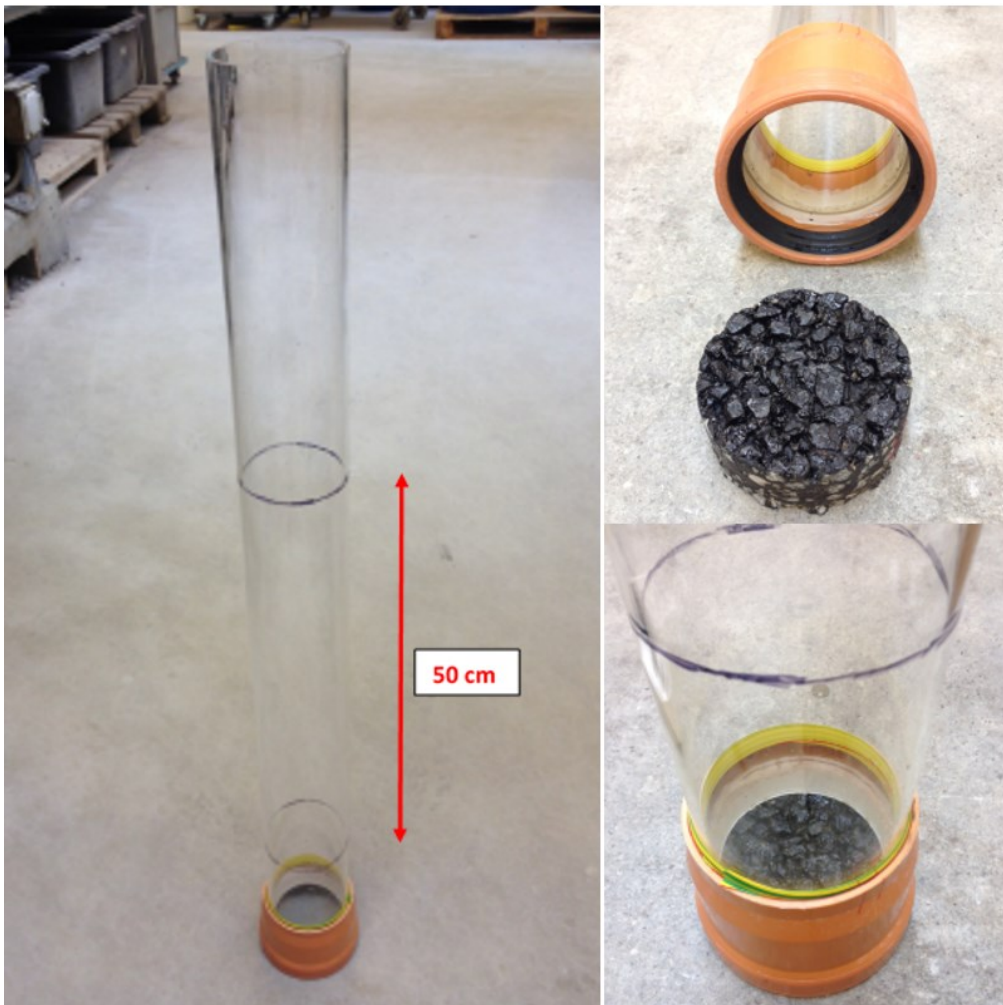
9.2 Tilstopnings- og oprensningsforsøg i laboratoriet

Som basis for denne forsøgsrække er anvendt en serie på i alt 18 stk. Ø100 mm borekerner, som er udboret fra 4 cm tykke, indtromlede asfaltplader af drænasfaltmaterialet anvendt på fuldskala-forsøgsstrækningen på Korsdalsvej i Rødovre. Indledningsvis er alle kerner vejret og dimensioner opmålt geometrisk.

Da der ikke eksisterer nogen officiel testmetode, som involverer vejsnavs-tilstopning af drænasfaltens hulrum, er der indledningsvis introduceret en "slam-cocktail" bestående af en blanding af vand, spagnum (simulere rådne blade), finkornet sand (simulere vejstøv), gummimel (simulere dækafrivning) og motorolie (simulere oliespild og sikre at blandingen klitrer bedre fast i hulrummene). Efter tilstopning er kernerne tørret i varmeskab ved 30°C for at sikre, at slammen er klæbet fast i kernernes hulrum før oprensning påbegyndes. Tilstopnings- og oprensningsprocedurerne fremgår i øvrigt af den efterfølgende billedserie.



Figur 9.2-1: Kerner som modtaget. Kernernes dimensioner og vægt måles.



Figur 9.2-2: Udstyr til måling af gennemløbstid: Plastkrave med gummipakning, der slutter tæt om \varnothing 100 mm kerner. Plastkraven påmonteres et plexiglasrør ($\varnothing_{\text{ydre}} = 100\text{mm}$, $\varnothing_{\text{indre}} = 92\text{mm}$) med en vandtæt silikonefuge. Gennemløbstiden måles som den tid det tager fra vandet passerer den øverste sorte streg til det passerer den nederste sorte streg (afstand mellem øverste og nederste streg er 50 cm).



Figur 9.2-3: Måling af gennemløbstid:

- Der hældes vand i røret til 10 – 20 cm over den øverste sorte streg.
- Stopuret startes ved vandets passage af den øverste sorte streg og stoppes ved vandets passage af den nederste sorte streg.
- Det kontrolleres at vandet løber gennem kernen og ikke ned langs gummipakningen.
- Gennemløbstiden måles 2-3 gange pr. kerne

Tilslemningsvæske:

- 6 liter vand.
- 300 gram spagnum.
- 100 gram finkornet sand.
- 30 gram gummimel.
- 10 gram motorolie.



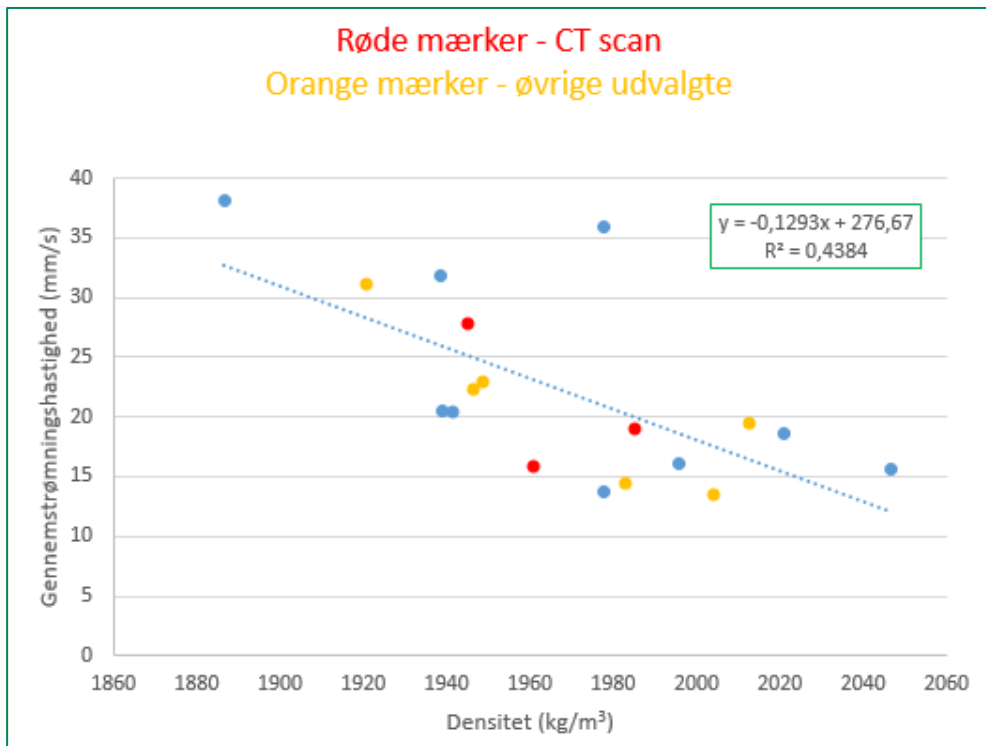
Figur 9.2-4: Tilslemning. Blandingen ovenfor. Kerne (t.h.) monteret i et Ø100 mm plastrør (indre diameter), der slutter tæt om kernen.

Tilslemningsprocedure:

- Kernen monteres i et Ø100 mm rør (indre diameter), der slutter tæt om kernen
- Rørene placeres i en spand og der hældes 1 l opslæmningsvæske i røret. Tilslemningsvæsken har tendens til at bundfælde og det er derfor vigtigt, at der konstant røres i denne – både ved udtagning af den ene liter der hældes over kernen og under selve påfyldningen af væsken i plastrøret.
- Efter 30 min. og 60 min. røres i opslæmningen.
- Efter yderligere 1 time, fjernes kernen fra røret og sættes i varmeskab ved 30 °C til vægtkonstans.
- Kernen vejes.

Gennemløbstiden måles tre gange.

Kernernes densiteter blev indledningsvis bestemt. Efterfølgende figur viser sammenhængen imellem densitet og vandgennemstrømning:



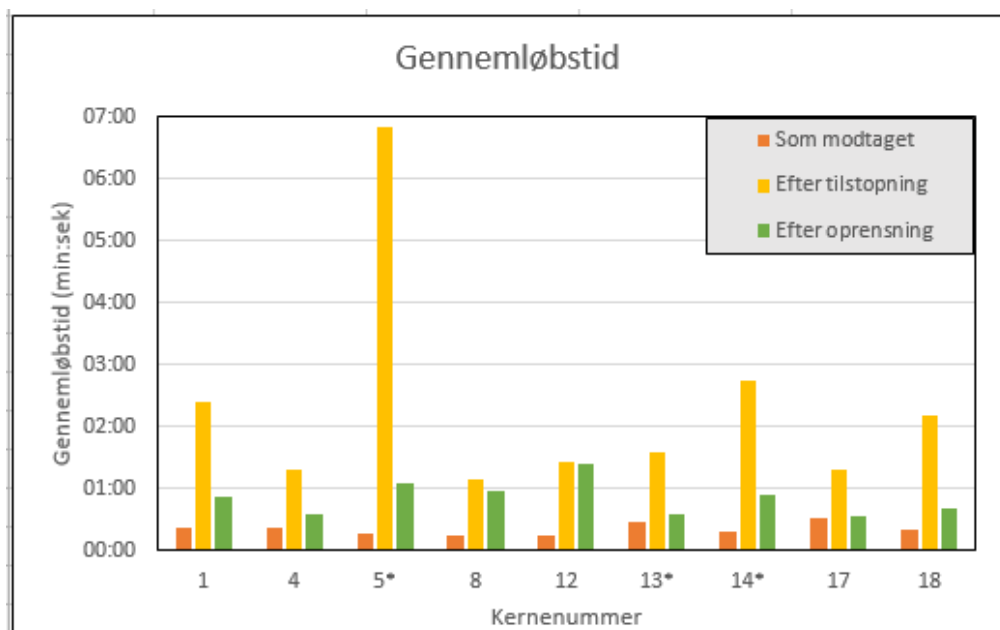
Figur 9.2-5: Udvalgte borekerner: Der blev indledningsvis udtaget 9 kerner til tilstopning/oprensning, hvoraf 3 yderligere skulle CT-skannes. Orange markering er kerner udtaget til indledende tilstopningsforsøg. Rød-markering er kerner, der samtidigt CT-skannes. Blå kerner er de kerner, som indledningsvis blev fravalgt som "reserve".

På de tilstoppede kerner blev foretaget oprensning med højtrykksspuling og afsluttende støvsugning med vandstøvsuger (Nilfisk vådstøvsuger).



Figur 9.2-6: Oprensningsprocedure:

- Hver kerne spules med højtrykksspuler, 2 gange á 20 sek. med ca. 20 cm afstand.
- Gennemløbstiden måles to gange.
- Kernerne sættes i varmeskab ved 30 °C til vægtkonstans. Min. 1 døgn.
- Kernen vejes.

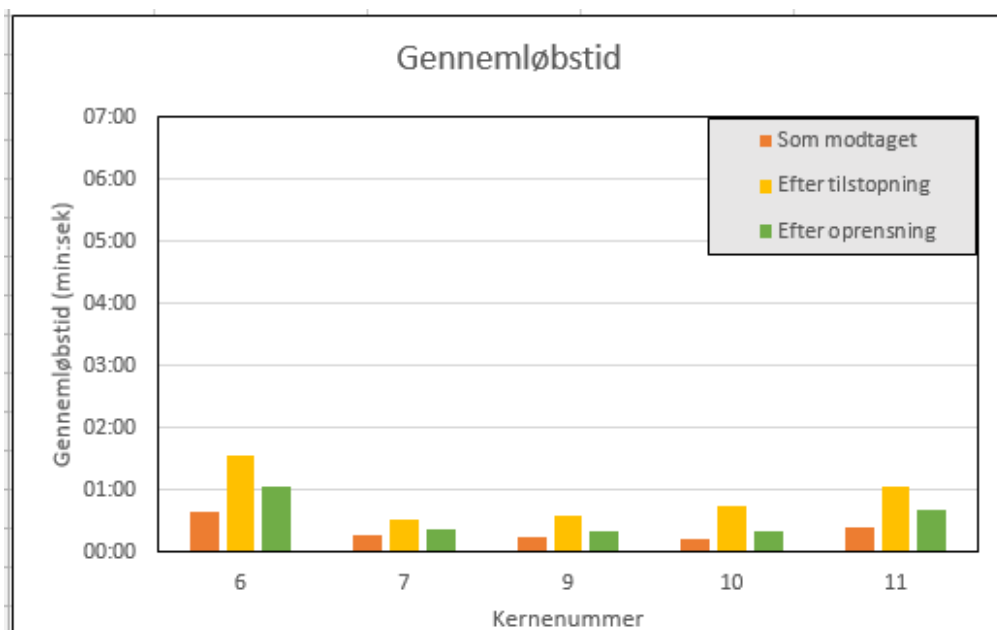


Figur 9.2-7: Gennemløbstiden (mm vandsøjle/sek) for de 9 kerner. De tre kerner markeret med * er dem, som supplerende er anvendt til CT-skanning. Det ses, at oprensning har en tydelig effekt, om end de oprensede kerner (grøn) generelt har lidt længere udløbstid end de oprindeligt havde (rød) før tilstopning.

Det blev på baggrund af ovenstående resultat overvejet, om den anvendte renseprocedure i tilstrækkelig grad har simuleret den på vejen opnåede renseseffekt med spule-/sugebil. Det blev derfor besluttet at supplere med tilstopnings- og oprensningsforsøg på yderligere tre borekerner (6, 7 og 9) med ændret renseprocedure: Hver kerne spules med højtryksspuler, 2 gange á 5 sek. med ca. 45 cm afstand og efterfølgende sugning med vådstøvsuger, denne behandling gentages i alt to gange. Denne procedure skulle (forsøgsvis) simulere effekten af, hvis arealet på vejen gennemkøres to gange med spule-/sugebil med kort mellemrum (iblødsætning og efterrensning). Kernerne blev desuden placeret på et fast gummiunderlag, som derved simulerer opbygninger, hvor drænasfalten er udlagt oven på en tæt asfaltbelægning.

Som noget helt nyt blev afslutningsvis lavet forsøg, hvor kernerne forud for tilslemning blev coatet med en kunstvoksemulsion (kerne 10 og 11) og tørret til konstant vægt ved 30°C natten over, før tilstopning og oprensning. Dette blev foretaget for at vurdere, om en præventiv, ganske tynd voksfilm coating på overfladen, nede i de enkelte hulrum, kunne have en gunstig snavs-afvisende effekt, så vejnavsets fastgørelse blev mindsket som følge af en mere glat overflade med nedsat overfladespænding. Resultatet fremgår af efterfølgende figur 9.2-8.

Som det fremgår af figur 9.2-8 synes den ændrede oprensningsprocedure ikke at have givet nogen relativ forbedring, ligesom den forsøgsvis anvendte voksoating ikke synes at have givet et markant positivt bidrag til at modvirke tilstopning og lette oprensning. Ideen fungerer således desværre ikke i praksis som forventet – i hvert fald ikke med den anvendte voksemulsion. Det kan dog ikke udelukkes, at der med andre coating-teknikker, f.eks. nano-teknologi, kan skabes en gunstig effekt, men dette må anses for at ligge uden for det eksisterende projekts rammer.

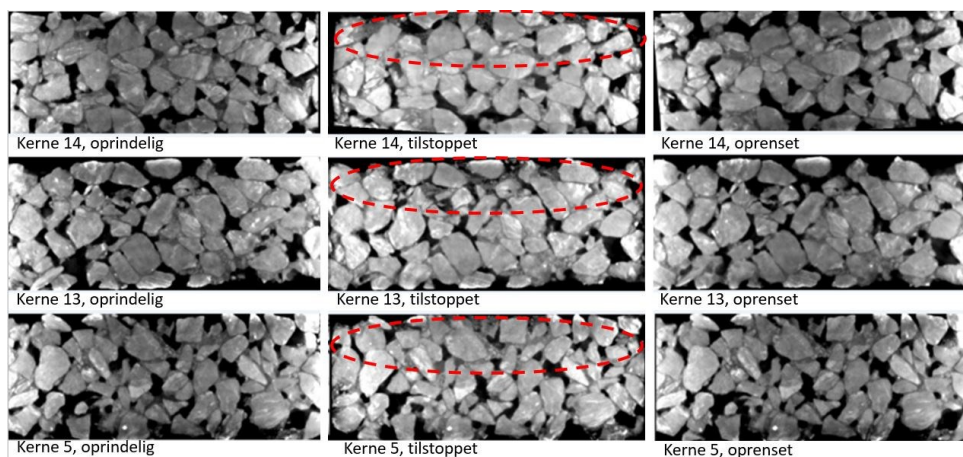


Figur 9.2-8: Gennemløbstid for supplerende prøver. Kerne 10 og 11 er med voksbehandlede hulrum for opnåelse af mere glat overflade, der bedre skulle forhindre "fastgroning" af vejsnavs.

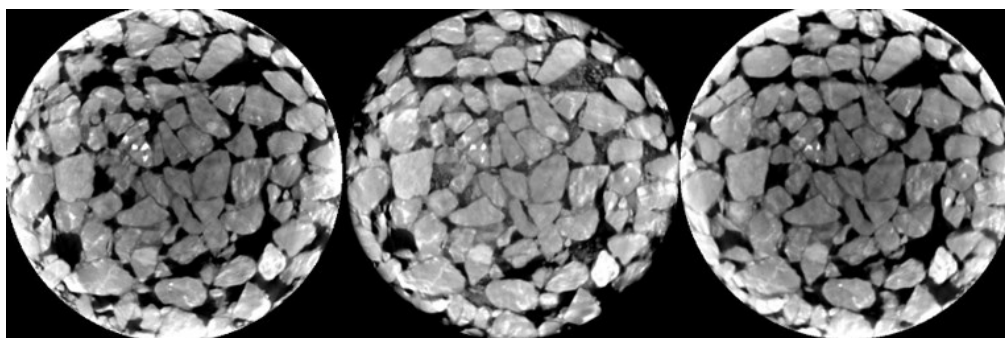
9.3 Porestruktur vurderet med avanceret CT-skanning

Som tidligere nævnt blev det besluttet at foretage CT-skanning af udvalgte, repræsentative borekerner, for at kunne iagttage hvor og hvordan porerne tilstoppes.

CT-skans af borekerner er foretaget med Teknologisk Instituts CT-skanner (Zeiss Metrotom 1500). Nedenfor er afbildet lodrette snit i midten af borekernen, før tilstopning (t.v.), under tilstopning (midt) og efter oprensning (t.h.) for 3 kerner (5, 13 og 14):

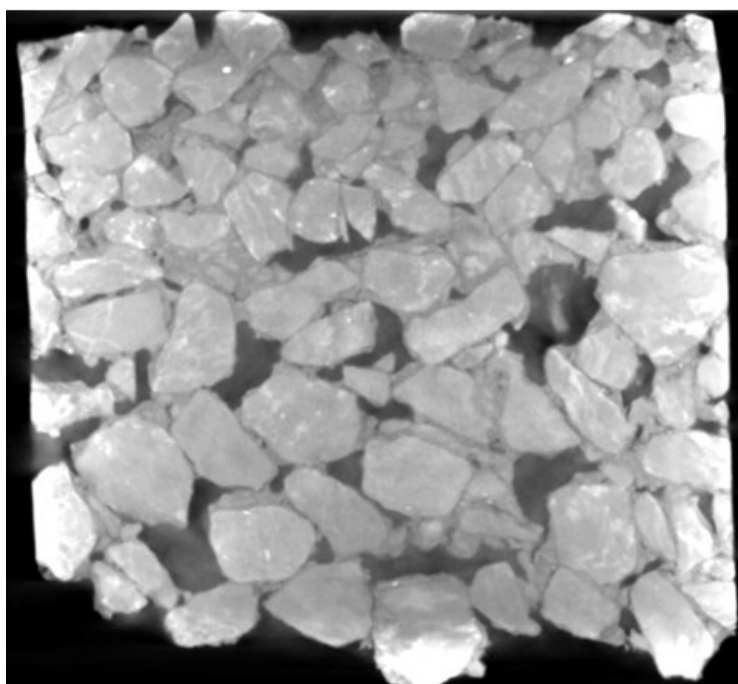


Figur 9.3-1: CT-skanning af 3 borekerner. Til venstre ses de oprindelige kerner, i midten efter simuleret tilstopning i laboratoriet og til højre efter oprensning. Når billederne betragtes (specielt i forstørret udgave), ses hvordan det tilførte vejsnavs (slæmningen) fordeler sig i porerne (seriens midterste fotos), for derefter næsten af forsvinde i de højre stillede fotos (efter oprensning). Det ses endvidere af billedstudierne, at kerne hovedsagelig tilstoppes i den øverste tredjedel af borekernen (rødmarkeret zone).



Figur 9.3-2: Kerne 13, snit i dybde ca. 1,5 cm under belægningsoverfladen: Den tilstoppede kerne i midten har tydeligt mere vejsnavs i porerne end den oprindelige (t.v.). Kernen til højre viser samme kerne efter rimelig effektiv oprensning udført i laboratoriet.

For at se om observationerne og konklusionen om tilstopningsdybden stemmer overens med virkeligheden, ude på vejen, er der foretaget en sammenlignende skanning af en borekerne, udtaget på en vej. På en DA 11 Permavejs-belægning, udlagt af NCC på en servicevej i Billund Lufthavn for nogle år siden, og som nu i praksis har nedsat drænevne, er der udtaget en borekerne:



Figur 9.3-3: CT-skan af borekerne fra Billund. Der er tale om en to-lags belægning med DA 11 toplag (øverst på billedet) og et drænasfalt-bærelag med større stenstørrelse. Det fremgår af billedet, at også her forekommer tilstopningen i det væsentlige i den øverste ca. tredjedel af slidlagsbelægningen.

9.4 Oprensning på vej bør planlægges fra starten

For at sikre en langtidseffekt af drænasfaltbelægninger er det vigtigt, at disse behandles korrekt og hensigtsmæssigt. Det bør således generelt sikres, at belægningen holdes ren for jord, grus m.v. og må derfor ikke benyttes til f.eks. aftipning af midlertidige lagre af jord/grus/sand til fortovsreoveringer el. lignende. Undgå spild og sørg om nødvendigt for rengøring.

Som tidligere nævnt fordrer drænasfaltbelægninger – specielt ved anvendelse i byområder med langsomt kørende trafik - at der regelmæssigt foretages oprensning ved højtryks vandspuling og efterfølgende rensugning med en dertil egnet spule-/sugebil. Der bør anvendes en egnet feje-/sugebil med spul og bredsug, typisk i en bredde af ca. 2,4 m.



Figur 9.4.1: Permeable belægninger bør regelmæssigt, f.eks. årligt, renses for vejsnavs med spule-/sugebil for at sikre fortsat permeabilitet.

Det skønnes for nuværende, at prisen for fejning/spuling/opsugning ligger i størrelsesorden ca. 1-2 kr./m² ved større arealer.

Det er som ovenfor nævnt vigtigt at sikre opretholdelse af drænasfaltens funktionelle egenskaber over tid. Derfor bør der helt fra starten af indgå en plan for systematisk vedligehold, så oprensning af porerne foretages som minimum én gang årligt. Behovet kan f.eks. øges til halvårligt, hvis der er mange løvfældende træer langs vejen.

Det er meget vigtigt, at man får planlagt en frekvens for rensning fra starten, da mange ”lige vil vente” og se hvor lang tid der kan gå inden det er nødvendigt at rense på grund af fastgroet tilstopning – men i så fald kan det ofte være alt for sent at sætte ind, når skaden er sket.

Det foreslås derfor, at der i forbindelse med etablering af drænasfaltbelægninger, som en del af leverancen, sikres modtagelse af en vedligeholdelsesplan fra den udførende asfaltentreprenør. På denne baggrund kan om ønsket indgås en vedligeholdsaftale til bedst mulig sikring af funktionsegenskaberne over tid. Vedligeholdelsesudgifterne til funktionsegenskabernes bibeholdelse kan således strategisk medtages som en kendt parameter allerede i forbindelse med valget af den permeable belægning.

9.5 Konklusion om intelligent vedligeholdstrategi

Udenlandske såvel som tidligere danske forsøg med drænasfalt peger på, at der er behov for systematisk, rutinemæssig oprensning med spule-/sugebil for at kunne bibeholde den åbne porestruktur. Der er derfor i det tidligere indsatte afsnit om asfaltoptimering lagt vægt på at anvende et asfaltprodukt med gode drænegenskaber og luftporer med relativt stor porediameter. Herved øges belægningens drænevne og samtidigt medvirker det større opnåede hulrum til belægningens gode støjreducerende egenskaber.

Det er i laboratoriet gennem en omfattende prøveserie undersøgt hvordan belægningens porer tilstoppes af (simuleret) vejsnavs og hvordan forskellige oprensningsteknikker influerer på tendensen til tilstopning, bedømt ud fra den nødvendige tid for gennemløb af en given mængde vand. Det er desuden undersøgt, om en præventiv coating af belægningens hulrum med en ”glat” voksemulsion kunne have en positiv indflydelse på gennemstrømningstiden. I praksis ses dog ingen signifikant effekt af voksen.

Det konkluderes, at det er vanskeligt i laboratoriet at efterligne den eksakte oprensningsprocedure, som anvendes på vejen, men det kan konkluderes, at den udviklede teknik med tilslemning af borekerner i ret høj grad synes at efterligne de mekanismer, der foregår ved tilstopning af drænasfalt over tid, ude på vejen.

Samtidigt konstateres, at CT-skanning er et værdifuldt værktøj til at forudsige hvor og i hvilket omfang det må forventes, at en given drænasfalt over tid tilstoppes med vejsnavs. Man kan således på nogle få dage i laboratoriet med rimelig sandsynlighed forudsige udfaldet, som belægningen vil opnå på vejen efter måske 5-10 års brug eller mere. Det betyder med andre ord, at denne nyudviklede laboratoriemetode fremadrettet kan benyttes til at optimere drænasfaltbelægnings hulumstruktur, så der opnås optimal levetid.

Omkring selve vedligeholdelsesstrategien er det vigtigt fortsat at følge de tidligere erfaringer omkring at foretage oprensning med speciel spule-/sugebil 1-2 gange årligt. Effekten kan f.eks. følges via borekerner, som CT-skannes og/eller udløbsmåles (vandafdræningsevne) med Becker-test (se mere i afsnit 7 under permeabilitet).

Det vurderes samtidigt vigtigt, at der i stigende grad anvendes drænasfaltbelægnings med store luftporer og et højt indhold af høj-polymermodificeret bitumen, for derved at opnå størst mulig robusthed overfor "hårdhændet" vandspuling. Det kan i øvrigt også overvejes, om det på sigt vil være muligt at foretage rensning med en forudgående "iblødsætning", hvor måske vaskevand tilsat et overfladeaktivt additiv kan medvirke til at løsne vejsnavsen før oprensningen.

Det skal i øvrigt sluttbemærkes, at hvis drænasfaltbelægningerne fremadrettet er i stand til at bibeholde sin gode drænevne, men med tiden til gengæld får tendens til udvaskning som følge af de mange spule-rensninger, så der opstår risiko for begyndende stentab, vil en præventiv og omhyggelig udført emulsionsforsegling med speciel, egnet bitumenemulsion, hvor mængde og konsistens kan reguleres individuelt under udsprøjtningen, givetvis være en fordelagtig løsning. Dette kan f.eks. gentages hvert 5. år efter første forsegling er udført.

Anvendelse af drænasfalt på klimaveje, til imødegåelse af problematikken med oversvømmelsseskader fra klimaforandringerne ekstremnedbørsskyl (og relateret sygdomsrisiko fra opstigende kloakvand) og samtidig medvirkning til et bedre støjmiljø i urbane områder, medfører både lidt ekstra anlægsomkostninger og som tidligere nævnt nogle ekstra vedligeholdelseskostninger. Disse udgifter skal dog sammenholdes med de samtidigt sparede udgifter til omlægning af kloaknet med separatkloakering og omfattende opgravninger i tætte bygader, samt de "sparede" samfundsmæssige udgifter som følge af færre hospitalsomkostninger og dødsfald fra hjerte-/karsygdomme, stress og meget mere.

10. Glatførebekæmpelse – udfordringer og muligheder

Drænasfalt har en mere åben overfladestruktur end traditionelle asfalt slidlagsbelægninger. Dette giver rigtig gode og sikre forhold i vådt føre, hvor opsprøjt mindskes og akvaplaning ikke vil opstå, når vandet effektivt bortledes. Den åbne struktur bevirker dog også lidt ændrede forhold omkring vintervedligehold og glatførebekæmpelse. Dette afsnit beskriver de forhold, man skal være opmærksom på vedrørende procedurer for snerydning og saltning af drænasfaltbelægninger og giver også nogle råd til at ”komme i mål” med effektiv glatførebekæmpelse.

I dette afsnit af rapporten er oplistet hvilke særlige forhold, man bør iagttage i forbindelse med valg af drænasfalt slidlagsbelægning. Generelt har belægningstypen en lang række fordele, så som støjreduktion, afdræningsevne, trafiksikkerhed i vådt føre etc., men med hensyn til vintervedligehold og glatførebekæmpelse er der en række særlige forhold, som bør iagttages og indgå i den samlede planlægning. Drænasfalts åbne porestruktur betyder, at den har en anden termodynamik end traditionel asfaltbelægning. Den er overordnet mere følsom over for temperatursvingninger og vanskeligere at udføre en effektiv vintertjeneste på, såvel mht. bekæmpelse af glatføre som udførelse af snerydning.



Figur 10.1-1: Eksempel på forskellen i overfladestrukturen for drænasfalt (t.v.) og tætgraderet asfalt (t.h.)

Udfordringen ved brug af drænasfalt i forbindelse med vintertjeneste kan grupperes i følgende 3 problemstillinger:

- Temperaturfølsomhed
- Nedsivning og ophobning i den åbne struktur (salt, sne og fugt) – med følgevirkninger
- Overgangsstrækninger.

10.1 Temperatur

Drænasfaltens åbne struktur gør, at dens overflade er meget større end ved almindelig asfalt, hvilket igen betyder, at den er mere følsom over for temperatursvingninger. Når lufttemperaturen falder hurtigt, vil drænasfaltens temperatur også falde forholdsvis hurtigt pga. den store udstrålingskapacitet. Dette kan sammenlignes med, at 1.000 liter vand i en tønde vil fryse langsommere til is, end hvis samme mængde var fordelt på 1.000 stk. 1 liters flasker. Dette fænomen kræver kortere responstid i forbindelse med udkald til saltning.

Drænasfaltbelægninger 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 luft og vejbane 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 typisk er 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 gennem 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. Den porøse vejbanes varmekapacitet og varmeledningsevne ændres ved at luft fortrænges af vand. Specielt varmekapaciteten øges, hvilket mindsker den daglige variation i temperatur. Dette holder generelt natte temperaturen oppe, mens dagtemperaturen holdes nede. Såfremt den porøse asfalt tørrer hurtigere, reduceres fordampningen fra vejoverfladen, hvilket betyder at den porøse asfalt afkøles langsommere [L.10.1-1].

På grund af drænasfaltens lave temperatur og hurtige temperaturudsving har den også flere såkaldte frysepunktpassager eller nulpunktpassager. Dette vil have stor betydning under klimatiske forhold som i Danmark, hvor temperaturen i forvejen ofte svinger omkring frysepunktet om vinteren, hvorfor en sænkning af temperaturen med 1 til 2 grader selvsagt vil kunne medføre flere situationer med vejtemperaturer under frysepunktet. [L.10.1-1].

10.2 Salt i porer

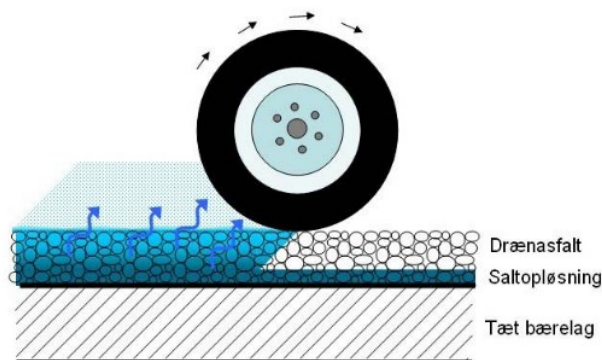
Saltets virkning på en vej er bl.a. afhængig af saltkornstørrelse, fugtigheden, vejtilstanden, trafikmængde, hastighed osv. Hvis almindeligt tørsalt spredes ud på en tør drænasfaltstrækning, vil en forholdsvis stor mængde af saltkornene lægge sig ned i hulrummene, hvor de ikke har nogen effekt indtil der er tilført fugt/vand enten i form af rim eller nedbør. Hvis saltet spredes ud som luge (i opløst tilstand), vil en stor mængde ligeledes på samme måde sive ned i porerne og drænes væk.

Derfor er det hensigtsmæssigt at bruge befugtet salt eller en saltopløsning, som har stor klæbeevne, evt. tilsat Safecote (el. tilsv.), som har en højere viskositet og klæbeevne end saltluge. Opløsningen skal så vidt mulig klæbe fast til vejoverfladen, så kun en mindre del siver ned. Erfaringer, både nationale såvel som internationale, viser, at man som udgangspunkt altid skal benytte sig af præventiv saltning. Vælger man at benytte salt, anbefales det, at der saltes hyppigt efter vejmyndighedens egen best practice og at der anvendes 30 til 50 % mere salt pr. år på drænasfalt end på tætte belægninger.

10.3 Trafik og pumpeeffekt

Der er flere yderligere faktorer, der har indflydelse på saltets virkning. For at saltet skal have tilstrækkelig effekt, skal der være nok fugt til stede, og der skal være trafik på vejen. Trafikken bidrager generelt til at skabe den nødvendige "omrøring/omplacering" af salt. Trafikken vil samtidigt suge saltet op af porerne og bringe det op til overfladen igen.

Dette omtales som pumpeeffekt (se figur 10.3-1). Når der er meget lidt trafik, f.eks. om natten, vil saltet ikke nå op til overfladen og vejoverfladen kan derfor risikere at fryse til is. Pumpeeffekten hænger endvidere sammen med hastigheden. Effekten vil således også være tilstede ved lav hastighed på 50 km/t., dog begrænset.



Figur 10.3-1 Pumpeeffekt fra trafikken

10.4 Sne

Som beskrevet, er det vanskeligt at få saltet til at blive på vejoverfladen efter saltning. Dette betyder også, at det er tilsvarende vanskeligt at salte præventivt mod sne for at forhindre fastkørt sne.

Sneen vil typisk presses ned i porerne, hvilket gør snerydningen yderligere vanskelig. Plovene kommer ikke ned til den sne, der sidder i porerne, der vil dannes en sne- og saltblanding, som vil rotere op og ned af porerne og en kuldeblanding risikeres. Omvendt vil en tæt belægning hurtigere tørre ud.

Skal der nævnes en fordel ved at sneen køres fast i vejbanen, må det være, at trafikanterne visuelt kan se at vejen er hvid og derfor har en tendens til at sænke farten. For at komme til bunds i rydningen, kan det for eksempel overvejes at investere i en mixer fra Falköping [L.10.4-1] (el. tilsv.). Mixeren kan anvendes under fastkørt sne og i forbindelse med combikørsel. Fordelen ved netop denne spredertype er, at sprederen varmer saltlage op til 95 °C inden det spredes ud. En anden fordel er, at der kan opløses væsentligt mere salt/anden tømiddel i allerede opvarmet vand, hvilket med fordel kan give operatøren mulighed for at regulere doseringen, også under meget lave vejtemperaturer. Selvfølgelig findes andre alternativer, såsom opbygning af eksisterende/ny kombispredere. Inspireret fra Furesø kommune, kan man få en special- fremstillet kombispredere, som kører med både salt, saltlage og alternativt tømiddel på samme rute. Alternativt tømiddel kan i dette tilfælde være evt. anvendelse af enten Magnesiumklorid lage/kalciumklorid lage som tilsætningsstof til befugtning af Natriumklorid NaCl i tørstof eller andre miljøvenlige tømidler såsom Kaliumformiat (Aviform L50) eller Natriumformiat som har nogenlunde samme smeltekapacitet som NaCl men væsentlig mere miljøvenlig. [L.10.4-2]

10.5 Isslag

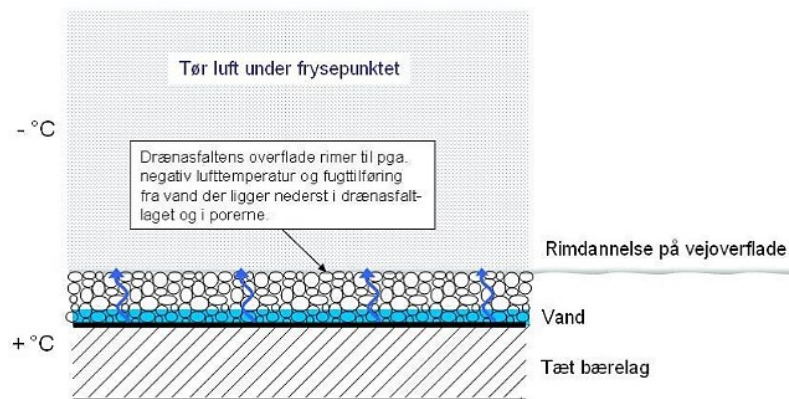
Isslag (frysende regn) er, uanset overfladen, meget vanskelig at bekæmpe og erfaringerne viser, at det på drænasfalt, er endnu vanskeligere.

Saltet på vejbanen vil forhindre den første isdannelse, men saltmængden vil hurtigt aftage da saltet på overfladen bliver transporteret ned i porerne. Der bliver ingen pumpeeffekt på grund af den hurtige frysning, der så at sige stopper cirkulationen eller blandingen af saltkoncentrationer mellem porer og vejoverflade. Samme vejledning, som er nævnt under pkt. "Sne" anbefales i sådan nogen tilfælde. Uanset vejtemperatur, bør man anvende enten opvarmet salt/saltlage eller Magnesiumklorid lage/kalciumklorid lage som tilsætningsstof til befugtning af Natriumklorid NaCl i tørstof.

10.6 Udfordringer på grund af drænasfaltens åbne porestruktur

Nederst i drænasfaltlaget, vil der oftest ophobes en vis mængde vand, med mindre bærelaget også er udført som drænet underlag. Vandet vil sive ned gennem drænasfaltlaget, lægge sig på det tætte underlag og løbe derfra væk til siderne på grund af vejens hældning. Men dette sker ikke øjeblikkeligt. Det tager tid for vandet at transporteres væk og i en længere periode vil fugt gemme sig i porer og bund. Det medfører også, at luftfugtigheden i asfaltens luftfyldte porer og overflade i mange tilfælde vil være højere end i luften. Derfor, hvis forudsætningerne for dugudfældning er opfyldt samtidig med negativ vejtemperatur, er der nogle situationer større risiko for rim-udfældning på drænasfalt end på tæt asfalt.

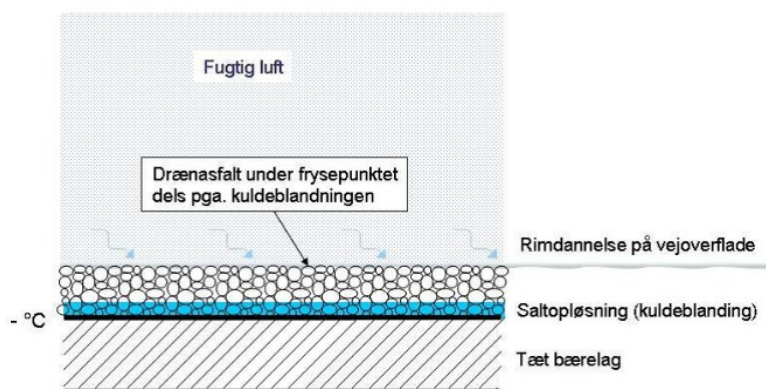
Har der eksempelvis været regn et par dage i træk, efterfulgt af opholdsvejr og klar himmel og solskin, vil dette resultere i en "tør mark". Om natten vil klar himmel (pga. udstråling) medføre at temperaturen falder under frysepunktet. En vej belagt med almindelig asfalt, vil derfor være tør og uden risiko for rim, hvorimod en vis vandmængde i drænasfaltlaget kan medføre, at luftfugtigheden i overfladen er højere, hvilket igen kan medføre rimudfældning og en isglat vej. Eksemplet er skitseret på figur 10.6-1.



Figur 10.6-1 Rimdannelse pga. fugt i drænasfalten

10.6.1 Reaktionsvarme på grund af saltopløsning

Lige som i eksemplet ovenfor, kan der ophobes en mængde saltopløsning i drænasfalt-laget. Når saltet virker (smelter sne eller is), sker der en kemisk reaktion, der gør, at temperaturen i opløsningen falder. Fænomenet kaldes reaktionsvarme, typisk mellem $-1,5$ - $-2,0$ °C temperaturfald ved 0 °C. Det vil sige, at selve opløsningen bliver koldere end isen, før saltet blev tilført. En sådan opløsning kaldes typisk "en kuldeblanding". Temperaturen i opløsningen vil stige igen, men en saltopløsning i drænasfaltlaget kan medføre en lavere vejtemperatur og sker kun kortvarigt. Eksemplet er skitseret i figur 10.6-2.



Figur 10.6-2 Rimdannelse pga. fugtig luft og kold belægning

Andre tømidler har en positiv reaktionsvarme, Magnesiumklorid og kaliumklorid er blandt tømidler, som skaber varme, når de kommer i kontakt med vand. Eksempelvis, skaber Magnesiumklorid 47 % opløsning, en temperaturstigning mellem 2,5 - 3,0 °C ved 0 °C, hvilket gør tømidlet til ekstremt effektivt ved fastkørt sne eller isslag.

10.7 Forskellige serviceniveauer for glatførebekæmpelse, samt støjforhold

Erfaringerne viser, at mange problemer for trafikanter viser sig ved overgange mellem strækninger med hvert sit snerydnings serviceniveau. Dette gælder også for traditionelle belægnings, hvor sammenhængende strækninger af den ene eller anden grund ikke bekæmpes/udføres samtidigt.

Ved brug af drænasfalt risikerer skiftet i serviceniveauet således at blive væsentligt mere markant, da man fra en strækning uden problemer kan komme uforberedt ind på en glat vej. Udfordringen kan søges minimeret ved etablering af forudgående varsling eller at glatførebekæmpe hele ruten på samme måde.

Drænasfalt opnår sine støjreducerende egenskaber gennem det åbne netværk af forbundne porehulrum. Det må derfor forventes, at hvis disse hulrum er vand- eller snefyldte, vil belægningens støjreducerende egenskaber være begrænsede.

10.8 Miljøforhold og vinteromkobling

En række undersøgelser af vejvand og sediment fra drænasfaltbelægnings tyder på, at drænasfalt har en positiv indflydelse på forureningsgraden af det afledte vejvand [L.10.8-1]. Der henvises i denne forbindelse også til denne rapport afsnit 8.

En undersøgelse fra Holland [L.10.8-2] indikerer, at der er meget stor forskel på mængden af forurening, der når vejens omgivelser, afhængigt af, om der er anvendt drænasfalt eller traditionel tæt asfalt. Målingerne tyder på, at drænasfalten tilbageholder store mængder af vejvands tungmetaller og PAH. 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 i relation til at minimere forurening af omgivelserne.

Dette åbner op for muligheden for at man med en permeabel belægningsopbygning, med drænasfalt og drænstabil udlagt på en tæt membran, i forår/sommer/efterårsmånederne kan føre det opsamlede regnvand til nedsivning (evt. efter lokal forudgående rensning). Om vint-

ren, hvor der saltes, kan man ved skiftning/omkobling til regnvand, lede vejvandet til det normale kommunale ledningsnet, så der ikke sker saltskader ved nedsivning.

Dette vurderes som en praktisk farbar løsning, da vi samtidigt sjældent har ekstremnedbørsmængder om vinteren. (Se mere om dette i afsnit 8).

10.9 Risiko for islinsedannelser

En af de ofte diskuterede problemstillinger omkring anvendelse af åbengraderede asfaltslidlag og i særdeleshed drænasfalt er, om der kan opstå en risiko for islinsedannelser i belægningens overflade, hvis vejen fryser i vandfyldt tilstand.

Umiddelbart er det næppe sandsynligt, at en drænasfalt – uanset underlag og placering - vil kunne opnå en total vandfyldningsgrad, da der altid er etableret en form for afløbsmulighed og da der normalt altid vil være længde- og/eller tværfald på strækningen. Men hvis det alligevel måtte kunne forekomme, at en drænasfalt vandfyldes helt til toppen, så vil vand jo udvide sig, når det fryser. Derfor kunne man forestille sig en (teoretisk) risiko for, at der under særligt ugunstige forhold kunne opstå islinser, som "vokser oven ud" af belægningen, så bilisten i givet fald kører på ren is. For at be- eller afkræfte dette fænomen (skrøne eller virkelighed) har vi i laboratoriet udført nogle frostpåvirkningsforsøg med forskellig vandmætningsgrad.

En serie af kerner af drænasfalt fra Klimavejen blev ompakket med tætsluttende membran, så kun oversiden er fri. Herefter vandfyldtes kernerne med gradvis stigende fyldningsgrad (ud fra det kendte porevolumen).

Efter vandpåfyldning lagredes kernerne i en dybfryser ved -20°C natten over, hvorefter eventuel islinsedannelse vurderedes visuelt og desuden blev fotodokumenteret.

Ved indledningsvis vandfyldningsgrad på 70 % af porevolumenet ses ingen islinsedannelser i overfladen.



Figur 10.9-1: Begyndende synlige islinsedannelser ved 75 % vandfyldning af hulrum. Linserne stikker ikke op over stentoppene.



Figur 10.9-2: Ved 80 % vandfyldningsgrad ses tydelige islinser i overfladen – dog stikker de ikke op over stentoppene, så tilstrækkelig friktion i belægningstoppen vurderes fortsat at være til stede.



Figur 10.9-3: Ved 85 % vandfyldningsgrad ses større, mere sammenhængende islinsedannelser, som begynder at kunne udgøre et friktionsmæssigt problem.

Bedømt ud fra ovenstående frostforsøg, vil det for at kunne skabe en friktionsmæssig trafikfarlig situation kræve en vandfyldningsgrad på minimum 85 % af drænasfaltens porevolumen, samtidigt med at drænasfalten ikke har længde/tværfald, samtidigt med at det normale afløbssystem skal være spærret, samtidigt med at det sætter ind med uventet og kraftig frost, uden at der overhovedet er anvendt salt.

Teoretisk set kan det ikke udelukkes, at en sådan situation i "worst case" kan opstå, men i praksis er forekomsten af kombinationen af de hertil nødvendige samlede betingelser næppe sandsynlig. Sandsynligheden for at kunne opleve at køre på islinser oven på en drænasfaltbelægning er derfor marginal – og kan vel sammenlignes med risikoen for en tilsvarende "skøjtebaneeffekt", hvis en traditionel tæt belægning udsættes for frost, uden saltning, samtidigt med at afløbssystemet er blokeret.

10.10 Konklusion, glatførebekæmpelse

Drænasfaltbelægninger er i stigende efterspørgsel til klimavejsløsninger, på grund af de mange fordele, som den leverer, herunder støjreduktion, drænegenskaber og god friktion og trafik-sikkerhed i vådt føre. Dog skal man særligt omkring friktion og trafiksikkerhed være opmærksom på de udfordringer, som skabes under vinter vejforhold.

Drænasfalts åbne struktur gør, at temperaturen under begyndende frostvejr falder forholdsvis hurtig pga. den store udstrålingskapacitet. Drænasfaltens hurtige temperatursvingninger har også flere såkaldte frysepunktpassager eller nulpunktpassager end for traditionel, tætgrade-ret asfaltbeton. Den åbne struktur i drænasfalt medfører – ud over temperatursænkninger – også en række praktiske udfordringer ved udførelsen af vintertjeneste, idet tøm midlet ikke bliver liggende oven på belægningen, men nedsives og ophobes under overfladen.

Anvendelse af drænasfalt kan således skabe særlige udfordringer, både for overvågning og ved udførelse af vintertjeneste. Drænasfalt stiller et krav om, at man skal være ekstra opmærksom på temperatursvingninger, da det hurtigere kan udvikle sig til et trafikikkerhedsmæssigt problem med glat føre til følge. Islag (frysende regn) er, uanset overfladen og belægningstypen, meget vanskelig at bekæmpe og erfaringer tyder på, at det på drænasfalt nok er endnu vanskeligere.

Erfaringer viser også, at problemer for trafikanter i glat føre ofte opstår ved overgange mellem strækninger med hvert sit serviceniveau for snerydning og glatførebekæmpelse. Dette gælder uanset den valgte belægningstype, hvis sammenhængende strækninger af den ene eller anden grund ikke bekæmpes/udføres samtidigt. Hvis drænasfalt kun anvendes på en kortere delstrækning af en vej, er det derfor vigtigt, at være på forkant med snerydning og glatførebekæmpelse på hele strækningen.

Praktiske erfaringer fra drænasfalt forsøgsbelægninger i byområdene på Øster Søgade og Vigerslevvej i Københavns Kommune, samt den første vinter på Klimavejen i Rødovre Kommune, tyder dog på, at der ikke umiddelbart er oplevet en øget tendens til glatføreyulykker på disse korte teststrækninger end på andre strækninger, trods samme vinterbekæmpelsesindsats. Der er dog næppe tvivl om, at behovet for at være på forkant med vinterbekæmpelsesindsats vil øges væsentligt med øget trafik hastighed.

Valg af tømiddel er altid et kompromis mellem vægtning af effektivitet, miljø og pris. Samtidigt skal der tages højde for om vejvandet i vinterperioden nedsives til grundvand, ledes til recipient, eller vinter-omkøbes og ledes til kloaksystemet (se mere i afsnit 8). For drænasfalt handler det om at finde et tømiddel, som foruden effektivitet, også kan forblive på vejoverfladen i længere tid. Løsningen kan være et tømiddel med klæbrig konsistens og tyktflydende masse. Anvendes således en blanding af salt og Safecote (el. tilsv.) gel i forbindelse med en miljørigtig klimavejs-drænasfaltbelægning, kan saltningsbehovet reduceres væsentligt.

Kombinationen af salt og Safecote (el. tilsv.) vil skønsomt, med det rigtige blandingsforhold, måske medføre en let forøget omkostning for saltningen, sammenlignet med anvendelse af traditionelt Natriumklorid-salt. I den forbindelse skal man dog huske på, at en eventuel alternativ anvendelse af f.eks. Kaliumformiat lige vil medføre en i størrelsesorden 18 gange forøgelse af saltmiddeludgiften (erfaringer fra Københavns Kommune).

Udenlandske erfaringer tyder på, at der kan opnås fine resultater med en reduceret saltmængde, når der iblandes produkter som Safecote. Anvendelsen af sådanne produkter må også anses for værende miljørigtig, da den reducerede saltmængde bevirker at behovet for opsætning af vejtræværn og udskiftning af saltskadede vejtræer m.v. reduceres.

Set i lyset af miljøgevinsten og den øgede saltningseffektivitet ved brug af Natriumklorid og Safecote (el. tilsv.), kan det derfor overvejes, om denne saltningsform allerede i projekteringsfasen bør medtages i de forventede driftsudgifter for en klimavejs-drænasfalt, på samme måde som nødvendige udgifter til halv- eller helårlig oprensning af belægningen med spule-/sugeudstyr.

Der henvises afslutningsvis til rapportens bilag A for en systematisk, vejledende oversigt over forskellige tøm midlers forventelige indvirkning på jordbund, planter og vand.

10.11 Referencer - glatførebekæmpelse:

[L.10.1-1]: Undersøgelser af drænasfalt som støjreducerende slidlag, rapport nr. 530 Vejdirektoratet

[L.10.4-1] Saltspreder fra Falköping (LTFV):

http://www.friggeraker.se/gb/page_halkbekampningar_tallriksspridare_hetvatten_ltfv.php

[L.10.4-2] Miljøhensyn vinder over vejsalt: <http://asp.vejtid.dk/Artikler/2014/10/7907.pdf>

[L.10.8-1] Miljøfremmede stoffer i drænasfalten på Øster Søgade. Resultater fra analyser af vejopfejl. Marianne Grauert og Mikkel Møllerup. Vejdirektoratet, Rapport 524, 2014.

[L.10.8-2] The influence of road infrastructure on traffic on soil, water and air quality. Van Bohemen, H.D. & Janssen van de Laak, W. H. Environmental Management 31(1), pp 50-68. DOI: 10.1007/s00267-002-2802-8

[L.10.9-1] Vejsalt og alternative tømiddels miljøpåvirkning. Morten Ingerslev og Simon Skov, ISBN 978-87-7903-731-1

[L.10.9-2] – Kilde: Freezing point determinations of safecote brine mixtures. Dr. Paul Haga, Department of biomedical sciences, University of Ulster.

11. Konklusion

Med projektet "Klimavejen" er der introduceret et nyt multifunktionelt koncept for støjreducerende vejbelægning, som takket være gode drænegenskaber samtidigt kan blive et vigtigt led i kommunernes palette af klimatilpasningsløsninger.

11.1 Generelt

Støjmiljøet i vestlige storbyer kan være en stor udfordring med den stadigt stigende trafikintensitet og urbaniseringstendens. Samtidigt giver de klimaskabte vejforandringer anledning til stadigt kraftigere nedbør med øget intensitet, altså ekstremnedbørsmængder over kort tid. Disse "monster-regnskyl" er det nuværende kloaknet slet ikke dimensioneret til og resultatet bliver ofte oversvømmelser og relaterede følgeskader, herunder også sundhedsproblemer som følge af opstuvende kloakvand. Omfattende separatkloakeringsprojekter vil koste voldsomme milliardbeløb, så der er brug for andre tiltag, som kan mindske følgerne af de stadigt stigende regn-intensiteter.

Dette projekt er igangsat som følge af det udtalte behov for at finde alternative, effektive, men økonomisk mere gunstige løsninger til især at mindske følgeeffekterne af de klimaskabte nedbørsmængder. I projektet er der udviklet et nyt multifunktionelt belægningskoncept, hvor der med udgangspunkt i en drænasfalt type 11 med højt hulrum og samtidigt sammensat med ekstra højt indhold af en særlig smidig polymermodificeret bitumen er foretaget et omfattende udviklingsarbejde. Belægningens egenskaber er dels testet igennem et særdeles omfattende forsøgs- og optimeringsprogram og dels afprøvet ved en fuldskala teststrækning på en relativt tungt trafikeret vejstrækning.

Som noget helt nyt på miljøområdet er der på Klimavejen i Rødovre gennemført måling af belægningens rullemodstand. En lav rullemodstand vil resultere i et lavere brændstofforbrug for den på strækningen passerende vejtrafik, hvilket igen vil være en samfundsmæssig miljøgevinst i form af sparet CO₂-udledning fra bilernes forbrændingsmotorer. Erfaringer fra det epokegørende danske COOEE projekt antyder, at der bør anvendes belægninger med lille stenstørrelse for at minimere rullemodstanden. Den i dette projekt udviklede multifunktionelle drænasfalt har til gengæld en relativt grov overfladetekstur med 11 mm sten, så man kunne frygte, at den nye belægning ville have forøget rullemodstand. De udførte, avancerede målinger viser dog, at Klimavejsbelægningen har rullemodstand på samme niveau som traditionelle, tætte asfaltbelægninger, så der ikke under optimeringen af drænegenskaber og støjreduktion samtidigt er opnået en negativ effekt mht. CO₂-udledning fra forbipasserende køretøjer.

Resultatet er blevet en speciel drænasfalt, som indikerer god forventet levetid, gode støjreducerende egenskaber og gode drænegenskaber, som vil kunne håndtere vandafledning i de nødvendige mængder og intensiteter. Dette slidlag kan anvendes alene, ovenpå traditionel asfalt, hvorved drænevnen primært modvirker effekten af den initiale "first flush", eller den kan benyttes i forbindelse med et totalt opbygningskoncept, hvor hele vejassen opbygges af permeable belægninger.

Til brug ved optimering af dræneffekt og oprensningsevne er der i dette projekt endvidere taget ny avanceret, ikke-destruktiv måleteknologi i brug i form af CT-skanning, som f.eks. kendt fra hospitalsverdenen. Med denne unikke teknologi er det muligt at optimere belægningens indre porestruktur, ligesom den nødvendige oprensningsproces kan optimeres.

Såfremt det multifunktionelle koncept ibrugtages på strækninger, hvor vandet efterfølgende ønskes nedsivet, er der en række forholdsregler omkring nedsivningstilladelser etc. som bør iagttages. Dette emne er detaljeret beskrevet i et afsnit i nærværende rapport, ligesom mulighederne for optimeret glatførebekæmpelse er belyst. I sidstnævnte forbindelse skal det særligt fremhæves, at udenlandsk erfaring tyder på, at der ved anvendelse af en blanding af vejsalt og en speciel gel kan opnås et yderst effektivt saltningsmiddel, som med bedre fastholdelses-evne til belægningsoverfladen kan være et miljørigtigt tiltag som følge af en mulig reduktion i saltbehovet.

Det vurderes, at "Klimavejens" belægningskoncept vil være en oplagt mulighed til kommunernes klimatilpasningsløsninger, især i forbindelse med et totalt, permeabelt belægningskoncept, hvor også asfaltbærelaget og det underliggende grusbærelag er permeable typer, så der opnås stor "skjult" magasineffekt.

Bilag 1. Oversigt: Tø-midlers miljøpåvirkninger på jordbund, planter og vand

I forlængelse af rapportens afsnit 10, som omhandler glatførebekæmpelse, er der i det efterfølgende oplyst en oversigt over de forskellige tømidlers funktion og indvirkning på jordbund, planter og vand.

Bilag 1.1 Natriumklorid, NaCl, "vejsalt"

Med et årligt forbrug på ca. 300.000 tons NaCl, er vejsalt det mest anvendte tømiddel i Danmark. Vejsalt har en række negative effekter på nærmiljøet. Drænasfalt kan i visse sammenhænge kræve lidt højere saltmængder end traditionel tæt asfaltslidlag. Dette kan dog imødegås, hvis man anvender alternative tømidler.

Skaderne af vejsalt er undersøgt i følgende områder:

- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer.
- Skader på jordens kemi og struktur.
- Trussel mod drikkevandskvaliteten.

Dokumentationen af miljøeffekterne fra vejsalt i Canada har medført, at den canadiske miljøbeskyttelseslovgivning erklærer, at alle Cl-holdige midler til bekæmpelse af glatføre er toksiske. Dette er sket ud fra en opfattelse af, at disse midler indtræder i miljøet i mængder eller koncentrationer, der vil medføre øjeblikkelige eller langsigtede skader på miljøet.

Jordbunden

Traditionelt vejsalt hæver koncentrationen af Na og Cl i jordvandet, hvilket efterfølgende påvirker jordens kemiske sammensætning og fysiske forhold. Disse ændringer omfatter ionbytning, udvaskning af stoffer og ændring af jordens struktur (sammenklapning af lerholdige jorde).

Når koncentrationen af Na og Cl stiger i jordvæsken, opstår der en uligevægt mellem jordvæskens kemiske sammensætning og jordens ion-husholdning (ionbytterkompleks). Denne uligevægt medfører, at opløst Na fra saltet ionbytter med de kationer, der sidder på jordens ionbytterkompleks. Dette medfører at koncentrationen af opløste ioner fra jorden frigives og udvaskes.

Vejsalt skader beplantningerne

Vejsalt kan skade og dræbe planter. Overordnet påvirker saltet planterne, både direkte ved at saltet rammer og skader planternes overjordiske dele og indirekte ved at saltet ændrer jordbundskemien og jordstrukturen. Vejsalt kan skade planterne via fire forskellige processer: 1) Osmotisk stress (fysiologisk tørke), 2) Ernæringsstress (næringsstofmangel og ubalance), 3) Direkte giftvirkning (direkte påvirkning af plantens overjordiske dele), 4) Jorden klapper sammen og giver vand- og luftstress (dispergering af jordpartikler i lerholdige jorde).

NaCl giver derfor flere forskellige skadesymptomer: 1) Udtørring og tørkeskader som følge af dårlig vandhusholdning og hæmmet vandoptag (sammenklappet jord og osmotisk stress), 2) Fysiologisk næringsstofmangel eller næringsstofubalance som følge af, at nogle næringsstoffer

udvaskes af jorden og ubalance mellem fordelingen af kationer i jordvæsken, 3) Reduceret blomstring, 4) Reduceret vækst af skud og rødder, 5) Tidlig afløvning sidst på sommeren, 6) Relativt få blade i kronen, 7) Kort skudvækst, der medfører ændret struktur i kronen.

Ferskvandskvalitet

Flere undersøgelser har vist, at vejsalt kan medføre øgede koncentrationer af Na og Cl i ferske vande, der modtager afstrømning fra arealer, der saltes. Vejsaltning kan hæve koncentrationen af Na og Cl i søer, floder og åer ganske betydeligt. Der er observeret koncentrationer over grænseværdien for drikkevand for Cl. Dette koncentrationsniveau er toksisk for mange ferskvandsorganismer.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat grænseværdier for koncentrationen af Cl og Na på hhv. 250 mg Cl/l og 175 mg Na/l i drikkevandet. Vejsalt er uønsket i grundvandet, fordi det påvirker smagen og kan give anledning til hjertekarsygdomme, bl.a. forhøjet blodtryk. Miljøstyrelsen har angivet, at spredning af vejsalt til glatførebekæmpelse er én af fem hovedkilder til grundvandsforurening med NaCl i Danmark.

Bilag 1.2 Magnesiumklorid, MgCl₂

- Medfører udvaskning af næringsstoffer.
- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer
- Skader ikke jordstrukturen, som vejsalt gør det.

Mængden af litteratur, der belyser effekterne af spredning af magnesiumklorid i miljøet er stærkt begrænset.

Jordbunden

MgCl₂ minder på mange måder om NaCl, og Cl har i jordbundsmæssig sammenhæng den samme effekt som Cl fra NaCl. Mg-kationer er divalente og har en stærkere binding til jordens ionbytterkompleks end Na. Mg vil derfor i endnu større grad end Na ionbytte med andre kationer og derved medføre udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller. Mg har ikke den samme evne som Na til at få jorden til at klappe sammen.

Vegetation langs vej

Klorid fra MgCl₂ og CaCl₂ medfører de samme skader på miljøet som set ved anvendelse af vejsalt. Direkte kontakt mellem MgCl₂ og blade er mere skadeligt for unge træer end eksponering for MgCl₂ gennem jorden.

Ferskvandskvalitet

Studier viser, at MgCl₂ er mere toksisk for haletudser end NaCl. Forsøg med æg fra salamandere viste, at MgCl₂ var lige så toksisk, eller mere toksisk sammenlignet med NaCl.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Mg på 50 mg Mg/l. Endvidere er der på nuværende tidspunkt ikke observeret forhøjede koncentrationer af Mg i drikkevandet, som kan føres tilbage til anvendelsen af tømilet MgCl₂.

Bilag 1.3 Kalciumklorid, CaCl₂

- Miljøeffekterne er dårligere undersøgt end for vejsalt
- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer.
- Medfører mere udvaskning af næringsstoffer fra jorden end vejsalt.
- Skader ikke jordstrukturen som vejsalt gør det.

Mængden af litteratur, der belyser effekten af CaCl₂ i miljøet er stærkt begrænset.

Jordbunden

Med hensyn til de jordbundskemiske effekter, så minder CaCl_2 meget om MgCl_2 . Cl har i jordbundsmæssig sammenhæng den samme effekt som Cl fra NaCl. Den divalente kation af Ca har som Mg-ionen en stærk binding til jorden (ionbytterkomplekset) og kan ionbytte med andre kationer og derved medføre udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller i højere grad end for Na.

Ca kan akkumuleres i jorden. Med tiden kan dette føre til geokemiske forbindelser mellem Ca og andre stoffer i jorden, og derved nedsætte plantetilgængeligheden af plantenæringsstofferne. Ca har ikke den samme evne som Na, til at få jorden til at klappe sammen.

Vegetation langs veje

Klorid fra Cl-holdige tømider som MgCl_2 og CaCl_2 har de samme skadevirkninger på miljøet, som Cl fra NaCl.

Ferskvandskvalitet

Der findes ikke specifik litteratur om CaCl_2 , der dækker akvatiske effekter. Vedr. Cl-holdige tømiders påvirkning af ferskvandskvaliteten, se under NaCl.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har ikke fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Ca. Der findes ikke litteratur, der dækker dette emne.

Bilag 1.4 Kaliumformiat

- Formiat nedbrydes hurtigt i jorden.
- Mindre skade på planter end NaCl.
- Risikoen for at KF giver iltvind i ferskvand er lille.

Jordbunden

K er et næringsstof, som bindes mindre kraftigt til ionbytterkomplekset end Mg og Ca, men stærkere end Na. Formiat er en mindre anion end acetat og derfor nedbrydes formiat ofte hurtigere og under et mindre iltforbrug end acetat.

Den mikrobielle nedbrydning af KF kan hæve pH værdien i jorden. Efter 3 års brug af KF på en hovedvej i Finland, blev der ikke fundet rester af hverken formiat eller K i grundvandet. Undersøgelsen pegede også på, at formiat hurtigt blev biologisk nedbrudt af bakterier, selv ved temperaturer tæt på 0 °C. Dette ved både aerobisk og anaerobisk nedbrydning. Nedbrydningen var størst, når indholdet af organisk stof var højt (>5 %).

En dansk undersøgelse viste, at formiat, der tilføres som kaliumformiat, er tilstede i jordvandet lige under rodzonen i så lav koncentration, at det ligger under detektionsgrænsen på 0,1 mg/liter. Det blev konkluderet, at formiat omsættes effektivt i jorden.

Vegetation langs veje

Forsøg viser, at fem spredninger med en samlet tilførsel af KF på 3,4 kg/m² kan have en skadelig effekt på planter. Lave koncentrationer af formiat kan stimulere træers skudvækst, men formiat kan samtidig hæmme rodforlængelse, da rodvækst er mere sensitiv overfor formiat end skudvækst. I en dansk undersøgelse af tømiders effekt på træernes vækst og sundhed pegede resultaterne på, at KF er mindre skadelig for træerne end NaCl.

Ferskvandskvalitet

Formiat fra KF nedbrydes ofte hurtigt i jord og vandige miljøer, så effekten er relativ lille.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af K på 10 mg K/l. Den samlede daglige menneskelige indtagelse af kalium fra kosten ligger mellem 2000 og 6000 mg, hvorfor indtagelsen gennem drikkevand som regel er uden helbredsmæssig betydning.

Finske undersøgelser peger på, at KF er et effektivt tømiddel, som kan anvendes til at mindske vintervedligeholdelsens negative påvirkning af grundvandsressourcerne. Andre undersøgelser peger i modsat retning.

Bilag 1.5 Natriumformiat, NF, NaCHO₂

- Miljøeffekten er ikke beskrevet.
- Formodentlig en blanding af effekten fra Na og formiat.

Litteraturen er yderst begrænset mht. dette stofs miljømæssige effekter. Effekten af Na er gennemgået under NaCl og effekten af formiat er gennemgået under Kaliumformiat. [L.10.9-1]

Bilag 1.6 Safecote

Safecote er en mørkebrun sirupsagtig væske med ikke-stikkende lugt. Produktet er produceret af fordampede biprodukter fra sukker, stivelse, forarbejdet og destillation af korn kulhydrat industrier.

Produktet er oprindeligt udviklet i USA og markedsføres i England. I dag anvendes det af en række amter og kommuner i England og er under test på flere motorvejsstrækninger i Schweiz og andre europæiske lande.

Safecote har ikke nogen tøeffekt i sig selv, men kan anvendes som tilsætningsstof til tømidler. I et blandingsforhold har produktet evne til at nedbringe frysepunktet for blandingen betragteligt.

Safecote kan blandes med alle kloridholdige salttyper og forskellige blandingsforhold giver frysepunktstemperaturer, som vurderes til at være tilstrækkelig til for at forsinke frysningsprocesser selv ved meget lave temperaturer. En anden gevinst ved produktet, findes ved dens klæbrige konsistens, som gør at tømidler forbliver længere tid på vejen. Dermed opnås en længere restlevetid end ved traditionelle tømidler.

Safecote er et produkt, der som tilsætningsstof egner sig godt ved præventiv saltning. På grund af sin tykke konsistens og klæbrige masse, er det i stand til at forblive på vejen i lang tid. Produktet spredes ud enten som tilsætningsstof til tørstof eller som luge blandet med kloridholdige saltlage og doseringen anbefales af leverandøren til at være 15-20 g/m² ved tør eller fugtig vej, og 30-40 g/m² ved forventet våd vej og sne. Prisniveauet antages skønsmæssigt at ligge på godt 3 kroner pr. kilo.

Efterfølgende tabel B.1-1 viser frysepunktstemperaturer ved forskellig blandingsforhold af salte og Safecote.

Safecote har et frysepunkt på -72,5 °C (ved 90:10 - Magnesiumklorid 10 med 20 % MgCl₂ w/w) og viskositeten ved 20 °C er på ca. 30.000 µPa·s (vand ca. 1.000 µPa·s). [10.9-2].

Glasgow kommune har gennemført en række forsøg med Safecote. Resultaterne kan studeres nærmere ved anvendelse af følgende link: [: http://safecote.com/wp-content/themes/ideaschildtheme/pdf/glasgow_city_council_case_study.pdf](http://safecote.com/wp-content/themes/ideaschildtheme/pdf/glasgow_city_council_case_study.pdf)

Produkt	Blandingsforhold	Frysepunktstemperatur °C
Saltlage	(22 % NaCl w/w)	-19,1
Magnesiumkloridlage	(20 % MgCl ₂ w/w)	-27,6
Kalciumkloridlage	(20 % CaCl ₂ w/w)	-18,1
Safecote: NaCl (22% NaCl w/w)	10:90 - NaCl 90	-27,1
Safecote: NaCl (22% NaCl w/w)	20:80 - NaCl 80	-30,8
Safecote: NaCl (22% NaCl w/w)	30:70 - NaCl 70	-32,3
Safecote: NaCl (22% NaCl w/w)	40:60 - NaCl 60	-37,1
Safecote: NaCl (22% NaCl w/w)	50:50 - NaCl 50	-40,4
Safecote: MgCl ₂ (20% MgCl ₂ w/w)	10:90 - MgCl ₂ 90	-20,3
Safecote: MgCl ₂ (20% MgCl ₂ w/w)	25:75 - MgCl ₂ 75	-24,2
Safecote: MgCl ₂ (20% MgCl ₂ w/w)	50:50 - MgCl ₂ 50	-30,6
Safecote: MgCl ₂ (20% MgCl ₂ w/w)	75:25 - MgCl ₂ 25	-45,3
Safecote: MgCl ₂ (20% MgCl ₂ w/w)	90:10 - MgCl ₂ 10	Ingen fast fase dannet ≥ -72,5 °C
Safecote: CaCl ₂ (20% CaCl ₂ w/w)	10:90 - CaCl ₂ 90	-24,3
Safecote: CaCl ₂ (20% CaCl ₂ w/w)	25:75 - CaCl ₂ 75	-26,1
Safecote: CaCl ₂ (20% CaCl ₂ w/w)	50:50 - CaCl ₂ 50	-30,4
Safecote: CaCl ₂ (20% CaCl ₂ w/w)	75:25 - CaCl ₂ 25	-46,9

Tabel B.1-1: Frysepunktstemperatur målt ved forskellige blandingsforhold med salt, magnesiumklorid og kalciumklorid [L.10.9-2].

Glasgow kommune har gennemført en række forsøg og resultaterne kan læses her:

http://safecote.com/wp-content/themes/ideaschildtheme/pdf/glasgow_city_council_case_study.pdf

Bilag 2. Procedure for prøveudtagning af vejvand

Bilag 2.1 Indledning

I det følgende vil de overordnede overvejelser i forhold til en procedure for prøveudtagning for vejvand blive gennemgået.

Monitering af kvaliteten af regnafstrømning fra veje skal hjælpe med, at vurdere den miljømæssige betydning af etableringen af permeable veje i Danmark. Det er derfor vigtig at proceduren for prøveudtagningen kan bidrage med information vedrørende følgende spørgsmål:

- I hvilken grad bidrager den permeable vej til tilbageholdelsen af forurenende stoffer under normale forhold (repræsentativ regnhændelse)?
- Ændres effektiviteten af tilbageholdelsen af de forurenende stoffer afhængig af stoftypen?
- Hvordan ændres den 'normale funktionalitet' i forhold til store eller små regnhændelser?
- Hvordan ændres den 'normale funktionalitet' i forhold til forskellige drift og vedligeholdelsesprogrammer?
- Ændres vejens funktionalitet over tid?
- Varierer vejens funktionalitet med årstiderne?
- Hvordan vurderes denne teknologi i forhold til andre teknologier inden for alternativ regnvandshåndtering?

Bilag 2.2 Hvornår skal man tage prøver?

I tørvejr akkumuleres forurening på byens overflader. Mængden afhænger af hvilke og hvor stærke forureningskilder, der findes i oplandet til prøvetagningsstedet (f.eks. trafikintensitet, forekomst af brændeovne, brug af sprøjtemidler, osv.). For tørvejrperioden gælder typisk at jo længere tørvejrperiode er, desto mere forurening akkumuleres.

Under selve regnhændelsen skylles forureningen mere eller mindre fuldstændigt af fra overfladerne – det afhænger primært af regnens intensitet. Nogle regn falder stille med lille dråbeenergi, mens andre rammer overfladen med stor energi og løsner effektivt forureningen. Den samlede regnmængde betyder også noget, for jo større regn der er tale om, desto mere fortyndet bliver forureningen. First Flush, det fænomen at den første del af afstrømningen (<50 %) indeholder den største del af den samlede afskyllede forurening (>50 %) ses primært ved små oplande. Ved større oplande blandes First Flush vand med Second Flush vand og koncentrationen bliver mere jævn hændelsen igennem.

Ønsker man at måle First Flush, kan den permeable vej (afhængig af vejens areal) opdeles i mindre oplande for derved at imødekomme de varierende transporttider af First Flush fra hele vejen. Måles First Flush kun i et enkelt punkt for hele oplandet vil man risikere at First Flush er 'usynligt' før det når dette definerede punkt.

First Flush påvirkes af flere elementer i afvandingsoplandet. De parameter, der oftest identificeres som havende den største betydning for sammensætningen af First Flush, er regnhændelsens maximale intensitet, den maximale regnafstrømning, regnhændelsens varighed og varigheden af den forudgående tørvejrperiode.

Et notat udarbejdet under innovationskonsortiet Byer i Vandbalance har sammenfattet de vigtigste punkter i forbindelse med vandkvalitetsmålinger og LAR-løsninger, som er gengivet i nedenstående afsnit (Byer i Vandbalance, notat 5).

På grund af de mange variable står det klart at en enkelt prøve ikke er nok til at beskrive variationen i regnafstrømningens kvalitet fra en given lokalitet. Der bør i princippet indsamles så mange prøver, at yderligere prøver ikke øger den statistiske variationsbredde signifikant. I litteraturen findes der kun få eksempler på omfattende måleprogrammer og i de fleste tilfælde er de oplyste stofkoncentrationer baseret på ganske få prøver, så variationen reelt ikke er kendt.

Anbefalinger for et godt måleprogram i forbindelse med LAR-løsninger er følgende:

1. Prøvetag et pænt antal hændelser, f.eks. mindst 10 forskellige regn. Der vil dog ofte stadig være stor spredning på værdierne, (se evt. Ingvertsen, 2011)
2. Forsøg at fordele de udvalgte regnhændelser jævnt over året for at fange noget af års-tidsvariation
3. Gå efter variation i tørvejrperiodens længde
4. Analyser én prøve fra hver regn, men sammensæt denne prøve af mange delprøver fordelt over hele regnhændelsen. På den måde fanges variationen i stofkoncentration i løbet af hændelsen bedre. På grund af variation i regnintensitet gennem hændelsen er det bedst med flowproportional prøvetagning, f.eks. 1 delprøve pr. m³ regnafstrømning, frem for tidsproportional prøvetagning (f.eks. 1 delprøve pr. 15 min regnafstrømning). Manuel prøvetagning er normalt ikke mulig, da man skal være klar ved regnens begyndelse.

I praksis begrænses mulighederne. Eksempelvis skal prøvetagningsudstyret både sikre at hele regnen bliver repræsenteret; det dur således ikke hvis alle del-beholdere i en prøvetagningskarusel er fyldt efter de første få minutters afstrømning. Samtidig skal det sikres at der indsamles tilstrækkeligt vand til at analyseprogrammet kan gennemføres. De mindste og de største regn må derfor typisk sorteres fra.

Et mål for hvor meget stofkoncentrationen har varieret hen over en hændelse kan opnås ved at måle turbiditet og elektrisk ledningsevne (EC) i delprøver før disse sammenblandes til udtagning af den endelige prøve, der skal underkastes fuldt analyseprogram i laboratorium. Variation i turbiditet (uklarhed) indikerer variation i koncentration af suspenderet stof. Variation i EC indikerer variation i koncentration af opløste forureningsstoffer.

Af ovenstående kan udledes, at det ikke er fordelagtigt at måle på hverken de helt små eller store regnhændelser, og at man ved prøvetagningens begyndelse skal have defineret en repræsentativ regnhændelse.

Bilag 2.3 Hvilke stoffer skal der måles for?

Regnafstrømning kan indeholde mange stoffer afhængigt af de overflader og kilder, som vandet har haft kontakt med (tabel B.2-1).

På baggrund af litteraturgennemgang (eksempelvis: Eriksson et al. 2007; Ingvertsen et al. 2011; Kayhanian, et al. 2012; Lundy et al. 2012; Zgheib et al. 2011) og Vandrammedirektivets prioriterede stoffer er der i tabel B.2-1 sammenstillet diverse måleparametre, som det kan være relevant at medtage i et analyseprogram. Ud over de listede stoffer skal man være opmærksom på nye forureningsstoffer, såkaldte Emerging Contaminants.

Tabel B.2-1 skal hverken opfattes som en brutto- eller facitliste, men snarere et muligt udgangspunkt ved beslutning om måleprogram for regnafstrømning. Det endelige måleprogram skal opstilles i samarbejde med den kommunale myndighed med hensyntagen til eventuelle

områdespecifikke krav i vandforsynings-, spildevands-, kommune- og vandplaner.

Ifølge Byer i Vandbalance, notat 5, tilbyder analysefirmaerne ofte en samlet pakke for PAH- og PCB- stofgrupperne, hvor flere stoffer end de i tabel B.2-1 nævnte måleparametre er inkluderet, og da anbefales det at få analyseret efter denne. At tage flere enkeltmetaller med er sjældent dyrt, så dette kan også anbefales. Hvis regnafstrømningen ikke skal bruges til formål hvor mennesker kan komme i fysisk kontakt med vandet, men blot nedsives eller udledes til en naturlig recipient er det ikke nødvendigt at analysere for patogener.

Stofgruppe	Kilder ¹⁾	Anbefalede måleparametre
Metaller	Køretøjer, Bygnings- og vejmaterialer, Atmosfærisk deposition	Cd, *Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
Salte	Vejsaltning	Cl
Næringsstoffer	Omkringliggende haver og jordbrug	N, P
Naturligt Organisk Materiale	Vegetation	Opløst organisk stof, Total organisk stof
Suspenderet stof	Slid af materialer, naturligt organisk materiale	Suspenderet stof
PAH'er	Dryp fra køretøjer, Trafikudstødning, Afbrænding af træ og fossile brændstoffer	Naphthalen, Pyren, Fluoranthen, , Benzo(a)pyren, Benzo(b+j+k)fluoranthen,
PCB'er	Atmosfærisk deposition, Industri, Bygningsmaterialer, Benzin	7 kongenerer (PCB # 28, PCB#52, PCB#101, PCB#118, PCB#138, PCB#153, PCB#180)
Pesticider	Vejsider, Jernbaner, Haver, Parker	Glyphosat, AMPA, Fungicider i tagmateriale og vægmateriale
Organotin	PVC, Katalysatorer	MBT, DBT
Phenoler	Industri, Bygningsmaterialer, Benzin	Bisphenol A, Nonylphenol
Hydrocarboner	Atmosfærisk deposition, Trafik	BTEX
Halogenerede forbindelser	Atmosfærisk deposition, Bygningsmaterialer, Industri	PCB'er
Detergenter	Bilvask	Lineære Alkylbenzensulphonater
Blødgørere	Bygningsmaterialer	DEHP
Metaboliter	Nedbrydning af alle organiske forbindelser	AMPA, BAM
Patogener	Byens dyr, evt. overløb fra fælleskloak	E. Coli

¹⁾ Primære kilder. Der findes typisk flere kilder til samme stof.

Tabel B.2-1: Kritiske stoffer og stofgrupper, der kan forekomme i vejvand, deres kilder, samt forslag til måleparametre (som beskrevet i Byer i Vandbalance, notat 5).

Andre parametre som også er vigtige at tage højde for i vejvandsprøverne er:

- pH – har betydning for stoffernes egenskaber og opførsel, men varierer i praksis meget lidt.
- Elektrisk ledningsevne (EC) – giver et mål for prøvens samlede indhold af ioner/salte.
- Turbiditet (uigennemsigtighed) -kan give et indirekte mål for indhold af suspenderet stof (opslemmede partikler), der kan være bærer af andre forurenende stoffer og skabe tilstopning
- Partikelstørrelsesfordelingen - partiklernes egenskaber afhænger af deres størrelse, jo mindre desto mere kritiske.

Bilag 2.4 Prøvetagningsprincipper

Da der som tidligere beskrevet, er stor variation i stofbelastningen over en regnhændelse kan man med fordel sammensætte analyseprøven af flere delprøver fordelt over hele hændelsen. Dette kan opnås ved enten kontinuert at udtage en lille delstrøm til en tilpas stor beholder, eller ved med jævne mellemrum at udtagedelprøver (stikprøver), som kan analyseres enkeltvist og/eller sammenblandes til en bulkprøve inden analyse. I begge tilfælde er det vigtigt at det udtagne vand udgør en flowproportional andel af afstrømningen. Da variationen mellem regnhændelser typisk er større end inden for den enkelte hændelse, bør prøvetagningen af flere regn prioriteres over flere analyser af den enkelte regn. I det følgende beskrives tre metoder for prøvetagning regnafstrømning (Byer i Vandbalance, notat 5).

Specifikke anbefalinger i forhold til prøveudtagning i forbindelse med permeable veje vil afhænge af vejens udformning, fx om vejvandet føres til nedsvivningen gennem råjorden eller om vejen er etableret med impermeabel bund.

Prøvetagning baseret på fraktionsopsamler

Med en fraktionsopsamler udtages der automatisk delprøver (fraktioner) fra hovedstrømmen. For at sikre flow-proportional prøvetagning skal fraktionsopsamleren kobles til en flowmåler, der sender signal om prøvetagning, f.eks. en prøve pr. m³. Fraktionsopsamleren kan enten opsamle delprøverne enkeltvis i en karrusel med prøvebeholdere, eller bulke alle delprøver i en stor beholder. Flowmåler og fraktionsopsamler kan installeres i en brønd Ø1250, og samlet set ender anlægsprisen let over 50.000 kr.

Passiv fyldning af prøvebeholder ("passive sampler")

Et billigt alternativ til fraktionsopsamleren er en "passiv opsamlingsbeholder" (passive sampler), der over tid samler en bulkprøve. Passiv-samplern er udviklet af Københavns Universitet i regi af Innovationskonsortiet Byer i Vandbalance. Passiv-samplern er konstrueret så der ved forhøjet vandstand (i forhold til tørvej) er en lille kontinuerlig delstrøm ind i beholderen. Når der over passivsamplern både er en konstant vandstand og vandstrøm bliver bulkprøven tilnærmelsesvis flowproportional. Delstrømmen kan justeres, så det tager fra 0,5 til 4 timer at fylde en passiv-sampler på 15 L med vand. En passiv-sampler forventes at komme til at koste ca. 4.000 kr. + udstyr til fastgørelse i f.eks. en brønd.

Udtagning af delstrøm efter pumpe

Hvis vandstrømmen sendes gennem en beholder, der tømmes med en pumpe ved en vis højde, kan dette system udnyttes til at udtage flowproportionale delprøver fra. Efter pumpen kan der fra pumpeslangen via en præcisionsventil opsamles en kontinuerlig flowproportional delstrøm til en bulkbeholder. Til styring af vandtryk på præcisionsventilen kan anvendes en grov drejventil på hovedstrømmen fra pumpen. Anvendelse af præcisionsventilen forudsætter, at der ikke er grove partikler i vandet, som tilstopper ventilen, samt at pumpen ikke kører hele tiden. Såfremt der er grove partikler i vandet, eller der skal opsamles vand over lang tid kan man anvende en elektronisk styret magnetventil i stedet for præcisionsventilen. Magnetventilen kan f.eks. sættes til at åbne helt i 10 sekunder hvert tiende minut. Dermed ændres princippet fra en kontinuerlig delstrøm til delprøver opsamlet i bulkbeholderen.

Yderligere anbefalinger til prøveudtagning

Et vigtigt supplement til de obligatoriske rekvireringssedler til analysefirmaet er udfyldelse af en logbog for hver regnhændelse der er taget prøver fra. I tabel B.2-2 er der vist et eksempel på en sådan logbog.

Logbog for prøvetagning	
Lokalitet (adresse og prøveudtagnings-ID)	Rødovre Kommune, Lørenskogvej, ID-4
Initialer (hvem har registreret prøverne)	IMK
Dato for regnhændelsen (samt evt. beskrivelse)	12. juni 2015
Intensitet (mm)	6 mm
Varighed (minutter eller timer)	3 timer
Forudgående tørvejsperiode (dage)	5 dage
Tidspunkt for indsamling af prøver	Kl. 10.45
Tidspunkt for afhentning af firma	Kl. 11.40
Analyseprogram	Basis
Kommentarer	Der var ikke nok vand til at fylde alle glasflasker. Mange nedfaldne blade på vejen.

Tabel B.2-2. Eksempel på indholdet af en logbog for prøvetagning af regnafstrømning fra permeable veje.

Anbefalinger til medbragt prøvetagningsudstyr:

- Glasflasker med teflonslange (å min. 2 liter) til analyse af organiske forbindelser og fosfor
- Plastflasker med teflonslange (å min. 2 liter) til analyse af alle andre stoftyper
- Beholder med demineraliseret vand til at vaske al udstyr med.

Bilag 2.5 Monitering af vandvolumen

For hver nedbørshændelse, der analyseres, skal det tilhørende vandvolumen beskrives. Gennem indløb kan volumen estimeres ud fra nedbørsdata, eller måles direkte med flowmåler (kan dog være svært for permeable veje). Ved måling af afstrømning fra permeable belægnings kan opsamling i målebeholder i kombination med vandstandsmålinger i vejen benyttes.

Nedbørsdata

Som følge af den store lokale variation i nedbør er det bedst at bruge en lokal nedbørmåler, der er centralt placeret i forhold til den pågældende prøvetagningslokalitet. Alternativt kan anvendes nedbørsdata fra DMI, som ud over egne vejrstationer driver et stort antal nedbørmålere for Spildevandskomiteen (SVK). Hos DMI kan der tegnes et abonnement på SVK-data. Nye målere opsættes mod betaling.

Flowmålere

Flowmålere har et begrænset måleområde. Det kan derfor være svært at finde en flowmåler, der kan matche den store variation i nedbør og dermed i indløbet til LAR-anlægget. Udløb fra LAR-anlæg gennem rør er ofte forsinket og her kan den store udfordring være at måle et relativt langsomt flow under afdræning af f.eks. et grønt tag. I forhold til styring af prøvetagning med flowmåler skal man være opmærksom på flowmålerens måleområde. Ved flow under målerområdet risikeres at flow ikke er målt, at måling er usikker og at der bliver målt falsk flow. Over måleområde kan der forekomme opstuvning før flowmåler med tilhørende mulighed for tab af vand eller bypass af flowmåler. Når flowmåler placeres efter en pumpe (med næsten konstant flow) er denne udfordring løst. Man kan i indløb lave en overløbskonstruktion, så man kun måler "normale nedbør" og acceptere bypass ved store regn (Byer i vandbalance, notat 5).

Registrering af vandstand

Ændringer i vandstand kan relativt let og billigt registreres med en "niveaulogger", også kaldet en tryktransducer eller et manometer. En niveaulogger består af en autonom tryksensor med indbygget datalogger, hvorfra data kan overføres til bærbar PC via USB-adapter. Da niveauloggeren registrerer vægten (trykket) af vandet over sensoren, er det vigtigt at niveauloggeren placeres permanent i samme position i det volumen, der ønskes monitoreret, f.eks. nogle få cm over bunden. En niveaulogger med datakapacitet til ca. 40.000 registreringer, svarende til

f.eks. 1 registrering pr. minut i en måned koster ca. 4.000 kr. og har en levetid på ca. tre år (Byer i vandbalance, notat 5).

Måletank til kombineret prøvetagning og flowmåling

Til kombineret flowproportional prøvetagning og måling af flow kan anvendes en måletank med dykpumpe, niveaulogger og prøvetagningsbeholder. Flow beregnes ud fra stigning i vandstand målt med niveauloggeren (f.eks. logget hvert minut). Når målebeholderen er fuld, tømmes den på kort tid med dykpumpen, og en ny måleperiode med stigende vandstand begynder. Efterfølgende akkumuleres vandstigningen fra sammenhørende måleperioder. Vandprøve kan udtages flowproportionalt efter dykpumpen som beskrevet i afsnittet "Udtagning af delstrøm efter pumpe". En ekstra niveaulogger i prøvebeholder kan anvendes til at registrere over hvilken periode vandprøven er opsamlet. Man skal være opmærksom på at vandet i prøvebeholderen er en bulkprøve, der ikke 100 % svarer til indløbsvandet, da indløbsvand blandes med stående vand i tanken og der kan være "støj" fra sediment i bunden af målebeholderen. Ved langvarig monitoring opstår en ligevægt (Byer i vandbalance, notat 5).

Bilag 2.6 Potentielle udfordringer ved monitoring af permeable veje

Designmæssige forskelle på traditionel regnvandshåndtering og LAR-løsninger, hvor regnafstrømning sjældent har veldefineret ind- og udløbspunkter, kan besværliggøre monitoringen af vandkvalitet og anlæggets hydrauliske funktionalitet. I det følgende er der opstillet nogle potentielle udfordringer man skal være opmærksom på i sin planlægning:

- Prøvetagningspunkter med et koncentreret (tilstrækkeligt) flow kan være svære at definere eller er ikke tilstede
- Små regnhændelser kan producere ingen eller meget lille afstrømning
- Det kan være nødvendigt at opsætte monitoring af det omkringliggende sekundærgrundvandsmagasin til evaluering af den overordnede vandbalance, samt risikoen for grundvandsforurening
- Vejens overordnede funktion er stærkt forbundet med drift og vedligehold af vejen
- Evapotranspiration kan være signifikant i forhold til den overordnede vandbalance og vil variere som en funktion af vejr og årstid
- Råjorden under den permeable vej kan indbefatte stor geologisk variation der kan have betydning for vejens hydrauliske funktion hvis vejvandet skal nedsives direkte

Bilag 2.7 Referencer

Byer i Vandbalance, Notat 5: Vurdering af regnafstrømningens kvalitet før og efter rensning, maj 2015, <http://www.teknologisk.dk/ydelser/byer-i-vandbalance/innovationskonsortie/35897>

Eriksson, E., Baun, A., Scholes, L., Ledin, A., Ahlman, S., Revitt, M., Noutsopoulos, C. & Mikkelsen, P.S. 2007: Selected stormwater priority pollutants: a European perspective' Science of the Total Environment, 383: 41-51.

Kayhanian, M., Fruchtmann, B.D., Gulliver, J.S., Montanaro, C., Ranieri, E., Wuertz, S. 2012: Review of highway runoff characteristics: comparative analysis and universal implications. Water Research 46:6609-6624;

Ingvertsen, S.T. 2011: Sustainable urban stormwater management, the challenges of controlling water quality. Ph.D-thesis.

Ingvertsen, S.T., Jensen, M.B. and Magid, J. 2011: A minimum data set of water quality parameters to assess and compare treatment efficiency of stormwater facilities. J Environ Qual. 40(5):1488-502

Lundy, L., Ellis, J. B. and Revitt, D. M. 2012: Risk prioritization of stormwater pollutant sources. Water Research 46:6589-6600;

Zgheib, S., Moilleron, R., Saad, M. and Chebbo, G. 2011: Partition of pollution between dissolved and particulate phases: What about emerging substances in urban stormwater catchments? Water Research 45 (2): 913-925

Grundvand: Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord og kvalitetskriterier for drikkevand

Drikkevand: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, BEK nr. 292 26/03/2014

Udledning ferskvand: Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet, BEK nr. 1022 25/08/2010

Klimavejen

Formålet med projektet "Klimavejen" er at udvikle et nyt koncept for klimatilpasset, permeabel slidlagsasfalt, som foruden en stor drænkapacitet også har gode støjreducerende egenskaber og en god holdbarhed. Projektet har opfyldt målet om at finde et multifunktionelt belægningskoncept, som kan være en løsningsmulighed for byernes bekæmpelse af generne fra klimaet og støjmiljøet, gennem optimering af begge effekter.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk