



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark



MUDP Projekt

Oktober 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Ole Grann Andersson; Teknologisk Institut

Anders Christiansen, KL

Uno Helk, Asfaltindustrien,

Lotte Josephsen, YIT Danmark A/S

Henrik Fred Larsen, Teknologisk Institut

Erik Nielsen, Vejdirektoratet

Grafiker/bureau: Miljøstyrelsen

Tryk: Miljøstyrelsen

Fotos:

YIT Danmark A/S (inkl. forsidefoto) og

Teknologisk Institut

ISBN: 978-87-93710-95-5

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for 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 Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	6
2.	Sammenfatning og konklusion	7
3.	Summary and conclusions	9
4.	Introduktion	11
4.1	Partnerkredsen i projektet	11
4.2	"Grøn" profil - Bæredygtige løsninger med større grad af cirkulær ressourceøkonomi	12
4.2.1	Forskelle i stenkvalitet afgørende	13
4.2.2	Mere cirkulær asfaltproduktion med sorterede materialer	14
4.3	Alternative teknikker	14
4.4	Internationale erfaringer (litteratur)	15
5.	Regler og lovgivning om genbrug	17
5.1	EU-lovgivning og affaldsdirektivet	17
5.2	CEN-krav og tilgang	18
5.3	Vejregler – nuværende krav og begrænsninger	19
6.	Potentialet og erfaringerne	21
6.1	Årtiers praktisk genbrugserfaring i asfaltbærelag	21
6.2	Potentialet for genbrug	22
6.3	Udfordringen i projektet: Stenkvaliteten	23
6.4	Erfaringsdata fra tidligere produktion med genbrugsasfalt	24
7.	Fræsning og genbrugsegnethed	26
7.1	Genbrugsmaterialets stenkvalitet og finfraktion	27
7.2	Fræsemetode (grov/fin/selektiv?)	30
7.2.1	Belægningsopbygning ved fræseforsøget	31
7.2.2	Forsøgsfræsningens udførelse	31
7.3	Genbrugsasfaltens bindemiddelegenskaber	34
7.4	Optimal fræsning for bæredygtig asfaltproduktion	35
8.	Håndtering og oplagring af genbrugsasfalt	37
8.1	Initial opbevaring	37
8.2	Bearbejdning, knusning og sortering	37
8.3	Kvalitetsmæssig sortering (Hovedtyper)	38
8.4	Specielt om genbrug med polymerbitumen	38
8.5	Hensigtsmæssig indretning af oplagspladser	39
8.6	Tørrehaller mindsker energiforbruget	39
9.	Miljøforhold ved produktion med genbrugsasfalt	40
9.1	Genbrugsasfaltens sammensætning	40
9.2	MST-rapporter om genbrugsasfalt og miljøforhold	41
9.2.1	MST Miljøprojekt nr. 1576, 2014	41

9.2.2	MST miljøprojekt nr. 1731, 2015	42
9.3	Standardvilkår for asfaltfabrikker – Opbevaring af genbrugsasfalt	44
9.4	CO ₂ -besparelser ved opbevaring i tørrehaller (mindre energi/CO ₂)	44
10.	Produktion af asfalt med genbrug	47
10.1	Asfaltproduktion	47
10.1.1	Produktion med genbrug	49
10.2	Fabriksombygninger	51
10.2.1	Lagre og lagerhaller for tør opbevaring af genbrugsgranulat	51
10.2.2	Kolddosering	52
10.2.3	Genbrugsring eller paralleltromle	52
10.2.4	Produktionsapparat og styring	53
10.3	Særligt om høje genbrugsprocenter	53
11.	Lavtemperatur asfalt (LTA) med genbrugsasfalt	55
11.1	Lavtemperaturasfalt	55
11.2	Princippet for Lavtemperaturasfalt	55
11.3	Teknikkerne bag LTA	56
11.4	Danske erfaringer med LTA og genbrugstilsætning	57
11.4.1	Vurdering af LTA-teknik, men UDEN genbrug	57
11.4.2	Vurdering af kombineret LTA-teknik og tilsat genbrugsasfalt	58
11.4.3	Vurdering af kombination af LTA og genbrugsasfalt	58
12.	Laboratorievalidering	59
12.1	Laboratorieforsøgsprogrammets asfalttyper	59
12.2	Det omfattende prøvningsprogram	61
12.3	Styrkeegenskaber: Stivhed og sporkøringsmodstand	62
12.3.1	Sporkøringsmodstand:	62
12.3.2	Stivhedsmodul (Resilient modul - "bæreevne"):	62
12.4	Holdbarhed – Vandfølsomhed og udmattelsesmodstand	64
12.4.1	Vandfølsomhed	64
12.4.2	Udmattelsestest	65
12.5	Bearbejdelse (komprimeringsvillighed)	67
12.6	Bindemiddeldata	68
12.6.1	Traditionelle bindemiddel karakteristika	68
12.6.2	Infrarød spektroskopi (IR)	69
12.6.3	Rheologiske målinger af forskydningsmodul, G*, og fasevinkel	70
12.7	Sammenfatning af laboratorieforsøgene	72
13.	Fuldskala demonstrations-strækning på Herning-Holstebro motorvejen	74
13.1	Demonstrationsstrækningen – opbygning og placering	75
13.2	Lokalt genbrugsmateriale	77
13.3	Basisdata fra strækningernes produktion	78
13.3.1	ABB 16, $\text{AE}_{10} > 500$ (kunstvoksmodificeret)	78
13.3.2	SMA 11 med PmB	79
13.4	Vurdering af materialernes egenskaber og holdbarhed ud fra stivhedsmodul og udmattelsestest	81
13.4.1	Stivhedsmodul på fuldskalaproduceret asfalt	82
13.4.2	Udmattelsestest på fuldskalaproduceret asfalt	83
13.4.3	Samlet konklusion på laboratorietests af fuldskalabelægninger	84
13.5	Jævnhedsmålinger	84
13.6	Friktion	85
13.7	Tekstur, MPD	86
13.8	Bæreevne, FWD	87

13.9	Emission af trafikstøj	88
13.10	Konklusion på demonstrationsstrækningen	90
14.	Supplerende afprøvning	91
14.1	Homogenitet af genbrugsblandinger	91
14.2	Anvendelse af genbrugsasfalt med polymermodificeret bitumen	92
15.	Bæredygtigheds-dokumentation, LCA- og LCC-analyser	95
15.1	LCA: Miljøforhold	95
15.1.1	Beregningsforudsætningerne for LCA'en	96
15.1.2	Beregningsmodellen	97
15.1.3	Miljøpåvirkningskategorier	99
15.1.4	Gunstige LCA resultater ved genbrugstilsætning	99
15.2	Følsomhedsanalyser for LCA-beregningerne	102
15.2.1	Følsomhed for vandindholdet i materialerne	102
15.2.2	Følsomhed for transportafstand af genbrugsasfalt	102
15.2.3	Følsomhed for sejlafstand af stenmaterialer	102
15.2.4	Følsomhed for eventuel ekstra fræseproces	102
15.2.5	Følsomhed for om affræsning medtages i beregningerne.	102
15.2.6	Følsomhed for anvendt genbrugstilsætningsmængde	103
15.2.7	Følsomhed for anvendelse af polymerbitumen i SMA	103
15.3	Alternativ LCA-miljøvurderingsmetode	103
15.4	Samlet konklusion om LCA og miljøgevinst ved tilsætning af genbrugsasfalt	104
15.5	LCC – Livscyklusøkonomiske beregninger	105
16.	Samlet konklusion og anbefalinger	107
Bilag 1.	Specifikationer	110
Bilag 1.1	Specifikationen for ABB 16 $\text{Æ}_{10} > 500$ henholdsvis med og uden genbrug, udlagt 2016	110
Bilag 1.2	Specifikationen for SMA 11 henholdsvis med og uden genbrug, udlagt 2017	112
Bilag 2.	Litteraturliste:	114

1. Forord

Hovedformålet med dette projekt har været at afdække mulighederne for at forbedre den cirkulære ressourceøkonomi gennem en forøget anvendelse af genbrugsasfalt i ny, varmblandet asfalt, uden at dette går ud over økonomi, funktionalitet og holdbarhed.

I Danmark har vi i mange år været ressource- og miljøbevidste og anvendt genbrugsasfalt som en naturlig komponent i produktionen af ny, varmblandet asfalt, primært i de nedre asfaltbærelag. Det er dog projektgruppens tese, at der fortsat er plads til væsentlige forbedringer. Nøglen til en bredere, forøget genbrugsanvendelse i den danske asfaltproduktion er at afdække mulighederne for genbrugstilsætning i de mest "ædle" asfalttyper. Her har genbrugstilsætning – af forsigtighedsårsager og/eller manglende dokumentation/erfaring - hidtil været afvist, eller kun meget restriktivt tilladt, i de danske vejregler. Projektet har gennem et detaljeret fokus på alle procesled lige fra affræsning af den gamle asfalt til den nye asfaltproduktion udforsket og afdækket mulighederne for en større grad af cirkulær asfaltproduktion i Danmark. Denne projektrapport beskriver det omfattende udviklings- og dokumentationsforløb, hvor både de tekniske, miljømæssige og samfundsøkonomiske effekter er belyst. Det er projektets mål, at resultaterne vil bidrage til en fremadrettet forøget grad af cirkulær asfaltproduktion i Danmark.

Projektet er gennemført i perioden juni 2015 – august 2018 med YIT Danmark A/S (tidligere Lemminkäinen A/S) som ansøgerevirksomhed og projektledelse varetaget af Teknologisk Institut. De andre partnere i projektet har været Asfaltindustrien, Kommunernes Landsforening og Vejdirektoratet.

Projektgruppen har haft følgende sammensætning:

- Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut (projektleder)
- Uno Helk, Asfaltindustrien,
- Lotte Regel Josephsen, YIT Danmark a/s
- Henrik Fred Larsen, Teknologisk Institut
- Erik Nielsen, Vejdirektoratet,
- Mathias Vang Vestergaard, efterfulgt af Anders Christiansen, KL

Projektet "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark" er støttet af Miljøstyrelsens Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP). Støtten er bevilget i 2014.

Vejsektoren har igennem projektføreløbet vist stor interesse for projektet og dets resultater. Projektet blev allerede ved Vejforum i december 2015 tildelt Nordisk Vejforbunds innovationspris for projektets visionære tilgang til ønsket om en mere bæredygtig asfaltproduktion.

2. Sammenfatning og konklusion

Projektet Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark har gennem et omfattende projektprogram demonstreret, at der er mulighed for en mere bæredygtig asfaltproduktion i Danmark ved større grad af genbrug af gammel asfalt – uden at gå på kompromis med funktionalitet og holdbarhed.

Projektet har fokuseret på optimering af de enkelte procesled i produktionsforløbet, lige fra affræsningen af den gamle, udtjente asfalt, til fremstillingen af den nye, genbrugsholdige, varme asfalt. I Danmark er der anvendt tilsætning af genbrugsasfalt i ny varmblandet asfalt siden 1980'erne, så der foreligger gode erfaringer fra dette at bygge videre på. De gode erfaringer er dog primært hentet fra fremstilling af asfaltbærelag ("GAB") og de danske vejregler, som næsten alle danske asfaltarbejder baseres på, har hidtil været ret restriktive med hensyn til genbrugstilsætning i nye asfaltslidlag, samt helt udelukket muligheden for genbrugstilsætning til ABB bindelag til tung trafik. Projektet har derfor taget udgangspunkt i at dokumentere, at der inden for de opstillede rammer kan produceres slid- og bindelag med højere genbrugsprocent uden at gå på kompromis med holdbarhed eller funktionsegenskaber.

Projektet har indledningsvis fokuseret på affræsningen af den gamle asfalt og har her fastslået, at der er nødvendigt at affræse slidlag og bærelag hver for sig. Herved er slidlagsgenbrugsmaterialet egnet til anvendelse i nye asfaltslidlag. Visse slidlagstyper (tæt asfaltbeton og pulverasfalt) fremstilles med tilsætning af en mindre mængde uknust sand i finfraktionen, hvilket ikke tillades i typer som skærvemastiks og bindelag. Det har derfor bl.a. været undersøgt om det var nødvendigt at separere de enkelte slidlagstyper. Erfaringerne fra projektets laboratorieprøvningsprogram viser imidlertid, at det er acceptabelt at anvende et blandet slidlagsgenbrugsmateriale, idet ganske små mængder uknust sand ikke synes at have indflydelse på selv de mest "ædle" slidlagstypers funktionsegenskaber og holdbarhed. Fræsning bør tilrettelægges, så man sigter efter at affræse i laggrænsen mellem slidlaget og bærelaget. For tynde støjreducerende slidlag (SRS) har tidligere erfaringer peget på, at man bør anvende en "fin" fræseproces, så grove fræseriller undgås før udlægning af det tynde slidlag. Fræsning kan således indeholde en potentiel "konflikt" mellem "høst" af bedst egnet genbrug og tekstur af den fræste overflade. Det har derfor i nærværende projekt været undersøgt, hvilken indflydelse denne fræseproces har på genbrugsmaterialets egnethed. Forsøgsrækken konkluderer, at "finfræsning" bør undgås, med mindre det er absolut påkrævet forud for et nyt, tyndt slidlag, idet finfræsningen nedknuser genbrugsmaterialet, som derfor mister en del af sin anvendelighed i tilsvarende asfalttyper.

Genbrugsasfalt bør således affræses og opbevares, så slidlag og bærelag opbevares hver for sig. Genbrugsasfalten kan endvidere med fordel opbevares under tag i store tørrehaller, hvor ved fugtindholdet – og dermed energiforbruget til tørring, samt den deraf følgende CO₂-udledning – minimeres. Genbrugsasfalt kan enten tilsættes koldt eller varmt med forskellige teknikker, som er nærmere beskrevet i rapporten.

På basis af en særdeles omfattende laboratorieprøvningsrække, efterfulgt af fuldska-validering på en del af den nye Herning – Holstebro-motorvej, viser alle data entydigt, at der

ved tilsætning af op til 30% slidlags-genbrugsasfalt og den beskrevne fremgangsmåde opnås samme funktions- og holdbarhedsegenskaber, som for en tilsvarende, jomfrueligt fremstillet asfalt.

Omfattende livscyklusanalyseberegninger af de miljømæssige forhold ved scenarier for asfalt-fremstillingen viser endvidere, at der ved tilsætning af op til 30% slidlagsgenbrugsasfalt i SMA (skærvemastiks) og ABB (asfaltbeton bindelag) – kan opnås en reduktion af det globale opvarmningspotentiale (CO₂-reduktion) på hele 14 – 22 procent.

Projektets omfattende prøvningsprogram konkluderer således, at der ved tilsætning af 30% slidlagsgenbrug i forhold til jomfruelige materialer i selv de mest ædle asfalttyper som SMA og ABB kan opnås:

- store miljøbesparelser (14-22%) på CO₂-udledningen og samtidigt
- samfundsøkonomiske besparelser på grund af sparet råstofimport,
- uden at gå på kompromis med kvaliteten, holdbarheden og funktionaliteten

Da ovennævnte forhold er eftervist for selv de mest restriktive, ædle asfalttyper, kan disse konklusioner bredt anvendes for de normale "vejregel" slidlagsbelægninger generelt.

Det anbefales derfor på baggrund af projektets resultater, at den danske vejregel revideres, så der for alle slidlagstyper, herunder SMA, samt for ABB til tung trafik, tillades tilsat op til 30% slidlagsgenbrug.

Det skal i denne forbindelse bemærkes, at:

- Genbrugsasfalt bør affræses og opbevares separat for gamle slidlag og bærelag, hvor kun slidlagsgenbrug fra gamle slidlag er egnet til nye asfaltslidlag. Det synes ikke nødvendigt at skelne imellem genbrug fra forskellige slidlagstyper. En petitessegrænse på nogle få procent uknust sand i finfraktionen bør af samme årsag indføres. Eventuelle store forekomster af ensartede, affræsede materialer (f.eks. fra motorvejsentrepriser) kan med fordel holdes lagret for sig selv, hvor muligt.
- Den knuste genbrugsasfalt bør, hvor muligt, opbevares under tag i lukkede tørrehal-ler.
- Asfaltfabrikker bør ombygges til at kunne håndtere forskellige genbrugsprodukter. De specifikke, detaljerede tiltag afhænger af fremstillingsmåden og betragtes i branchen som konkurrencefølsomme oplysninger.
- Miljøbevidste bygherrer bør i deres udbudsgrundlag – med ovennævnte forudsætninger - tillade anvendelse af op til 30% slidlagsgenbrugsasfalt i nye asfaltslidlag og -bindelag.

Projektet har således realiseret målet om at kunne påvise muligheden for forbedret genbrugs-anvendelse med det formål at opnå en mere Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark.

3. Summary and conclusions

The research and development project 'Circular Asphalt Production in Denmark' has through a comprehensive project program demonstrated the possibilities for obtaining a more sustainable asphalt production in Denmark with higher degree of asphalt recycling – without compromising the functionality and durability of the asphalt pavement.

The project has focused on optimization of the individual steps of the process chain, starting from the milling of the old, worn asphalt pavement, to the production of the new hot asphalt containing recycled asphalt. In Denmark, recycled asphalt has been a 'natural' part of the new, hot asphalt production since the introduction in the early 1980'ies. So, there are many good experiences to build upon. The experiences are primarily related to production of asphalt base layers ('GAB'). The Danish road standards ('Vejregler*'), which traditionally form the basis of most Danish asphalt contracts, have so far been rather restrictive with regards to allowing use of reclaimed asphalt in wearing courses, and the use of recycled asphalt has even been completely prohibited for asphalt concrete binder courses for heavy traffic. The purpose of this project has thus been to document the thesis, that, within given frames, asphalt wearing courses and binder courses may very well be produced with higher contents of reclaimed asphalt without compromising the durability and functional performance.

The project has initially focused on the milling of the old asphalt and has established the necessity to mill off wearing courses and base courses separately. In this way, the reclaimed wearing course material is well suited for re-use in new asphalt wearing courses. Some types of wearing courses (dense graded asphalt concrete and soft asphalt) are produced with addition of a smaller amount of uncrushed, natural sand in the fines fraction of the aggregates. For stone mastic asphalt (SMA) and binder courses (ABB) the use of sand is prohibited. It has thus been investigated if there is a need to separate the reclaimed milled-off asphalt into different stock piles for each wearing course type. The experiences from the project's comprehensive laboratory test program has though shown, that it is acceptable to use a mixed reclaimed asphalt wearing course material, as small amounts of natural sand does not seem to influence on even the most 'noble' wearing courses' functional properties and durability. Asphalt milling should be planned in a way, so that the milling is carried out in the exact separation line between the wearing course and the base course. For thin noise reducing pavements ('SRS') previous experiences have shown that it could be beneficial to use a special 'fine' milling procedure to avoid high milling grooves in the milled surface. This project has thus evaluated which influence the milling process has on the recyclability of the obtained reclaimed asphalt. The project concludes, that special 'fine' milling (with larger number of shredder teeth of the milling machine) should be avoided, unless it is deemed absolutely necessary to be used prior to paving a new, very thin asphalt wearing course, as the 'fine' milling procedure will reduce the particle sizes of the reclaimed asphalt and increase the fines content, resulting in a less usable raw material for the new asphalt production.

Asphalt materials for recycling should be milled off and stored with base- and wearing course materials in separate stockpiles. The reclaimed asphalt granulate should further preferably be stored in large 'drying barns' where the moisture content – and thus the needed energy consumption and related CO₂-emission – is minimized. Reclaimed asphalt may be added both as

cold or pre-heated material into the asphalt production procedure, using a variety of different production techniques, as more detailed described in the report.

Following a comprehensive laboratory test program, full-scale validation of the concept was carried out on a part of the new highway between Herning and Holstebro (central Jutland). All the obtained results unanimously show that – within the given frames – addition of 30% reclaimed asphalt wearing course into the production of new SMA wearing courses, as well as ABB binder courses, results in the same functional properties and expected durability as for ‘virgin’ produced reference asphalt material of same type.

Furthermore, a comprehensive life cycle assessments of the environmental aspects related to the asphalt production show that addition of up to 30% of reclaimed wearing course asphalt in SMA (stone mastic asphalt) and ABB (binder course) results in a reduction of the global warming potential (CO₂-emission reduction) of 14 – 22 percent.

The project’s extensive test program concludes that for even the most ‘noble’ asphalt types such as SMA and ABB, addition of 30% reclaimed wearing course asphalt will lead to:

- Great environmental savings (14 – 22 %) on CO₂-emissions, and at the same time
- Socioeconomic savings due to reduced need for import of constituent materials (aggregates and binder)
- Without compromising the quality, durability or functionality of the asphalt product.

As the abovementioned conclusions have been established for even the most ‘noble’ asphalt types with most ‘strict’ requirements, the conclusions may be valid for asphalt wearing courses generally.

On the basis of the obtained project results it is thus recommended that the Danish Road Standards are revised to allow for addition of 30% reclaimed wearing course asphalt in all wearing course types, including SMA, and additionally allowed for heavy trafficked ABB binder course.

In this connection, it should be noted, that:

- Reclaimed asphalt should always be milled-off and stored separately from base course materials, as only reclaimed asphalt from old wearing courses are suited for use in new wearing courses. A ‘trifling’ limit of a few percent of uncrushed sand in the fines fraction should for practical reasons be introduced (to allow reclaimed asphalt from mixed wearing course sources). Any larger sources of uniformly milled-off wearing course materials (e.g. from large motorway milling contracts) could beneficially be stored separately, where possible.
- The crushed, reclaimed asphalt should preferably be stored under roof in special drying-shelters.
- The asphalt plants should be modified to be able to handle the different recycling materials. The specific, detailed modifications will a.o. depend on the production procedures used on the asphalt plant and is considered competition sensitive information, and thus not described in details in this report.
- Road owners and road authorities striving for sustainable, ‘green’ solutions, should thus in their tender specifications – within the abovementioned prerequisites – allow for addition of up to 30% of recycled wearing course materials in the production of new wearing courses as well as binder courses.

The project has thus fulfilled the aim to establish and document a potential possibility of improved asphalt recycling and thereby established a viable option for obtaining a more Circular Asphalt Production in Denmark.

4. Introduktion

Denne rapport beskriver udviklingsforløbet og resultaterne af forsknings- og udviklingsprojektet ”Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark”, hvis hovedformål har været at udvikle og dokumentere nye muligheder for at øge den anvendte mængde af genbrugsasfalt i den danske asfaltproduktion, uden at gå på kompromis med vejbelægningernes holdbarhed og funktionalitet

4.1 Partnerkredsen i projektet

Projektet ”Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark” er støttet af Miljøstyrelsens Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) og er udført af en partnerkreds, der bredt repræsenterer de forskellige interessenter i vejsektoren. Målet med denne brede repræsentation har været at sikre den bredest mulige forankring og udbredelse af projektets resultater, til størst mulig gavn for den danske vejsektor, idet der dog samtidig også antages at ligge et ikke uvæsentligt eksportpotentiale for den nye teknologi. Projektet er gennemført i perioden januar 2015 til august 2018, med et totalt projektbudget på 6.067.747 kr. Støtten er bevilget i år 2014. Projektdeltagerne er som følger:



FIGUR 5.1.1. Oversigt, projektpartner kredsen i ”Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark”.

- Asfaltindustrien, brancheorganisation,
- KL, fælleskommunal brancheorganisation
- Teknologisk Institut, forskning og udvikling, samt projektledelse og afrapportering.
- Vejdirektoratet, Bygherre, statsvejnettet
- YIT Danmark A/S, tidligere kendt som Lemminkäinen A/S, asfaltproducent og -entreprenør, og officiel projektansøger

4.2 "Grøn" profil - Bæredygtige løsninger med større grad af cirkulær ressourceøkonomi

Bæredygtighed og cirkulær ressourceøkonomi er nogle af de store fokusområder i vores moderne samfund. På alle områder bevæger vi os fra tidligere tiders brug-og-smid-væk samfund over i et moderne samfund med større bevidsthed og opmærksomhed om miljøbelastninger og ressourceforbrug. Dette omfatter bl.a. ønsket om at minimere brugen af de begrænsede fossile ressourcer som olie – og dermed også asfaltbindemidlet, bitumen, som er udvundet ved raffinering af jordolie. Der anvendes store mængder af råvarer til den danske asfaltproduktion – både sten og bindemiddel – og ressourcerne er ikke udtømmelige. Bæredygtige løsninger med større grad af cirkulær ressourceøkonomi efterspørges i stigende grad af miljøbevidste bestillere/bygherrer. Ikke kun for at undgå unødigt spild og bedre ressourceudnyttelse, men også for at medvirke til at reducere CO₂-belastningen fra råvareimporten og derved medvirke til at mindske klimapåvirkningen og de menneskeskabte klimaforandringer.



FIGUR 4.2.1. Der er fokus på "grønne", bæredygtige løsninger – også til vejbygning. (Foto: YIT).

Et af de områder, hvor der fortsat er "plads til forbedringer", er genbrug af gammel, udtjent asfalt. Uanset om den gamle asfalt stammer fra affræsedede belægninger, ophuggede brokker eller som overskud fra asfaltproduktionen, er der reelt tale om en værdifuld ressource, som muliggør at spare på importen af nye råvarer til asfaltfremstillingen. Asfalt er fremstillet af "naturens egne ressourcer". Den består i hovedtræk af sten, grus og sand, sammenbundet af det sorte bindemiddel, bitumen, som er udvundet af jordolie. Asfalt er principielt 100 % genanvendelig – og er således særdeles velegnet til at indgå i et cirkulært produktionsforløb. Det er dog samtidigt vigtigt at man ikke i sin stræben efter bæredygtige løsninger "overfokuserer" så meget på genbrug, at det går ud over holdbarheden og kvaliteten af den færdige vejbelægning, som igen kunne skabe øget miljøbelastning fra hyppigere belægningsreparationer eller udskiftninger. Projektets mål er derfor at afprøve og fastslå effekten af nye teknikker og metoder for asfaltgenbrug i varmblandet asfalt, hvor der samtidigt som minimum sikres fastholdelse af den hidtil kendte kvalitet, funktionalitet og holdbarhed.

4.2.1 Forskelle i stenkvalitet afgørende

I Danmark har vi allerede mangeårige gode erfaringer med genbrug af gammel asfalt i nye, varmblandede asfaltbærelag. Alligevel er det langt fra al affræset eller ophugget gammel asfalt, som reelt bliver genbrugt i fremstillingen af ny varmblandet asfalt. Dette skyldes i det væsentlige, at man hidtil – af forsigtighedsgrunde - har været tilbageholdende med genbrugstil sætning i slidlag og andre ”ædle” asfalttyper. En væsentlig andel af den gamle, genbrugseg nede asfalt, nedklassificeres således fortsat til alternativ anvendelse, som erstatning for stabilt grus - eller i værste fald som markvejsfyld - hvor potentialet i det gamle bindemiddels vær di- fulde egenskaber slet ikke udnyttes.

Årsagen til, at genbrugsanvendelsen i varmblandet asfalt i Danmark hidtil, i det væsentlige, har været begrænset til asfaltbærelagene, skal dog ses i lyset af de forskellige belægningsty pers sammensætning og hidtidige håndtering. Asfaltbærelag (Grusasfaltbeton, GAB) fremstil les typisk af lokale grusgravsmaterialer (eller i begrænsede tilfælde af søsten). Der er her tale om sten fra blandede moræne-aflejringer, hvor der forekommer variationer i den mineralske sammensætning, der typisk også indeholder svagere kalk- og flintesten. Det giver dog sund fornuft og samfundsøkonomi at anvende lokale materialer i asfaltbærelag, hvor der erfarings- mæssigt kan opnås de nødvendige funktionsegenskaber.



FIGUR 4.2.2. Genbrug fra gamle asfaltbærelag (GAB) indeholder typisk lokale grusgravssten, hvorimod asfaltslidlag typisk indeholder stærkere, knuste klippesten. (Foto: TI)

Asfaltslidlag fremstilles til gengæld hovedsageligt af mere ”ædle” knuste klippesten, som typisk importeres fra Norge eller Sverige, hvorved der opnås den forventede slidstyrke og holdbarhed, som er nødvendig, når belægningen udsættes for den rullende trafikpåvirkning, samt vejrligets påvirkning. Samme forhold gælder for asfaltbeton bindelag (ABB) til tung trafik, hvor det også er nødvendigt, at der udelukkende anvendes knuste klippesten for at opnå den påkrævede sporkøringsmodstand ved tung og intensiv trafikpåvirkning.

Der er i Danmark regelmæssigt benyttet genbrugsasfalt i ny varmblandet asfalt siden 1980'ernes start og der er rigtig gode erfaringer med dette. Kvaliteten af de genbrugsholdige bærelag er typisk på mindst samme niveau som for de ”jomfrueligt” fremstillede materialer.

Genbrugsasfalt er dog tidligere typisk håndteret således, at der på asfaltfabrikkerne er opsamlet store bunker af usorteret gammel asfalt, som efterfølgende er blevet nedknust og opsiget, så det kan genbruges i asfaltproduktionen. Det blandede genbrugsmateriale indeholder således både gamle slid- og bærelag, hvorfor det fungerer glimrende ved tilsætning i nye asfaltbærelag, men til gengæld normalt ikke er egnet for tilsætning i nye slidlag, hvor der fordres anvendelse af klippesten.

4.2.2 Mere cirkulær asfaltproduktion med sorterede materialer

Ved hjælp af den i projektet udviklede og dokumenterede teknologi og fremgangsmåde kan den samlede genbrugsandel nu øges markant, ved også at give mulighed for at tilsætte genbrugsasfalt i selv de mest krævende asfalttyper. Artsmæssig affræsning og sortering af genbrugsasfalt-materialerne er en del af nøglen til at kunne tilsætte mere genbrug i alle asfalttyper, uden at gå på kompromis med holdbarheden og levetiden. Herved opnås en mere cirkulær asfaltproduktion og der sikres en mere "grøn" produktion med bedre klima- og samfundsøkonomisk balance, grundet det reducerede behov for import af ny bitumen og knuste klippe-skærver.

De miljø- og samfundsmæssige gevinster er i projektet kortlagt gennem en omfattende LCA livscyklusanalyse af miljøforhold, samt en LCC livscyklusanalyse af de økonomiske forhold. Sidstnævnte er dog omfangsmæssigt mere begrænset, da en række af de detaljerede økonomidata er konkurrencefølsomme oplysninger. De opnåelige forbedringer af såvel miljø som samfundsøkonomi er således kortlagt i nærværende rapport (se mere herom i afsnit 14). Endelig skal det bemærkes, at et specifikt projektmål har været, at slutrapporten skulle danne baggrund for en revision af de nuværende vejregel-grænseværdier for genbrugstilsætning, så bred implementering af projektets resultater sikres så hurtigt som muligt.



FIGUR 4.2.3. Ved affræsning af slidlag for sig kan materialet bedre genbruges højest oppe i "værdikæden" i nye varmblandede asfaltslidlag (Foto: YIT).

Øget genbrugsasfaltenvendelse kræver således dels overvejelser omkring "indhøstning", logistik, forarbejdning, opbevaring og så de mere produktionstekniske aspekter, samt dels - og ikke mindst - at få dokumenteret, at anvendelsen af genbrugsasfalt ikke forringer hverken kvalitet eller holdbarhed ift. tilsvarende produkter fremstillet med jomfruelige materialer. Netop disse ovennævnte aspekter var det projektets erklærede mål at levere og formidle via nærværende rapport og således give købere af asfalt den fornødne viden og tryghed i at bestille mere grønne asfaltprodukter med indhold af genbrugsmaterialer.

4.3 Alternative teknikker

Som alternativ til fremstilling af varmblandet asfalt på traditionelt asfaltværk findes en række andre produktionsteknikker.

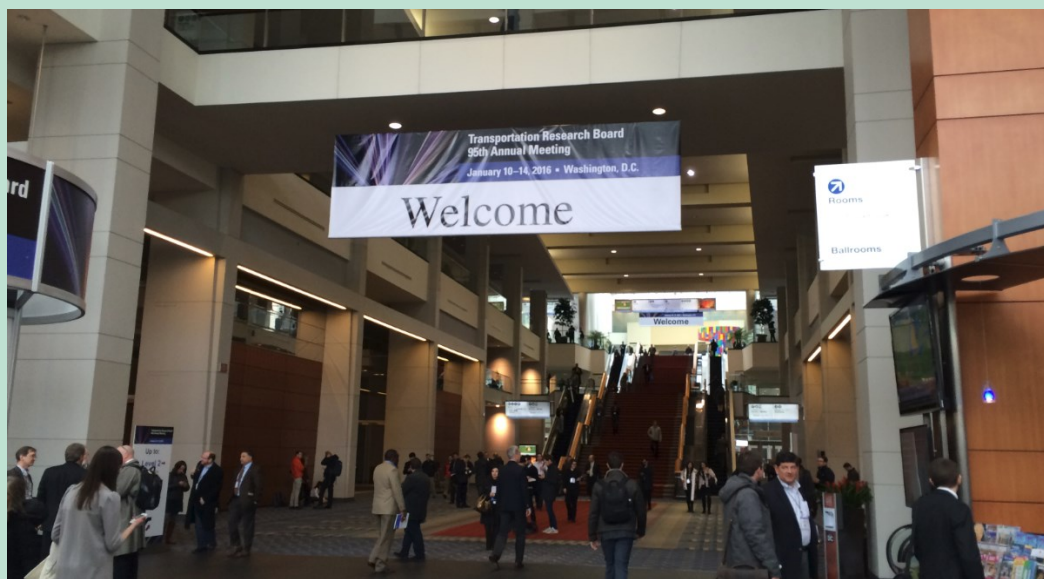
En af disse er fremstilling af koldblandet asfalt, hvor stenmaterialer og evt. gammel genbrugsasfalt sammenblandes koldt med bitumenemulsion (finfordelt "opløsning" af bitumendråber i vand), eller alternativt med opskummet bitumen. Disse teknikker benyttes dog oftest kun, hvor

der er meget store afstande til nærmeste asfaltfabrik, idet den opnåelige kvalitet og holdbarhed efter danske erfaringer ikke er på niveau med kvaliteten fra varmblandet asfalt. Ved tilsætning af genbrugsasfalt vil det heller ikke være muligt at udnytte genbrugsasfaltens binde-middel. Koldteknikken benyttes derfor i praksis ikke i Danmark og omtales ikke nærmere i det følgende.

Et andet alternativ til varmblandet asfalt, som til gengæld kan benytte op imod 100 % genbrug, er den såkaldte remix-teknik, hvor den gamle vejbelægning opvarmes på stedet med gasdrevne, infrarøde heatere, hvorefter den gamle asfalt i en vis dybde rives op og sammenblandes med en ny, blødere bitumen og genudlægges og tromles. I nogle tilfælde tilsættes desuden en begrænset mængde nye stenmaterialer for at kunne justere på asfaltens resulterende kornkurve. Resultatet er dog i væsentlig grad afhængig af den gamle belægnings type og sammensætning. En særlig variant er "Remix-Plus", hvor der i samme arbejdsoperation afsluttes med udlægning af et tyndt, nyt slidlag direkte oven på det "remixede" lag. Metoden anvendes kun noget begrænset i Danmark og er derfor ikke nærmere belyst i nærværende rapport.

4.4 Internationale erfaringer (litteratur)

I projektets indledende fase er der gennemført et omfattende litteraturstudie, hvor udenlandske erfaringer og tiltag er gennemgået. Litteraturstudiet er bl.a. baseret på Vejdirektoratets erfaringer fra en række internationale aktiviteter, samt erfaringer fra internationale workshops, herunder amerikanske Transportation Research Board, TRB, Washington, 2016 og Euroasphalt/Eurobitume congress 2016. Endelig er der i et nordisk samarbejde foretaget erfaringsudvekslinger med norske og svenske myndigheder og udviklingsprojekter, bl.a. svenske SBUF-projekter og norske erfaringer indsamlet af Veiteknisk Institutt.



FIGUR 4.4.1. I projektets litteraturstudie indgår bl.a. seneste internationale state-of-the-art erfaringer på området indhentet ved Transportation Research Boards (TRB) 2016-kongres i Washington, USA. (Foto: TI)

De mange gennemgåede papers om genbrugsasfalt viser, at der i disse år er stort fokus på dette emne, ikke mindst set i lyset af ønsket om en mere bæredygtig produktion. Der er efterhånden en del lande, der ligesom Danmark har gode langtidserfaringer med tilsætning af genbrugsasfalt i ny varmblandet asfalt. Særlig interessant er, set med danske øjne, erfaringer med genbrug i slid- og bindelag, hvor genbrugsanvendelsen endnu er begrænset i Danmark. I det efterfølgende er angivet et kortfattet uddrag af projektets omfattende litteraturstudie.

I Holland er der anvendt op til 60-70 % genbrug i visse bære-/bindelag og op til 30 % i slidlag. Bindemiddelhårdheden justeres normalt med blød bitumen. Kun ved genbrugsmængder over 50 % anvendes rejuvenatorolie som blødgører. I Tyskland har man siden 1989 opnået gode erfaringer med 30 % genbrug i bindelag og 20 % i slidlag og i dag anvendes op til 40 % genbrug i bindelag, også hvis der anvendes polymermodificeret bitumen. Amerikanske langtidsfuldskala-tests viser, at forsøgsbelægninger med 50 % genbrug har klaret sig lige så godt som referencen uden genbrug. Andre forsøg har dokumenteret at der ikke opnås forringet vandfølsomhed ved anvendelse af 30-40 % genbrugsasfalt.

Generelt gælder, at der skal være styr på de anvendte genbrugsmaterialer, som bør sorteres efter kvalitet. Ved meget høje genbrugsasfaltprocenter bør man have særligt fokus på kulde-/revnemodstand og udmattelsesmodstand, vedhæftning, sporkøringsmodstand og materialestivhed. Amerikanske forsøg med op imod 100 % genbrugsasfalt og kompensation for det gamle bindemiddelshårdhed ved tilsætning af en speciel "foryngelsesolie" (rejuvenator-olie) viser, at det kan lade sig gøre at fremstille asfalt med særdeles højt genbrugsasfaltindhold, som kan opnå udmattelsesegenskaber på niveau med en referencebelægning uden genbrug. Til gengæld opnås for disse ikke nødvendigvis sporkøringsmodstand og materialestivhed på niveau med referencen, så det kan være en udfordring at få det hele til at spille sammen ved meget høje genbrugsprocenter.

Erfaringerne fra de mange litteraturkilder synes således generelt at vise, at der ved anvendelse af en moderat genbrugsasfalmængde på op til ca. 30 % genbrugsasfalt i slidlag og 30-40 % genbrugsasfalt i bindelag - altså i mængder, hvor bindemiddelhårdheden blot kan kompenseres med ny, blødere bitumen, uden specielle rejuvenator-olier - vil der kunne påregnes at opnå fornuftige materialeegenskaber og levetider på højde med ikke-genbrugsholdig asfalt.

Alternative former for genbrug, herunder genbrug af bygge-/affaldsmaterialer eller bitumen fra tagpap/tagplader ("shingles") er ikke nærmere beskrevet i denne rapport.

En samlet litteraturoversigt er indsat som bilag 2, sidst i rapporten.

5. Regler og lovgivning om genbrug

Produktion af asfalt og anvendelse af genbrugsasfalt er underlagt en række love og regler – både danske og internationale, i form af de fælleseuropæiske forordninger, normer og standarder. I dette afsnit beskrives, hvordan genbrug er underlagt de fælleseuropæiske og danske regler. Hvad angår miljøforhold ved opbevaring og håndtering af gammel asfalt henvises til en detaljeret gennemgang i det efterfølgende afsnit 9.

5.1 EU-lovgivning og affaldsdirektivet

Affald og genbrug er i EU reguleret, så der opfordres til at genbruge på højest mulige niveau. Disse principper og prioriteringer er videreført til den danske Affaldsbekendtgørelse (Bek. 1309), som trods navnet også omhandler genanvendelse af værdifulde, genbrugsegneede rest-/overskudsmaterialer.



FIGUR 5.1.1. EU's nye affaldsdirektiv er endeligt vedtaget i maj 2018. Den nye lovgivning styrker "affaldshierarkiet", idet den indeholder krav om, at medlemsstaterne skal fremme forebyggelse, genbrug og genanvendelse frem for deponering og forbrænding. Derigennem realiseres den cirkulære ressourceøkonomi bedst. (Fotokilde: DAKROFA.dk)

Hovedpunkterne her er, at man

- Allerede fra produktionstilrettelæggelsen i størst muligt omfang bør tilstræbe at undgå at producere affald eller spild.
- Bør tilstræbe, hierarkisk, at
 - genbruge (i samme type materiale som oprindeligt, f.eks. at anvende genbrugsasfalt i varmblandet asfalt), frem for at
 - genanvende (f.eks. genanvende gammel asfalt som erstatning for grus), eller
 - nyttiggøre (f.eks. udnytte den svage brændelseffekt af bindemidlet i asfalt), eller i værste fald
 - deponere (skabe affald, som ikke kan udnyttes efterfølgende).
- Bør genbruge/genudnytte højest oppe i værdikæden (f.eks. genbruge gamle asfaltslidlag i nye slidlag, frem for kun at anvende genbrug fra slidlag i simplere og billigere asfaltbærelag.

- Bør være opmærksom på, at både bygherrer og producenter er ansvarlige for at sikre, at der skabes størst mulig grad af cirkulær ressourceøkonomi, ved at genbruge frem for i værste fald at producere affald til deponering.

I tilfældet asfalt betyder det således, at det er vigtigt, at den gamle asfalt genbruges i ny varmblandet asfalt, hvor bitumenens værdifulde egenskaber kan genudnyttes fuldt ud, frem for at den gamle asfalt bliver benyttet som erstatning for f.eks. stabilt grus (hvor den kolde genanvendelse ikke udnytter det gamle bindemiddel). Tilsvarende gælder – i nærværende projekts logik – at gamle asfaltslidlag med ”ædle” klippesten primært bør genbruges i nye slidlag af samme kvalitet, i stedet for blot at blive genbrugt som erstatning for billigere, grusbaserede asfaltbærelag. I sidstnævnte tilfælde er det blandede tilslag af lavere kvalitet og slidstyrke, end hvad der kræves til slidlagene, der direkte udsættes for trafikens slid, samt vind og vejr.

Ser man det i et samfundsøkonomisk perspektiv, er det værd at bemærke, at ud af en asfaltbelægnings råvaresammensætning udgør udgiften til bitumen typisk i størrelsesorden halvdelen af den samlede råvarepris. Der er derfor, også økonomisk, rigtig god fornuft i at genbruge den gamle asfalt i ny varmblandet asfalt, frem for kold genanvendelse som grusbærelag.

5.2 CEN-krav og tilgang

Som en lang række andre produkter betragtes asfalt officielt som en byggevare, som efter EU's lovgivning skal CE-mærkes. Formålet med CE-mærkningen er at sikre varenes frie bevægelighed indenfor EU's grænser, så der ikke skabes lokale handelshindringer. Til trods for, at varm asfalt næppe kan betragtes som en ”hyldevare”, på lige fod med f.eks. søm og møtrikker, lamper eller vaskemaskiner, er det vedtaget, at asfalt skal CE-mærkes i overensstemmelse med de fælleseuropæiske standarder.



FIGUR 5.2.1: Asfalt skal som byggevare CE-mærkes (Fotokilde: Pankas.dk)

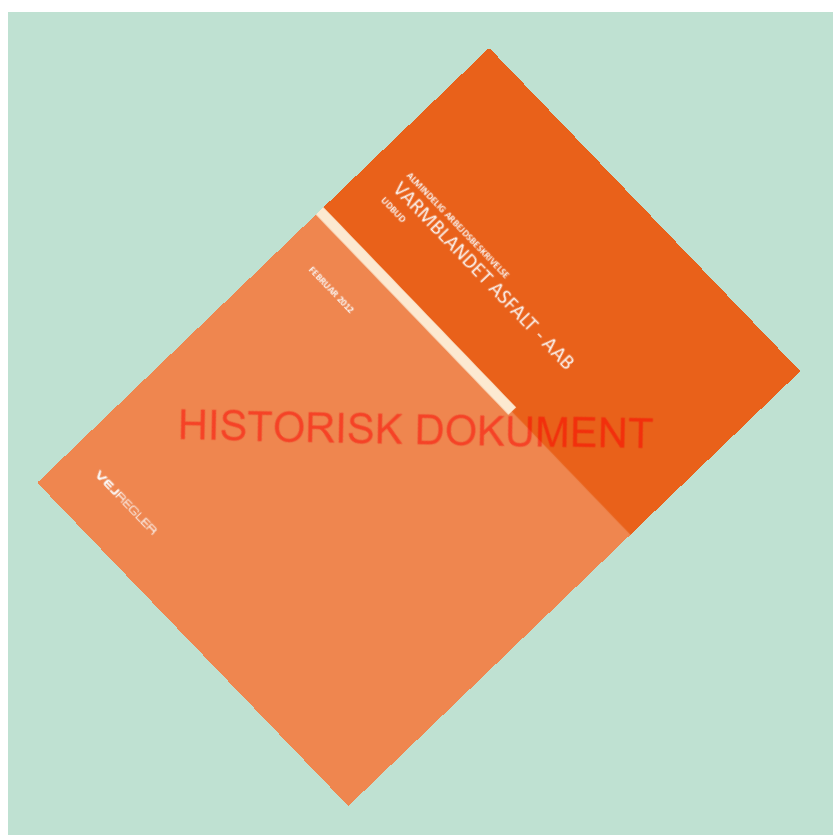
Det betyder, at asfaltens delkomponenter skal udvælges ud fra mulighederne i beskrivelserne i de fælleseuropæiske produktstandards for varmblandet asfalt. Standarderne er, som udgangspunkt, skrevet ud fra en forudsætning om fremstilling af asfalt med ”jomfruelige” materialer og giver derfor kun begrænsede muligheder for genanvendelse af restmaterialer. Man kunne måske frygte, at genbrugsasfalt, som en ”særskilt” råvare, ikke var indeholdt eller tilladt i CEN-produktstandarden, men dette er ingenlunde tilfældet. Alle de europæiske asfaltproduktstandards nævner, at det er tilladt at tilsætte genbrugsasfalt og der findes endog en specifik standard, DS/EN 13108-8, som beskriver genbrugsasfalt og hvordan denne skal håndteres, for at den færdige, genbrugsholdige asfalt kan CE-mærkes. Der er således ingen hindringer i CEN-standarderne for at kunne genbruge den gamle asfalt i ny varmblandet asfalt.

I øjeblikket verserer i Danmark drøftelser omkring hvorledes de fælleseuropæiske standarder mest korrekt implementeres i dansk vejbygning under samtidig sikring af overholdelse af EU's Byggevareforordning (lovgivning). Problemstillingen skyldes, at der er opstået et ”hul” imellem Byggevareforordningens overordnede bestemmelser om byggevarens sammensætning og dokumentation, formuleret af EU's jurister, set i forhold til de fælleseuropæiske produktstandards, som indeholder de relevante kravelementer, som er skrevet af teknikere. En endelig

afklaring og verificering af tolkning omkring dette afventes. Dette kan også få indflydelse på hvordan muligheden for genbrugsasfalt mest hensigtsmæssigt formuleres i en bygherres udbudsgrundlag.

5.3 Vejregler – nuværende krav og begrænsninger

Næsten alle asfaltarbejder i Danmark udføres i overensstemmelse med de danske vejregler, som udgives i regi af Vejdirektoratet. Vejreglernes udarbejdelse bygger på en tradition igennem adskillige årtier, hvor disse vejregler udarbejdes af en arbejdsgruppe med bred repræsentation fra de forskellige parter i hele vejsektoren, altså både bygherresiden (Vejdirektoratet og kommunerne), rådgiversiden og entreprenørsiden. Dette sikrer, at der arbejdes efter fælles konsensus-udarbejdede regler og er en særdeles stor force i dansk vejbygning, sammenlignet med mange udenlandske regler. Den seneste udgave af Vejdirektoratets Almindelige Arbejdsbeskrivelser for Varmblandet Asfalt, AAB, februar 2012 (også kendt som "asfaltvejreglen"), beskriver de hidtil gældende krav til asfalt, herunder også for anvendelse af genbrugsasfalt.



FIGUR 5.3.1: Seneste, nu historiske udgave af Vejdirektoratets AAB for varmblandet asfalt er i februar 2018 gjort historisk. (Fotokilde: Vejdirektoratet).

Det skal for god ordens skyld anføres, at ovennævnte AAB i foråret 2018 er gjort historisk, men er fortsat tilgængelig, da uddrag bruges i en overgangsfase, indtil en revideret vejregel er på plads. I rapportskrivende stund, september 2018, er en ny revision i overensstemmelse med Byggevareforordningen således endnu ikke på plads..

Baseret på de mangeårige gode danske erfaringer med genbrug anfører vejreglen på bedste pragmatiske vis, at "Genbrug kan anvendes som angivet nedenfor under forudsætning af, at materialekravene til bitumen, stenmaterialer og filler er overholdt". De mere materiale specifikke grænser er som følger:

- Genbrug kan anvendes i alle GAB materialer.

- I tætgraderede slidlag kan iblandes op til 30 % genbrugsmateriale.
- I åbengraderede slidlag samt SMA kan iblandes op til 15 % genbrugsmateriale.
- I ABB, hvor $\text{AE}_{10} \leq 500$, kan der iblandes op til 30 % genbrugsmateriale.
- Der må ikke iblandes genbrugsmaterialer i ABB hvor $\text{AE}_{10} > 500$.

Der er således ingen begrænsninger i den tilladte tilsætningsmængde af genbrugsasfalt i nye asfaltbærelag, når blot det kan dokumenteres, at det samlede produkt overholder de samme krav, som er gældende for "jomfrueligt" fremstillet asfalt. For slidlag gælder nogle begrænsninger, valgt ud fra forsigtighedsprincippet, primært hvis der ikke er sikkerhed for genbrugsmaterialets stensammensætning og dermed egnethed til slidlag. For ABB bindelag til tung trafik (antal ækvivalente 10-tons aksler større end 500 pr. døgn) har man tilsvarende (for at undgå øget sporkøring hvis genbrugsmaterialet måtte indeholde runde, uknuste korn), af forsigtighedsårsager afvist tilsætning af genbrugsasfalt. Det er disse grænser, som nærværende projekt ønsker at udfordre og efterfølgende medvirke til at revidere.

6. Potentiallet og erfaringerne

Dette afsnit beskriver potentiallet og de hidtidige danske erfaringer ved anvendelse af genbrugsasfalt i produktionen af ny varmblandet asfalt.

6.1 Årtiers praktisk genbrugserfaring i asfaltbærelag

I Danmark har vi efterhånden næsten 40 års praktiske erfaringer med regelmæssig, systematisk genbrug af gammel asfalt i produktionen af ny, varmblandet asfalt og har dermed længere praktisk erfaring end de fleste øvrige europæiske lande, hvor genbrug for alvor først er slået igennem indenfor de seneste 10-15 år. Der findes dog betydeligt ældre, danske erfaringer med at tilsætte genbrugsasfalt i ny, varmblandet asfalt, hvilket bl.a. bevidnes af nedenstående figur 6.1.1, som gengiver en avisannonce fra det daværende selskab Jens Villadsens Fabriker, som i dag er en del af det multinationale selskab YIT, som er en af projektpartnerne. Under 2. verdenskrig kunne der hverken fås olie, benzin eller bitumen, så hvis man ønskede ny asfalt, kunne Villadsen "regenerere" den gamle asfalt ved genopvarmning.



FIGUR 6.1.1. Avisannonce fra omkring 2. verdenskrig. Det daværende firma Jens Villadsens Fabriker tilbyder regenerering (genbrug) af asfalt. (Kilde: Burchardt og Schønberg: "Lige ud ad landevejen", Danmarks Vej- og Bromuseum)

I de første mange år blev genbrugsasfalt i Danmark typisk håndteret ved at opfræset og/eller ophugget asfalt blev transporteret til oplagspladser på asfaltfabrikkerne, hvor de forskellige leverancer blev opstakket i én stor lagerstak. Når stakken blev tilstrækkeligt stor, blev den efterfølgende knust ned til den ønskede størrelse, rensigtet, homogeniseret og opstakket, klar til brug. Dette betyder, at genbrugsasfalten i de indledende år ofte var en blanding af både slid- og bærelagsasfalt, som derfor var velegnet til produktion af nye bærelag, men i nogle tilfælde mindre egnet til nye slidlag, grundet forekomsten af bærelagsasfalt med lavere stenkvalitet end anvendt i slidlag.

6.2 Potentialet for genbrug

Ser vi på potentialet for hvor meget genbrugsasfalt, der kunne benyttes i fremstillingen af ny, varmblandet asfalt, viser Asfaltindustriens statistikker, at der fortsat er "plads til væsentlige forbedringer".

TABEL 6.2.1. Asfaltproduktion og genbrugsanvendelse i Danmark, 2014-2016

(Kilde: Asfaltindustrien)

ASFALTPRODUKTION I DK	2014	2015	2016
Samlet produktion, tons	3.720.000	3.720.000	3.820.000
Genbrug i % af total	19%	18%	20%
Bærelag, tons	1.960.000	1.820.000	1.920.000
Genbrug i bærelag, tons	29%	29%	30%
Slidlag, tons	1.760.000	1.900.000	1.900.000
Genbrugsprocent i slidlag	8%	8%	10%
Bortsalg som "Bitustabil", tons*	150.000	120.000	100.000

*) Bortsolgt via Asfaltindustrien. Hertil kommer genbrugsasfalt bortsolgt fra øvrige aktører.

Det fremgår af tabellen, tabel 6.2.1, at der trods rimelig konstant asfaltproduktion over årene 2014-16 ikke er sket en forøgelse af den procentvise genbrugsandel i asfaltbærelag, som ligger på et tilsyneladende stabilt niveau omkring 30 % af den samlede produktion. Betragtes den samlede slidlagsproduktion, ses en spinkel udvikling i genbrugsandelen fra 8 % i 2014 til 10 % i 2016, men der er et klart potentiale for højere genbrugstilsætning. Det skal i denne forbindelse understreges vedrørende "Bitustabil", at tabellen kun angiver den andel af genbrugsasfalt, som er bortsolgt fra Asfaltindustriens medlemsfirmaer til erstatning for stabilt grus: Hertil skal reelt tillægges de givetvis ikke helt små mængder af genbrugsasfalt, som er opbrudt og videresolgt/anvendt af mindre (jord)entreprenører og derfor forsvinder ud af statistikken.

En mulig årsag til den begrænsede udbredelse i slidlag, skal måske ses i lyset af, at Vejdirektoratet, grundet tidligere tiders praksis med sammenblanding af genbrugsmaterialer, hidtil har været lidt tilbageholdende med at åbne op for genbrugstilsætning i slidlag på statsveje. Det kan endvidere ikke udelukkes, at dette kan have haft en parallel, afsmittende effekt på en række kommunale udbud. Samtidigt ses en fortsat høj andel af den "høstede" genbrugsasfalt, som mindre ideelt anvendes, som erstatning for stabilt grus, frem for genbrug i varmblandet asfalt.

Endelig skal det bemærkes, at der for ABB-bindelag til tung trafik ($AE_{10} > 500$) jf. nuværende vejregel slet ikke accepteres tilsætning af genbrugsasfalt, så genbrugsandelen her er et rent nul – selvom man til sammenligning i Tyskland, hvor der opereres med endnu mere intensiv trafikbelastning, i dag tillades op til 40 % genbrugsasfalt i selv ABB med polymermodificeret bindemiddel

6.3 Udfordringen i projektet: Stenkvaliteten

På baggrund af disse tal har projektgruppen i nærværende projekt valgt at udfordre grænserne ved gennem projektets forsøgsserie at eftervise, at der – med den rette teknik - foreligger et klart potentiale for genbrugstilsætning i selv de allermest "ædle" og krævende belægningstyper som ABB bindelag ($\text{AE}_{10} > 500$) og skærvemastiks slidlag (SMA) – ud fra devisen om, at hvis der kan påvises god og tryk genbrugstilsætning i de mest krævende asfalttyper, så kan der også tilsættes mindst samme genbrugsmængder i de øvrige, mindre krævende belægningstyper i dansk asfaltvejbygning. Det kan i øvrigt oplyses, at SMA og ABB særligt bruges til motorveje og andre stærkt trafikerede veje, samt at produktionen af SMA og ABB i 2017 udgjorde henholdsvis 16% og 7% af den samlede danske asfaltproduktion



FIGUR 6.3.1: Hvis asfalt på tungt trafikerede veje fremstilles med for svage sten og blødt bindemiddel er der forøget risiko for sporkøring (plastisk deformation) fra de tunge køretøjer.

For at kunne sikre den foreskrevne stenkvalitet i de mest "ædle" belægningstyper som ABB og SMA, hvor tilslaget i det væsentlige udgøres af knust klippemateriale, må det være en forudsætning, at der anvendes genbrugsmaterialer, som stammer fra gamle belægninger med samme stenkvalitet – altså at der i fremstillingen af nye asfaltslidlag anvendes genbrugsmaterialer "høstet" fra gamle slidlag. ABB-bindelag blev introduceret i 1990'erne til sikring mod sporkøring, efter introduktionen af brændstofbesparende "supersingle" lastbilshjul i stedet for tvilling-monterede hjul. Bindelaget ligger beskyttet lige under det afsluttende slidlag, hvorfor der endnu ikke er observeret behov for udskiftning af ABB i nævneværdig grad. Det betyder derfor, at der ved genbrugstilsætning i ABB bindelag til tung trafik også bør anvendes genbrugsmaterialer fra gamle asfaltslidlag for at sikre den rette kvalitet.

Potentialet for øget genbrugsanvendelse afhænger derfor også af hvor store mængder slidlags-affræsninger, der udbydes udført af de offentlige bygherrer, hvor Vejdirektoratet typisk står for den overvejende del af de større slidlagsaffræsninger. Det til rådighed værende slidlagsgenbrug vil derfor formodentligt svinge fra år til år og fra egn til egn, afhængig af de udbudte fræsearbejder i området. Det betyder derfor også, at det kan være vanskeligt for miljøbevidste bygherrer at introducere tilbudssystemer, der i særlig grad prioriterer tilbud med høj genbrugsandel, idet det egnede genbrugsmateriale kan være "skævt" fordelt, både mht. landsdele og imellem entreprenører, som har (eller ikke har) forestået større fræseopgaver.

6.4 Erfaringsdata fra tidligere produktion med genbrugsasfalt

Som tidligere nævnt er der i Danmark gode og mangeårige erfaringer med tilsætning af genbrugsasfalt i produktionen af ny varmblendet asfalt. Specielt for fremstilling af asfaltbærelag er der i Danmark næsten 40 års erfaring med systematisk anvendelse af genbrugsasfalt i den nye asfalt. Den gamle asfalts bindemiddel er som regel hærdet en del over årene, hvorfor genbrugsasfalt næsten altid er nogle penetrationstrin hårdere end frisk vejbitumen. Dette kompenserer man for i asfaltproduktionen ved at iblande en lidt blødere ny bitumen, så den færdige asfaltblanding med både nye og genbrugte sten og bindemidler opnår netop samme hårdhed, som hvis asfalten havde været fremstillet udelukkende af "jomfruelige", nye materialer. Hårdheden og blandingsforholdet kan nemt beregnes ud fra bindemidlernes blødhedspunkt K&R (CEN-standardiseret bitumentestmetode til bedømmelse af bindemidlets "smelte-temperatur"). Man kunne måske komme i tvivl om hvorvidt man altid opnår den rette bindemiddelhårdhed, så den nye asfalt ikke bliver unødigt hård eller sprød. De gode danske erfaringer fra de seneste 40 år dokumenterer dog, at der uproblematisk opnås den ønskede bindemiddelhårdhed i asfaltproduktionen. Tabel 6.4.1 viser som eksempel YIT's erfaringsresultater fra mere end 600 asfaltanalyser af genindvundet bindemiddel fra perioden 2004-15.

TABEL 6.4.1. Analysedata fra genindvundet bindemiddel i perioden 2004-15. (Kilde: YIT).

Bitumen type tilstræbt	Gen-brugs-%	AB		GAB		SMA	
		Antal	K&R (°C)	Antal	K&R (°C)	Antal	K&R (°C)
40/60	0	32	58,4	44	57,9	224	56,8
	<20	2	60,8	12	59,2	3	57,5
	25-50	6	58,9	51	58,7	0	-
	>50	0	-	14	58,9	0	-
70/100	0	83	51,4	9	51,7	9	49,6
	<20	11	50,5	6	52,8	7	53,7
	25-50	3	51,5	65	52,7	1	49,4
	>50	0	-	5	52,6	0	-

Det ses af tabel 6.4.1, at der ved løbende produktionskontrol igennem 2004 – 2015 er opnået omtrentligt samme K&R-værdier for de tre asfalttyper AB (asfaltbeton slidlag), GAB (grusasfaltbeton bærelag) og SMA (skærvemastiks slidlag) uanset anvendt genbrugsprocent. Denne omfattende dokumentation viser, at der ved produktion af asfalt med genbrug fint opnås den ønskede bitumenhårdhed, når dette på traditionel dansk vis styres ud fra bindemidlernes blødhedspunkt K&R. Ovennævnte data viser således, at asfalt produceret med genbrugstilsætning jf. mangeårige danske erfaringer giver produkter med samme bindemiddelhårdhed som tilsvarende fremstillet med "jomfruelige" materialer.

Hvordan ligger det så med materialernes stabilitet? Hvis der er opnået ligeværdige bindemiddelhårdheder ved at blande ny blødere bitumen i asfalten, er der så en risiko for at asfalten bliver mindre stabil pga. det nye bløde bindemiddel? Dette er heller ikke tilfældet, hvilket fremgår af tabel 6.4.2, der viser en oversigt over rutinemæssigt opnåede Marshall-stabiliteter fra en løbende asfaltproduktion i perioden 2010 – 2015.

Det fremgår af tabel 6.4.2, at de opnåede Marshall-stabiliteter ved genbrugstilsætning ligger på samme niveau som for tilsvarende jomfrueligt fremstillede materialer. Specielt for GAB II og til dels GAB I ses reelt en stabilitetsforbedring ved tilsætning af genbrugsasfalt, hvilket antages primært at skyldes, at genbrugsmaterialet til GAB typisk vil indeholde en mindre mængde affræsede slidlag med højere stenkvalitet.

TABEL 6.4.2: Marshall-stabilitet (kN) fra 2856 asfaltanalyser i perioden 2010-15.

(Kilde: YIT).

Bitumen type	Gen- brugs-%	ABt	SMA	ABB	GAB 0	GAB I	GAB II
40/60	0	11,8	8,2	13,6	11,3	11,2	9,3
	<20	12,2	8,5	12,4	11,1	11,2	9,6
	25-50	11,1	-	12,9	11,7	10,7	11,1
	>50	-	-	-	12,2	11,8	14,1
70/100	0	9,8	7,0	-	8,8	8,7	-
	<20	10,6	8,0	-	9,3	7,8	-
	25-50	10,0	-	-	9,0	8,1	-
	>50	-	-	-	9,8	8,5	-

Ovenstående data, samt de generelt gode levetidserfaringer igennem de seneste 40 år, dokumenterer således de solide og meget positive danske erfaringer med anvendelse af genbrugsasfalttilsætning indenfor den hidtil gældende vejregels grænser - og danner dermed solid grobund for dette projekts målsætning om at kunne dokumentere et potentielt højere genbrugsasfalt tilsætningsniveaus egnethed.

7. Fræsning og genbrugsegnethed

I dette afsnit er det nærmere belyst hvilke egenskaber og hvilket indhold af råmaterialer i den gamle genbrugsasfalt, som er udslagsgivende for genbrugsegnetheden i nye, varmblandede asfaltslidlag. Herunder belyses i hvor store tilsætningsmængder genbrugsasfalten realistisk vil kunne tilsættes, uden at gå på kompromis med det nye, genbrugsholdige asfaltslidlags funktionelle egenskaber.



FIGUR 7.0.1. I udviklingsprojektet konkluderes, at valget af fræseprocedurer har indflydelse på den resulterende genbrugsasfalts kornkurve og dermed anvendelighed (Foto: YIT).

Når et udtjent asfaltslidlag skal fornyes, er det i dag almindeligt, at det gamle lag bliver fræset af, før et nyt slidlag udlægges. Herved sikres både, at man kan opnå en passende lysningshøjde ved kantsten (eller niveautilslutning til nødspor på motorveje) og ikke mindst sikres normalt, at der opnås et sundere underlag for det nye asfaltslidlag. Som en del af udviklingsprojektet er der blandt andet set nærmere på det gamle slidlags egnethed til genbrug og ikke mindst den anvendte fræseprocedures indflydelse på, i hvor stor grad den affræsedes asfalt er velegnet som genbrugsasfalt-tilsætning i nye, varmblandede asfaltslidlag.

Spørgsmålet er blandt andet, om ønsket om at opnå en optimal genbrugsanvendelse af de gamle slidlag, "spiller sammen" med ønsket til tekturen (grovheden) af underlagets overflade efter fræsningen er udført (dvs. fræserillernes størrelse og indbyrdes afstand). Dette hensyn gælder specielt, hvis der er tale om, at der efter fræsningen skal udlægges et nyt, tyndt slidlag. Som en del af projektet er samspillet imellem fræsningens tekniske udførelse og det affræsedes materiales genbrugsegnethed i ny varmblandet asfalt derfor også undersøgt.

7.1 Genbrugsmaterialets stenkvalitet og finfraktion

Der er i denne del af projektet taget udgangspunkt i en vurdering af udtagne genbrugsasfaltprøver fra 5 forskellige, gamle asfaltslidlag, som YIT i forbindelse med asfaltentreprisearbejder har affræset.

TABEL 7.1.1: Data og vurdering for oparbejdede asfaltslidlags genbrugsmaterialer fra YIT A/S

Prøvenummer VD		SV 16086	SV 16087	SV 16088	SV 16089	SV 16090
Lokalitet og prøvedato	Viborg sept. 2015	Viborg 26-01-2016	Tinglev 18-01-2016	Uldum 18-01-2016	Vandel 18-01-2016	Nordskoven
Bit %	5,8	6,2	5,7	5,0	5,0	5,8
Stendensitet	2,84	2,78	2,65	2,90	2,69	2,96
K&R	57	59	64	63	61	61
Filler %	12	15	12	12	10	15
0,5 mm gennemfald	31	33	38	28	30	30
2 mm gennemfald	51	51	59	44	49	43
5,6 mm gennemfald	80	80	79	74	75	78
Dominerende stenmateriale	Hyperit m. labradorit	Hyperit m. labradorit	Lys granit	Hyperit m. labradorit	Hyperit m. labradorit	Hyperit m. labradorit
Øvrigt stenmateriale-indhold, visuelt vurderet	5 % flint 30 % øvrige granitter	1-2 % flint 1 % øvrige granitter	10-15 % flint	< 1 % flint	< 1 % flint	0 % flint
Fræsning fin/grov?	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Grov

Efter en gennemgang og vurdering af materialerne, er to kandidater udvalgt til videre laboratorieforsøg (grønmarkeret i tabel 7.1.1).

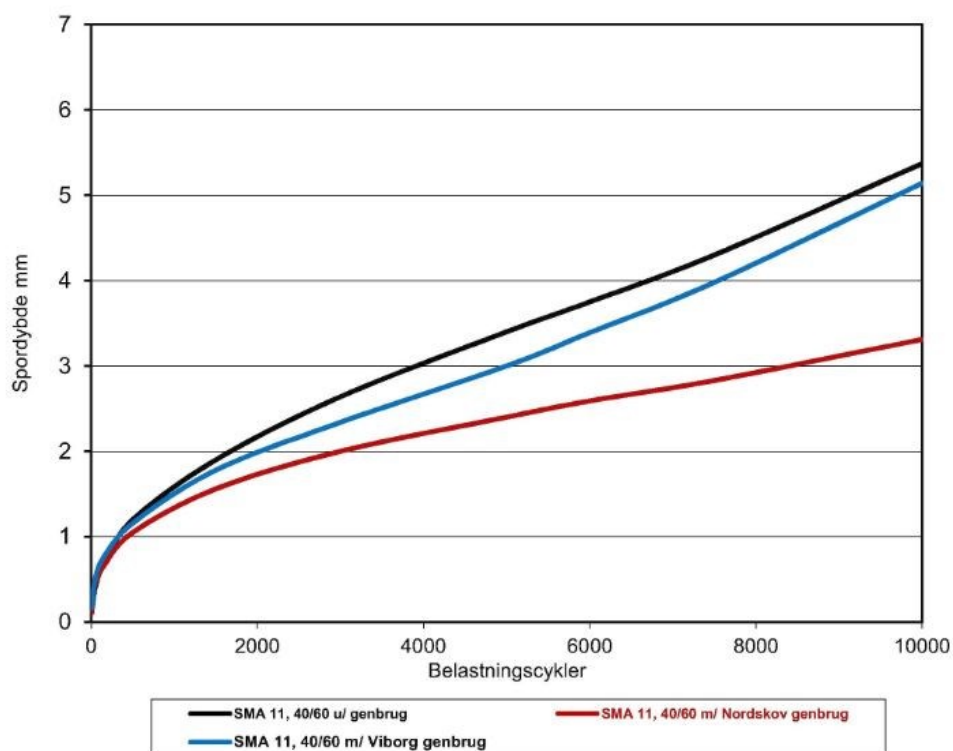
Den ene kandidat, "Nordskoven", er et slidlagsgenbrugsmateriale, som er "udvundet" fra en gammel asfalt, sammensat med sten af knust klippemateriale, som også i den fine fraktion af stenmaterialet (≤ 2 mm) udelukkende består af knuste materialer. Dette svarer til råvarekravet ved fremstilling af ny SMA og ABB belægning. Den anden kandidat, "Viborg", er ligeledes "udvundet" fra gamle asfaltslidlagsmaterialer, men består af en blanding af forskellige slidlagstyper, hvori der indgår en lille andel af uknust stenmateriale (sand) i finfraktionen (≤ 2 mm).

Det antages, at en væsentlig årsag til den hidtil gældende begrænsning/forbud i vejreglerne mod genbrugsasfalt i SMA og ABB til tung trafik ($\text{AE}_{10} > 500$) hovedsageligt har skyldtes frygt for at opnå for lav stabilitet i materialet, med større sporkøring til følge. Denne problematik er i projektet fulgt op ved at udføre sporkøringstests på laboratoriefremstillede asfaltblandinger med/uden genbrugsasfalttilsætning. Det afgørende her er således at vurdere, om "ædle" asfaltmaterialer som SMA og ABB, som er produceret på helknuste materialer, kan tåle, at der iblandes "blandet" slidlagsgenbrugsmateriale med et uundgåeligt, lille sandindhold i finfraktionen.

Der er efterfølgende foretaget sporkøringstest på SMA 11 skærvemastiks slidlag med tilsætning af 30 % af hver af de tre genbrugsvarianter: 30 % Nordskov fuldknust, 30 % Viborg blandet slidlagsgenbrug og Reference, 0 % genbrug. Resultatet fremgår af nedenstående figur 7.1.1, hvor tilsvarende blandinger er gennemført for ABB 16. Det skal her bemærkes, at da der er tale om et relativt finkornet 0/8 mm slidlagsgenbrugsmateriale, har det i praksis kun været muligt at tilsætte 20 % genbrugsasfalt i ABB'en, når slut-kornkurven skulle passe med den tilstræbte kornkurve for den "jomfruelige" referencebelægning (den i forsøget aktuelt anvendte genbrugsasfalt mangler grove sten op til 16 mm for at kunne tilsættes i større mængder):

Sporkøringstest på SMA 11 40/60

EN 12697-22, Small size device, procedure B i vand. Temperatur 60°C. Lagtykkelse 4 cm.



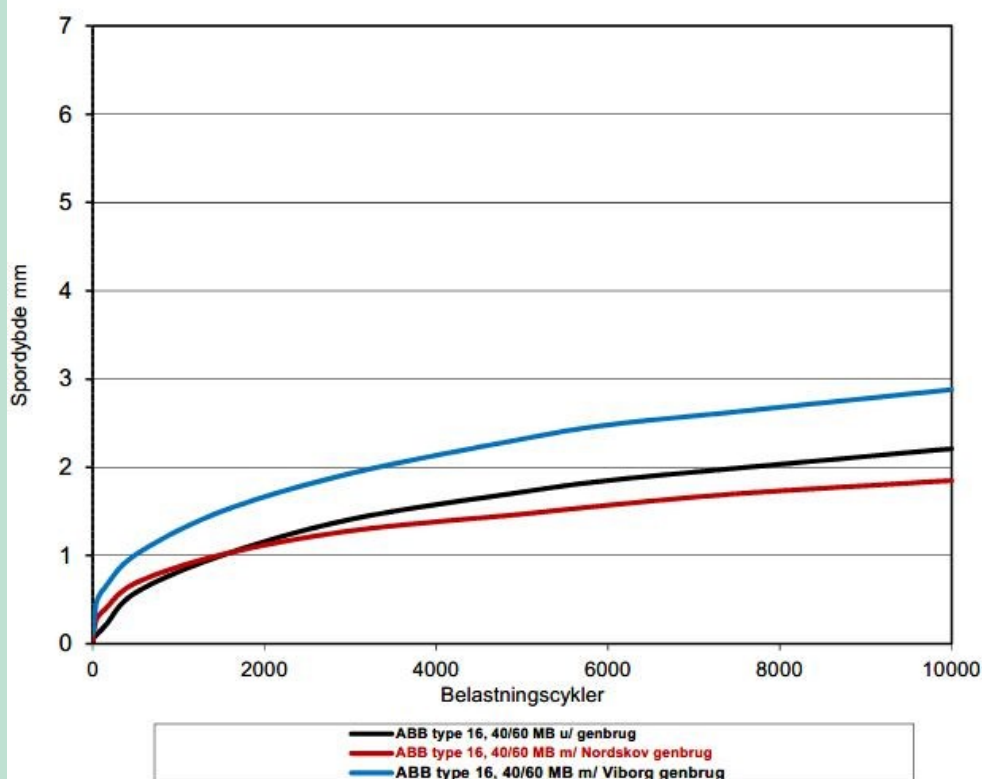
Spordybde mm	SMA 11 40/60 u/ genbrug	SMA 11 40/60 m/ Nordskov	SMA 11 40/60 m/ Viborg
Efter 1.500 cykler	1,72	1,56	1,78
Efter 10.000 cykler	5,37	3,31	5,14
Stigning	3,65	1,75	3,36
Efter 5.000 cykler	3,37	2,34	3,00
Efter 10.000 cykler	5,37	3,31	5,14
WTS (mm/1000 cykler)	0,40	0,24	0,43
Komprimering %	99,1	98,3	99,0

FIGUR 7.1.1. Sporkøringstest af SMA 11 uden genbrug (reference) og med genbrug (2 forskellige typer) udført efter CEN-forskrift DS/EN 12697-22, small-size, testtemperatur 60°C, vandtermostateret. Ingen af de to genbrugsvarianter har større sporkøring end referencen.

Figur 7.1.1 viser resultaterne fra sporkøringstest af SMA 11. Der ses ingen påviselig negativ effekt ved tilsætning af slidlagsgenbrug. SMA-blandingen med Viborg-genbrug (blå, indeholder små mængder sand) giver lidt større sporkøring end varianten med fuldknust stenmateriale (rød, Nordskov), men begge ligger bedre, med lavere sporkøring, end hvad referencebelægningen uden genbrug (sort) kan præstere.

Sporkøringstest på ABB type 16 40/60 Special

EN 12697-22, Small size device, procedure B i vand. Temperatur 60°C. Lagtykkelse 6 cm.



Spordybde mm	ABB type 16 40/60 MB u/ genbrug	ABB type 16 40/60 MB m/ Nordskov GB	ABB type 16 40/60 MB m/ Viborg GB
Efter 1.500 cykler	1,00	1,01	1,50
Efter 10.000 cykler	2,21	1,85	2,88
Stigning	1,21	0,84	1,38
Efter 5.000 cykler	1,72	1,47	2,35
Efter 10.000 cykler	2,21	1,85	2,88
WTS (mm/1000 cykler)	0,10	0,08	0,11
Komprimering %	99,4	99,2	98,0

FIGUR 7.1.2. Sporkøringstest af ABB 16 uden genbrug (reference) og med genbrug (2 forskellige typer) udført efter CEN-forskrift DS/EN 12697-22, small-size, testtemperatur 60°C, vand-termostateret. De to genbrugsvarianter ligger omkring referencen.

Figur 7.1.2 viser resultaterne fra sporkøringstest af ABB 16. For ABB giver blandingen med 20 % Viborg genbrug en anelse højere sporkøring end de to andre varianter, men forskellen synes ikke at være signifikant. Ganske vist er den samlede sporkøring marginalt højere for Viborg-varianten, men hvis man betragter wheel-tracking-slope'n (WTS), som er det afgørende udtryk for tendensen til fortsat sporkøring, ligger Viborg-varianten praktisk taget på samme niveau som referencen. Det må således samlet konkluderes, at tilsætning af 20-30 % slidlags-genbrugsasfalt ikke påvirker sporkøringsmodstanden signifikant – uanset om slidlagsgenbruket indeholder små mængder sand eller ej.

Bedømt ud fra ovennævnte tests ser det således ud til, at man for ABB og SMA med op til 30 % genbrug kan acceptere en "bagatelgrænse" af op til måske 4- 5 % uknust sand i genbrugsmaterialet, uden at dette vil have en signifikant indflydelse på stabiliteten og sporkøringsresistensen af det udlagte asfaltermateriale. Dette vil være af afgørende betydning for mulighederne for (og anvendeligheden i praksis af) genbrugstilsætning i slidlag, idet man i så fald, som producent, kan koncentrere sig om at skabe lagre af affræsede slidlag med klippesten, uden at skulle kildeopdele i de enkelte slidlagstyper, hvilket ville kræve store lagerarealer og håndtering af mange forskellige genbrugsråvarer på fabrikkerne.

7.2 Fræsemetode (grov/fin/selektiv?)

I de seneste år har der været fokus på den overfladetekstur, der fremkommer, når gamle slidlag bortfræses for at give plads til et nyt slidlag. Ofte forekommer det ved vedligeholdelsesarbejder, at det nye slidlag er et specielt, "funktionelt" slidlag (f.eks. SRS – støjreducerende slidlag) med lille maksimal kornstørrelse, der typisk udlægges i en lille lagtykkelse. Hvis underlaget er grov-tekstureret som følge af fræsningen (dvs. med grove fræseriller), vil der være risiko for at reducere belægningens levetid på grund af den punktvise meget lille lagtykkelse. For at imødegå dette stilles for sådanne, tynde slidlag ofte ønske om finfræsning (med 6-8 mm tand-linjeafstand) i modsætning til den "normale" fræsning 15 mm.

Asfalt-affræsning foregår ved, at asfaltfræserens roterende valse er påmonteret rækker af "fræsetænder" med tungstenbelægning, som "gnaver" asfalten af i den ønskede dybde, som kan indstilles ret præcist. Ved tæt montering af tænderne opnås en resulterende overflade, som ikke har ret dybe fræseriller. Denne fremgangsmåde er dog normalt ikke optimal af hensyn til fræserens fremdrift og tandslitage. Derfor anvendes oftest "normal" / "grov" fræseprocedure med større afstand imellem fræsetænderne.



FIGUR 7.2.1. Nærbillede af normal fræsevalse med 15 mm linjeafstand. (Foto: Vejdirektoratet)

I forbindelse nærværende projekt er der blevet udført et del-projekt, hvori indgår en evaluering af forsøgsvis "selektiv" fræsning i forskellige laggrænser og med forskellig fræseropsætning (antal fræsetænder monteret på fræserens valse). Forsøget er gennemført på en strækning nær Sinding, i forbindelse med den nye Herning-Holstebro motorvej. To ældre slidlag er selektivt blevet fræset bort med henholdsvis "fin" (tæt tandplacering) og "normal" (grovere) fræs-

ning, hvorefter de fremkomne asfaltslidlagsgenbrug er blevet analyseret for deres sammensætning og egenskaber.

Desuden er det vurderet, om der opnås en fordel ved at foretage "selektiv" affræsning af slidlaget med henblik på optimal "indhøstning" af egnet slidlagsgenbrug, hvor der f.eks. kun affræses de øverste 2,5 cm af et 3,5 cm slidlag for at undgå "forurening" fra den underliggende asfalt, der kan være af en afvigende kvalitet.

TABEL 7.2.1: Oversigt over fræseforsøget

Prøve nr.	Type af fræsning	Dybde af fræsning	Forhold AB 11å/PA visuelt vurderet
16043	Grov fræsning	Fra 0 cm til 2 - 2½ cm	~100 % AB 11å (selektiv fræsning)
16044	Grov fræsning	Fra 2 - 2½ cm til 4 - 5 cm	Overvejende PA
16045	Grov fræsning	Fra 0 cm til 4 - 5 cm	Blanding
16046	Fin fræsning	Fra 0 cm til 2 - 2½ cm	~100 % AB 11å (selektiv fræsning)
16047	Fin fræsning	Fra 2 - 2½ cm til 4 - 5 cm	Overvejende AB 11å
16048	Fin fræsning	Fra 0 cm til 4 - 5 cm	Blanding

7.2.1 Belægningsopbygning ved fræseforsøget

Ifølge diverse arkiver består den oprindelige befæstelse, hvor Herningsholm Å krydser Sindingsvej på hldv. 422, af GAB II og GAB I, som i 1974 blev afsluttet med en tætgraderet asfaltbeton (ABt). I 1981 blev der udlagt en pulverasfalt (PA). Senest er der i 1996 blevet udlagt en åbengraderet asfaltbeton (AB 11å med B85). I forbindelse med et belægningsarbejde skulle en forudgående fræsning fjerne de to øverste slidlag, AB 11å og PA.

7.2.2 Forsøgsfræsningens udførelse

Fræsningen er udført den 15. januar 2016 i let frostvejr (-1 til -2 °C) med en Wirtgen W 50 DC med en egenvægt på ca. 8 tons. Fremdriftshastigheden har været ca. 8-10 m/min. Der har været anvendt to valseopsætninger: "finvalse" med linjeafstand 6 mm imellem tænderne og "normal" valse med 15 mm linjeafstand. Tabel 7.2.1 angiver oversigtsmæssigt de forskellige fræsningsvarianter. I forsøget er der med henholdsvis "fin" og "normal" ("grov") fræseopsætning foretaget affræsning i tre forskellige niveauer:

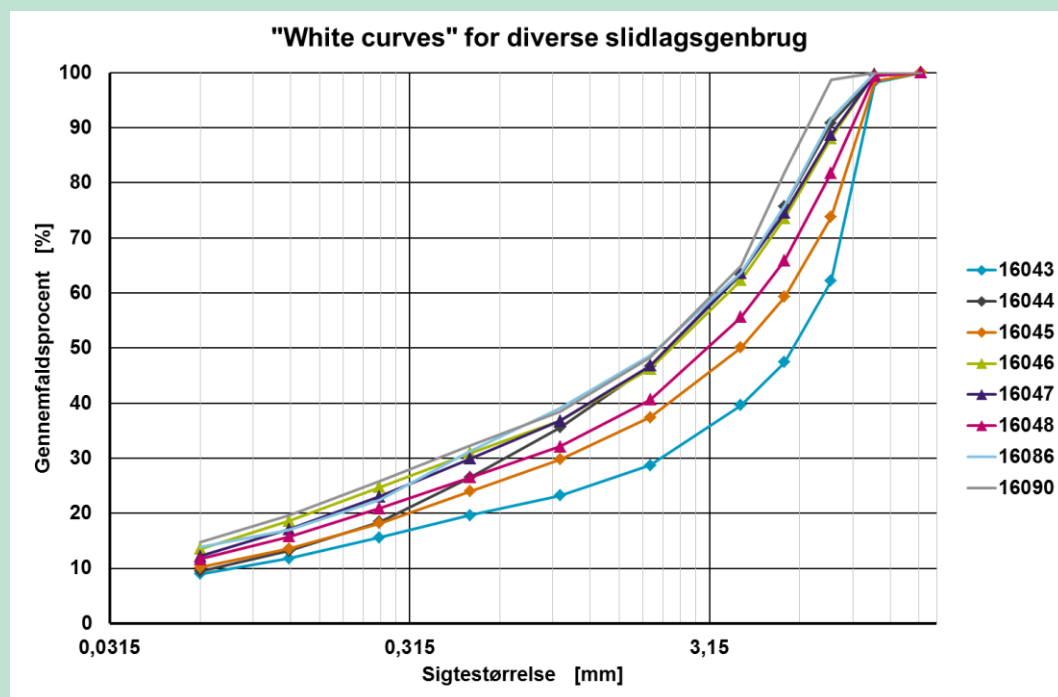
1. Affræsning af det øverste AB 11å slidlag for sig selv. For at sikre, at der ikke forekommer medtaget materiale fra det underliggende PA slidlag blev fræsedybden sat til blot 2,5 cm. Det opnåede genbrug er dermed "ædelt" genbrug helt uden sand.
2. Efterfølgende affræsning af resterende del af ABå laget og PA-laget i en dybde ned til 4-5 cm under overfladen. Det opnåede genbrug indeholder således en lille sandmængde hidrørende fra det gamle PA-lag.
3. Affræsning af begge de to øverste slidlag i den samlede tykkelse på 4-5 cm. Det opnåede "blandede" slidlagsgenbrug indeholder således en mindre mængde sand.

Der indgår også en visuel vurdering af, om der er kommet lidt PA med i AB 11 å materialet i prøverne 16043 og 16046, der er selektiv fræsning af (toppen af) det øverste slidlag (AB 11å) udført med henholdsvis normal og fin fræsning.

Det konkluderes ud fra de gennemførte okulære, geologiske vurderinger, at der er tale om en vurderingsmetode, som primært er kvalitativ. Det kan være vanskeligt at "overføre" det visuelle 2D-billede af de udsprede korn til en "3D"-opfattelse af volumen og videre til en angivelse af

det vægtmæssige indhold. Ud fra de foretagne vurderinger kan den visuelle metode sandsynligvis benyttes til vurderinger med en opdeling i ca. 5 % intervaller.

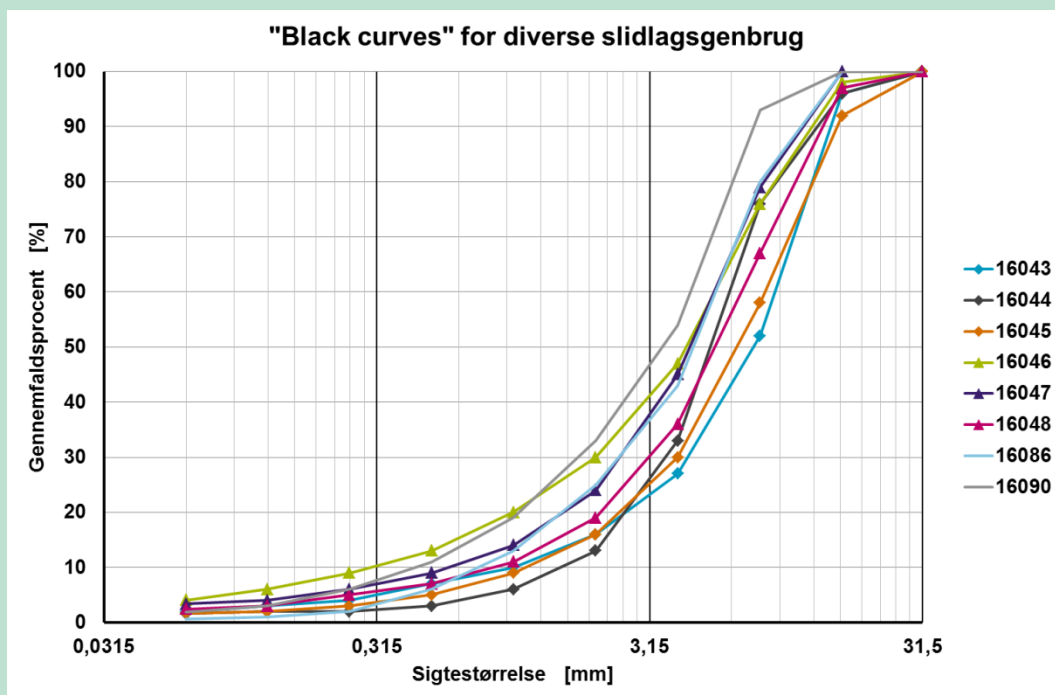
Okular vurdering (visuel bedømmelse med mikroskop) kan i princippet kun benyttes til at sige, om der er benyttet bakkematerialer. Til vurdering af finfraktioner – ekstraheret fra genbrugsasfalter – vil metoden formentlig kunne benyttes til klassificering af oparbejdet genbrug med hensyn til andel af afrundede korn/uknust finfraktion, men den vil formodentlig ikke være velegnet til kvalitetskontrol af opborede asfaltkerner fra udførte arbejder på grund af tidsforbrug og et vist subjektivt element.



FIGUR 7.2.2. Kornstørrelsesfordeling ("white curves") for prøver af genbrugsasfalt fra slidlag. Kurver med signatur er prøver fra fræseprojektet (grovfræsning = $\diamond$; finfræsning = $\blacktriangle$), mens de sidste to er oparbejdede genbrugsasfalter som indgår i receptudviklingsforsøgene, som vil blive behandlet i et andet afsnit.

Det ses af figur 7.2.2, at prøverne fremkommet ved grovfræsning (kurver med rhombe-signatur) har det stejleste forløb i figuren og dermed det største indhold af store korn. Prøverne fra finfræsningen (kurver med trekant-signatur) ligger generelt over de grovfræsede prøver. Filler-indholdet ($< 0,063$ mm) ligger på 9,0 - 14,8 %. For de seks prøver fra fræseprojektet kan der antydes en forskel i forhold til type af fræser: De tre materialer med grovfræsning har et filler-indhold på 9,0 - 10,2 %, mens de tre materialer med finfræsning tilsvarende har 11,7 - 13,5 %, hvilket viser, at finfræsning genererer mere filler, hvorfor grovfræsning er at foretrække ud fra et ønske om bedst opnåelig "høst" af genbrugsmateriale.

Dette ønske er så i potentiel konflikt med et andet synspunkt, hvis man måtte ønske en så lille teksturdybde i den affræsede overflade som muligt, så der ved udlægning af nyt, meget tyndt slidlag ikke skal kompenseres med ekstra materiale for at fylde teksturen ud fra en "grovfræsning".



FIGUR 7.2.3. Kornstørrelsesfordeling ("black curves") for samme prøver af genbrugsasfalt fra slidlag som figur 7.2.2. Kurver med signatur er prøver fra fræseprojektet (grovfræsning = $\blacklozenge$; finfræsning = $\blacktriangle$), mens de sidste to er oparbejdede genbrugsasfalter. Diagrammet viser resultatet af sigtning af det "rå" genbrugsmateriale uden ekstraktion af det gamle bindemiddel

Figur 7.2.3 viser kornkurvefordeling af samme materialer som figur 7.2.2, blot med den forskel, at genbrugsmaterialerne her er sigtet uden forudgående ekstraktion af bindemidlet i den gamle asfalt (såkaldte "black curves"). Begrebet "Black Curves" stammer fra udlandet, hvor man visse steder fejlagtigt blot betragter genbrugsasfalten som et sortfarvet stenmateriale, uden at tage højde for det gamle bindemiddel. Som det fremgår, ved sammenligning af kornkurverne på de to figurer, opnås for "Black Curves" en fejlagtigt grov kornkurve, hvor en del af de grove partikler i virkeligheden blot er agglomerater af finere partikler og bitumen. Dette forklarer også, hvorfor visse udenlandske genbrugsprojekter har haft problemer med deres mix design, når de baserede sig på det fejlagtige "black curves"/"black rock" koncept, hvor genbrugsasfalten blot betragtes som "sort stenmateriale". Her tager man fejlagtigt ikke højde for, at den gamle bitumen normalt "genaktiveres" ved asfaltproduktionen. I figur 7.2.3 har de tre finfræsedede prøver (før udvaskning af bindemiddel) et filler-indhold på 2,4-4,1 %, mens de tre normalt fræsedede tilsvarende har 1,7-1,9 %.

Hvis man følger konceptet og antager, at den gamle bitumen slet ikke eller kun i ringe grad aktiveres, så løber man ind i problemer. I visse udenlandsk rapporterede forsøg har man brugt genbrug i forholdsvis store procenter, da finstof-begrænsningen efter black-rock princippet "tilsyneladende" ikke eksisterer (da filleren ligger i agglomerater). Det har dog selvfølgelig vist sig i praksis, at antagelsen om "black rock" ikke har holdt, så man typisk har fået for fede blandinger og stabilitetsproblemer. De mere end 30 år lange positive danske erfaringer med genbrugsasfalt dokumenterer, at den gamle bitumen i typiske danske asfaltgenbrug fint kan "genaktiveres" ved genbrug i ny asfalt – selv for meget gamle asfalter. Derfor skal der under danske forhold advares mod fejlagtig anvendelse af begreberne "black curves" og "black rock".

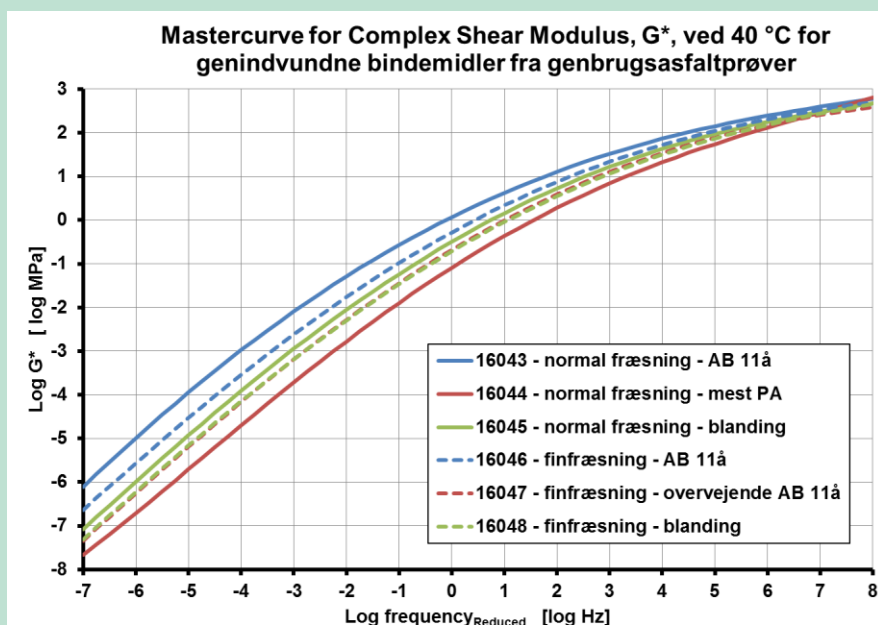
7.3 Genbrugsasfaltens bindemidlegenskaber

Det viste sig, at der var en lidt speciel opbygning af befæstelsen ved forsøget, med en pulverasfalt fra 1981 som næstøverste slidlag. Med selektiv fræsning som en af kombinationerne i forsøget, har det givet en god mulighed for at vurdere den indflydelse, som forskellige bitumenhårdheder i forskellige lag har på det samlede bindemiddel.

TABEL 7.3.1. Egenskaber for genindvundne bindemidler fra de seks genbrugsasfalter

Prøvning	Reference	Enhed	16043	16044	16045	16046	16047	16048
Penetration ved 25 °C	DS/EN 1426	0,1 x mm	13	52	25	19	32	36
Blødhedspunkt K&R	DS/EN 1427	°C	72,0	52,0	62,2	66,4	59,2	58,8
Blødhedspunkt K&R	DS/EN 1427	°C	71	51	61	65	58	55
Viskositet ved 135 °C	DS/EN 13302	Pa s	2480	489	1010	1633	789	868
Viskositet ved 150 °C	DS/EN 13302	Pa s	970	229	441	672	344	388
Viskositet ved 180 °C	DS/EN 13302	Pa s	213	86	121	163	107	117

Tabel 7.3.1 viser de traditionelle bitumenegenskaber for prøverne. De to linjer med blødhedspunkt kugle og ring stammer fra to forskellige laboratorier, og viser dermed en god homogenitet til de udtagne granulatprøver. Prøverne 16043 og 16046 er selektivt affræsede prøver fra AB 11å, og viser, at der i det eksisterende slidlag er variationer i hærtningsgrad. Prøve 16044, som ved fræsningen er vurderet til kun at bestå af den gamle pulverasfalt, viser stadig et forholdsvis blødt bindemiddel i betragtning af at det er produceret i 1981 (svarer til en frisk bitumen 40/60). Pulverasfalten bidrager til, at blandingsprøverne samlet set ikke bliver så hårde som specielt AB11 å i lokaliteten for prøve 16043.



FIGUR 7.3.1. Masterkurver for den rheologiske stivhed af bindemidlerne (DSR) fra de seks genbrugsasfalter ved 40 °C.

Udover de traditionelle test er der også udført rheologiske målinger med DSR (Dynamic Shear Rheometer) til bestemmelse af bindemidlernes stivhed. Deres rheologiske masterkurver er

optegnet i figur 7.3.1. Her er målingerne fra 0,01 Hz til 30 Hz ved temperaturer i trin fra -10 °C til 100 °C sammenstillet til en samlet kurve; her vist ved 40 °C.

Målingerne viser, ligesom de traditionelle prøvninger, den meget store forskel på den selektive opdeling af AB 11å og PA (prøverne 16043 og 16044). Tabel 7.3.1 viser en forskel på 20 °C i blødhedspunkt og en faktor 5 i forskel på dynamisk viskositet ved 135 °C, mens masterkurverne i figur 7.3.1 viser en faktor 10-60 i forskel i bindemidlets stivhed i et meget stort interval af frekvens. De rheologiske målinger bekræfter også, at blandingsprøverne 16047 og 16048 har næsten sammenfaldende værdier, hvilket også understøttes af prøvningerne i tabel 7.3.1. Normal og finfræsning har altså – som forventeligt – slet ingen indflydelse på bindemiddelegenskaberne. Det har derimod sammenblanding af materialer.

Under alle omstændigheder gælder det, at når et genbrugsmateriale tilsættes ved asfaltproduktion, skal det nye bindemiddels hårdhed justeres, afhængig af den gamle genbrugsbitumens data, så det resulterende bindemiddel opnår de ønskede egenskaber. Denne fremgangsmåde er bl.a. beskrevet i CEN produktstandarderne og har været alment benyttet i Danmark igennem årtier med rigtig gode erfaringer. Tabellen viser således blot, at hvis der tilsættes ABå genbruget alene, skal den nye bitumen i asfalten være lidt blødere, end hvis der anvendes det blødere PA-holdige genbrug eller blandingsgenbruget.

7.4 Optimal fræsning for bæredygtig asfaltproduktion

Fra dette delprojekt kan der sammenfattes følgende:

- Valg af fræsemetode (finfræsning/normal fræsning) har en indflydelse på, hvor meget finstof der produceres under processen. Det er vigtigt at have dette i tankerne, når en fræsemetode vælges/foreskrives, da mængden af finstof i genbruget ofte er den begrænsende faktor for at kunne øge genbrugsprocenten. Afvejningen skal dog også ses i lyset af, at man specielt ved udlægning af meget tynde asfaltslidlag ofte ønsker en relativt fin overflade af underlaget, med små fræseriller.



FIGUR 7.4.1. Fræsningens tilrettelægning har indflydelse på det skabte genbrugsmateriales efterfølgende egnethed. Anvendes særlig finfræsning bliver den affræsede overflades "riller" mindre, men der opstår samtidigt forøget nedknusning, så genbrugsegnetheden forringes.

- Det har hidtil ikke været kutyme at beskrive en eksakt fræsemetode i udbudsmaterialer, men bygherrer og rådgivere bør på baggrund af ovennævnte være bevidste om, at et eventuelt valg af finfræsning forventeligt vil få en negativ indflydelse på den affræsedes asfalts genbrugsegnethed og dermed påvirke bæredygtigheden i negativ retning.
- Ved fortrinsvis at vælge en "normal" ("grov") fræsevalseopsætning, vil der forventeligt opnås et genbrugsmateriale med større genanvendelighed i nye varmblandede asfaltslidlag – og dermed mulighed for en mere bæredygtig asfaltproduktion med større grad af cirkulær ressourceudnyttelse.
- Vurderingen af begrebet "black curves"/"black rock" (hvor genbrugsasfalt helt eller delvist betragtes som "sortsværtet stenmateriale") er, at det leder til forkert proportionering i mix design, hvor der ikke tages højde for det gamle bindemiddel. Med baggrund i danske erfaringer med typiske danske genbrugsasfalter bør konceptet derfor ikke benyttes.

8. Håndtering og oplagring af genbrugsasfalt

Dette afsnit beskriver hvordan genbrugsasfalt i praksis håndteres og bearbejdes, samt den mest hensigtsmæssige opbevaring, herunder energibesparende oplagring.

8.1 Initial opbevaring

Når den affræsedede eller opbrudte, gamle asfalt transporteres ind på asfaltfabrikkerne for genanvendelse, har det hidtil i stort omfang været kutyme at al tilført genbrugsasfalt lagres i én stor lagerbunke på asfaltfabrikkernes arealer. Lagerbunkens størrelse vil i sagens natur variere en del efter forekomst og anvendelse, men vil med hensyn til den maksimale størrelse af oplag være afpasset efter vilkårene i den pågældende asfaltfabriks relevante miljøgodkendelse.

Hvis al modtaget genbrugsasfalt indledningsvis opbevares i samme lagerstak, vil der i sagens natur forekomme både bærelags- og slidlagsgenbrug i én og samme stak. Det betyder så, at genbrugsmaterialet er særdeles velegnet til asfaltbærelag, hvor andelen af gamle slidlagsmaterialer faktisk forbedrer kvaliteten. Til gengæld vil det med denne fremgangsmåde ikke kunne sikres, at det blandede genbrugsmateriale overholder stenmaterialekravene til slidlag (klippe-materialer). Det er af denne årsag, at der i nærværende projekt lægges op til en systematisk, kvalitetsmæssig sortering af den gamle asfalt allerede ved modtagelsen, så de "ædle" slid- og bindelagsmaterialer, der er baseret på knuste klippesten, opbevares i en separat lagerstak, så "kvalitetsværdien" af stenmaterialet bevares.

8.2 Bearbejdning, knusning og sortering

Den modtagne genbrugsasfalt oparbejdes normalt til egnet asfaltgranulat ved at køre materialet igennem en knuser, så flager og klumper i den "færdige" genbrugsasfalt undgås. Herefter sigtes materialet typisk på en power-screen, så eventuelle overkorn undgås.



FIGUR 8.2.1. Den opbrudte asfalt knuses og opsigtes, så der opstår en ensartet råvare, der er velegnet som genbrugsasfalt tilsætning i produktionen af ny varm asfalt. (Foto: YIT)

Den typiske fraktion af genbrugsasfalt er 0/16 mm, da de danske bærelagsmaterialer for det meste er sammensat af denne fraktion. Ofte vil man dog sigte (en del af) materialet over en mindre sigte, så man også opnår en mere finkornet genbrugsasfaltvariant, f.eks. 0/6 eller 0/8 mm, som er bedre egnet til mere finkornede asfalttyper.

Specielt for slidlagsgenbrug vil der ofte være tale om en 0/6, 0/8 eller 0/11 mm fraktion, da vi i Danmark sjældent anvender sten større end 11 mm i slidlag. Under ovenfor omtalte procesforløb og efterfølgende opbygning af lagerstakke foretages samtidigt en homogenisering af lagerbunken, som derved afslutningsvis fremstår som en homogen, veldefineret råvare til asfaltfremstilling. Der udtages under oparbejdningen et antal laboratorieprøver, hvor materialets kornkurve, bindemiddelinhold og dettes blødhedspunkt K&R samt penetrationsværdi bestemmes efter fabrikkens kontrolplan, i overensstemmelse med gældende CEN-standarder for området.

8.3 Kvalitetsmæssig sortering (Hovedtyper)

Der lægges i projektet op til, at genbrugsasfalt som minimum opdeles i bærelagsasfalt (baseret på lokalt grusgravsstenmateriale) og slid-/bindelagsmateriale (baseret på knust klippemateriale). I en ideel verden kunne man igen sortere slidlagsgenbrug efter de enkelte slidlagstyper, så f.eks. SMA-genbrug (skærvemastiks), som ikke indeholder uknust sand i finfraktionen, ikke bliver sammenblandet med ABt genbrug (tætgraderet asfaltbeton), som typisk indeholder små mængder uknust sand. Problemet er dog, at hvis genbrugsmaterialet skal kildesorteres efter slidlagstype, vil der hurtigt opstå et meget stort antal separate genbrugsasfaltbunker på asfaltfabrikkerne, som giver problemer med hensyn til muligt opbevaringsareal og måske også relativt hurtigt kommer i konflikt med de respektive miljømyndigheders tilladte oplagsarealer. Projektet foreslår derfor en opdeling som følger:

- Bærelagsgenbrug – evt. opsigtet i 0/16 og f.eks. 0/8 mm fraktioner
- Slidlagsgenbrug – typisk opsigtet i 0/8 eller 0/6 mm genbrug. Det bør dog tilstræbes at minimere nedknusningen, da genbrugsmaterialets kornkurve ofte er en begrænsende faktor for hvor meget genbrug der kan tilsættes.
- Hvis der modtages genbrugsasfalt fra store fræseopgaver kan det være hensigtsmæssigt at opbevare disse i en separat lagerstak.
- Større forekomster af polymermodificeret slidlagsgenbrug kan med fordel oplagres separat, for mulig gen-udnyttelse af polymeren.

8.4 Specielt om genbrug med polymerbitumen

Det er endnu kun forekommet i stærkt begrænset omfang, at danske slidlag med polymerbitumen er blevet affræset, men i takt med den stigende anvendelse af polymerbitumen i specielt tungt trafikerede slidlag, vil forekomsten af polymerholdigt genbrug givetvis blive mere og mere almindelig.

Er målet at fremstille en ny asfalt uden polymerbitumen, må det antages, at tilstedeværelsen af polymer i genbrugsasfalten næppe vil få en nævneværdig indflydelse på den færdige, nye asfalts egenskaber, hvis der f.eks. blot tilsættes 10-30% genbrugsasfalt. Som udgangspunkt vil man i praksis nok ofte vælge at se bort fra forekomsten af polymer og blot blande dette genbrug med det "normale" genbrug. Nyere erfaringer indikerer dog (se afsnit 14.2 i denne rapport), at man godt kan få gavn af den gamle polymer ved tilsætning i ny, varmblandet asfalt. Det vil derfor være en fordel at holde i hvert fald større forekomster af polymerbitumenholdigt asfaltgenbrug (f.eks. fra større fræsearbejder på motorveje) oplagret for sig selv, så også værdien af den gamle polymer genudnyttes. Effektbidraget af den gamle polymerbitumen vil naturligvis kunne variere afhængig af den forekommende polymertype, mængde og alder og bør derfor indgå i entreprenørens forundersøgelse før en større asfaltproduktion igangsættes.

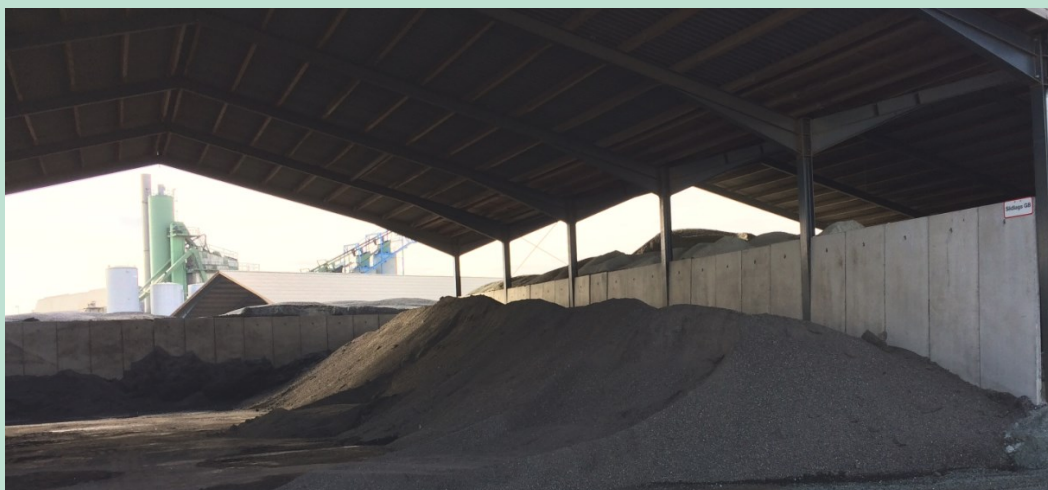
8.5 Hensigtsmæssig indretning af oplagspladser

På baggrund af førnævnte forhold bør oplagspladser for genbrugsasfalt indrettes hensigtsmæssigt ved opdeling i bærelagsgenbrug, slidlagsgenbrug, eventuelt kan større forekomster af "ædelt", klippestensbaseret slidlagsgenbrug (fra SMA, ABå eller TBk, samt evt. ABB binde-lag ved $\text{AE}10 > 500$) opbevares særskilt for optimal genbrugstilsætning i tilsvarende typer nyt slidlag. Det er dog ikke realistisk at opbygge et meget stort antal separate lagerstakke, da disse dels vil være meget arealpladskrævende, hvilket sjældent er muligt på de danske asfalt-fabrikker, og dels vil det kræve en meget omfattende administration af et stort antal genbrugs-stakke med tilhørende separate produktionsrecepter og analyser.

Et realistisk forslag er derfor at opdele i bærelagsgenbrug, slidlagsgenbrug og så eventuelt supplere med særskilte lagerbunker fra en eller flere større, veldefinerede slidlagsaffræsnin-ger, herunder hvis der modtages større forekomster af polymermodificeret slidlag.

8.6 Tørrehaller mindsker energiforbruget

De seneste år er det blevet mere og mere udbredt i den danske asfaltsektor at etablere tørre-haller til opbevaring af den knuste genbrugsasfalt forud for asfaltproduktionen. Herved sikres, at genbrugsmaterialet indeholder mindst mulig fugt, som skal borttørres i asfaltfabrikkens tørretromle. Samtidigt udsættes asfaltfabrikkernes støvfiltre for mindre fugt, hvilket kan have en positiv effekt på produktionskapaciteten. Se mere om dette i denne rapports efterfølgende afsnit 9.3.



FIGUR 8.6.1. Oplag af knust genbrugsasfalt under tag i "luftige" tørrehaller minimerer fugtindholdet og dermed energiforbruget til tørring, samt deraf følgende CO₂-udledning. (Foto: TI)

9. Miljøforhold ved produktion med genbrugsasfalt

I dette afsnit belyses de seneste erfaringer med hensyn til miljøforhold for genbrugsasfalt, herunder miljøstyrelsens seneste udgivne rapporter på området, samt gældende krav og vilkår for asfaltfabrikker.

9.1 Genbrugsasfaltens sammensætning

Den gamle, udtjente asfalt, som er grundlaget for tilsætning af genbrugsasfalt i ny, varmblandet asfalt, består som tidligere nævnt af "naturens egne materialer" i form af sten, grus og sand, som er sammenbundet af det sorte bindemiddel, bitumen, der er udvundet ved raffinering af jordolie. Ofte er der desuden tilsat en "filler" (finstof) i form af kalk (som kendt fra f.eks. foderkalk) eller kul-flyveaske. Endelig er der i slidlagsmaterialer oftest tilsat en lille mængde (ca. 1,5 vægt-%) klæbeaktiv filler (i form af cement eller evt. hydratkalk) for at forbedre vedhæftningen mellem stenmaterialet og bindemidlet.

For skærvemastiks slidlag (SMA) tilsættes desuden en lille mængde (ofte 0,3 vægt-%) cellulosefibre, der indgår som "støttefiller" for at undgå afblanding (bitumenafdryp) under lagring og transport af den bindemiddellrige asfalttype. Cellulosefibrene er en form for "papiruld", som ofte fremstilles af gamle aviser eller træspåner fra møbelindustri etc. Der indgår således allerede – i tilgift til anvendelsen af genbrugsasfalt – en vis form for bæredygtighed gennem genbrug af andre komponenter i asfaltfremstillingen. Umiddelbart er der således ikke noget, som skulle indikere, at gammel genbrugsasfalt ikke skulle kunne håndteres og oplagres på samme vis som "jomfruelige" stenmaterialer. Af forsigtigheds-grunde er der imidlertid indført nogle restriktioner om hvordan genbrugsasfalt kan oplagres og genanvendes, hvilket belyses nærmere i det efterfølgende.



FIGUR 9.1.1. Oplag af ophugget/opfræset asfalt (t.h.) og oplag af knust genbrugsasfalt klar til asfaltproduktion (t.v.). (Foto: YIT)

9.2 MST-rapporter om genbrugsasfalt og miljøforhold

Miljøstyrelsen har tidligere udarbejdet rapporter omkring genbrugsasfalt, som indgik i grundlaget for projektets undersøgelser.

9.2.1 MST Miljøprojekt nr. 1576, 2014

Umiddelbart inden projektets opstart udgav Miljøstyrelsen i 2014 rapporten "Forundersøgelse: Farlige stoffer i asfalt og spredning af disse ved anvendelse i opbrudt asfalt, Miljøprojekt nr. 1576, 2014".

I MST-rapportens "Sammenfatning og konklusion" anføres bl.a.:

Der er foretaget en indsamling, vurdering og behandling af foreliggende relevante informationer om indhold i og udvaskning af potentielt miljøskadelige stoffer fra knust asfalt og blandinger af knust asfalt og beton, om risikoen for spredning af disse til jord og grundvand, når knust asfalt genbruges på bunden form i varm asfalt eller genanvendes på ubunden form til vejbygningsformål, og om andre landes krav til sådanne anvendelser. Det overordnede formål har været at tilvejebringe et tilstrækkeligt solidt fagligt grundlag til brug for Miljøstyrelsen til fastlæggelse af fremtidige krav til anvendelse af opbrudt asfalt til vejbygningsformål som erstatning for primære råstoffer.

Der er gennemført følgende aktiviteter:

- *Opstilling af en oversigt over forekomst og udvaskning af forurenende stoffer i asfalt.*
- *Opstilling af en oversigt over andre landes miljømæssige krav – og baggrund herfor - til anvendelse af opbrudt asfalt og blandinger af opbrudt asfalt og beton som erstatning af primære råstoffer til vejbygningsformål.*
- *Udarbejdelse af forslag til prioritering af, hvilke stoffer der bør fokuseres på i fastlæggelse af krav til anvendelse opbrudt asfalt, som erstatning for primære råstoffer på grundlag af de indsamlede data.*
- *Opstilling af scenarier for anvendelse af opbrudt asfalt som erstatning for primære råstoffer til vejbygningsformål.*
- *Vurdering af de miljømæssige konsekvenser af anvendelse af opbrudt asfalt i forhold til spredning af farlige stoffer til jord og grundvand på grundlag af de opstillede scenarier og indsamlede data m.v.*

Blandt undersøgelsens resultater og konklusioner anføres bl.a.:

Ved direkte genbrug af knust asfalt som bestanddel i varm asfalt (dvs. på bundet form) vurderes det ikke at være nødvendigt at stille krav til indhold eller udvaskning af miljøskadelige stoffer, da situationen ikke afviger fra forholdene ved anvendelse af ny asfalt, og da tjæreholdig asfalt på nuværende tidspunkt må forventes stort set at være udfaset fra de danske veje.

Det anføres endvidere, at det vurderes, at anvendelse af genbrugsasfalt i bunden form i varm asfalt vil være miljømæssigt acceptabelt, med nedennævnte begrundelse:

Anvendelse af knust asfalt som bestanddel i varm asfalt adskiller sig i miljømæssig henseende ikke fra udlægning af ny varm asfalt baseret på primære råstoffer. Som følge af den udfasning af tjærebaseret asfalt, som er foregået gennem de sidste 4 -5 årtier, må PAH-indholdet i den opbrudte asfalt antages at have nået et niveau, som er acceptabelt i relation til risikoen for spredning via udvaskning. Udvasningen af andre miljøskadelige stoffer fra asfalt på bunden form kan forventes at være lav. Risikoen for spredning på partikelform vurderes at være begrænset.

Med hensyn til ovennævnte omtale af tjærebaseret asfalt, skyldes omtalen formodentligt primært, at de fleste af vores nabolande har været noget senere end Danmark til at udfase anvendelsen af stenkulstjære som del af bindemidlet og som klæbeforbedrer i asfalt. Hvor visse

udenlandske genbrugsasfalter fortsat kan indeholde skadelige mængder tjære, kan dette under danske forhold betragtes som usandsynligt efter udfasning allerede for 50 år siden.

I den mere detaljerede beskrivelse af genbrugsasfalt nævnes desuden i MST-rapporten, at asfalten kan indeholde polymerer, som anvendes til at give visse asfalttyper forbedret holdbarhed, revnemodstand og sporkøringsresistens (som det f.eks. i dag oftest er tilfældet for SMA-slidlag på de mest trafikerede motorveje). Det drejer sig primært om polymerer af typen ethylen-vinyl-acetat (EVA), styren-butadien-styren (SBS) og styren-butadien-copolymer. MST-rapporten konkluderer derfor følgende: *På baggrund af polymerstofferne tætte binding i bitumenmatrixen og deres store molekyl størrelse er risikoen for frigivelse af stofferne til omgivelserne i forbindelse med genanvendelse meget lille. Forekomst af polymerer vurderes derfor at være uden praktisk betydning for genanvendelse af asfalt.*

9.2.2 MST miljøprojekt nr. 1731, 2015

Den ovenfor nævnte MST-rapport 1576 anfører, at eksisterende informationer om indholdet af farlige stoffer i asfalt og risikoen for udvaskning og spredning er sparsomme og lægger derfor op til at der udføres en række supplerende udvaskningstests på genbrugsmaterialer for at gøre konklusionerne mere robuste. I den oprindelige projektplan for "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark" indgik derfor gennemførelse af en række udvaskningstests på repræsentative genbrugsasfaltprøver. Formålet med disse var, i tråd med MST rapport 1576, at kunne fastslå om der forekom et eventuelt forureningsniveau omkring oplagspladser for genbrugsasfalt, herunder især risikoen for udledning til det omkringliggende miljø i form af jord og grundvand.

Inden projektet Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark kom rigtigt i gang, udgav Miljøstyrelsen imidlertid en ny rapport "Spredning af problematiske stoffer ved materialenytiggørelse af asfalt til vejbygningsformål, Miljøprojekt nr. 1731, 2015", som omhandlede netop sådanne efterlyste udvaskningstests. Det blev derfor besluttet i samråd med MST, at der ikke var behov for yderligere udvaskningsforsøg i projekt Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark, hvorfor denne del af arbejdsplanen blev ændret til bl.a. en mere omfattende LCA-analyse i stedet for den oprindeligt planlagte, mindre omfattende LCA-screening.

Denne MST-rapport 1731 anfører: *Med henblik på at tilvejebringe et sikkert fagligt grundlag for at revidere reglerne for anvendelse af opbrudt asfalt jf. Miljøstyrelsens cirkulæreskrivelse af 15. juli 1985 om anvendelse af opbrudt asfalt til vejbygningsformål (asfaltcirkulæret) er der gennemført en undersøgelse af danske prøver af knust asfalt. Undersøgelsen er en opfølgning på Miljøprojekt nr. 1576, 2014 "Forundersøgelse: Farlige stoffer i asfalt og spredning af disse ved anvendelse af opbrudt asfalt". Projektet bygger på forundersøgelsens anbefalinger og omfatter alene spredning af problematiske stoffer ved ubundne anvendelser af knust asfalt.*

Der er indledningsvis foretaget en indsamling af 24 prøver af knust asfalt fra seks modtage- og behandlingsanlæg for opbrudt asfalt på Sjælland (Amager, Glostrup, Gadstrup/Herlufmagle), på Fyn (Odense) og i Jylland (Kolding og Trige). Prøverne, der blev udtaget så repræsentativt som praktisk muligt, blev efterfølgende for norges vedkommende kombineret til blandprøver. De resulterende 18 prøver, som efter forbehandling blev underkastet analyser for indhold og testet for udvaskning af en række uorganiske og organiske stoffer, antages at udgøre et bredt tværsnit af den knuste asfalt, som anvendes til vejbygningsformål anno 2014.

Der er opstillet syv forskellige scenarier for anvendelse af knust asfalt på ubunden form som bund-sikring og/eller slidlag/bærelag ved anlæg af veje eller pladser. Ved hjælp af en numerisk kildestyrke- og stoftransportmodel er der for disse scenarier foretaget beregninger af påvirkningen af grundvandet nedstrøms for anvendelserne som følge af stofudvaskning fra den knuste asfalt. Ved revers modellering er der for hvert af de relevante stoffer beregnet en maksimal udvaskning, svarende til at relevante kvalitetskriterier for grundvandet overholdes i en vis afstand nedstrøms for vejen eller pladsen. Disse værdier for maksimal udvaskning kan så

sammen med resultaterne af de gennemførte udvaskningstests og faststofanalyser samt nogle yderligere vurderinger af belastningen i forhold til overfladevand danne grundlag for Miljøstyrelsens eventuelle revision af reglerne for anvendelse af knust asfalt til vejbygningsformål. Der er også foretaget en overslagsmæssig vurdering af risikoen for spredning af partikler fra veje og pladser, hvor der anvendes knust asfalt på ubunden form.



FIGUR 9.2.1. Eksempel på oplag af knust genbrugsasfalt (Kilde: MST miljøprojekt 1731, 2015)

Det anføres endvidere i MST-rapportens sammenfatning: *Der er gennemført batchudvaskningstests på alle 18 prøver af knust asfalt og kolonneudvasknings-tests på to udvalgte prøver for uorganiske stoffer og DOC/NVOC. Desuden er der gennemført ligevægtskolonneudvaskningstests på 13 prøver (samt nogle få batchudvaskningstests) for kulbrinter og PAH'er.*

En direkte sammenligning mellem resultaterne af batchudvaskningstestene for uorganiske stoffer og grænseværdierne for stofudvaskning for Kategori 1- og Kategori 2 – anvendelse af restprodukter i henhold til BEK 1662 af 21. december 2010 om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenet bygge- og anlægsaffald viser, at disse overholdes for næsten alle stoffer. Kun for As (90 %-fraktilen) og Ba (middelværdien og 90 %-fraktilen, men ikke medianværdien) overskrides grænseværdierne. Det bemærkes, at bekendtgørelsen gælder for visse restprodukter og for lettere forurenet jord, men ikke for asfalt. Der findes pt. ikke grænseværdier for udvaskning af specifikke organiske stoffer, som resultaterne af batch og ligevægtskolonneudvaskningstestene kan sammenlignes med, men udvaskningen af kulbrinter og PAH'er var meget lille.

Rapporten omhandler beregninger for en række forskellige anvendelsesscenarier for knust asfalt anvendt som ubundet materiale i vejbygning (som erstatning for stabilt grus bærelag, som rabatfyld etc.). Det konkluderes ud fra de fundne data og beregninger, at:

Det må derfor vurderes, at anvendelser af dansk knust asfalt på ubunden form i overensstemmelse med de beskrevne scenarier ikke kan forventes at give anledning til uacceptable påvirkninger af nedstrøms grundvand, set i forhold til de gældende og anvendte grundvandskvalitetskriterier.

Det er endvidere vist, at anvendelse af knust asfalt i henhold til de beskrevne scenarier heller ikke kan forventes at give anledning til overskridelse af kvalitetskriterierne for overfladevand, baseret på påvirkningen af grundvandet, fortyndingsforholdene og de ovenfor nævnte udvaskningsforhold for typisk dansk knust asfalt, forudsat at direkte kontakt med grundvand og overfladevand undgås, og at det sikres, at eventuelt perkolat ikke kan løbe direkte ud i et overfladevandområde uden først at passere gennem et mindst 1 m tykt jordlag.

Da det indgået som en forudsætning i de gennemførte scenarieberegninger, anbefales det, at der i forbindelse med materialenyttiggørelse af knust asfalt til vejbygningsformål stilles krav om en mindsteafstand til højeste underliggende grundvandsspejl på 1 m.

Delkonklusion:

På baggrund af de foreliggende MST-rapporter, kan det konkluderes, at varmblandet asfalt med indhold af genbrugsasfalt ikke skal betragtes som en forureningsrisiko for udvaskning til omgivelser og grundvand. Det må endvidere antages på baggrund af hovedkonklusionerne fra MST miljøprojekt 1731, som omhandler "løs" knust asfalt i ubunden form, at lignende forhold må kunne gøres gældende for oplag af knust asfalt, hvor det væsentligste kriterium blot er en afstand på min. 1 m til grundvand. Endelig skal det supplerende bemærkes, at udvaskning gennem oplag af knust genbrugsasfalt antageligvis i praksis er helt udelukket, hvis genbrugsasfalten efter knusning og sigtning opbevares under tag i tørrehaller (jf. bl.a. denne rapports afsnit 9.4).

9.3 Standardvilkår for asfaltfabrikker – Opbevaring af genbrugsasfalt

Miljøvilkårene for danske asfaltfabrikker er oplistet i Miljøstyrelsens Bekendtgørelse 1474, seneste udgave af 12/12-2017, for listevirksomheder, kategori C202, asfaltfabrikker. Disse vilkår omhandler også oplag af diverse indgående råvarer, herunder oplag af genbrugsasfalt:

Under afsnit 4.2, Beskrivelse af de væsentligste miljøforhold, står der under punktet "*Risiko for forurening af jord, grundvand eller overfladevand*" følgende om genbrugsasfalt: *Perkolat fra oplag af genbrugsasfalt, stålslagger samt fra ballast (skærver) fra jernbanespor.*

Som følge heraf er følgende standardvilkår indført: § 25: *Oplag af genbrugsasfalt skal placeres på befæstede arealer med fald mod afløb og med kontrolleret afledning af afløbsvand.*

Det eneste egentlige vilkårskrav for opbevaring af genbrugsasfalt er således, at det opbevares på et befæstet areal med kontrolleret afløb. De aktuelle miljøgodkendelser for asfaltfabrikkerne rummer desuden oftest nogle begrænsninger på oplagets maksimale størrelse. Af pladshensyn vurderes det derfor mest hensigtsmæssigt blot at opdele i slidlagsgenbrug og blandet /bærelagsgenbrug, idet en mere detaljeret kildebaseret opdeling ofte vil være en stor udfordring for den til rådighed værende oplagsplads på de danske asfaltfabrikker.

Til gengæld vil en tilladelse til et større oplag af genbrugsasfalt være en klart motiverende faktor for at kunne foretage en nøjere kilde-/arts-mæssig opsplittet oplagring af genbrugsasfalten (specielt at materialet fra større, ensartede fræseopgaver kan oplagres separat for optimeret genbrug), som igen vil kunne få en positiv indflydelse på det samlede cirkulære materialekredsløb.

9.4 CO₂-besparelser ved opbevaring i tørrehaller (mindre energi/CO₂)

Ved fremstilling af varmblandet asfalt skal der benyttes en vis mængde energi til tørring og opvarmning. Hvor bitumen til asfaltproduktion holdes varm og pumpbar i opvarmede lagertanke, opbevares stenmaterialet koldt i lagerbunker på asfaltfabrikkens lagerarealer. Stenmateria-

let skal derfor ved asfaltproduktionen gennem passage af tørretromlen opvarmes tilstrækkeligt til, at materialet er tørt, uden fugt, og så den færdige asfalt opnår den ønskede produktionstemperatur, typisk ca. mellem 130 og 175 °C, afhængig af asfalttype og bindemiddelhårdhed. Ved opvarmningen af stenmaterialet bliver temperaturen dog ikke ret meget over 100 °C før stenmaterialets (naturlige) vandindhold er fordampet. Genbrugsasfalten tilsættes oftest koldt, direkte i asfaltblanderen (for at undgå at tørretromlens flamme nedbryder genbrugsasfaltens bindemiddel), hvorfor det "jomfruelige" stenmateriale skal opvarmes lidt ekstra for at opnå den rigtige sluttemperatur af den samlede asfaltblanding.

Stenmaterialet opbevares på asfaltfabrikken udendørs i lagerbunker. Selv om bunkerne typisk opbygges i lange stakke, hvor vandet kan løbe af langs siderne, vil der uundgåeligt være et vist "naturligt" fugtindhold i stenmaterialet. Der er således en direkte sammenhæng imellem stenmaterialets forekommende fugtindhold og den energimængde, der skal til for at opnå den ønskede asfalttemperatur. Nogle stenmaterialer er mere "sugende" (fugtabsorberende) end andre, hvor specielt de mest finkornede "0-fraktioner" af stenmaterialet (sand og stenmel) samt genbrugsasfalt kan indeholde væsentlige fugtmængder.

På gode, varme og tørre sommerdage er fugtindholdet lavt, og der kræves derfor ikke nær så meget tørreenergi, som det er tilfældet på en våd vinterdag. Men – ved at bygge tag over lagerstakkene kan fugtindholdet holdes nede, så det nødvendige energiforbrug – og den deraf afledte CO₂-udledning – minimeres. Mest effektivt er at bygge "tørrehaller", hvor stenmaterialerne opbevares i åbne haller under tag, men hvor hallernes gavle er åbne, så der tillades vindpassage for tørring.



FIGUR 9.4.1. Ved opsætning af tørrehaller med åbne gavle, hvor genbrugsasfalt og de mest vandabsorberende finkornede, stenmaterialer kan opbevares under tag, kan der opnås væsentlige besparelser på miljøbelastningen, CO₂-udledningen, og på asfaltfabrikens tørreenergi (Foto: YIT).

Erfaringer fra YIT Danmark viser, at vandindholdet i ikke-overdækkede genbrugsasfalt lagerstakke typisk svinger imellem 4 og 8% (afhængigt af vejr og årstid). En overdækning med tag, som vist i figur 9.4.1, vil erfaringsmæssigt resultere i et reduceret vandindhold, helt ned til blot 2% restfugt (eller evt. endnu lavere). Teoretiske beregninger ud fra materialesammensætning, temperatur og vandindhold samt varmekoefficienter og fordampningsenergi viser således, som et eksempel: Ved fremstilling af asfalt med en produktionstemperatur på 150 °C og med 30 %

genbrugsasfalt og et vandindhold i det jomfruelige stenmateriale på ca. 3 % kan der spares op imod 15 % af den samlede, nødvendige tørre-/ opvarmningsenergi, blot ved at sænke vandindholdet i genbrugsasfalten fra 5 til 2 %. Opbevaring under tag har således en markant effekt på energiforbruget.

Endelig skal det omkring genbrugsmaterialets fugtindhold bemærkes, at genbrugsmaterialet jo oftest tilsættes koldt, direkte i asfaltblanderen. Hvis genbrugsasfalten indeholder store mængder fugt, skal denne kunne undslippe under selve blandingen med de varme stenmaterialer i asfaltblanderen. Store mængder fugt i luftafsuget fra blanderen går imidlertid ud over fabrikens støvfiltre, hvis kapacitet reduceres, med reduceret produktionskapacitet til følge. Er der tale om relativt høje fugtmængder i genbrugsasfalten vil det således typisk være nødvendigt at reducere genbrugstilsætningsmængden betragteligt for at undgå filterproblemer.

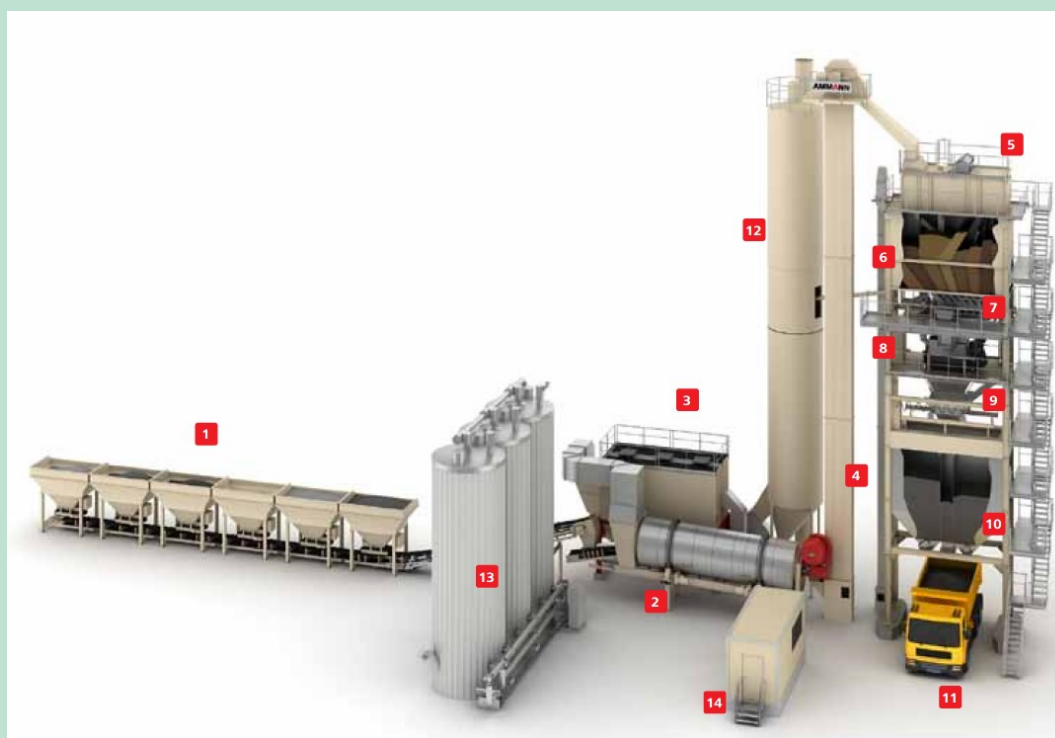
Der er således tydeligvis en del energi at spare ved at opbevare den knuste genbrugsasfalt under tag i perioden op mod asfaltproduktionen – og det samme gælder i øvrigt også for de finkornede dele af de jomfruelige stenmaterialer. De fleste danske asfaltproducenter har da også allerede fået øje på denne oplagte besparelsesmulighed, der samtidigt giver en mere bæredygtig asfaltproduktion med mindre CO₂-udledning fra produktionen. Her-og-nu skal der selvfølgelig foretages en investering ved at konstruere store tørrehaller, men set i lyset af, at man både kan spare væsentlige mængder tørreenergi og samtidigt kan profilere sig med en mere bæredygtig asfaltproduktion, synes der at være gode motivationsfaktorer til stede.

10. Produktion af asfalt med genbrug

I dette afsnit beskrives detaljeret hvordan varmblandet asfalt produceres, herunder forskellige asfaltfabrikstyper og principper for tilsætning af genbrugsasfalt.

10.1 Asfaltproduktion

Varmblandet asfalt fremstilles på en asfaltfabrik ved en blanding af stenmateriale og det sorte bindemiddel, bitumen. Stenmaterialet kan være uknuste (f.eks. sand) eller forud knuste, lokale grusgravs-stenmaterialer, men kan også, som i de mere "ædle" asfalttyper, være knust klippemateriale, der typisk er importeret fra Norge eller Sverige. Stenmaterialerne transporteres fra grusgrav eller stenbrud til asfaltfabrikken på lastbil (importerede klippemateriale fragtes til dansk havn via skibstransport og derefter på lastbil til fabrikken). Stenmaterialerne til asfaltfremstillingen hjemtages i forskellige stenstørrelser, f.eks. fraktioner som 0/2, 2/5, 5/8, 8/11, 11/16, 16/22, 0/16 og 16/32 mm, og oplagres i veldefinerede lagerstakke på asfaltfabrikken.



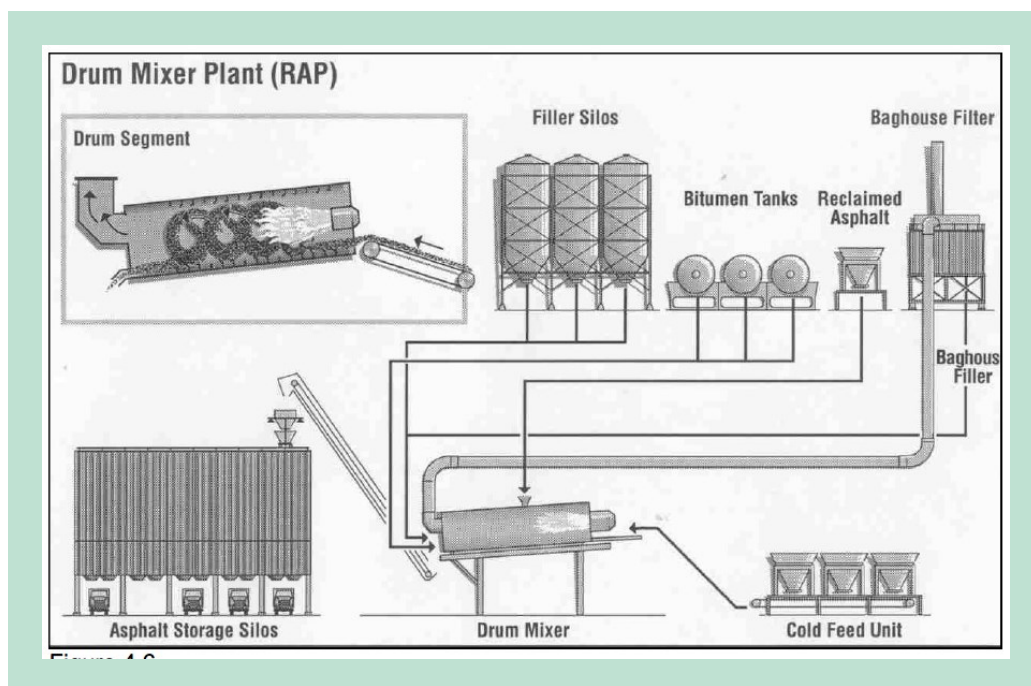
FIGUR 10.1.1: Princip, asfaltproduktion på traditionelt sats-blandeanlæg ("batch-mixer") (Fotokilde: Ammann-group.com).

Figur 10.1.1 viser en principskitse af et asfaltværk. Stenmaterialer i forskellige fraktioner tilføres af læssemaskinen fra lagerbunkerne til kolddoseringskasserne (1). Under hver af disse kasser sidder et doseringsbånd, som via forskellige båndhastigheder doserer materialet videre til et fælles opsamlings-transporterbånd under disse. Ud fra asfaltreceptens mængdeangivelser af de enkelte stenfraktioner kan blandemanden således (automatisk) indstille doseringsbåndene, så den ønskede sammensætning af stenmateriale opnås.

For at kunne fremstille varmblendet asfalt skal stenmaterialet først tørres, så det naturlige vandindhold (fra lagring i det fri) tørres bort. Dette gøres i asfaltfabrikkens tørretromle (2), som sikrer opvarmning af asfaltens stenmaterialer, så den færdige asfalts ønskede produktionstemperatur opnås, typisk mellem 130 og 180°C. Under tørreprocessen opsamles støvet fra tørretromlen og passerer støvfilteret (3), så der dels ikke opstår støvforurening af luften og så det dels sikres, at filler/finstofandel fra stenmaterialet kan vejes tilbage og gentilsættes i den færdige asfalt. Når det varme stenmateriale har passeret tørretromlen løftes det af en "kop-elevator" (4) op i toppen af asfaltfabrikken, hvor sigtetårnet er placeret (5). Her sidder en række sigter (6) ("varmsigter"), som med vibration gen-opsigter det varme stenmateriale på ny i snævre delfraktioner. Efterfølgende vejes (8) de enkelte fraktioner ned i selve asfaltblanderen (9) med stor præcision.

Bindemidlet bitumen, som er udvundet ved raffinering af råolie, opbevares på asfaltfabrikken i opvarmede tanke (13) for at sikre at bindemidlet er tilstrækkeligt tyndtflydende til at det kan pumpes og indblandes i asfalten. Bitumen vejes (eller doseres med impulsstyrede pumper) direkte ned i asfaltblanderen med stor præcision. De fleste danske asfaltfabrikker har en lager-tank til hård bitumen, typisk 40/60, og en blød bitumen, typisk 250/330 eller 330/430. Mange har desuden en tredje tank, som f.eks. kan benyttes til forud fremstillet polymerbitumen.

Asfalten kan desuden indeholde filler (kalk, flyveaske) og klæbeaktiv filler (hydratkalk eller cement), som leveres i lukkede tankvogne og opbevares i lukkede fillersiloer (12), hvorfra filleren doseres ned i blanderen. Endelig kan asfalten være tilsat cellulosefibre ("papiruld"), in-situ polymerer eller andre former for additiver, som tilsættes direkte ned i asfaltblanderen via nedvejning (8). Efter en blandetid på typisk 20-50 sekunder er den enkelte asfaltblanding (typisk 3-4 tons ad gangen) homogen og klar til at lukke ud fra blanderen (9 – typisk en toakslet tvangsblender med blandeskovle) og – hvis der typisk er tale om færdigvaresiloer opstillet i forlængelse af asfaltfabrikken og ikke under, som på skitsen - transport via en ophalervogn eller fordelervogn til den relevante færdigvaresilo (10), hvorfra den færdige asfalt hentes af lastbiler (11) og transporteres ud på vejen til asfaldtumlæggeren. Det hele styres elektronisk og overvåges fra blandemandens kontrolrum (14).

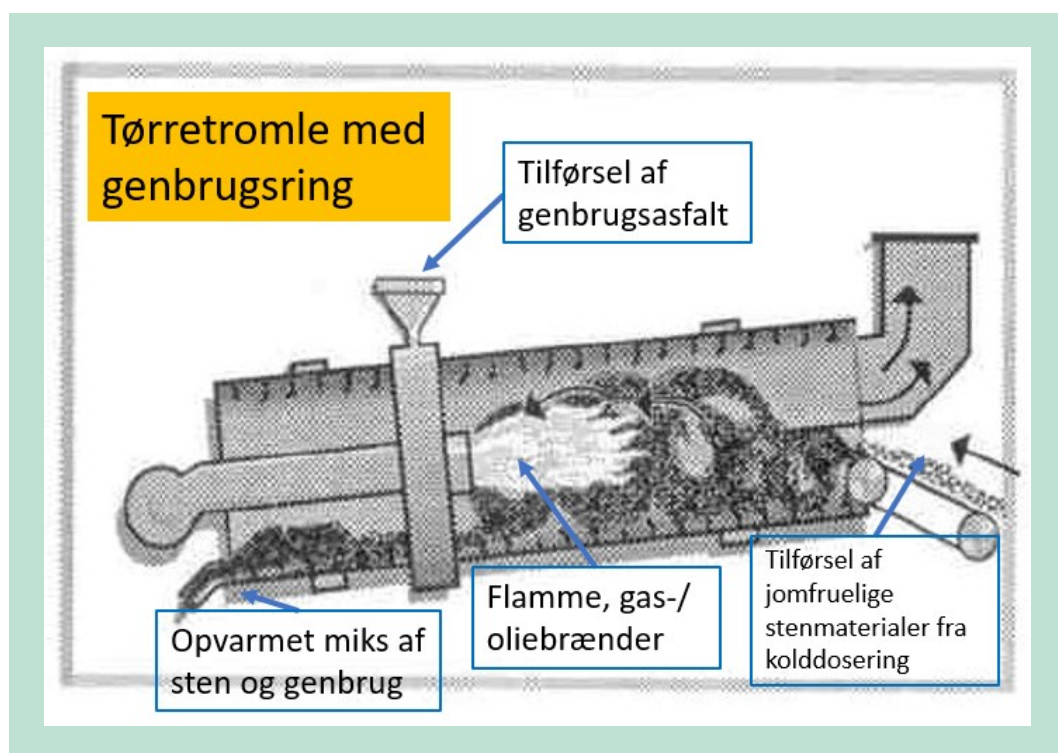


FIGUR 10.1.2: Princip, Tromleblandeanlæg for kontinuierlig asfaltproduktion, her vist med genbrugsasfalt tilsætning ("RAP"). (Kilde: EAPA: Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the Production of Asphalt Paving Mixes, 2007)

Den langt overvejende del af de danske asfaltfabrikker er "batch-mix" anlæg, som ovenfor beskrevet, der blander en sats på typisk 3-4 tons ad gangen. I Danmark findes dog også nogle enkelte tromleblandeanlæg, hvor asfalten blandes kontinuerligt i umiddelbar forlængelse af tørretromlen og derfor giver et kontinuerligt produktionsflow (se figur 10.1.2). Denne fabrikstype er meget brugt i udlandet i forbindelse med store asfaltentrepriser med få asfaltrecepter, da tromleblendere typisk har stor produktionskapacitet. Det er dog mere besværligt at omstille imellem forskellige produktionsrecepter/asfalttyper på et tromleblandeanlæg, hvorfor de danske fabrikker typisk er batch-mix anlæg – ikke mindst set i lyset af, at en dansk asfaltfabrik typisk har et receptsortiment på op imod 3-400 forskellige produktionsrecepter, når alle varianter af asfalttyper, stenstørrelser, farver og bindemidler tages med.

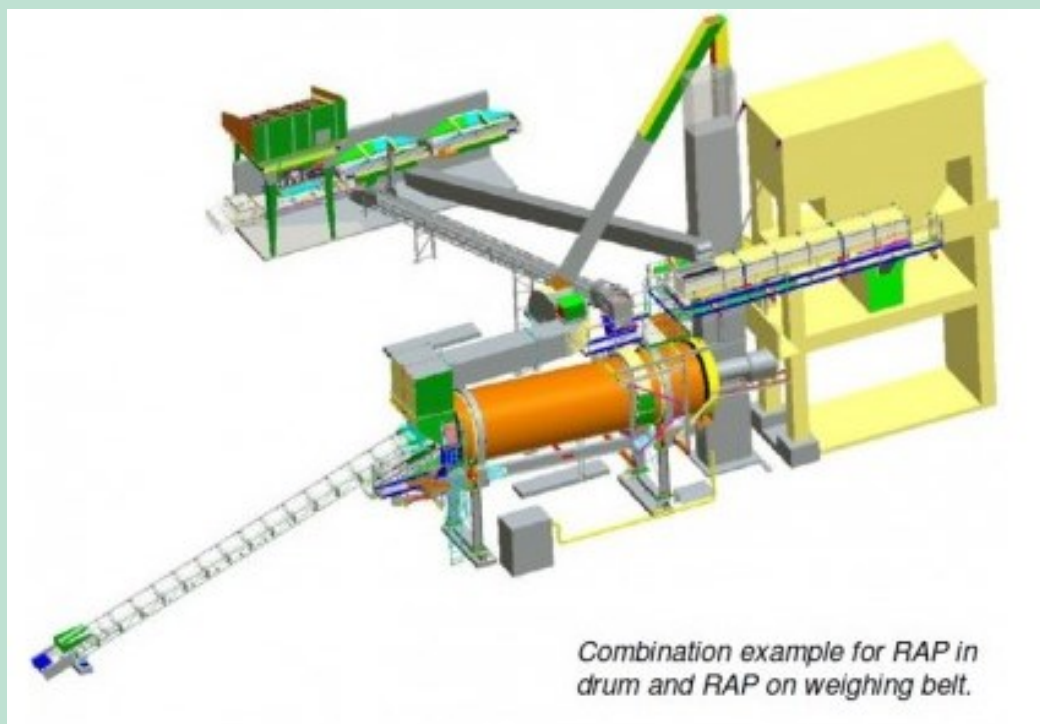
10.1.1 Produktion med genbrug

Genbrugsasfalt kan enten tilsættes koldt, direkte i asfaltblanderen, eller varmt, efter forskellige mulige teknikker, som er nærmere beskrevet i det efterfølgende. Ved kold tilsætning direkte i blanderen skal genbrugsmaterialet opvarmes ved kontakten med de opvarmede nye stenmaterialer i asfaltblanderen. Den maksimale tilsætningsprocent antages at være op til omkring 30% ved denne produktionsform, afhængig af produktionsanlægget og dets kapacitet, vejr- og fugtforhold samt materialetypen. Det kan til orientering oplyses, at der ved den i afsnit 13 omtalte fuldskala asfaltproduktion er anvendt op til 30 % koldt tilsat genbrugsasfalt fra gamle slidlag. For at kunne tilsætte knust genbrugsasfalt i asfaltproduktionen skal der indledningsvis være et doseringssystem til rådighed, dvs. som minimum én kolddoseringskasse til ifyldning af genbrugsasfalt og et transportbånd. Ved tilsætning af kold genbrugsasfalt direkte i asfaltblanderen anvendes et vejebånd til transporten, så det nøje sikres, at der tilsættes den rigtige genbrugsmængde. Det "jomfruelige" stenmateriale opvarmes til en lidt højere temperatur end normalt, så den kombinerede blanding opnår den ønskede asfalttemperatur.



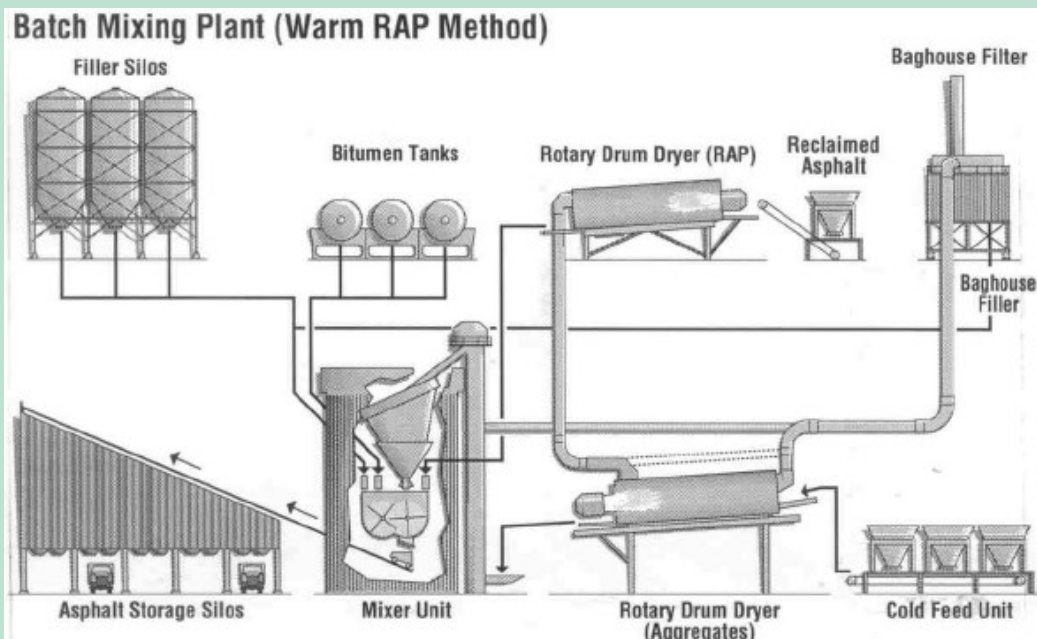
FIGUR 10.1.3: Princip, tørretromle med genbrugsring. (Kilde, basistegning: EAPA: Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the Production of Asphalt Paving Mixes, 2007)

En lidt anden doseringsform er at tilsætte genbrugsasfalten koldt i "varmelevatoren", som med "løftekopper" fører det varme stenmateriale fra tørretromlens udløb op til sigtetårnet. Herved opnås en bedre varmeoverførsel til genbrugsasfalten, idet den er i kontakt med det varme stenmateriale allerede under transport op i blandetårnet og ikke først i blanderen. Til gengæld giver denne metode vanskeligere mulighed for varmsigtning og separat varm-nedvejning af de enkelte fraktioner af det varme stenmateriale før asfaltproduktionen, da den opvarmede genbrugsasfalt ofte vil klistre og dermed kunne tilstoppe varmsigterne, hvorfor alt stenmateriale og genbrug i givet fald typisk nedvejes samtidigt. Der er således forskellige holdninger til hvilken produktionsmetode, som er mest ideel, da begge har fordele og ulemper.



FIGUR 10.1.4: Princip, kombination af genbrugstilsætning via "genbrugsring" og tilsætning af genbrugsasfalt koldt direkte i asfaltblanderen (via vejebånd). Dette sikrer ret stor genbrugstilsætningskapacitet. (Kilde: KIVI Group / KVM)

En tredje mulighed, som benyttes på flere og flere danske asfaltfabrikker, er at montere en speciel tørretromle med en såkaldt "genbrugsring" monteret udenpå tromlen (se figur 10.1.3). Genbrugsasfalten introduceres først i tørretromlen efter at det varme stenmateriale har passeret flammen. Der sker således en skånsom, indirekte opvarmning af genbrugsmaterialet pga. varmen fra tørretromlen, uden at genbrugsasfalten bliver udsat for den direkte flammeopvarmning, som måske kunne have skadet bindemidlet i genbrugsasfalten. Visse asfaltfabrikker anvender en kombination af genbrugsring og kolddosering (se figur 10.1.4).



FIGUR 10.1.5: Princip, asfaltproduktion med varmt genbrug tilsat via paralleltromle, produceret på traditionelt sats-blandeanlæg ("batch-mixer"). (Kilde: EAPA: Environmental Guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the Production of Asphalt Paving Mixes, 2007).

Endelig er der mulighed for at anvende "varmt genbrug" (Figur 10.1.5), hvor genbrugsasfalten for-opvarmes så skånsomt som muligt til en "mellemtemperatur" på lidt over 100 °C før den introduceres i blanderen. Temperaturen skal netop være så høj, så fugten er væk, men så skånsom, at det gamle bindemiddel ikke beskadiges/hærdes. Denne metode giver den højeste kapacitet for genbrugstilsætning, men er ikke ideel ved mindre/skiftende produktioner med mange start/stop, hvor paralleltromlen ikke kan køre kontinuerligt, da det kræver en del ekstra energi hver gang paralleltromlen skal varmes op.

Hvad angår de kontinuerlige tromleblandeanlæg (se Fig. 10.1.2), så findes der også her en række forskellige principper og metoder for genbrugsasfalt tilsætning. Blandt andet findes en dobbelt-tromle variant, hvor det jomfruelige stenmateriale opvarmes ved direkte flammeopvarmning i en inderste tørretromle, men hvor genbrugsasfalten tilføres og indirekte opvarmes i en supplerende, ydre tromle. Kontinuerlige tromleblandeanlæg er dog som tidligere nævnt ikke ret udbredte i Danmark, da de typisk anses bedst egnede til større, ensartede produktioner uden for mange stop/start afbrydelser.

10.2 Fabriksofbygninger

For at kunne operere med tilsætning af genbrugsasfalt på en traditionel asfaltfabrik er det nødvendigt at foretage visse om- og påbygninger. En række af disse er omtalt i det efterfølgende.

10.2.1 Lagre og lagerhaller for tør opbevaring af genbrugsgranulat

En allerførste forudsætning for at kunne anvende genbrugsasfalt hensigtsmæssigt er, at der er plads til tilstrækkeligt store genbrugsagregatlagre, så der kan opereres med flere forskellige slags genbrug. I dag kræver standardvilkårene for asfaltfabrikker, at oplag af genbrugsasfalt skal placeres på befæstede arealer med fald mod afløb og med kontrolleret afledning af afløbsvand. Etablering af yderligere lagerplads er således også forbundet med omkostninger til indretning og afløb m.v.



FIGUR 10.2.1: Eksempel på opbevaring af genbrugsasfaltgranulat fra en større SMA-fræseopgave under tag i en tørrehal med åbne gavle. (Foto: TI)

For at sikre et lavt fugtindhold i genbrugsasfalten (Se omtale i afsnit 8, 9 og 15) er det desuden meget hensigtsmæssigt at etablere tørrehaller til det oparbejdede, knuste og opsigtede genbrugsgranulat, hvorved energiforbruget til tørring/opvarmning og den deraf afledte CO₂-udledning kan minimeres væsentligt. Er genbrugsasfalten tør, når den modtages, kan man i princippet nøjes med at overdække med presenninger, så der afskærmes mod nedbør. Alternativt kan der i den mere prisbillige ende anvendes telthaller. En mere langtidsholdbar løsning er dog at etablere tørrehaller med fast tag og lukkede langsider men åbne gavle, således at vinden kan blæse igennem på langs af hallen og sikre yderligere tørring. En tørre-/lagerhal vil samtidigt miljømæssigt betyde, at der slet ikke vil kunne sive vand igennem lagerstakkene.

10.2.2 Kolddosering

En forudsætning for at kunne anvende genbrugsasfalt er at der skal være en separat kolddosering til rådighed. Tidligere har det på de danske asfaltfabrikker været normalt, at der var opsat én kolddoseringskasse til kold genbrugstilsætning. For at sikre en stor produktionskapacitet med smidige skift ved overgang mellem produktion af diverse forskellige asfaltprodukter er det dog hensigtsmæssigt at etablere 2-3 separate kolddoseringskasser til genbrugsasfalt. Dette muliggør, at der kan anvendes f.eks. slidlagsgenbrug i den ene kasse og bærelagsgenbrug i den anden uden at disse råvaredoseringskasser skal tømmes hver gang der skiftes produktionsrecept. Jo flere varianter af genbrugsasfalt den enkelte asfaltfabrik benytter, desto flere genbrugs-kolddoseringskasser vil det være hensigtsmæssigt at have til rådighed.

Ved kold tilsætning af genbrugsasfalt – uanset om det drejer sig om dosering direkte i asfaltblander, tilsætning via varmelevator, eller "lun" dosering via genbrugsring - er det vigtigt at genbrugsasfalten doseres i det rigtige blandingsforhold, hvilket sikres med et vejebånd.

10.2.3 Genbrugsring eller paralleltromle

Den enkleste metode at tilsætte genbrugsasfalt er den kolde dosering direkte i asfaltblanderen. Kapaciteten med denne metode varierer fra fabrik til fabrik og varierer desuden med årstid og fugtindhold i materialerne, men den maksimale kapacitet her ligger antageligvis omkring 30

%. Ønskes større kapacitet med højere genbrugsasfaltindhold er det nødvendigt at supplere eller erstatte med dosering gennem en genbrugsring eller gennem en separat opstillet parallel-tørretromle (jf. afsnit 10.1). Begge disse tiltag ligger i den mere omkostningstunge ende af fabriksombygningerne, hvor der kræves anskaffelse og opstilling af nye tørretromler. Størst genbrugskapacitet vil normalt kunne forventes ved varmt genbrug med paralleltromle, men da der jo med dette princip reelt opereres med to parallelle tørretromler med hver sin temperatur, vil der specielt ved opstart og produktionsomlægning kræves en del ekstra energi til opvarmning af hele det omfattende produktionsanlæg, så paralleltromler anses normalt som bedst egnede til store ensartede produktioner uden de typiske danske produktionsskift i løbet af dagen.

10.2.4 Produktionsapparat og styring

Ud over doseringskasser og -bånd – samt evt. tørretromleombygning/supplement - skal der naturligvis også foretages en tilpasning af fabrikens produktionsapparat til håndtering af genbrugsasfalt. Der skal ved koldt genbrug ofte foretages modificering af udluftning fra blanderen ligesom der skal foretages en række andre optimeringer, herunder filtre m.v.

Styresystemet og fabrikens automatik skal opgraderes/udskiftes, så der mest hensigtsmæssigt kan opereres med genbrugsasfalt. Dette gælder ikke blot selve genbrugsdoseringen, men ligeledes blandingens sammensætning. På nogle fabrikker opereres med separate produktionsrecepter for hver enkelt valgt genbrugsprocent i mindre, faste spring (f.eks. 15 - 20 - 25 - 30 %), så de jomfruelige stenmaterialers sammensætning og den friske bitumens mængde og hårdhed er tilpasset eksakt til hvad genbrugsasfalten bidrager med til den samlede produktion. På andre fabrikker anvendes nye styresystemer, hvor genbrugsdoseringen er integreret og automatiseret.

Hvad angår bindemiddelhårdheden, så angiver CEN's produktstandarders Annex A hvordan der skal tilsættes et nyt, blødere bindemiddel, således at den resulterende, færdige blanding med genbrug opnår præcis samme hårdhed, som hvis den havde været produceret uden genbrug. Dette foretages enklest ved at justere forholdsmæssigt ud fra bindemidlernes blødhedspunkt K&R (kugle og ring). Nyere produktionsstyringssystemer kan selv automatisk, trinløst, justere doseringen af ny bindemiddelhårdhed (ud fra forholdsmæssig dosering af fabrikens hårde og bløde bitumen) og den samlede tilsatte bindemiddelmængde, når genbrugsmaterialets bindemiddelegenskaber og den ønskede genbrugsprocent er kendte.

Der foretages løbende en række forskellige andre optimeringer om fabriksombygninger for at kunne anvende genbrugsasfalt mest hensigtsmæssigt, men en stor del af disse optimeringer anses som konkurrencefølsomme oplysninger og er derfor ikke nærmere beskrevet i denne rapport.

10.3 Særligt om høje genbrugsprocenter

Under danske forhold er der hidtil opereret med typiske genbrugsprocenter fra 10 til 30-40 og nu og da op til ca. 60% i GAB-produktioner, hvor de højeste dog kun anses opnåelige ved anvendelse af paralleltromle til foropvarmning af genbrugsasfalten. Fra udlandet høres dog nu og da om anvendelse af meget høje genbrugsprocenter i asfaltproduktionen – måske helt op imod 80-90 % genbrugsasfalt. Med så høje genbrugsprocenter bliver der reelt tale om principper, som minder om dem, der anvendes ved "Remix" genbrug-på-vejen – blot med den ændring, at den gamle asfalt efter affræsning ikke opvarmes/opblandes på stedet, men transporteres hjem til asfaltfabrikken for at blive genopvarmet og tilsat små mængder nye stenmaterialer og bindemiddel og derefter blive transporteret ud til udlægningsstedet igen og genudlagt, i nogle tilfælde måske endda på eksakt samme sted, hvor den gamle asfalt blev fræset bort. Denne produktionstype med særdeles høje genbrugsprocenter giver i sagens natur ikke mulighed for megen justering af materialesammensætningen og kan derfor reelt kun benyttes til genfremstilling af samme asfalttype som den oprindelige (dog forekommer der uundgåeligt en lille nedknusning af stenmaterialet under affræsningen).

Ved så høje genbrugsprocenter som ovenfor nævnt vil det ikke være tilstrækkeligt at tilsætte ny, blød standardbitumen for at kompensere for genbrugsasfaltens ældede, hårde bindemiddel. I sådanne tilfælde tilsættes derfor en tyndtflydende "rejuvenator"-olie (foryngelsesolie). Umiddelbart må det vurderes, at den store forskel imellem den gamle genbrugsbitumen og den tyndtflydende rejuvenator-olie stiller væsentligt større krav til sikring af, at der i blandingen opnås korrekt homogenitet og resulterende slut-hårdhed. Metoden er derfor ikke normalt anvendt i Danmark.

11. Lavtemperatur asfalt (LTA) med genbrugsasfalt

Dette afsnit belyser en kortfattet screening af mulighederne for en eventuel kombination af lavtemperaturteknologi og tilsætning af genbrugsasfalt, med henblik på at kunne opnå en eventuel, forøget CO₂-besparelse ved den kombinerede teknologi.

11.1 Lavtemperaturasfalt

Lavtemperaturasfalt (LTA), i udlandet også kendt som "Warm Mix Asphalt" (WMA), er en fællesbetegnelse for en serie af forskellige produktionsteknikker, som er dukket op indenfor de seneste to årtier. LTA (WMA) har til formål at kunne sænke produktionstemperaturen på traditionel varmblandet asfalt med i størrelsesorden ca. 10-30 °C, uden at det går ud over asfaltens bearbejdelighed. Den færdige vejbelægning opnår fortsat "normale" egenskaber, komprimering og holdbarhed. Ved en temperatursænkning i denne størrelsesorden kan der med den specielle produktionsteknik opnås en reduktion af energiforbruget til opvarmning af stenmaterialet under produktionen af den varme asfalt. Herved opnås også en reduktion i CO₂-udledningen og miljøbelastningen.

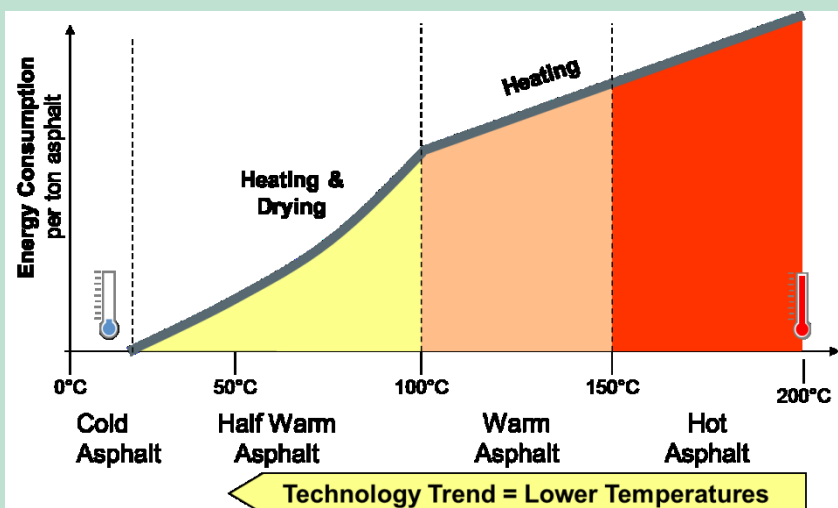
Det skal dog for god ordens skyld bemærkes, at der trods temperatursænkningen principielt fortsat er tale om varmblandet asfalt. Stenmaterialet skal uanset slut-produktionstemperaturen fortsat opvarmes til et pænt stykke over 100 °C for at opnå tørre, fugtfri stenmaterialer. De tørre stenmaterialer er en forudsætning for at opnå en holdbar vedhæftning imellem asfaltens stenmateriale og bindemiddel, til sikring af asfaltens levetid. LTA/WMA teknikken må således ikke forveksles med simplere, kolde eller halvvarme produktionsteknikker, hvor stenmaterialet ikke tørres under produktionen og blot blandes med bitumenemulsion eller simpel "vejolie".

Ved produktion af varmblandet asfalt med tilsætning af kold genbrugsasfalt, vil der (specielt ved tilsætning direkte i asfaltblanderen) være en "naturlig" begrænsning for hvor meget koldt genbrug, der kan tilsættes, før den færdige asfaltblanding opnår en for lav temperatur og bearbejdelighed. Projektgruppen har derfor gjort overvejelser om LTA-teknikken (WMA) ville kunne benyttes til at sikre en acceptabel bearbejdelighed af asfalten, hvis genbrugsmængden øges ud over det ellers normalt teknisk mulige for koldt tilsat genbrugsasfalt – f.eks. fra 30 til 35 eller 40 % koldt genbrug.

I det følgende er LTA-teknikkens principper nærmere beskrevet, hvorefter nærmere vurderinger af muligheden for kombination af LTA og genbrugstilsætning er diskuteret.

11.2 Princippet for Lavtemperaturasfalt

LTA (WMA) teknologien er som tidligere nævnt udviklet med det formål at give asfalten samme bearbejdelighed som normal varmblandet asfalt (og dermed sikre samme komprimering på vejen), men ved en sænkning af asfalttemperaturen på ca. 10-30 °C. Herved spares energi og CO₂-udledningen reduceres. Den store mængde nødvendig energi til tørring er dog uændret. Teknikken er i sær udbredt i USA, hvor en stigende del af asfaltproduktionen foretages på denne måde.

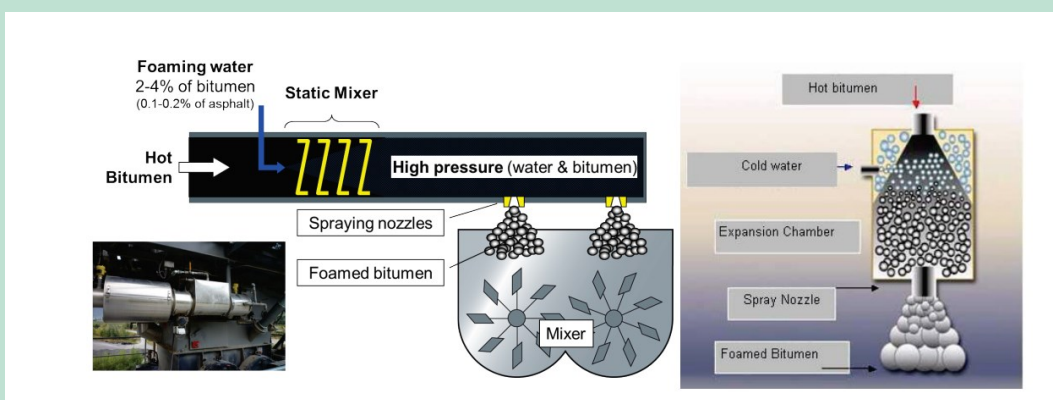


FIGUR 11.2.1: Temperaturmæssige grænser for forskellige produktionsteknikker. I modsætning til kold og "halvvarm" asfaltfremstilling sikres ved Lavtemperaturasfalt (Warm Mix Asphalt, orange) på samme måde som ved varmblendet asfalt (rød) at der arbejdes med tørrede stenmaterialer. (Figurkilde: EAPA – Position Paper: "The Use of Warm Mix Asphalt", 2014)

11.3 Teknikkerne bag LTA

LTA teknologien kan principielt anvendes med en række forskellige fremgangsmåder. Der kan tilsættes et kemisk additiv, beslægtet med amin-klæbeforbedrere, som nedsætter overfladespændingen, eller en kunstvoks, som giver en viskositetssænkning og forøget bearbejdelighed. Bindemidlets viskositet kan desuden reduceres ved opskumning med små mængder vand. Ved tilsætning af mineralet Zeolit, der indeholder ca. 20 % bundet krystalvand, frigives vanddamp i blanderen og bitumen "skummer op". Herved nedsættes blandingens viskositet, om end med en relativt afdæmpet og diffus effekt.

Den mest udbredte LTA-teknik er skumteknologi ved injicering af små fugtmængder i bitumen i et forkammer, umiddelbart inden introduktion af bitumen i asfaltblanderen. På grund af damptrykket skummer bitumen op og får i blandeøjeblikket et stærkt forøget volumen, der sikrer bedre dispergering i asfaltblandingen. Den optimerede (mere "flødeskumsagtige") coating af stenmaterialet giver forøget "smøreffekt" af det varme bindemiddel, hvorved asfaltens bearbejdelighed i varm tilstand forøges. Det er derfor muligt at sænke asfaltblandetemperaturen og fortsat sikre bearbejdeligheden. Denne metode vurderes som den mest sikre metode og er da også den i Danmark mest udbredte form for LTA.



FIGUR 11.3.1: Princip for LTA (WMA) asfaltfremstilling med skumbitumen. (Figurkilde: EAPA – Position Paper: "The Use of Warm Mix Asphalt", 2014).

Der er i Danmark lavet forsøg med de forskellige LTA-produktionsteknikker. Danske erfaringer bekræfter, at det med LTA-teknik er muligt at reducere produktionstemperaturen med 10-30 °C og fortsat sikre samme asfaltbearbejdelighed. Potentialet er dog størst for GAB-bærelag og andre belægninger, som produceres med hård bitumen, hvor standard produktionstemperaturen er højere end for f.eks. pulverasfalt slidlag med blød bitumen. Blandt de oplyste LTA-teknikker må det umiddelbart antages, at skumteknikken miljøbelastningsmæssigt er mest optimal, da skumningen foretages lokalt på asfaltfabrikken med normalt vand og dermed også i produktionsøjemed er uden behov for specielle additiver.

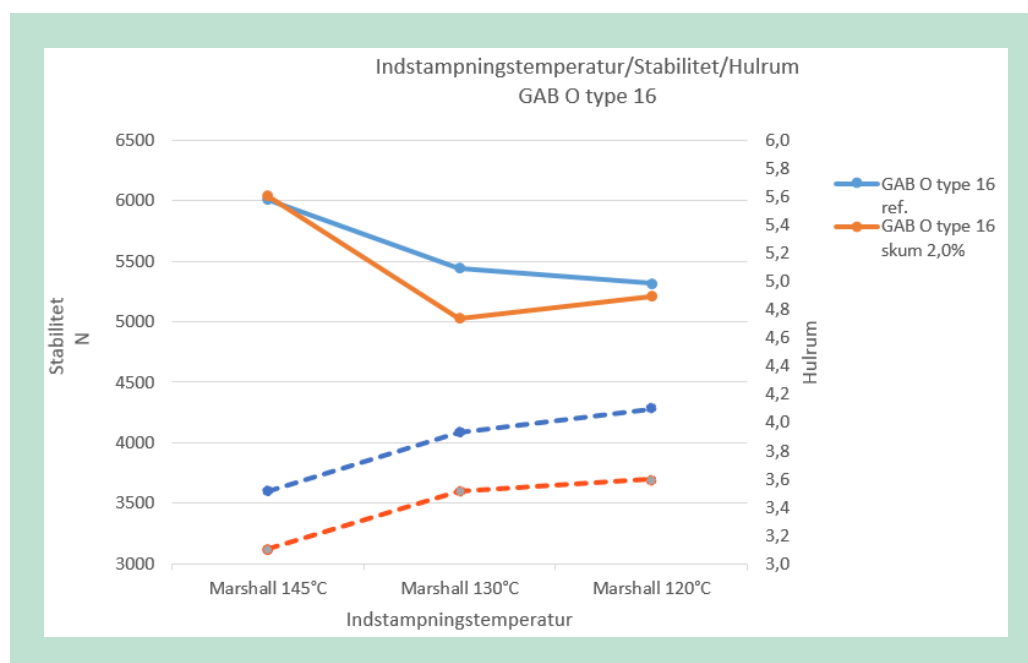
11.4 Danske erfaringer med LTA og genbrugstilsætning

WMA-teknikken synes at være en farbar mulighed for at opnå en asfaltproduktion med lidt lavere energiforbrug og CO₂-emissioner end traditionelt. Spørgsmålet er så, om WMA-teknikken kan "spille sammen" med anvendelse af genbrugsasfalt? En nærmere afprøvning af denne produktionsteknik indgår ikke i dette projekts rammer, men enkeltstående erfaringer fra YIT fuldskalablandinger er opstillet i det følgende.

11.4.1 Vurdering af LTA-teknik, men UDEN genbrug

I det følgende beskrives udfaldet af et gennemført forsøg med fremstilling af en GAB 0 type 16 (asfaltbærelag) med bitumen 70/100, fremstillet med/uden WMA-teknik

Ved den traditionelle (reference) blandemetode var den opnåede blandetemperatur 158°C. Ved WMA-blandingen blev blandetemperaturen 140°C, svarende til en temperatursænkning med WMA-teknik på ca. 20°C.



FIGUR 11.4.1: Evaluering af opnået Marshall-stabilitet (fuldt optrukne linjer) og hulrum (stiplede linjer) ved tre forskellige indstampningstemperaturer, for GAB 0 m/u LTA-teknik

Det fremgår af figur 11.4.1, at der med LTA-teknik i det begrænsede forsøg tilnærmelsesvis opnås samme stabilitet som referencen. Det ses samtidigt, at LTA-teknikken giver en forbedret bearbejdelighed, demonstreret gennem et lavere hulrumsniveau ved samme indstampningstemperatur. Data indikerer, at der for LTA-blandingen (omtrentligt) vil kunne opnås samme hulrum ved 120 °C, som referencen opnår ved 145°C. Efterfølgende udførte sporkørings tests på materialerne viser på samme vis omtrent samme niveau..

Konklusionen på dette delforsøg bliver derfor, at der med WMA-teknik og en temperatursænkning på ca. 20 °C – og UDEN genbrugsasfalt tilsætning – omtrentligt opnås ligeværdige egenskaber ved sammenligning med den traditionelt fremstillede referenceasfalt.

11.4.2 Vurdering af kombineret LTA-teknik og tilsat genbrugsasfalt

I ovennævnte tilfælde er det demonstreret, at der med WMA-teknik og en temperaturreduktion på ca. 20 °C kan opnås omtrent samme egenskaber (bearbejdelighed og stabilitet) som for en traditionelt fremstillet referencebelægning med normal produktionstemperatur. Dette fænomen synes specielt interessant at udforske yderligere i forbindelse med tilsætning af kold genbrugsasfalt direkte i asfaltblanderen. Som tidligere nævnt skal asfaltens sluttemperatur ved genbrugsholdig produktion opnås ved at det jomfruelige, opvarmede stenmateriale i blanderen opvarmer det koldt tilsatte genbrug. Det kunne derfor være interessant om en samtidigt anvendt LTA-teknik kunne tillade en forhøjet mængde af koldt genbrug – uden at forhøje sten-temperaturen - og samtidigt sikre den fornødne bearbejdelighed, stabilitet etc. gennem LTA-teknikken.

YIT A/S har i denne forbindelse gennemført en fabriksblanding, hvor en "Combi 11" belægning (nært beslægtet med GAB 0) er produceret med 40% genbrugsasfalt med/uden WMA-skumteknik. Ved dette forsøg er genbrugsasfalten tilsat med en kombination af koldt genbrug direkte i asfaltblanderen og varmt genbrug fra genbrugsring. For WMA-produktionen er der opnået en temperaturreduktion fra referenceblandings 160 °C til 140 °C. Resultaterne viser i dette tilfælde en stærkt begrænset effekt af LTA-teknologien, med kun marginal forskel i bearbejdelighed.

11.4.3 Vurdering af kombination af LTA og genbrugsasfalt

Den stærkt begrænsede forsøgsrække indikerer, at lavtemperaturasfalt-teknikken (Warm Mix Asphalt) ikke umiddelbart synes at være en genvej til at kunne producere med ekstra høje mængder af koldt tilsat genbrugsasfalt. En logisk forklaring på dette kunne måske være, at LTA-skumeffekten kun opnås for den friske, jomfruelige del af asfaltblandings bindemiddel: Jo mere genbrugsasfalt der tilsættes, desto mindre ny bitumen vil der være, som kan opskummes, så desto mere begrænset vil den opnåelige gevinst af LTA-princippet være.

Det skal afslutningsvis understreges, at projektet med ovennævnte, stærkt begrænsede forsøgsrække, omtalt i dette afsnit, blot har "kradset i overfladen" af at udforske LTA/WMA teknikkens muligheder, som supplement til projektets egentlige prøvningsprogram.

En mere omfattende, tilbundsgående vurdering af denne produktionsteknologi ligger derfor uden for dette projekts rammer.

12. Laboratorievalidering

Dette afsnit omhandler gennemførelsen af projektets omfattende laboratorieforsøgsprogram. Det er, som tidligere anført, projektets mål at dokumentere anvendelsen af den i projektet benyttede teknologi til at fremstille selv de mest krævende og "ædle" asfalttyper, som SMA slidlag og ABB bindelag til tung trafik, på mere bæredygtig vis, med tilsætning af genbrugsasfalt – uden at gå på kompromis med kvaliteten. Dette afsnit beskriver det omfattende laboratorietestprogram, som i projektet er gennemført for at sikre den fornødne dokumentation.

12.1 Laboratorieforsøgsprogrammets asfalttyper

Det hidtil gældende vejregelkrav om, at der i SMA og ABB til tung trafik ($AE_{10} > 500$) kun må anvendes klippesten, bunder i praksis i ønsket om at sikre sig imod sporkøring af asfalten. Det restriktive krav om 100 % klippemateriale kan dog være en stærkt begrænsende faktor, når vi taler om tilsætning af genbrugsasfalt, da de mest udbredte slidlagstyper (og dermed genbrugsmængder) ofte indeholder en lille mængde uknust finfraktion (sand). Det er dog muligt, at kravet ikke behøver at være helt så "klippefast". Hvis der indføres en "petitessegrænse" for indhold af sand (ikke knust materiale i finfraktionen), vil væsentligt større genbrugsasfalmængder kunne benyttes i disse asfalttyper. For at teste følsomheden af dette, er der i laboratorietestprogrammets recepter benyttet to forskellige typer genbrug, oparbejdet til en 0/8 mm fraktion:

- Genbrug med helknust finfraktion ("Nordskoven", i det efterfølgende forkortet "NOR"): 100,0 % helknust stenmateriale fra en tidligere SMA 8 (udlagt på en ABB til tung trafik) – Dermed garanteret helt uden uknust sand.
- Genbrug med delvist knust finfraktion ("Viborg", i det efterfølgende forkortet "VIB"): Blandet 0/8 mm asfaltslidlagsgenbrug, hvori der også indgår tætgraderet asfaltbeton med et vist indhold af uknust sand. Teoretisk set kan der også før oparbejdningen være forekomst af afskalninger mellem det gamle slidlag og det underliggende lag som følge af bortfræsningen. På grund af den efterfølgende oparbejdning vil en sådan forekomst dog være yderst begrænset.

Udgangspunktet for laboratorieafprøvningen har været følgende reference-materialer ("REF"):

- Skærvemastiks SMA 11 med standard 40/60 bitumen, og
- Asfaltbindelag ABB 16 ($AE_{10} > 500$) med kunstvoksmodificeret 40/60 bitumen.

TABEL 12.1.1. Råvarespecifikationer for de to typer slidlagsgenbrug i laboratorieforsøgene

Egenskab	Nordskoven (NOR)	Viborg (VIB)
Fraktion	0/8 mm	0/8 mm
Stendensitet [Mg/m ³]	2,96	2,78
Bitumenindhold [%]	5,80	6,16
Penetration ved 25 °C [0,1 x mm]	24	28
Blødhedspunkt kugle og ring [°C]	61,0	59,0
Bemærkning til fraktion > 2 mm	Hyperit med labradorit. 0 % flint	Hyperit med labradorit. 1-2 % flint. 1 % øvrige granittyper.

Primært på baggrund af kornkurvekravene til den sammensatte asfalt (mængden af fint materiale), blev der hos YIT A/S udviklet mix designs for de to asfalttyper. For SMA 11 kunne tilsættes op til 30 % 0/8 mm slidlagsgenbrug og for ABB 16 ($\text{AE}_{10} > 500$) op til 20 %. I laboratorieevalueringen indgår de 6 recepter som ses i Tabel 12.1.2.

TABEL 12.1.2. De seks asfaltmaterialevarianter i laboratorieforsøgene

Art	Type	Bindemiddel	REF	NOR	VIB
Slidlag	SMA 11	Umodificeret	0 % genbrug	30 % genbrug	30 % genbrug
Bindelag	ABB16 ($\text{AE}_{10} > 500$)	Kunstvoksmodificeret	0 % genbrug	20 % genbrug	20 % genbrug

Uanset krav og begrænsninger for genbrug i vejreglerne for asfalt, har det været projektets ønske at afprøve den højeste opnåelige genbrugsprocent med de to repræsentative asfaltslidlagsgenbrug. For at kunne ramme samme kornkurver som de "jomfrueligt" fremstillede referencebelægninger, har det dog vist sig, at der i praksis ikke kunne tilsættes mere end 30 % af en af de to aktuelle genbrugsasfalter til SMA-recepten og 20 % til ABB-recepten. Disse begrænsninger skal primært ses i lyset af, at begge slidlagsgenbrug er relativt finkornede med 8 mm maksimal kornstørrelse. Hvis asfaltgenbrugets sammensætning (kornkurve) havde ligget tættere på den færdige asfalts, med et større stenindhold, kunne der specielt for ABB 16 givevis have været opnået noget højere tilsætningsprocenter. Til gengæld er en genbrugsprocent på 30 % antageligvis teknisk opnåelig på hovedparten af de danske asfaltfabrikker, hvis genbrugsmaterialet tilsættes koldt i mixeren, men til gengæld er tørt, hvis man har fulgt den i projektet anbefalede opbevaring af genbrugsasfalt under tag.

På bindemiddelsiden er der ved genbrugstilsætning kompenseret for udgangsbindemidlets hårdhed ved justeret tilsætning af en blød vejbitumen 330/430, som angivet i CEN produktstandardernes annekser (DS/EN 13108-serien), således at det resulterende bindemidels hårdhed er på samme niveau som for referenceblandingerne. Da forskellen mellem genbrugsasfaltens og referencebelægningens bitumenhårdhed er forholdsvis begrænset har der således ikke været behov for anvendelse af en "rejuvenator" blødgørende olie, sådan som det nu og da ses i udlandet. Da forskellen på udgangsbindemidlet og den bløde standardbitumen er væsentligt mindre end forskellen imellem udgangsbitumen og en rejuvenator-olie, må den anvendte praksis med justering med blød vejbitumen også umiddelbart antages at være den mest produkt-/produktionssikre metode.

12.2 Det omfattende prøvningsprogram

På baggrund af de laboratoriefremstillede asfaltmaterialer, jf. afsnit 12.1, med og uden genbrug, er der fremstillet en stor serie prøvelegemer, som indgår i den omfattende serie af laboratorietests, hvor en meget lang række af funktionsegenskaber er afprøvet.

De gennemførte laboratorieblandingers "grundegenskaber" fremgår af de efterfølgende tabeller for henholdsvis SMA og ABB.

TABEL 12.2.1. Kontroldata for de laboratoriefremstillede SMA 11 materialer

*) De anførte data gælder for genindvundet bindemiddel. Parentesen angiver det anvendte udgangsbindemiddels hårdhed)

Materiale	SMA 11 40/60 (REF)	SMA 11 (NOR)	SMA 11 (VIB)
Bindemiddel [%]	5,59	5,34	5,49
Stendensitet [Mg/m³]	3,008	3,010	2,950
Rumvægt [Mg/m³]	2,628	2,620	2,582
Hulrum [%]	3,1	3,9	3,4
Hulrum i sten [%]	17,5	17,6	17,3
Bitumenfyldning [%]	82,2	77,9	80,4
Blødhedspunkt K & R [°C]	52,3 (udg. 51,0)*	55,9 (udg. 50,0)*	55,1 (udg. 49,0)*
Penetration ved 25 °C [0,1 x mm]	40 (udg. 46)*	33 (udg. 60)*	37 (udg. 57)*
Penetrationsindeks, IP	-1,13 (udg. -1,05)*	-0,74 (udg. -0,83)*	-0,67 (udg. -1,08)*
Kornkurve - gennemfald			
Filler, 0,063 mm [%]	8,2	7,3	6,4
0,5 mm [%]	16,5	16,3	14,9
2 mm [%]	22,3	23,1	21,9
5,6 mm [%]	33,1	33,5	31,5
8 mm [%]	51,4	50,1	48,5

TABEL 12.2.2. Kontroldata for de laboratoriefremstillede ABB 16 ($AE_{10} > 500$) materialer.

*) De anførte data gælder for genindvundet bindemiddel. Parentesen angiver udgangsbindemidlets hårdhed, uden tilsætning af kunstvoksmodificering

Materiale	ABB 16 40/60 MB (REF)	ABB 16 40/60 MB (NOR)	ABB 16 40/60 MB (VIB)
Bindemiddel [%]	4,68	4,79	4,62
Stendensitet [Mg/m³]	2,843	2,886	2,876
Rumvægt [Mg/m³]	2,524	2,547	2,550
Hulrum [%]	3,8	4,0	3,9
Hulrum i sten [%]	15,4	16,0	15,4
Bitumenfyldning [%]	75,3	74,8	74,9
Marshall stabilitet [kN]	13,105	13,425	13,130
Blødhedspunkt K & R [°C]	74,9 (udg. 51,0)*	74,3 (udg. 50,0)*	77,1 (udg. 51,1)*
Penetration ved 25 °C [0,1 x mm]	21 (udg. 48)*	20 (udg. 50)*	22 (udg. -)*
Penetrationsindeks, IP	1,61 (udg. -1,03)*	2,11 (udg. -1,04)*	2,01 (udg. -)*
Kornkurve - gennemfald			

Materiale	ABB 16 40/60 MB (REF)	ABB 16 40/60 MB (NOR)	ABB 16 40/60 MB (VIB)
Filler, 0,063 mm [%]	7,5	6,4	7,1
0,5 mm [%]	19,7	18,8	17,7
2 mm [%]	36,7	36,1	33,7
5,6 mm [%]	53,7	52,9	52,9
8 mm [%]	69,4	68,0	67,9
11,2 mm [%]	85,1	87,5	85,2

Som det fremgår af tabellerne er der for hver af de to asfalttyper som udgangspunkt fundet ligeværdige materialedata for referenceblandingerne og de genbrugsholdige blandinger. Foruden de traditionelle standard asfalttests er følgende funktionsegenskaber afprøvet:

- Sporkøringsmodstand
- Stivhedsmodul (bæreevne)
- Vandfølsomhed (klæbeevne)
- Udmattelsesegenskaber (langtidsholdbarhed)
- Komprimeringsvillighed (for vurdering af evt. behov for ekstra komprimeringsindsats)
- Bindemiddelegenskaber (opnår blandingen af det friske og gamle bindemiddel de ønskede egenskaber?)

12.3 Styrkeegenskaber: Stivhed og sporkøringsmodstand

Materialernes styrke kan blandt andet bedømmes ved sporkøringstest og bestemmelse af materialestivheden ved en given temperatur. Testresultater for disse egenskaber fremgår af det følgende.

12.3.1 Sporkøringsmodstand:

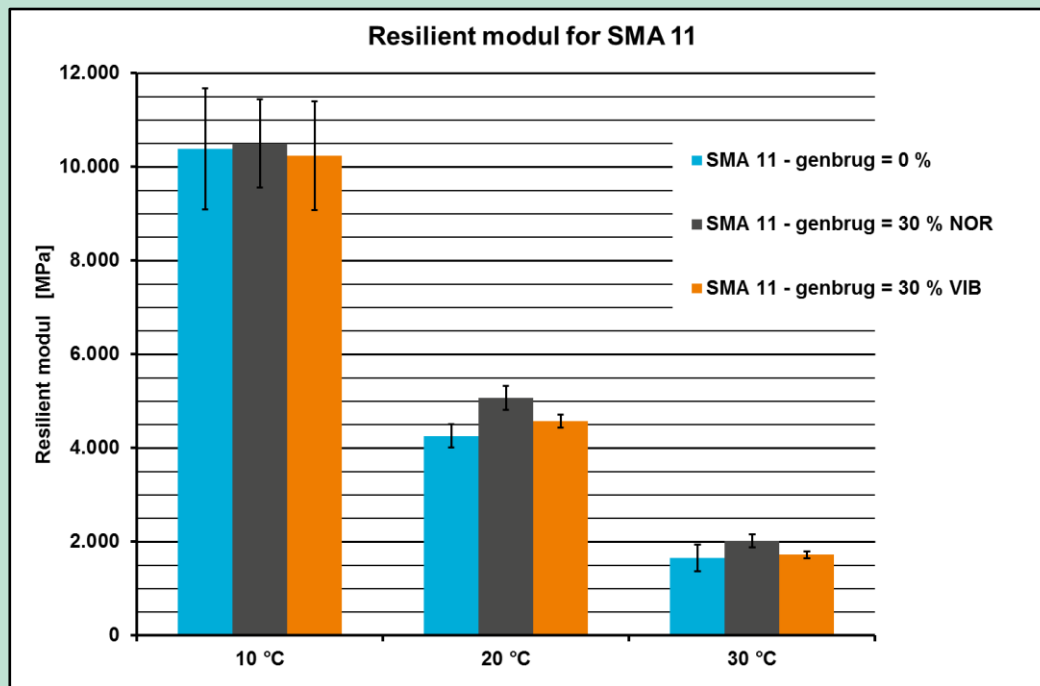
Der er udført sporkøringstest på de seks forskellige asfaltblandinger, jf. DS/EN 12697-22 Metode B (small size device), med vandtermostatering og ved anvendelse af en forhøjet testtemperatur på 60 °C. Disse tests er allerede nævnt under de indledende forsøg i rapportens afsnit 7, hvor figur 7.1.1 og 7.1.2 viser resultaterne. Inden for hver af de to materialetyper ligger resultaterne i samme størrelsesorden. Der ses mindre variationer imellem de enkelte kurver: For SMA giver den ene genbrugsvariant i forsøget tydeligt mindre sporkøring end referencen og den anden genbrugsvariant. For ABB følger de tre varianter omtrent samme forløb med referencen midt imellem de to genbrugsvarianter. Det må derfor konkluderes, at der ikke ses en negativ effekt ved tilsætning af op til 20 - 30 % sorteret slidlagsgenbrug i de to "ædle" asfalttyper SMA og ABB – uanset om der anvendes fuldknust slidlagsgenbrug (NOR) eller blandet slidlagsgenbrug (VIB).

12.3.2 Stivhedsmodul (Resilient modul - "bæreevne"):

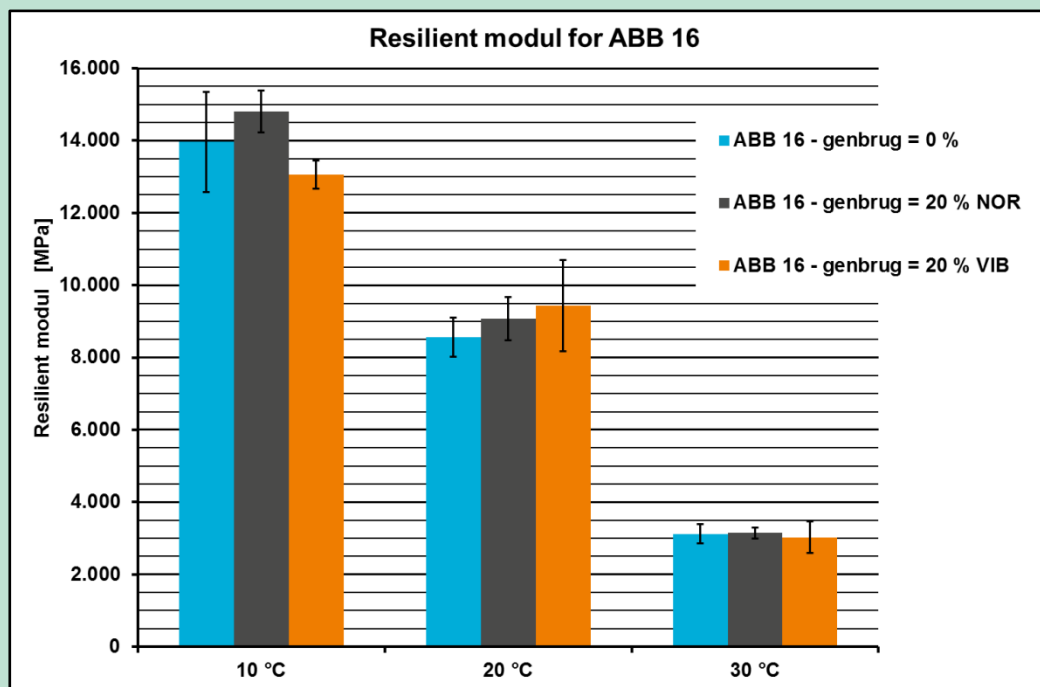
Et asfaltmateriales stivhedsmodul (resilient modul) er et udtryk for hvor godt materialet kan sprede og aflaste trafikens tryk på det underliggende lag – og dermed indirekte et udtryk for lagets "bæreevneegenskaber". Der er i testprogrammet målt stivhedsmodul ved 10, 20 og 30 °C (efter DS/EN 12697-26 Annex C), ved anvendelse af en Nottingham Asphalt Tester. Det er ofte interessant at kende temperaturfølsomheden ved flere temperaturer. En høj materialestivhed er som udgangspunkt et udtryk for høj bæreevne, men hvis asfalten bliver alt for stiv ved lav temperatur, kan det omvendt indikere, at man kan løbe ind i problemer med kuldeskørhed – og dermed risiko for revner/krakeleringer om vinteren.

Figur 12.3.1 og 12.3.2 viser, at såvel for SMA som for ABB-varianterne opnås næsten identiske værdier med/uden genbrugstilsætning. Der er altså ingen signifikant forskel på stivheden

ved tilsætning af 20 - 30 % sorteret slidlagsgenbrug. Specielt er der på disse prøver ikke nogen antydning af, at det gamle bindemiddel i genbruget skulle medføre signifikant stivere materialer ved lav temperatur.



FIGUR 12.3.1. Stivhedsmodul (Resilient modul) efter DS/EN 12697-26 Annex C, for SMA 11



FIGUR 12.3.2. Stivhed (Resilient modul) efter DS/EN 12697-26 Annex C, for ABB 16

Det kan således konkluderes, at tilsætning af op til 20-30 % genbrugsasfalt ikke har haft nogen signifikant indflydelse på materialernes stivhedsmodul

12.4 Holdbarhed – Vandfølsomhed og udmattelsesmodstand

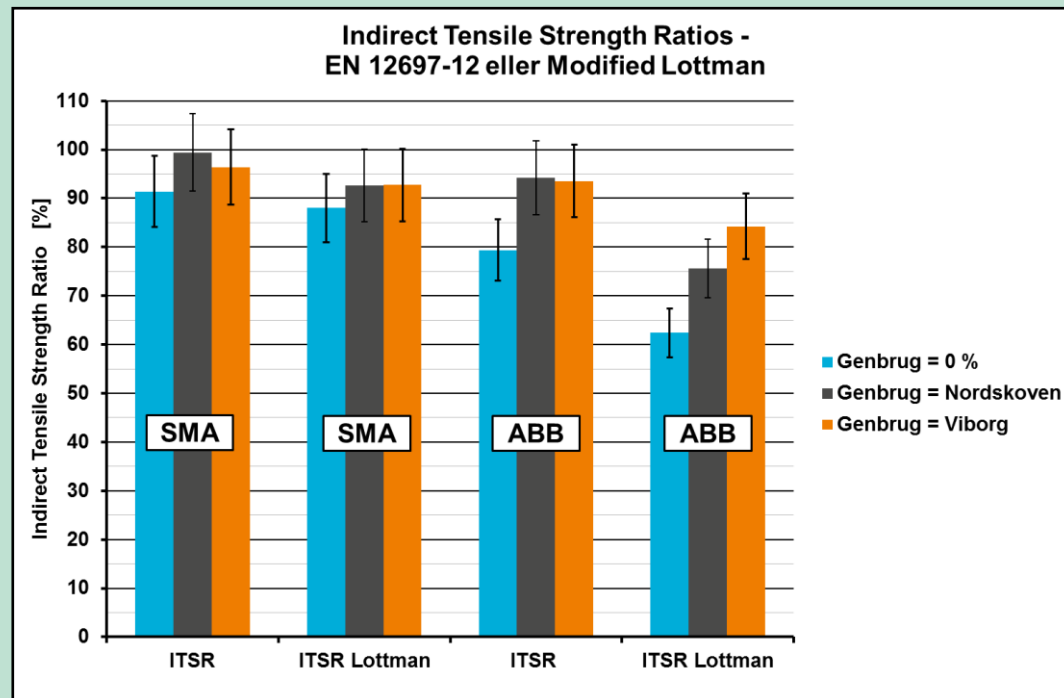
Holdbarheden af et asfaltmateriale kan blandt andet vurderes ud fra vandfølsomheden, som siger noget om evnen til at modstå udvaskning af bindemidlet imellem stenene i asfalten. Holdbarheden kan endvidere bedømmes ved at gennemføre udmattelsestests, hvor man bestemmer hvor mange gange belægningen kan tåle en given belastning før brud (populært sagt som "IKEA-testen" af møbler). Resultaterne fremgår af de efterfølgende afsnit.

12.4.1 Vandfølsomhed

Materialernes vandfølsomhed er i projektet bestemt ved at bedømme den relative nedgang i spaltetrækstyrke ved test før/efter vandlagring af prøvelegemerne. Testtemperaturen er 25 °C, og der er anvendt to forskellige lagringsprocedurer:

- DS/EN 12697-12 Europæisk (CEN) metode: 3 dages vandlagring ved +40 °C
- AASHTO T283-85 Amerikansk metode ("Modified Lottman"): 3 frost/tø cykler (kraftigere påvirkning, udsving imellem -18 °C og +60 °C).

Figur 12.4.1 viser forholdet imellem spaltetrækstyrkebestemmelserne mellem lagrede og tørre prøvelegemer for de to materialetyper, SMA hhv. ABB, testet med begge lagringsprocedurer. De to søjlegrupper til venstre viser for alle tre SMA typer god resistens over for vand - uanset indhold af genbrug. De to søjlegrupper til højre viser forholdene for ABB varianterne. Referencen for ABB uden genbrug synes faktisk at være mere følsom overfor vandpåvirkning end de to med genbrugsvarianter, specielt ved den amerikanske procedure.



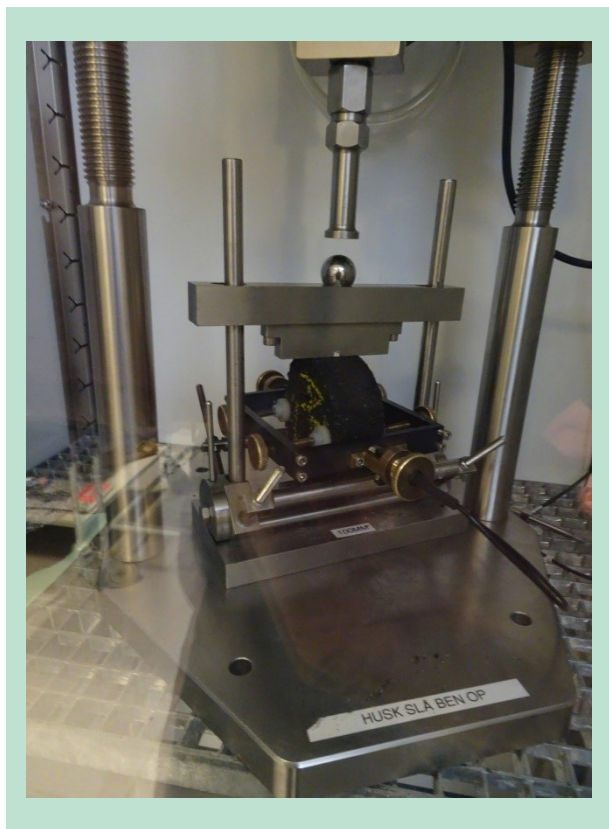
FIGUR 12.4.1. Vandfølsomhedstest, Indirect Tensile Strength Ratios for SMA 11 og ABB 16 bestemt efter DS/EN 12697-12 og den "skærpede" amerikanske AASHTO "Modified Lottman" test. med "error bars" svarende til metodens standardafvigelse.

Prøvningsmetodens reproducerbarhed (prøvningsusikkerhed) oplyses i CEN-standarden til at være hele 23 %, hvorfor man nok skal være lidt forsigtig med at gå ned i mindre detaljer, men konklusionen er, at holdbarheden, bedømt ved vandfølsomhedstest, i hvert fald ikke bliver forringet ved tilsætning af op til 20 - 30 % sorteret slidlagsgenbrug. Der opnås i denne test for både SMA og ABB mindst samme forventede holdbarhed ved 20 – 30 % genbrugstilsætning som for referencen uden genbrug.

Med henvisning til figur 12.4.1 skal det bemærkes, at jo højere ITSr tal der opnås, desto større modstand mod udvaskning og dermed længere forventet holdbarhed vil der opnås. Konklusionen er derfor, at genbrugstilsætningen ikke har forringet den forventede holdbarhed.

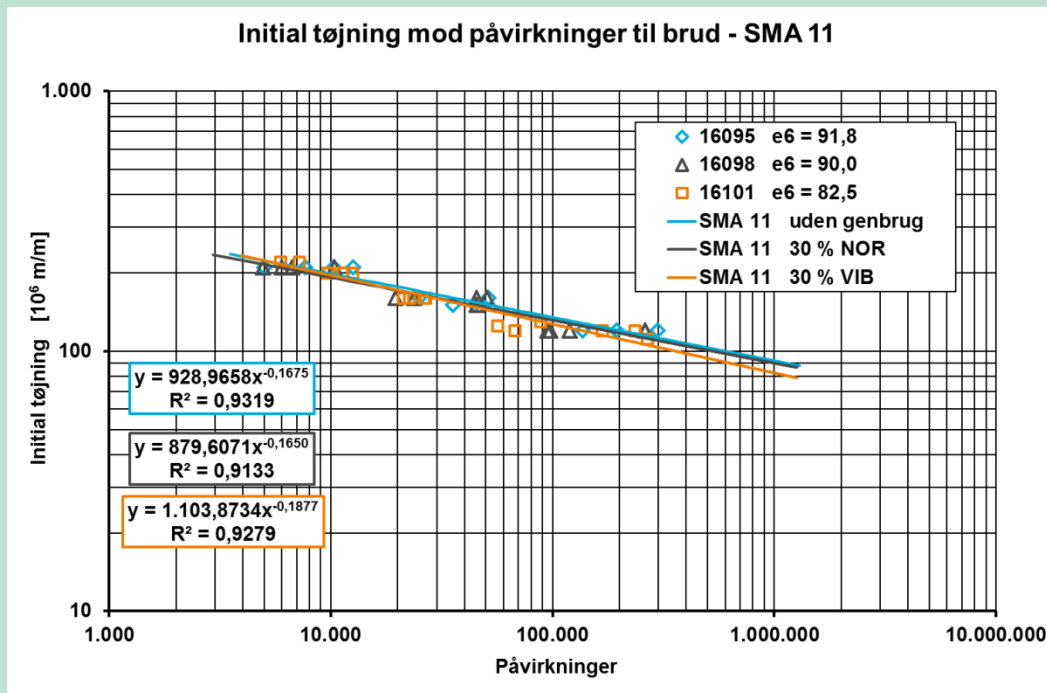
12.4.2 Udmattelsestest

For at danne sig et overblik over eventuelle forskelle i belægningernes forventede levetid bestemmes langtidsholdbarheden overfor mekaniske påvirkninger ved udmattelsesforsøg efter DS/EN 12697-24 (med Nottingham Asphalt Tester). I Danmark har vi i de sidste ca. 20 år mest benyttet den variant, der hedder DS/EN 12697-24 Annex E - forkortet IT-CY for "Indirect tensile test on cylindrical shaped specimens", og den er derfor også anvendt i denne undersøgelse.

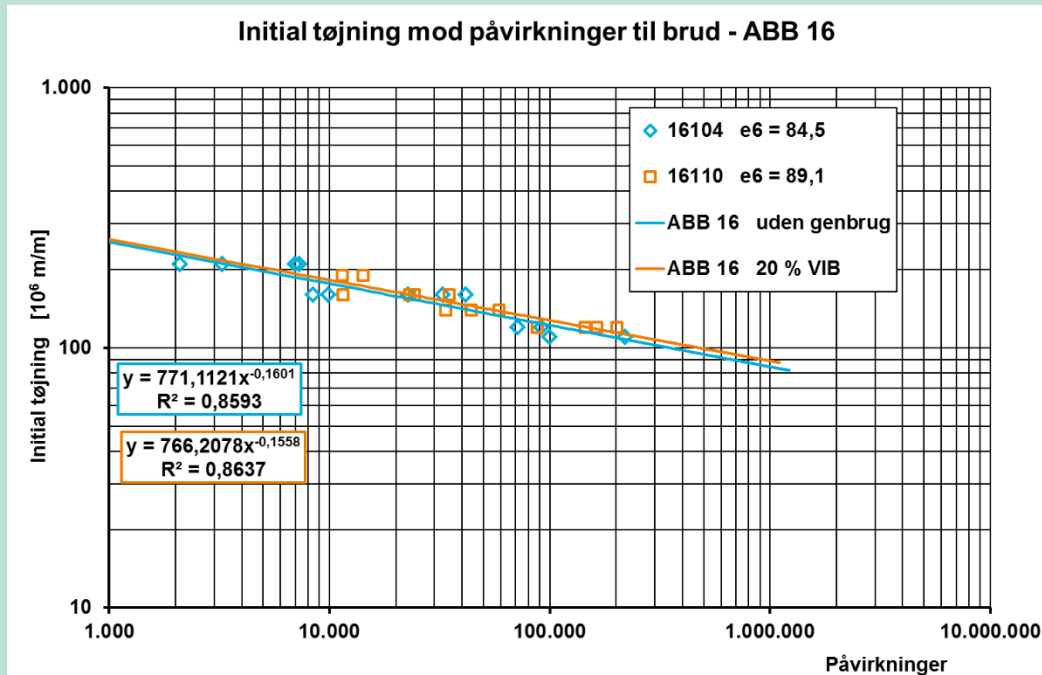


FIGUR 12.4.2. Nottingham Asphalt Tester anvendes til måling af såvel stivhedsmodul som udmattelsesforsøg på varianterne af SMA 11 og ABB 16 efter DS/EN 12697-26 hhv. 12697-24, Annex E, hvor testtemperaturen er 10 °C (Foto: Vejdirektoratet)

Det fremgår af figur 12.4.4, at asfaltmaterialet ABB 16 med genbrug fra Nordskoven (helknust materiale) ikke er undersøgt. Udmattelsesforsøgene er meget langvarige, og det kan være svært at lægge en stram tidsplan for forsøgene. Der har været nogle måleproblemer med udstyret, som også har forsinket opstarten af disse forsøg, men det var forventet, at alle forsøg kunne afsluttes, inden Vejdirektoratets laboratorium blev udliciteret medio 2017. Proaktivt blev prøvningernes rækkefølge udført efter en "worst case" antagelse, hvis det mod forventning ikke skulle kunne lykkes at teste samtlige varianter.



FIGUR 12.4.3. Udmattelsesforsøg for SMA 11 ved 10 °C efter DS/EN 12697-24 Annex E



FIGUR 12.4.4. Udmattelsesforsøg for ABB 16 ved 10 °C efter DS/EN 12697-24 Annex E

Efterfølgende har det vist sig, at prøvningerne trods ihærdig indsats ikke nåede i mål for det sidste materiale, og på grund af risiko for variationer i opnåede resultater ved efterfølgende prøvning med andet udstyr eller testmetode, besluttede projektgruppen at afslutte prøvningerne uden test af ABB 16 (NOR), da det i forhold til udmattelsesstyrke og recepternes sammen-

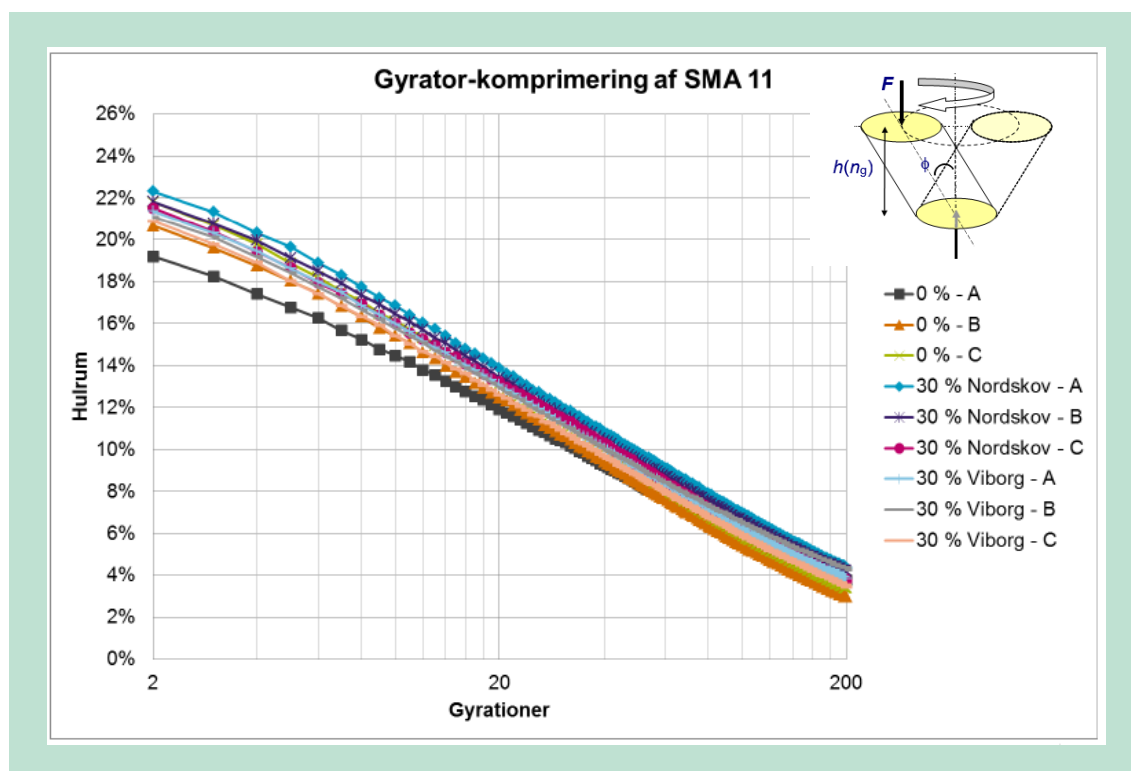
sætning for kendte forhold med indflydelse på udmattelsesegenskaberne var rimeligt at antage, at ABB 16 (NOR) havde samme eller bedre resultater end ABB 16 (VIB).

Figur 12.4.3 og 12.4.4 viser resultaterne for de udførte forsøg for henholdsvis SMA 11 og ABB 16. Resultaterne viser, bekræftet af en supplerende udført data-robustheds vurdering, at varianterne indbyrdes indenfor de to materialer (SMA 11 og ABB 16) må siges at være ligeværdige. Prøvningerne viser således, at der opnås samme forventede levetid med/uden de 20 - 30 % genbrugsasfalt.

12.5 Bearbejdelighed (komprimeringsvillighed)

Vejdirektoratet har som supplement til projektets oprindelige testplan supplerende foretaget en undersøgelse af de seks forskellige asfaltvarianters komprimeringsvillighed ved gyratorforsøg i laboratoriet. Ved gyratorkomprimering anvendes, i modsætning til den traditionelle Marshall-indstampnings slagvise komprimering, her en "æltende"/"masserende" komprimeringsindsats, som efter fransk forbillede skulle ligne asfaltens indbygning på vejen under tromling mere end den traditionelle indstampning. Gyratorkomprimering udføres i henhold til DS/EN 12697-31.

Baggrunden for gyratorforsøgene har været en mulighed for at vurdere, om samspillet mellem det gamle bindemiddel og det nye genbrug kunne påvirke materialets komprimeringsvillighed, sammenholdt med bindemidlets rheologiske egenskaber. Ligeledes var det interessant at vurdere om tilstedeværelsen i det ene slidlagsgenbrug af delvist knust finfraktion (sand) måske også kunne have en effekt på komprimeringsvilligheden. Datamaterialet er lille, men resultaterne viser, at de tre asfaltvarianters komprimeringsvillighed er i samme størrelsesorden.



FIGUR 12.5.1. Gyratorkomprimering af SMA 11 (3 prøvelegemer af hver variant). Der ses ingen signifikant forskel i bearbejdeligheden. Den indsatte principskitse øverst til højre viser gyratorkomprimeringsprincippet med en skråtstillet komprimering, så der opnås en "æltende" effekt

Afslutningsvis kan det fra gyratorkomprimeringsforsøgene konkluderes, at der ikke synes at være indikationer af en negativ effekt fra det begrænsede indhold af uknust finfraktion (sand) i det blandede slidlagsgenbrug fra Viborg, da disse varianter ikke skiller sig signifikant ud i forhold til de øvrige varianter.

12.6 Bindemiddeldata

Der er fulgt op på egenskaberne af de genindvundne bindemidler fra de seks asfalter med hensyn til:

- Traditionelle analyser (penetration, blødhedspunkt kugle og ring samt viskositet)
- Rheologiske egenskaber med Dynamic Shear Rheometer (DSR) og
- Kemiske hærdningstilstand ved infrarød spektroskopi (IR)

12.6.1 Traditionelle bindemiddel karakteristika

Der er bestemt de gængse bindemiddel-data for udgangsbitumenene, hvor 40/60 (ID nr. 16074) er brugt direkte uden tilsætning af blødere bitumen til SMA 11 40/60 (REF) (ID nr. 16094) og til ABB 16 40/60 MB (REF) (ID nr. 16103). I sidstnævnte tilfælde er der også tilsat kunstvoks modificering (Sasobit) under asfaltblandingen. Bitumen 330/430 (ID nr. 16075) er den bløde bitumen, som er benyttet sammen med den tidligere nævnte 40/60 bitumen til at justere den ønskede bindemiddelhårdhed i de tilfælde, hvor der er tilsat genbrug, hvor der derfor skal korrigeres for det bidrag, som det hærde bindemiddel giver på det resulterende bindemiddel. Data for udgangsbitumenene og for de genindvundne bindemidler fra de to typer genbrug ses i tabel 12.6.1.

TABEL 12.6.1. Traditionelle bitumentest-data for de anvendte udgangsbitumen

Udgangsbitumen		Prøve	16074	16075	16086	16090
Prøvning	Reference	Enhed	40/60	330/430	Viborg	Nordskoven
Penetration ved 25 °C	DS/EN 1426	0,1 x mm	48		29	23
Penetration ved 15 °C	DS/EN 1426	0,1 x mm		147		
Blødhedspunkt K&R	DS/EN 1427	°C	51,6	33,6	60,2	62,8
Viskositet ved 135 °C	DS/EN 13302	Pa s	623	134	1053	1293
Viskositet ved 150 °C	DS/EN 13302	Pa s	299	80	480	621
Viskositet ved 180 °C	DS/EN 13302	Pa s	96	32	142	165

Der er foretaget genindvinding hos Vejdirektoratet af de forskellige asfaltmaterialer, da det var nødvendigt at fremskaffe ekstra bindemiddel til infrarød spektroskopi (IR) og komplekst forskydningsmodul, G^* , med DSR.

Tabel 12.6.2 og 12.6.3 viser resultaterne for de seks asfaltvarianter.

TABEL 12.6.2. Genindvundne bindemidler fra varianterne af SMA 11

SMA 11		Prøve	16094	16097	16100
Prøvning	Reference	Enhed	0 % genbrug	30 % Nordskoven	30 % Viborg
Penetration ved 25 °C	DS/EN 1426	0,1 x mm	31	30	37
Blødhedspunkt K&R	DS/EN 1427	°C	58,8	59,4	57,0
Viskositet ved 135 °C	DS/EN 13302	Pa s	1015	1110	848
Viskositet ved 150 °C	DS/EN 13302	Pa s	448	512	398
Viskositet ved 180 °C	DS/EN 13302	Pa s	127	139	118

TABEL 12.6.3. Genindvundne bindemidler fra varianterne af ABB 16

ABB 16		Prøve	16103	16106	16109
Prøvning	Reference	Enhed	0 % genbrug	20 % Nordskoven	20 % Viborg
Penetration ved 25 °C	DS/EN 1426	0,1 x mm	27	24	28
Blødhedspunkt K&R	DS/EN 1427	°C	78,0	78,4	81,0
Viskositet ved 135 °C	DS/EN 13302	Pa s	910	1237	923
Viskositet ved 150 °C	DS/EN 13302	Pa s	416	536	413
Viskositet ved 180 °C	DS/EN 13302	Pa s	115	149	119

Generelt ses rimeligt overensstemmende bitumendata for de forskellige genbrugsvarianter, indenfor "normal" usikkerhed på bestemmelserne.

12.6.2 Infrarød spektroskopi (IR)

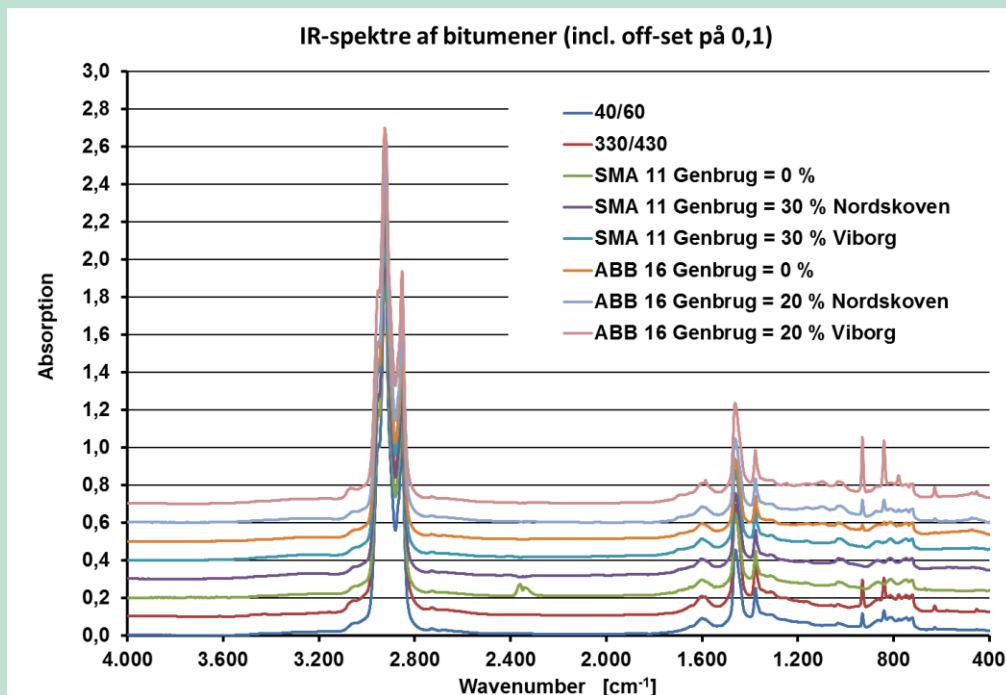
Infrarød spektroskopi er en teknik, som benyttes primært indenfor den organiske kemi (kulstofkemi) til at hjælpe med at give oplysninger om funktionelle grupper i materialer. Ved at belyse en prøve af organisk materiale med lys i det infrarøde spektralområde, kan man undersøge ved hvilke bølglængder energien i det reflekterende eller gennemgående lys absorberes. Disse bøjnings- eller stræknings-energi for såkaldte covalente bindinger i organiske molekyler vil så – specielt for funktionelle grupper, hvor bl.a. kul eller svovl er covalent bundet til heteroatomer som brint og ilt – kunne sige noget om dels deres tilstedeværelse, dels i nogle tilfælde om i hvilken udstrækning den aktuelle binding er tilstede ("koncentration").

Et infrarødt spektrum (IR spektrum) kan som sagt laves med reflekterende lys (med en ATR-celle) eller med gennemgående lys, idet materialet afsættes på eller i et kaliumbromid-vindue (KBr). For bitumenerne i denne undersøgelse er den sidste teknik anvendt, hvor en smule af prøven opløses i et opløsningsmiddel (trichlorethylen). En dråbe afsættes på KBr-vinduet og efter afdampning af opløsningsmidlet kan IR spektret optages i et spektrofotometer.

IR spektret for begge typer af applikationer optages med varierende bølglængder af infrarødt lys. Lysets bølglængde angives sædvanligvis i enheden reciprok centimeter [cm^{-1}], og det benyttede interval er ofte fra 4000 cm^{-1} ned til 400 cm^{-1} . IR-spektret, som er en afbildning af absorptionen mod bølglængden, ligner et bjerglandskab og er koncentrationsafhængigt i forhold til den benyttede mængde af prøve. Derfor laver man en efterbehandling af IR-spektrene, så hele spektrets højde (dvs. absorptionsværdien) justeres proportionalt, så den højeste top får værdien 2. Herefter kan man så lave sammenligninger mellem forskellige prøver, hvis man ønsker at lave relative sammenligninger af indhold af funktionelle grupper i molekylerne.

Figur 12.6.1 viser de målte IR-spektre for de genindvundne bindemidler fra de seks asfaltmaterialer og deres udgangsbitumener for at give et generelt indtryk af IR-spektre. Da store dele af spektrene vil være sammenfaldende, er de afbilledet med et successivt off-set i absorptions på 0,1 for at lette sammenligning.

Når man skal interessere sig for hærkning af bitumen, fokuserer man i særlig grad på to af toppene, som findes i intervallet 1800 cm^{-1} til 1000 cm^{-1} , hvor placeringerne for carbonyl- og sulfoxyl-grupperne findes. Begge grupper har med oxidativ hærkning at gøre.



FIGUR 12.6.1. Infrarøde spektre fra 4.000 til 400 cm⁻¹ af genindvundne bindemidler fra SMA 11 og ABB 16, samt udgangsbitumener (incl. et off-set på 0,1)

Umiddelbart ligner de infrarøde spektre for de forskellige varianter hinanden meget, så der konkluderes ikke umiddelbart nogle signifikante, betydende afvigelser imellem de forskellige varianter med/uden genbrug.

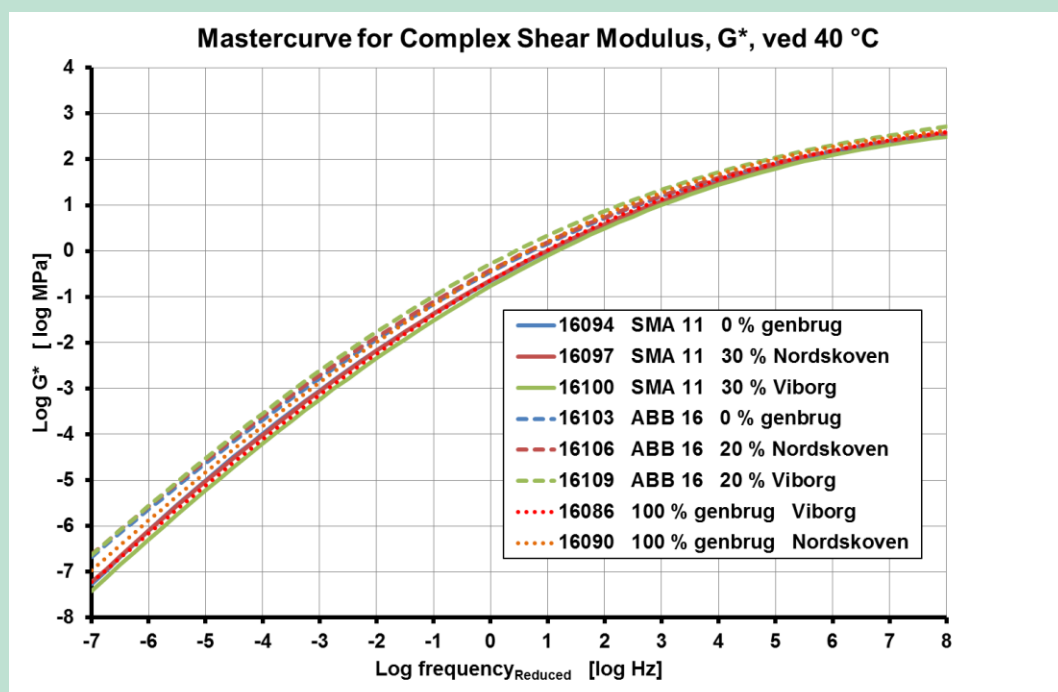
12.6.3 Rheologiske målinger af forskydningsmodul, G^* , og fasevinkel

Vurdering af bindemidlers rheologiske egenskaber er en nyere måde at bedømme bindemidlernes egenskaber, som på sigt forventes at ville erstatte de traditionelle bitumentests som blødhedspunkt og penetration. Der er i forsøgsrækken foretaget bestemmelser af det såkaldte komplekse forskydningsmodul, G^* , og den tilhørende fasevinkel, når der med et Dynamic Shear Rheometer i det lineære viskoelastiske område måles med sinusformede belastninger ved hjælp af to plan-parallele målegeometrier. De to cirkulære målegeometrier med diametrene 8 mm og 25 mm benytter en materialetykkelse på henholdsvis 2 mm og 1 mm. Der måles et antal frekvenser (i vores tilfælde typisk 12 stk. logaritmisk fordelt over tre dekader eller mere).

Dette udføres ved to temperatur-intervaller (fra -10 °C til 40 °C samt fra 30 °C til 100 °C) i trin af 10 °C, så der sammenlagt måles fra -10 °C til 100 °C, idet der for begge målegeometrier måles ved både 30 °C og 40 °C for at sikre tilpasning af hele kurveforløbet. Det betyder, at de sammenstillede masterkurver er baseret på i alt 168 punkter. Resultater for det komplekse forskydningsmodul fra de forskellige temperaturer benyttes til konstruktion af en masterkurve svarende til en referencetemperatur, som vil være et mål for materialets "stivhed" eller styrke over et meget stort frekvens-interval ved referencetemperaturen.



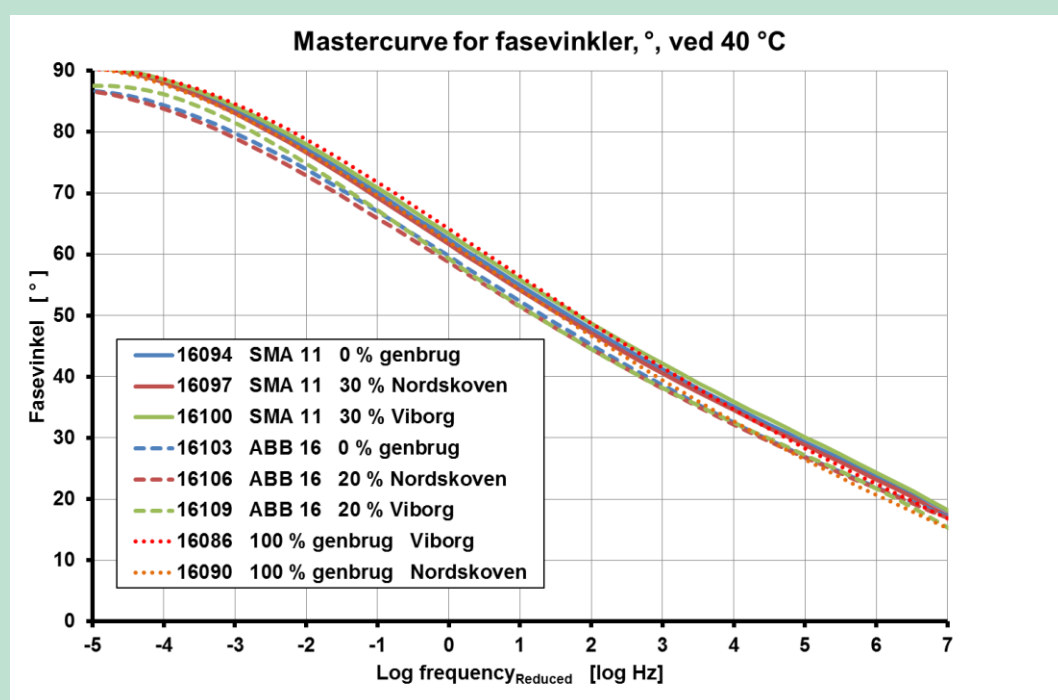
FIGUR 12.6.2 Dynamic Shear Rheometer (DSR) til bestemmelse af bitumenrheologi (foto: Vejdirektoratet)



FIGUR 12.6.3 Masterkurver for komplekst forskydningsmodul, G^* , for genindvundne bindemidler fra de seks undersøgte asfaltmaterialer, samt fra de to benyttede genbrugsmaterialer ved en referencetemperatur på 40 °C.

Med udgangspunkt i den justering, som skaber den kontinuerte masterkurve for det komplekse forskydningsmodul, G^* , kan den tilhørende fasevinkel afbildes på samme måde. Fasevinklen kan tolkes som graden af "struktur" i prøven, som varierer meget afhængigt af om der er tale om udgangsbitumen, genindvundet bindemiddel fra frisk produceret asfalt eller gammel vejbelægning. Indeholder bindemidlet endvidere modificeringsmidler som f.eks. polymerer eller andre "struktur-dannere" som f.eks. kunstvoks, kan resultatet af prøvningerne ændre sig fra kurver for fasevinklen mod frekvensen til punktsværme, som kan være vanskelige at tolke.

I laboratoriedelen af det foreliggende projekt indgår der ikke prøver, der indeholder polymerer, og selv om den anvendte kunstvoks (Sasobit) nok tilfører bindemidlerne for ABB-materialerne noget "struktur", giver det ikke årsag til de meget komplekse afbildninger.



FIGUR 12.6.4 Masterkurver for fasevinklen for genindvundne bindemidler fra de seks undersøgte asfaltmaterialer, samt fra de to benyttede genbrugsmaterialer ved en referencetemperatur på 40 °C

I forhold til de seks undersøgte materialer, er der også den vanskelighed ved præsentation af materialernes værdier, at SMA og ABB i sæt à tre varianter er tilstræbt at være identiske, hvilket yderligere gør det vanskelig at skelne mellem de enkelte typer og fremdrage karakteristika ved det enkelte bindemiddel.

Samlet set kan det generelt for de mange gennemførte bindemiddelanalyser siges, at der ikke er nogen "overraskelser" (specielt ingen negative fund) i de fremkomne prøvningsresultater.

12.7 Sammenfatning af laboratorieforsøgene

På baggrund af de i projektet hidtil gennemførte forsøg tegner der sig et positivt billede af mulighederne for at kunne opnå en mere bæredygtig og cirkulær asfaltproduktion i Danmark, gennem tilsætning af genbrugsasfalt i selv de mest "ædle" asfalttyper som SMA og ABB. Projektet har afdækket ligeværdige resultater for alle afprøvede funktionsegenskaber ved forsøgsvis tilsætning af op til 30 % sorteret slidlagsgenbrug. Dette er måske p.t. også en

"sund" naturlig grænse, da der forventeligt ikke vil være uanede mængder af egnet, affræset slidlagsgenbrug til rådighed i praksis, så det er bedre at kunne opnå en jævn slidlagsgenbrugsprocent på 30 % end en op/ned varierende med samme gennemsnitlige genbrugsprocent.

13. Fuldskala demonstrationsstrækning på Herning-Holstebro motorvejen

De hidtil beskrevne forsøg er alle baseret på laboratoriefremstillede blandinger af asfalt med op til 30 % slidlags-genbrugsasfalt. For at sikre, at konklusionerne også er holdbare ”i den virkelige verden”, indgår der i projektforsøget – for hver af de to asfalttyper, ABB og SMA – også en fuldskala-demonstrationsstrækning af det udviklede koncept, inklusive tilhørende referencebelægninger uden genbrug.

Det var projektgruppens ønske at finde en teststrækning, som var udsat for både tung og hurtigkørende trafik, så man kunne iagttage de forskellige belægningsvarianter i en ”worst case” situation. Efter en del søgning lykkedes det til sidst at finde en egnet strækning, som kunne indgå i et igangværende motorvejsbyggeri. På en del af den nye Herning - Holstebro motorvej, nærmere bestemt mellem Aulum og Sinding, blev der i 2016 udført en demonstrationsstrækning med en (kunstvoks-)modificeret ABB tilsat 25 % slidlagsgenbrug. Det anvendte genbrugsmateriale var helt lokalt, da det var affræset fra en tidligere motortrafikvej sydvest for Herning (sydvest for Snebjerg), som skulle nedlægges i forbindelse med motorvejsprojektet.



FIGUR 13.0.1. Udlægning af SMA med 30 % genbrugsasfalt på Herning-Holstebro motorvejen i juni 2017. Det var første gang at der blev udlagt SMA-slidlag med genbrugsasfalt på en dansk motorvejsstrækning. (Foto: TI).

Den udførte ABB-belægning blev uproblematisk udsat for lokal byggeplads- og landevejstrafik i perioden frem til sidst i juni 2017, hvor demonstrationsstrækningens SMA-slidlag med polymermodificeret bitumen (PmB) og 30 % genbrugsasfalt blev udlagt. Ved fremstillingen blev anvendt en speciel polymerbitumen med forhøjet polymerindhold som kompensation for, at genbrugsasfalten ikke indeholdt polymer. Der blev igen i forbindelse med SMA-

fuldskalaudlægningen, på samme vis som ved laboratorieblandingerne, konstateret samme niveau af bearbejdelighed og komprimeringsniveau uanset genbrugstilsætning eller ej. De efterfølgende underafsnit beskriver testforløbet mere indgående.

13.1 Demonstrationsstrækningen – opbygning og placering

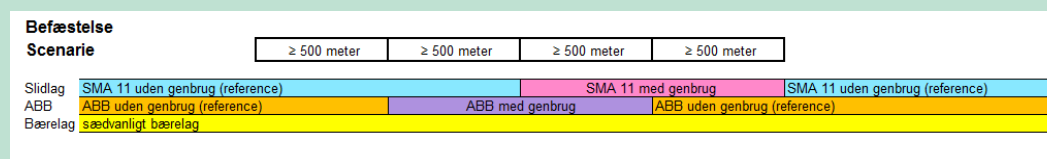
Den udvalgte motorvejsstrækningens trafikdata og forudsætninger for dimensioneringsberegninger var følgende:

- Trafiktal (Æ10): 11,33 mio. ækvivalente 10-ton aksler (Æ10) over 20 år, per spor.
- Dimensioneringsperioden: Minimum 20 års levetid.
- Trafikudvikling: Forudsætningerne for trafikberegningerne har været en trafikudvikling fra 2018-2025 på 1,35 % og fra 2025-2038 på 0,95 %.

Belægningsopbygningen på stedet var:

- SMA 80 kg/m² ~35 mm (skærvemastiksslidlag)
- ABB 160 kg/m² ~65 mm (asfaltbetonbindelag)
- GABII 360 kg/m² ~160 mm (grusasfaltbeton type II)
- SGII = 200 mm (stabilgrus type II)
- BLII = 340 mm (bundsikringslag type II)

Det er de to øverste asfaltlag, som på en delstrækning indgår i demonstrationsforsøget. Der var ønske om at opnå en forskudt placering af SMA og ABB med/uden genbrugsasfalt, så i alt 4 forskellige varianter efterfølgende kunne bedømmes.

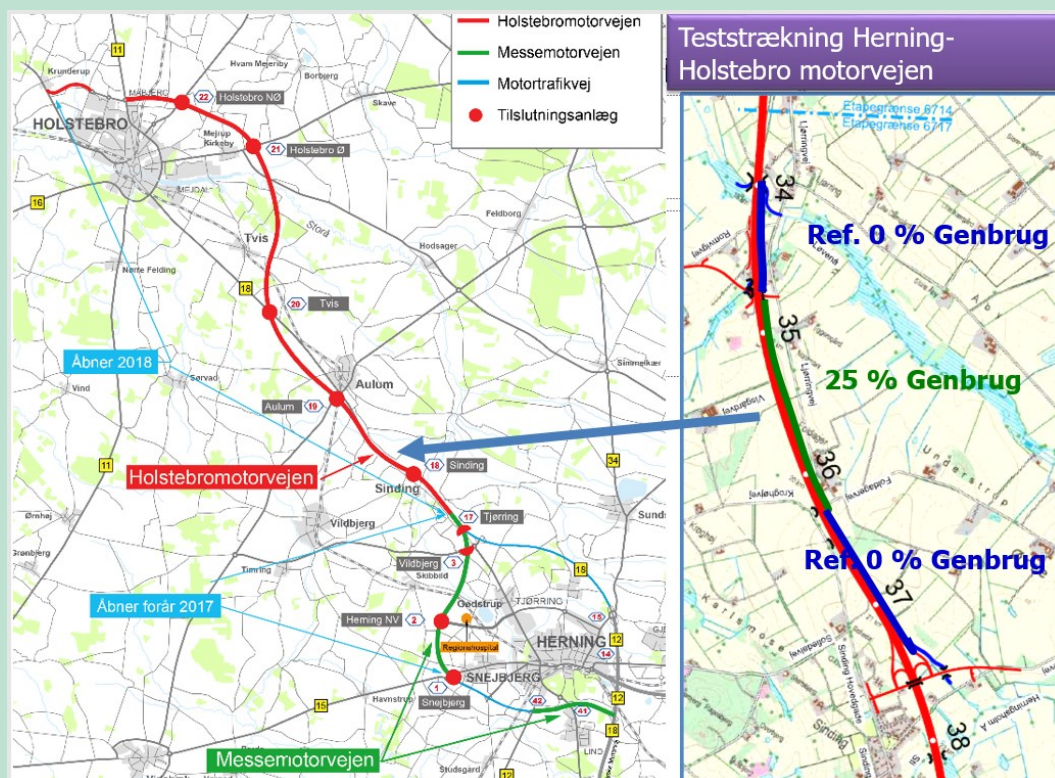


FIGUR 13.1.1. Principsskitse - Planlagt forskudt placering af belægningsvarianterne ved fuldskala demonstrationsstrækningen på Herning-Holstebro motorvejen, så alle 4 varianter efterfølgende kan vurderes

Figur 13.1.1 angiver den principielle opbygning, hvor SMA med/uden genbrug kan vurderes i kombination med ABB med/uden genbrug. Angående de enkelte delstrækningers blivende stationeringer henvises til den efterfølgende indsatte tabel 13.1.1. Da anlægsstationeringen er afvigende og modsatrettet den blivende stationering er der for god ordens skyld i tabellen også angivet eksakte GPS-koordinater for de respektive belægningsskift, så de senere vil kunne genfindes

På strækningen blev stykket med anlægsstationeringen fra ca. 34.740 til 36.760 udtaget til demonstrationsstrækningen. Da den eksisterende landevej også skulle indgå i linjeføringen for den nye motorvejsdel gav det udfordringer for udførelse af belægningsarbejdet.

Bindelaget af ABB 16 med kunstvoksmodificering blev på demonstrationsstrækningen (sydgående retning) udlagt i månedsskiftet juni/juli 2016. Herefter blev ABB laget på grund af trafikafvikling benyttet til at klare landevejstrafikken fra sommeren 2016 til sommeren 2017, hvor SMA 11 slidlaget blev udlagt. Derfor er ABB laget blevet udsat for trafik på en måde (både normal trafik og arbejdspladstrafik i et år), som ellers sjældent forekommer ved en konstruktion af motorvej, hvor begge retninger er nye. Dette gav således en unik mulighed for at iagttage ABB-lagets direkte påvirkning fra den rullende trafik.



FIGUR 13.1.2. Demonstrationsstrækningen udgør en delstrækning af motorvejsbyggeriets hovedentreprise 6717.200 på strækningen Aulum-Sinding, altså en mindre delmængde af Herning-Holstebro motorvejen. Genbrugsangivelserne i figuren til højre relaterer kun til ABB-laget.



FIGUR 13.1.3. Da det var første gang i Danmarkshistorien, at der blev udlagt et SMA-slidlag med 30 % genbrugsasfalt på en motorvej, var TV2 Midt/Vest's nyhedsreportere naturligvis på pletten for at forevige det bæredygtige initiativ. (Foto: TI).

TABEL 13.1.1. Sammenstilling af placeringsreferencer for demonstrationsstrækning Aulum-Sinding.

Slidlag	Bindelag	Anlægsstationering	Blivende stationering	GPS Latitude	GPS Longitude
SMA med 30 % genbrug	ABB REF	36,760	80,914 ^{a)}	56,22201435	8,839675867
		36,250	81,424 ^{a)}	56,22435569	8,831201487
	ABB med 25 % genbrug	36,250	81,424 ^{a)}	56,22435569	8,831201487
		35,750	81,967 ^{b)}	56,22726195	8,823517113
SMA REF	ABB med 25 % genbrug	35,750	81,967 ^{b)}	56,22726195	8,823517113
		35,250	82,424 ^{a)}	56,23002276	8,817434348
	ABB REF	35,250	82,424 ^{a)}	56,23002276	8,817434348
		34,740	82,934 ^{a)}	56,23299457	8,812255507

a) baseret på anlægsstationering af ABB-laget

b) baseret på visuel belægningsskifte i SMA 11 slidlaget

13.2 Lokalt genbrugsmateriale

De sidste 700 m af motortrafikvej 15 (ved messemotorvejen) op mod rundkørslen ved Snebjerg vest for Herning skulle fjernes, som et led i Herning-Holstebro motorvejens nye føring.



FIGUR 13.2.1. Placering af motortrafikvej ved Snejbjerg med genbrugsmaterialer til demonstrationsstrækningen

De ca. 700 meter, der blev fræset op, bestod delvis af en AB 11t (70 kg/m², 5,1 % bitumen 40/60, indhold ca. 16,5 % uknust sand 0/4), dels af en SMA 6+8 SRS (50 kg/m² støjreducer-

rende SMA med korn op til 8 mm). Det var oprindeligt meningen at strækningen skulle brækkes op for fjernelse, men af hensyn til Cirkulær Asfalt i Danmark projektet blev denne fremgangsmåde ændret til, at slidlaget skulle fræses af først, ned til oversiden af det underliggende ABB-lag. Slidlagsgenbruget blev senere nedknust og homogeniseret før anvendelse i forsøgsstrækningerne.

Fræsning i laggrænsen mellem slidlag og ABB-laget har ikke givet årsag til, at der er kommet spor af ABB-laget med i genbrugsasfalten. Ifølge YIT A/S skulle der ved affræsning af de omtalte ca. 700 meter slidlag være tilstrækkelig genbrug til både ABB og SMA belægningerne i demonstrationsforsøget med et indhold på 30 % genbrugsmateriale. Af de første 686 meter ville AB 11t belægningen udgøre ca. 11,5 % af det samlede genbrug. Et teoretisk overslag ville dermed give et indhold på ca. 1,9 % af uknust 0/4 fraktion i hele genbruget. Vejdirektoratet accepterede på grund af det minimale uknuste finfraktion, at genbruget kunne anvendes til formålet.

For at sikre at der skulle være tilstrækkeligt med genbrug til at opnå 30 % i SMA 11 slidlaget, blev det senere besluttet at benytte 25 % genbrug i ABB-laget. Denne beslutning var alene begrundet i mængdebetræktninger.

13.3 Basisdata fra strækningernes produktion

I det følgende er sammenlignende opstillet de fundne basisdata for henholdsvis ABB- og SMA-strækningerne med/uden genbrugsasfalt.

13.3.1 ABB 16, $\text{AE}_{10} > 500$ (kunstvoksmodificeret)

Bindelaget på demonstrationsstrækningen Aulum-Sinding, som blev udført sommeren 2016, er et asfaltermateriale af typen asfaltbetonbindelag type 16 (op til 16 mm stenmateriale) til tung trafikbelastning med $\text{AE}_{10} > 500$, hvorfor asfalten blev udført med bindemiddelmodificering. Specifikationen for ABB 16 $\text{AE}_{10} > 500$ henholdsvis med og uden genbrug ses i Bilag 1.

Kontroldata fra udlægningen viser:

ABB 16 (reference)	ID nr.: recept 2900	
Hulrum	middel = 5,4 %	tolerance = 6,1%
Komprimering	middel = 97,5 %	tolerance = 96,7 %
ABB 16 med 25 % genbrugsasfalt	ID nr.: recept 0010	udlagt 28-06-2016
Hulrum	middel = 4,8 %	tolerance = 5,2 %
Komprimering	middel = 97,8 %	tolerance = 97,3 %
ABB 16 med 25 % genbrugsasfalt	ID nr.: recept 0010	udlagt 30-06-2016
Hulrum	middel = 4,6 %	tolerance = 5,0 %
Komprimering	middel = 98,2 %	tolerance = 97,8 %

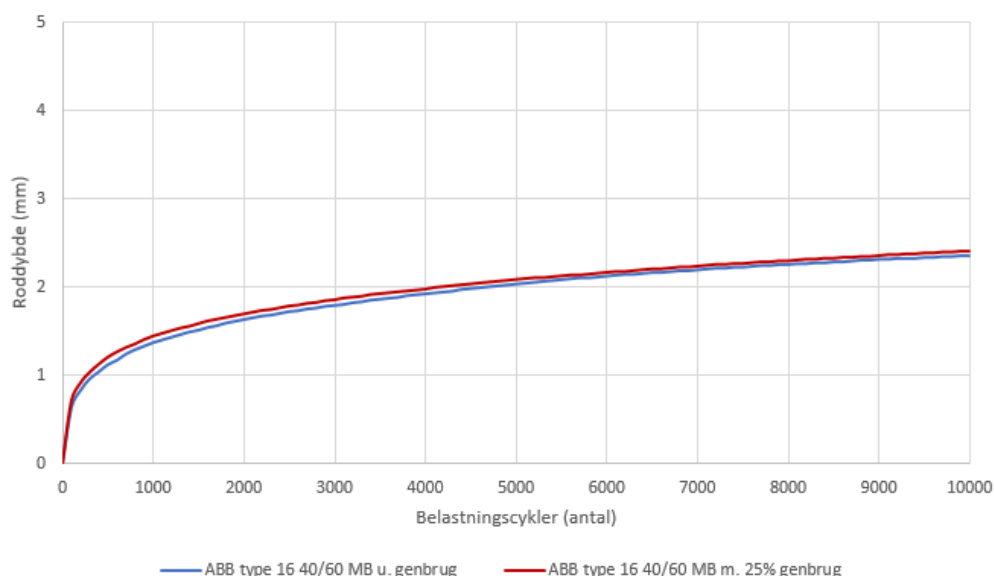
Det ses af ovenstående, at der er opnået omtrent ens data for ABB med/uden 25 % af den anvendte, lokale slidlags-genbrugsasfalt, når man betragter det indbyggede hulrum og den opnåede komprimeringsgrad. Strækningerne kan således benyttes som forventet til en relativ sammenligning.

Det ensartede niveau kan samtidigt bekræfte de i et tidligere afsnit af rapporten omtalte gyrtorforsøg til vurdering af materialernes bearbejdighed, som i begge tilfælde findes ens, uafhængig af genbrugstilsætning.

Sporkøringstest på ABB type 16 Æ 10>500

40/60 Special

EN 12697-22, Small size device, procedure B i luft. Temperatur 60°C. Lagtykkelse 6 cm.



Spordybde mm	ABB type 16 40/60 MB u. genbrug	ABB type 16 40/60 MB m. 25% genbrug
Efter 1.500 cykler	1,51	1,59
Efter 10.000 cykler	2,35	2,41
Stigning	0,84	0,82
Efter 5.000 cykler	2,03	2,09
Efter 10.000 cykler	2,35	2,41
WTS (mm/1000 cykler)	0,064	0,064
Komprimering %	99,5	99,8

FIGUR 13.3.1. Sporkøringstest på ABB 16 med/uden 25 % slidlags-genbrugsasfalt. Der opnås helt ligeværdig sporkøringsmodstand og stabilitet.

Som det fremgår af figur 13.3.1 er der opnået identisk sporkøringsresistens for varianterne med/uden 25% genbrugsasfalt. Selv wheeltracking slope'n (WTS), som er et udtryk for tendensen til fortsat (fremtidig) sporkøring, er helt ens og i øvrigt meget lav. Asfaltmaterialeerne er produceret og udtaget på asfaltfabrikken i forbindelse med udlægning af demonstrationsstrækningen Aulum-Sinding den 28/6 – 1/7 2016.

13.3.2 SMA 11 med PmB

Slidlaget på demonstrationsstrækningen Aulum-Sinding er udført med et asfaltmateriale af typen skærvemastiks type 11 (maksimalkornstørrelse 11 mm sten) med forud-fremstillet polymermodificeret bitumen af elastomertypen. Der er anvendt polymermodificeret bitumen med forskelligt indhold af polymer i henholdsvis referencen og i varianten med genbrug, for at kompensere for det manglende polymerindhold i bitumenen fra genbrugsasfalten.

Specifikationen for SMA 11 henholdsvis med og uden genbrug ses i Bilag 1.

Kontroldata fra udlægningen viser:

SMA 11 (reference)

ID nr.: recept 8530

Hulrum

middel = 5,4 %

tolerance = 6,1%

Komprimering

middel = 96,8 %

tolerance = 96,0 %

SMA 11 med 30 % genbrugsasfalt

ID nr.: recept 8540

Hulrum

middel = 5,0 %

tolerance = 5,6 %

Komprimering

middel = 97,8 %

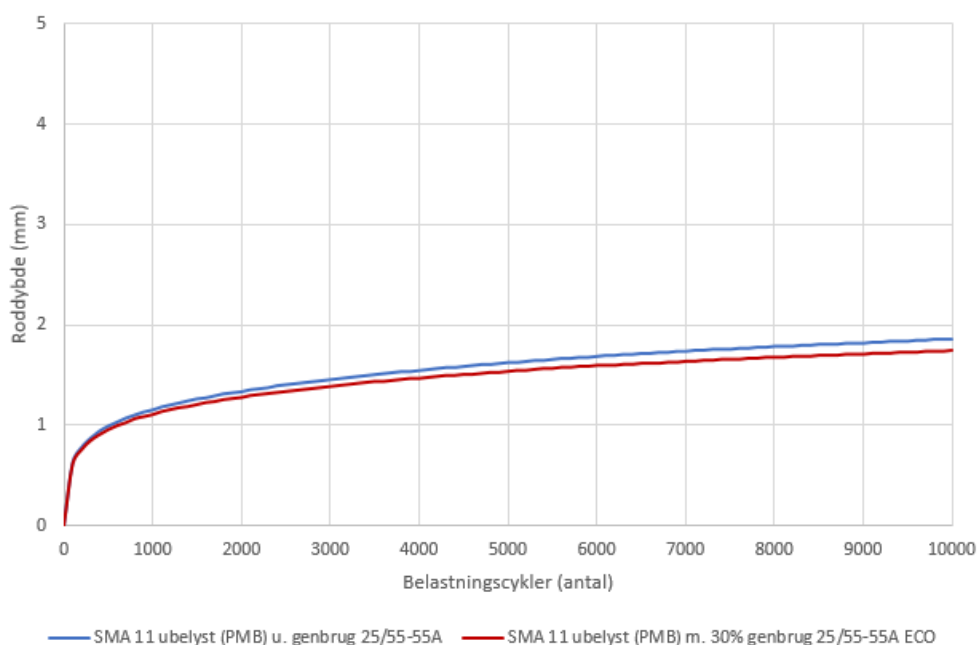
tolerance = 97,1 %

Af ovenstående ses igen, at der er opnået omtrent ens data for SMA 11 med/uden 30 % genbrugsasfalt, når man betragter indbygget hulrum og komprimering. Strækningerne kan således benyttes som forventet til den fremtidige, relative sammenligning. Endelig skal det bemærkes, at der umiddelbart før slidlagsudlægningen ikke visuelt kunne observeres forskelle i slitage/udseende for de to ABB-varianter med/uden genbrug.

Sporkøringstest på SMA 11 ubelyst pmb.

Jomfruelig med 25/55-55A og 30% slidl.genbrug med 25/55-55A ECO

EN 12697-22, Small size device, procedure B i luft. Temperatur 60°C. Lagtykkelse 4 cm.



Spordybde mm	SMA 11 ubelyst (PMB) u. genbrug 25/55-55A	SMA 11 ubelyst (PMB) m. 30% genbrug 25/55-55A + ECO
Efter 1.500 cykler	1,26	1,21
Efter 10.000 cykler	1,85	1,75
Stigning	0,59	0,54
Efter 5.000 cykler	1,62	1,54
Efter 10.000 cykler	1,85	1,75
WTS (mm/1000 cykler)	0,046	0,042
Komprimering %	99,6	99,2

FIGUR 13.3.2. Sporkøringstest på SMA 11 med/uden 30 % slidlags-genbrugsasfalt. Der opnås helt ligeværdig sporkørings-modstand og stabilitet.

Det ses af figur 13.3.2, at der ikke er signifikant forskel på sporkøringsmodstanden for SMA 11 produceret med/uden 30 % slidlags-genbrugsasfalt, hvor varianten med genbrugsasfalt faktisk synes marginalt bedre. Selv wheeltracking slope'n (WTS), som er et udtryk for tendensen til fortsat sporkøring, er praktisk taget identisk og meget lav. Asfaltmaterialerne er produceret og udtaget på asfaltfabrikken i forbindelse med udlægning af demonstrations-strækningen Aulum-Sinding 28/6 – 1/7 2017. Det konkluderes således, at genbrugstilsætningen på disse parametre er "risikofri".

På samme vis kunne der heller ikke efter udlægningen visuelt observeres signifikante forskelle på belægningsoverfladernes tekstur (grovhed) eller homogenitet med/uden genbrugstilsætning.



FIGUR 13.3.3. SMA 11 med polymermodificeret bitumen og 30 % genbrugsasfalt - Meget ensartet udseende bag udlæggeren og ingen tegn på afblanding eller klumper. (Foto: TI).

13.4 Vurdering af materialernes egenskaber og holdbarhed ud fra stivhedsmodul og udmattelsestest

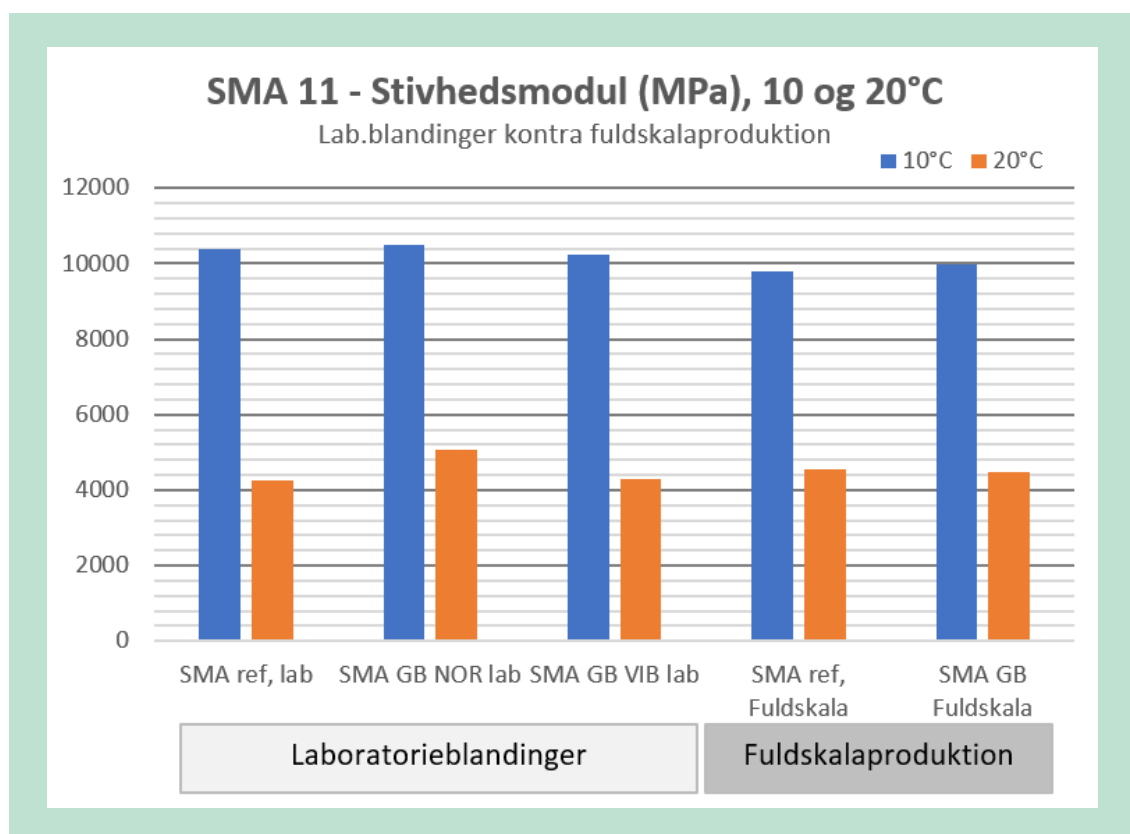
Under de i forrige afsnit afrapporterede laboratorieforsøg blev det blandt andet dokumenteret, at der hverken stivhedsmæssigt eller udmattelsesmæssigt var signifikante forskelle på belægningsvarianterne med/uden genbrugsasfalt. Umiddelbart blev det derfor ikke vurderet nødvendigt at gentage disse omfattende tests på tilsvarende materialer fra fuldskalastrækningen.

Det skal dog skyld bemærkes, at der for SMA-slidlaget er forskelle på laboratorieblandingerne og de endeligt anvendte asfaltsammensætninger, idet SMA-slidlaget i laboratorieblandingerne var fremstillet med normal 40/60 vejbitumen, hvorimod der på fuldskalastrækningen blev benyttet en forud fremstillet 25/55-55A polymerbitumen. Genbrugsasfalten til fuldskalastrækningen indeholdt dog ikke polymerer. For at kompensere for det manglende polymerindhold i den anvendte genbrugsasfalt, blev der derfor, til fremstilling af SMA 11 med 30% genbrugsasfalt, anvendt en bitumen 25/55-55A+ECO, som indeholder ekstra polymer, så den færdige genbrugsasfaltholdige asfalt kunne opnå det samme resulterende polymerindhold med/uden genbrugsasfalt.

For at kunne dokumentere, at projektets implementerede teknologi og fremgangsmåder også er anvendelig for asfalt med polymerbitumen blev det derfor besluttet at gennemføre supplerende stivhedsmodultests og udmattelsestests på materialer udtaget fra fuldskala-SMA-produktionen fra motorvejsstrækningen. I forbindelse med gennemførelsen af disse tests løb projektet dog ind i nogle komplikationer, idet Vejdirektoratets vejlaboratorium, som var udset til at gennemføre disse tests, blev lukket og bortsolgt. Teknologisk Institut besluttede derfor at investere i en ny, avanceret multitestmaskine, som kunne gennemføre disse tests. Desværre opstod der efterfølgende både leveringsforsinkelser og en række uforudsete indkøringsproblemer med udstyret, som forårsagede en yderligere udskydelse af projektafslutningen frem til september 2018.

De opnåede laboratoriedata fra test på fuldskala-produceret materiale fra Herning-Holstebro motorvejen er gengivet i det følgende. I den grafiske datafremstilling er fuldskala-testdata opstillet sammen med de tidligere fundne data for laboratorieblandinger. Det skal erindres, at der ikke er tale om eksakt identiske materialer, idet der ved laboratorieblandingerne blev anvendt en standard bitumen 40/60, hvorimod fuldskala-produktionen af SMA 11 er gennemført med en polymermodificeret bitumen. Det skal desuden bemærkes, at hvor laboratorieblandingerne er gennemført med de to genbrugskilder "Nordskoven (NOR)" henholdsvis "Viborg" (VIB), er fuldskalaproduktionen gennemført med anvendelse af lokalt affræset slidlags-genbrugsasfalt fra Snebjerg ved Herning.

13.4.1 Stivhedsmodul på fuldskalaproduceret asfalt



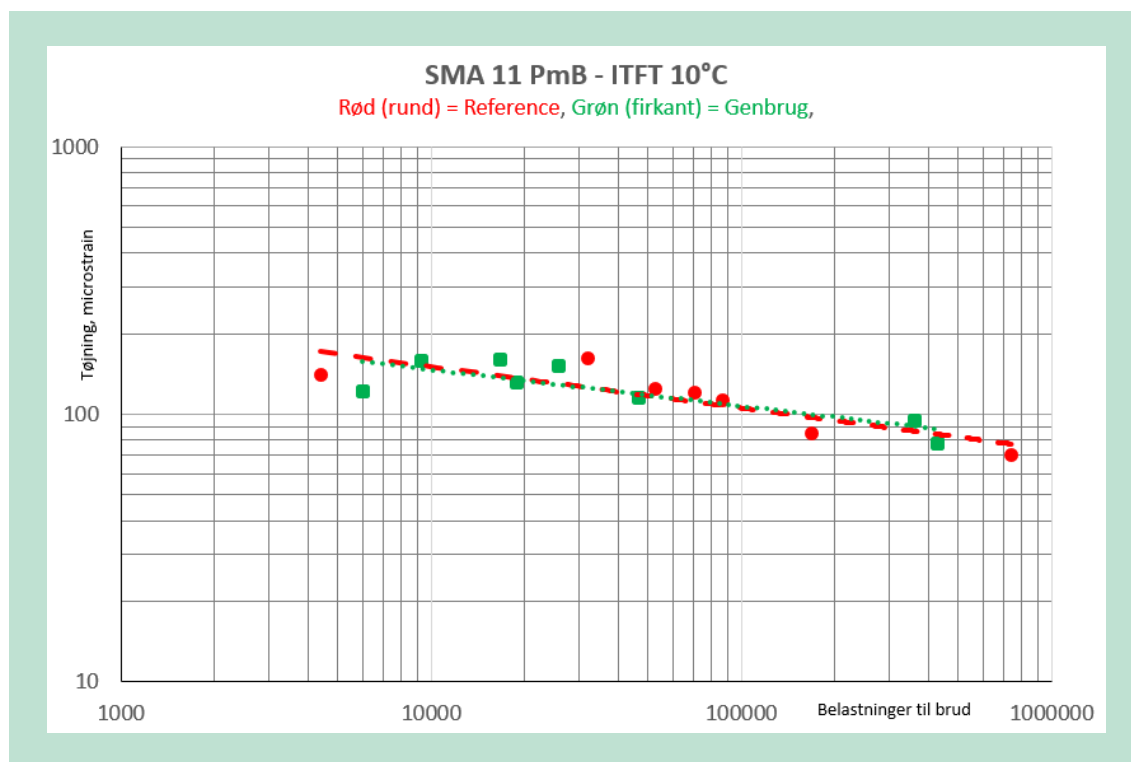
FIGUR 13.4.1. Stivhedsmodul (Resilient modulus, jf. DS/EN 12697-26 Annex C) for SMA 11 ved henholdsvis 10 og 20 °C. De tre søjlesæt til venstre stammer fra test af de indledende laboratorieblandinger, hvorimod de to søjlesæt til højre stammer fra supplerende test på materiale fra fuldskalaproduktion.

Det fremgår af figur 13.4.1 at der trods forskelle i genbrugskilde generelt er stor overensstemmelse imellem laboratorieblandingeres resultater og de fra fuldskalaproduktionen opnåede stivhedsdata. Ligeledes – og væsentligst – ses desuden, at der heller ikke for fuldskalaproduktionen ses signifikant forskel på referencebelægningen og varianten med 30% slidlagsgenbrug. Den foreløbige konklusion fra denne rapport afsnit 12.3 (laboratorieblandinger) er således bekræftet også at være gældende for en reel fuldskala-asfaltproduktion. Ligeledes kan det konkluderes, at der hverken opnås utilstrækkelig stivhed (bæreevne) ved 20°C eller for stor stivhed (kuldeskørhed) ved 10°C. Der ses således ingen signifikant forskel på stivhedsmodulet ved tilsætning af 30% slidlagsgenbrugsasfalt i "ædle" SMA 11 slidlag.

Det skal samtidigt bemærkes, at kompensation for manglende polymerindhold i de tilsatte 30% genbrugsasfalt fint kan foretages ved at anvende en polymerbitumenvariant med tilsvarende ekstra polymerindhold, så det resulterende polymerindhold i asfalten med 30% genbrug bliver på samme niveau som for den jomfrueligt fremstillede referencebelægning.

13.4.2 Udmattelsestest på fuldskalaproduceret asfalt

I forbindelse med prøveudtagningen fra fuldskalaproduktionen ved udlægningen af teststrækningen på en del af Herning-Holstebro motorvejen blev det besluttet, at der også skulle udføres fornyet udmattelsestest på SMA-materialerne herfra.



FIGUR 13.4.2. Udmattelsestest (fatigue test, DS/EN 12697-24 Annex E) ved 10°C på materiale fra fuldskalaproduktionen af skærvemastiks, SMA 11, til Herning-Holstebromotorvejen.

Det skal for god ordens skyld bemærkes, at de her omtalte udmattelsestests er udført på en anden type udstyr end de under laboratorieblandingerne omtalte, hvorfor data ikke er direkte sammenlignelige med data afleveret i afsnit 12.4.2. Det vigtige er således den relative sammenligning imellem varianterne fra fuldskalastrækningen med/uden genbrugsasfalt. De opnåede data fremgår af figur 13.4.2.

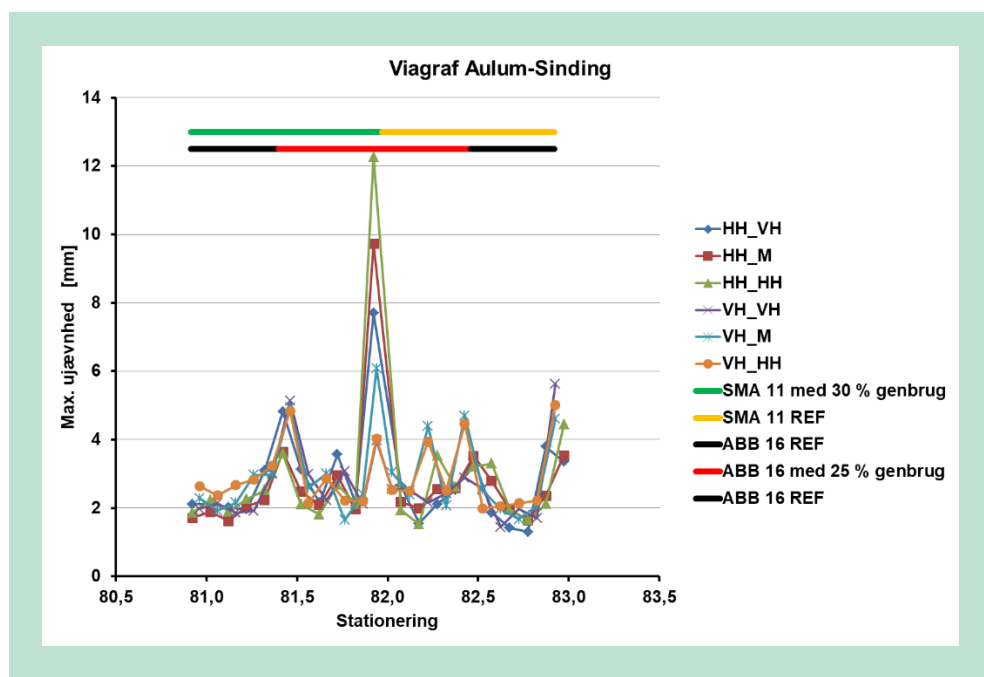
Det fremgår af figur 13.4.2, at det på baggrund af det foreliggende datamateriale må konkluderes, at der ikke ses nogen negativ effekt ved tilsætning af 30 procent ikke-polymermodificeret slidlagsgenbrugsasfalt i en ny SMA 11 skærvemastiks med polymermodificeret bitumen, når der ved produktionen med genbrug kompenseres for polymerindholdet ved anvendelse af ny bitumen med tilsvarende ekstra polymerindhold. Der kan således forventes samme levetid uanset om der tilsættes op til 30 procent slidlagsgenbrug.

13.4.3 Samlet konklusion på laboratorietests af fuldskalabelægninger

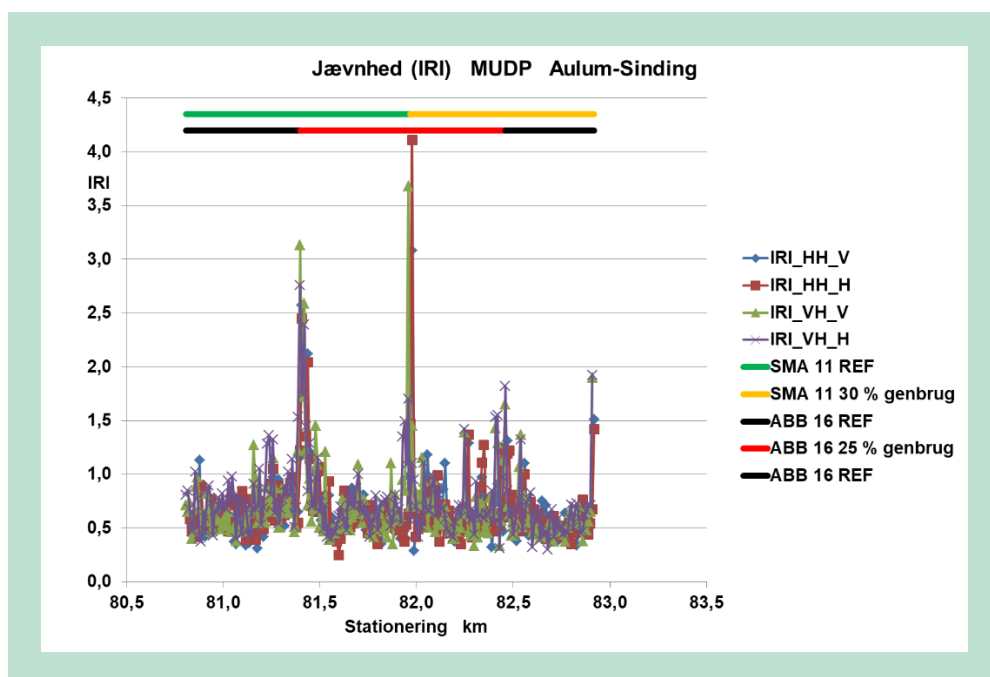
Overordnet set må det på baggrund af de gennemførte udmattelses- og stivhedsmodul-tests konkluderes, at der ikke ses indikationer af forringede egenskaber. Hovedkonklusionen er fortsat, at der opnås samme forventelige funktionalitet og holdbarhed, uanset om der tilsættes 30% slidlagsgenbrugsasfalt eller ej.

13.5 Jævnhedsmålinger

Der er den 27. juli 2017 målt med Vejdirektoratets Profilograf på SMA-strækningerne, hvilket har givet værdier for omregnede Viagraf-tal og IRI-tal (International Roughness Index). Målingerne er foretaget under trafikafviklingen med reference til anlægsstationering i forhold til højre og venstre vejside, hvilket betyder, at HH svarer til Sydøst gående tungt spor og VH svarer til Sydøst gående let spor. Vejreglernes jævnhedskrav til Viagraf-målingerne er overholdt for begge delstrækninger, men der er dog en enkelt måling i det tunge spor ved belægningsskiftet fra SMA 11 REF til SMA 11 30 % genbrug, som er større end det normalt tilladte (uden betydning ved den relative sammenligning).



FIGUR 13.5.1. Viagraf - max. ujævnhed [mm] med angivelse af demonstrationsstrækningens opdeling (blivende stationering).

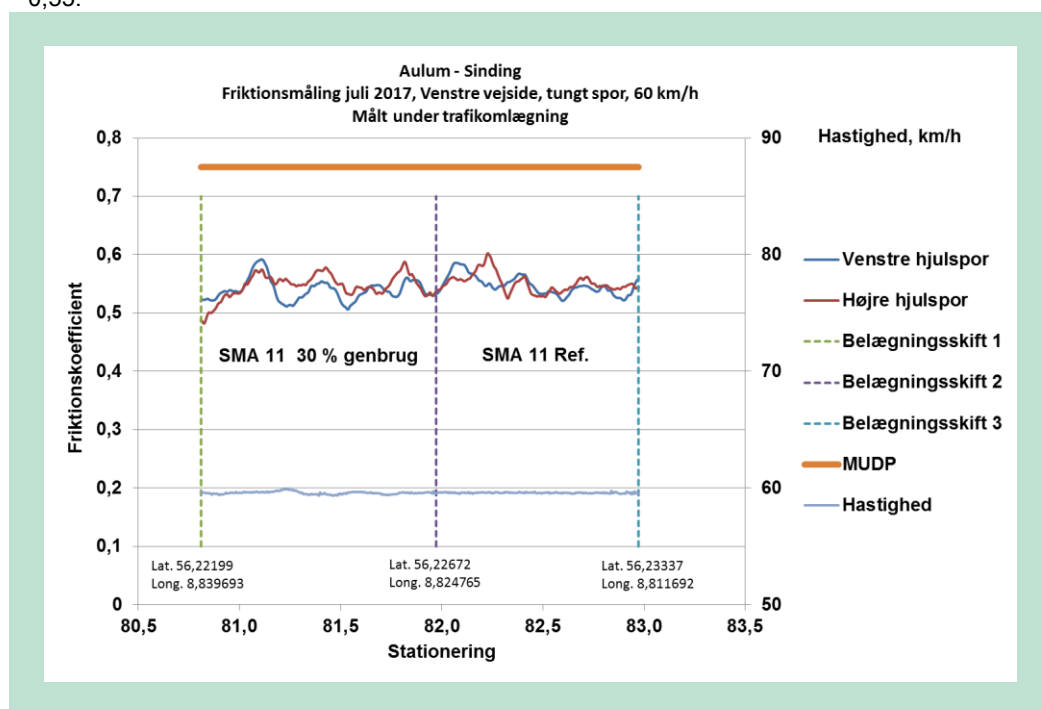


FIGUR 13.5.2. International Roughness Index (IRI) med angivelse af demonstrationsstrækningens opdeling. (HH = tungt spor; HV = let spor; H = højre hjulspor; V = venstre hjulspor)

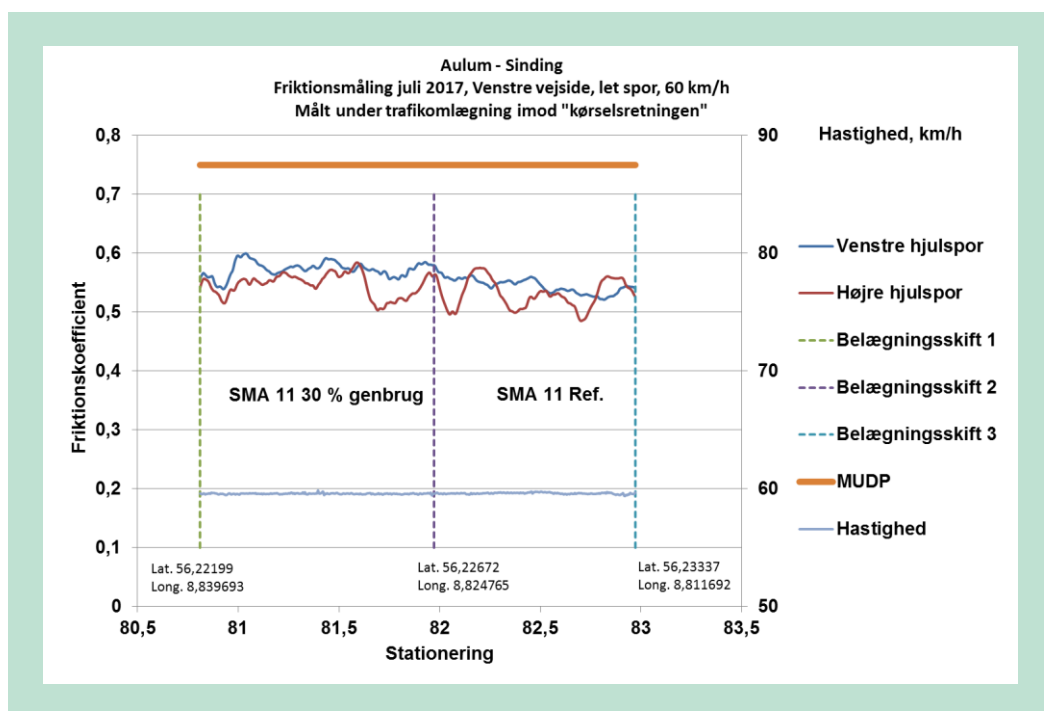
Konklusionen er, at der ikke ses afgørende variationer imellem strækning med/uden genbrug.

13.6 Friktion

Der er målt friktion med Vejdirektoratets målekøretøj, VIAFRIC, på strækningen den 27. juli 2017. Resultaterne ses i efterfølgende figurer. Den overordnede friktionsværdi ved 60 km/h er 0,55.



FIGUR 13.6.1. Friktionsmåling ved 60 km/h sydøst gående retning i tung spor (målt i samme retning som kørselsretning for motorvejen)

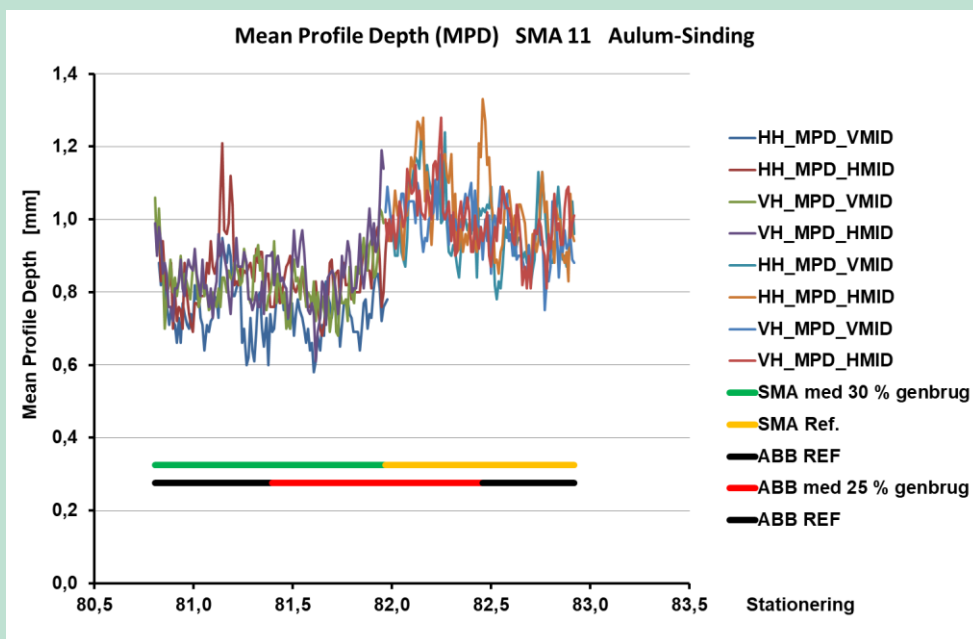


FIGUR 13.6.2. Friktionsmåling ved 60 km/h sydøst gående retning i let spor (målt i modsat retning af kørselsretning for motorvejen).

Det fremgår af graferne, at begge varianter (med/uden genbrug) ligger på omtrent samme friktionsniveau på 0,55 og dermed overholder vejregelkravet om mindst 0,5, til trods for at der måles kort tid efter udlægning, hvor bindemiddelhinderne i toppen endnu ikke er afslidte.

13.7 Tekstur, MPD

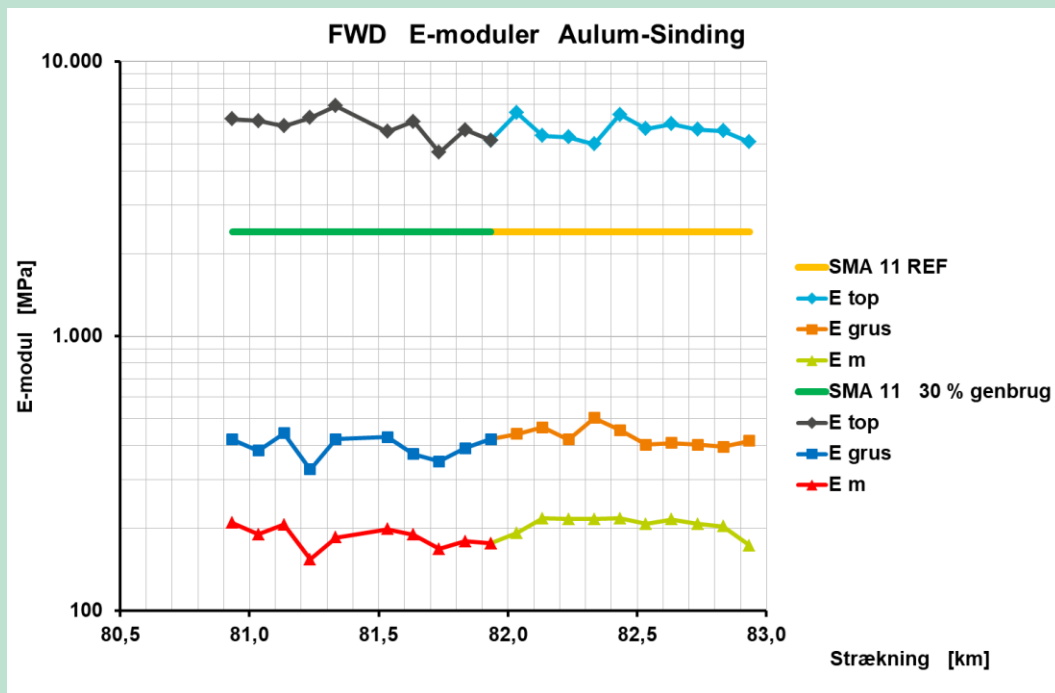
På baggrund af Profilograf-målingerne den 27. juli 2017 er teksturen af de to slidlagsvarianter beregnet. Resultaterne fremgår af figur 13.6.1, udtrykt som Mean Profile Depth, MPD-tal. Der er lidt forskel på MPD for de to belægninger, idet middelværdien for SMA 11 med 30 % genbrug er 0,82, mens den for SMA 11 REF er 0,99. Genbrugsvarianten er således en anelse tættere i overfladen, hvilket dog ikke har påvirket friktionen (jf. forrige afsnit), men måske er et udtryk for den svagt bedre opnåede komprimering.



FIGUR 13.7.1. Tekstur (Mean Profile Depth, MPD) af SMA 11 Aulum-Sinding (HH = tungt spor; HV = let spor; HMID = højre hjulspor; VMID = venstre hjulspor)

13.8 Bæreevne, FWD

Der er udført bæreevne målinger på strækningen efter udlægning af skærvemastiks slidlaget med faldlodsmåler (Falling weight Deflectometer, FWD). Figur 13.8.1 viser de beregnede E-moduler. Der ses ikke nævneværdig forskel på E_{top} værdierne, dog synes den genbrugsholdige variant at have svagt højere E-modul/bæreevne.



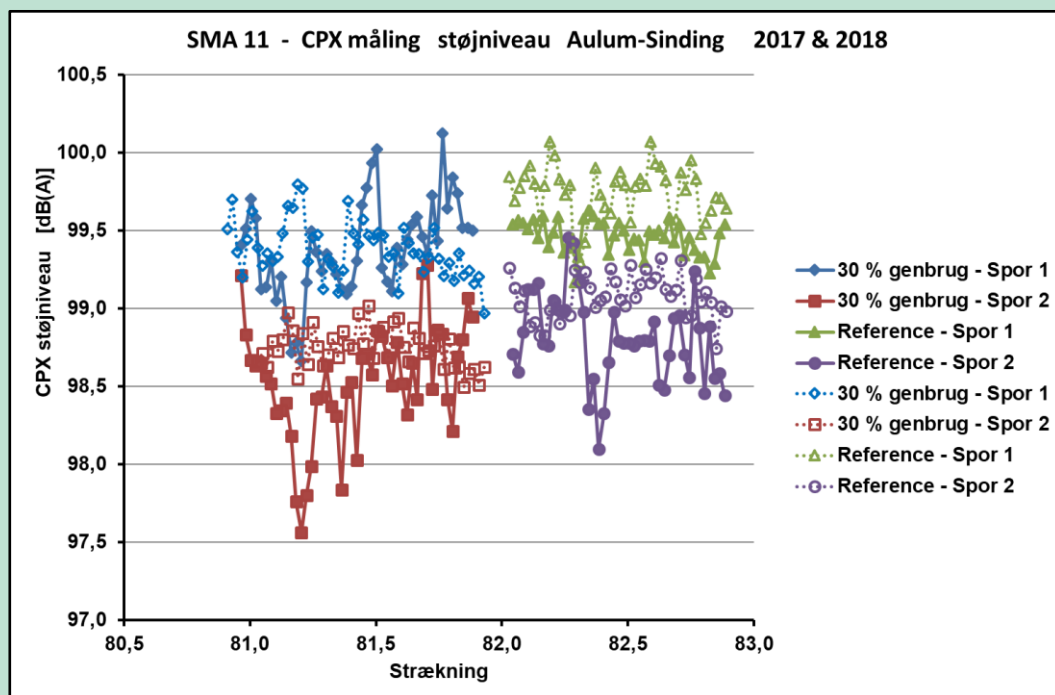
FIGUR 13.8.1. E-moduler på laggrænser bestemt med back-calculation på baggrund af FWD-målinger på Aulum-Sinding

13.9 Emission af trafikstøj

Der er i projektet udført støjemissionsmålinger på SMA-slidlagsbelægningerne efter den såkaldte CPX-målemetode (Close Proximity). Målingerne er udført med Vejdirektoratets "deci-Bella" støjmåletrailer, hvor mikrofoner monteret ved siden af hjulene opfanger den genererede dæk/vejstøj. Der blev indledningsvis udført målinger den 10. juli 2017. Disse målinger blev dog udført ganske kort tid efter udlægning af slidlaget - og dermed inden bitumenhinderne i nævneværdig grad var blevet slidt af toppen af belægningerne. Det var derfor muligt, at resultatet herfra ikke er helt retvisende for belægningerne. CPX-målinger 6-8 uger efter udlægning blev forsøgt gennemført, men vejrlig (regn, fugt, saltning) forhindrede det, indtil det medio oktober 2017 blev opgivet for indeværende år. Der blev derfor først udført supplerende CPX-målinger på samme strækninger den 13. juni 2018, altså omtrent et år efter slidlagsudlægningen.

TABEL 13.9.1. Støjemission ved 20 °C med spredning og variationskoefficient for demonstrationsstrækningens SMA 11 slidlag

Måledato	Belægning og spor	Støjemission dB(A)	Spredning dB(A)	Variationskoefficient %
2017-07-10	SMA 11 REF - spor 1	99,46	0,10	0,10
	SMA 11 REF - spor 2	98,80	0,29	0,29
	SMA 11 30 % GB spor 1	99,38	0,32	0,32
	SMA 11 30 % GB spor 2	99,53	0,37	0,37
2018-06-13	SMA 11 REF - spor 1	99,74	0,19	0,19
	SMA 11 REF - spor 2	99,08	0,14	0,14
	SMA 11 30 % GB spor 1	99,38	0,18	0,18
	SMA 11 30 % GB spor 2	98,75	0,13	0,13



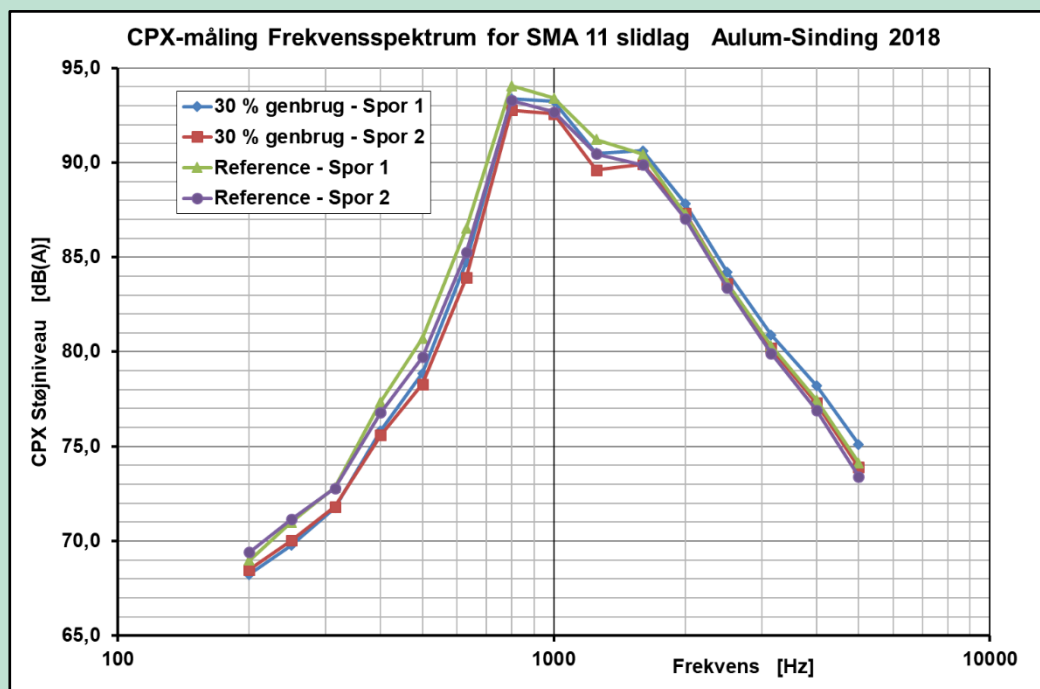
FIGUR 13.9.1. CPX-støj ved 50 km/h for SMA 11 målt i 2017 (med bitumenhinder) og 2018 (efter ca. 1 års trafik) på strækningen Aulum-Sinding. De lukkede symboler og fuldt optrukne linjer er 2017-værdier og de åbne symboler og punkterede linjer 2018-værdier.

Der synes kun at være begrænset forskel på 2017 og 2018 værdierne, men lavere spredning i 2018. Mere signifikant er forskellen på 0,7 dB(A), mellem målingerne for spor 1 og 2, fundet ved begge måletidspunkter og for begge materialer. Begge kørespor blev udlagt samtidigt af én asfalteringsmaskine med dobbelt bredde strygejern, hvilket skulle medføre ensartede udlægningsforhold i begge spor. Fra andre målinger på støjreducerende slidlag er det dog et ofte observeret fænomen, at spor 1 (tunge spor) udvikler en lidt større støjemission end spor 2 (lette spor). Fænomenet tilskrives lastbiltrafikens påvirkning af teksturen i det tunge spor.



FIGUR 13.9.2. Vejdirektoratets "deciBella" CPX støjmåletrailer med mikrofoner ved hjulene.

Frekvensspektret for de to asfaltmaterialer er tilnærmelsesvis ens, men SMA 11 referencen har en marginalt højere støjemission end SMA 11 med 30 % genbrug. Det fremgår af Figur 13.9.3 at forskellen skal findes i det lavfrekvente område (under 1.000 Hz), hvor det er bidraget fra vibrationsstøj i dækkenes sider der dominerer. Efter afslidning af bitumenhinderne er forskellen i frekvensspektrummet for henholdsvis spor 1 og 2 fra 2017 i frekvensområdet fra 800 Hz til 2.000 Hz blevet næsten udvisket ved målingen i 2018.



FIGUR 13.9.3. Frekvensspektrum for SMA 11 med og uden genbrug for henholdsvis tungt og let spor (dvs. spor 1 og 2)

Som det ses af figur 13.9.3 ses praktisk taget sammenfaldende frekvensspektre med kun marginale forskelle. Det kan (som forventet) konkluderes, at genbrugstilsætning ikke har haft nogen negativ indflydelse på SMA-belægningens støjemission under trafikpåvirkning.

13.10 Konklusion på demonstrationsstrækningen

Der blev igen i forbindelse med SMA-fuldskalaudlægningen konstateret samme niveau af bearbejdelighed og komprimeringsniveau uanset genbrugstilsætning eller ej, ligesom der ikke fremtræder visuelle forskelle. De omfattende laboratorieprøvninger, og målinger fra Aulum-Sinding motorvejsstrækningen bekræfter, at der opnås ligeværdige data for SMA-referencetrækningen og SMA-strækningen med 30 % slidlagsgenbrug.

14. Supplerende afprøvning

Dette afsnit omfatter en belysning af nogle supplerende spørgsmål om bindemiddelegenskaber ved genbrugsasfalttilsætning, som er opstået i forbindelse med diskussioner under projektets gennemførelse efter afslutningen af fuldskalastrækningerne.

14.1 Homogenitet af genbrugsblandinger

Et emne, som ofte dukker op, når der tales om varmblandet asfalt med genbrugsasfalttilsætning, er hvor god en blanding, der i praksis vil kunne opnås imellem de jomfruelige og de gamle materialer. Indblanding af nye hvide skærver sammen med genbrugsasfalt med mørke skærver kan hurtigt eftervise, at der opnås en homogen distribution – men hvordan forholder det sig med hensyn til bindemidlet? Skeptikere anfører, at der måske kunne være risiko for at der ved indblanding af genbrugsasfalt opstår et to-fase system, hvor den gamle genbrugsasfalts komponenter ligger for sig selv, så der ikke opnås en homogen sammenblanding af det gamle og nye bindemiddel.



FIGUR 14.1.1: Et ofte stillet spørgsmål er om den resulterende asfaltblanding med genbrugsasfalt opnår et homogent blandet bindemiddel. I dette rapportafsnit fokuseres på at dokumentere asfaltblandingsens homogenitet. (Foto: TI)

For at belyse dette nærmere, har projektdeltageren YIT Danmark gennemført en specialsammensat asfaltproduktion på en fuldskala-asfaltfabrik. Som ovenfor nævnt kan det visuelt nemt bedømmes på stentypen/-farven om der er sket en homogen sammenblanding af stenmaterialerne fra genbrugsasfalten og de jomfruelige stenmaterialer. Værre er det for bitumen, hvor der visuelt ikke er forskel på den gamle og nye, sorte bitumen. Her kan man til gengæld benytte bitumenhårdheden som en indikator. Da genbrugsasfaltens bitumen normalt er relativt hård, kan man ved blanding med ny, blød vejbitumen vurdere, om der er sket en sammenblanding eller ej.

Ved det gennemførte fabriksblandingsforsøg blev der på asfaltværket blandet slidlagsgenbrug 0/8 mm og jomfruelige, store Hyperit 11/16 mm klippesten og blød bitumen 330/430. Ved efterfølgende opsigtning af blandingen over en 11-mm sigte blev det undersøgt, hvorvidt bitumen fra genbrugsasfalten var blevet blandet homogent med den bløde bitumen. Er der sket en homogen blanding, vil materialet mindre end 11 mm have samme blødhedspunkt K&R som materialet større end 11 mm.

Forsøgets fremgangsmåde og enkelte trin fremgår af det følgende:

Materialet blev produceret og udtaget på YIT's Tinglev-fabrik 20. december 2017.

Der blev anvendt slidlagsgenbrug 0/8 mm indeholdende 5,3% bitumen, K&R=62 °C.

Man blandede en sammensætning bestående af 70 % Hyperit 11/16 mm klippesten og 30% Slidlags Genbrug 0/8 mm (hvilken bidrager til blandingen med 1,6% bitumen).

Der tilsættes derfor yderligere 1,6 % ny blød bitumen 330/430, K&R 35 °C.

Receptens beregnede bitumenindhold blev således 3,2 %, og det beregnede blødhedspunkt for det blandede bindemiddel blev på 48,4°C.

Blandetemperaturen var sat til 145-165°C (men blev i praksis en anelse lavere).

Anvendt blandetid: Ingen tørblandetid. Vådblandetid (blanding med bitumen) i 40 sekunder.

De udtagne prøvekasser af den færdigblandede asfalt blev afslutningsvis genopvarmet i laboratoriet og sigtet over en 11-mm sigte.

Hver del blev analyseret for sig med hensyn til K&R, bit. % og sigtekurve.

Resultaterne fremgår af tabellen.

TABEL 14.1.1: Sammensætning af delfraktion større/mindre end 11 mm sammenholdt med de to "udgangsmaterialer"

Fraktion	Materiale < 11 mm	Materiale > 11 mm	Slidlags GB 0/8	Hyperit 11/16
Bindemiddel %	5,7	1,9	5,3	
K & R °C (rec.beregnet 48,4)	48,9	48,3	62,0	
Penetration	59	64	21	
PI	-1,09	-1,05	-0,43	
Filler %	9,2	3,6	12,0	1
0,5 mm	22	7	33	2
2 mm	35	9	52	2
5,6 mm	68	10	84	3
8 mm	84	10	95	4
11,2 mm	100	21	100	18
16 mm	100	92	100	90

At K&R-værdien i genbrugsfraktionen (materialet mindre end 11 mm) er sænket, var forventeligt, da det ikke kan undgås, at noget af den bløde bitumen sætter sig på genbruget. Spørgsmålet var så, om en del af den hårde genbrugs-bitumen ville sætte sig på skærverne (> 11 mm)? Det ses af tabel 14.1.1, at dette er sket.

Blødhedspunktsværdierne for de to fraktioner (større/mindre end 11 mm) er så nær hinanden, at de må siges at være identiske, og det kan derfor konkluderes, at den hårde bitumen fra genbruget er blandet homogent med den bløde, nye bitumen. Den gamle genbrugsbitumen og den nye tilsatte bitumen blandes fint og homogent under almindelige produktionsforhold på et traditionelt asfaltværk. Myten om et to-fasesystem kan derfor afvises.

14.2 Anvendelse af genbrugsasfalt med polymermodificeret bitumen

Der anvendes i stigende grad polymermodificeret bitumen i asfaltslidlag. Dette gælder i særdeleshed på motorveje og andre hårdt trafikerede veje, hvor den i bitumen indarbejdede polymer sikrer belægningen bedre holdbarhed, større sporkøringsmodstand og forbedret revnersistens.

Under fuldskalaforsøgene på Herning-Holstebro motorvejen blev det dokumenteret, at man ved tilsætning af en polymermodificeret bitumen, som havde et forhøjet polymerindhold, kunne kompensere for de 30 % genbrugsasfalts manglende polymerindhold. Der blev således for SMA-belægningen opnået helt ligeværdige egenskaber med/uden tilsætning af 30 % genbrugsasfalt.

En del af de danske vejbelægnings udføres med en lidt anden type polymermodificering, hvor polymeren, i stedet for at blive indarbejdet forlods i bitumen, i stedet for tilsættes direkte i asfaltblanderen ("in-situ blanding"). Ved sådanne blandinger er det også enkelt at opnå det ønskede resulterende indhold af polymer, uanset genbrugsprocent, idet der blot doseres samme mængde polymer.

Grundet tidligere tiders lidt mere begrænsede anvendelse af polymermodificeret bitumen, som også har længere levetid, er det endnu relativt sjældent, at der affræses gamle belægnings, som indeholder polymermodificeret bitumen. Det må dog forventes, at andelen af sådanne vil øges i fremtiden, i takt med den øgede udbredelse. Tilsættes polymerholdigt genbrug i en ikke-polymerholdig asfalt, sker der næppe nogen skade, og hvis der kun tilsættes op til 30 % genbrugsasfalt, vil den gamle polymer formodentligt kun have en begrænset effekt.

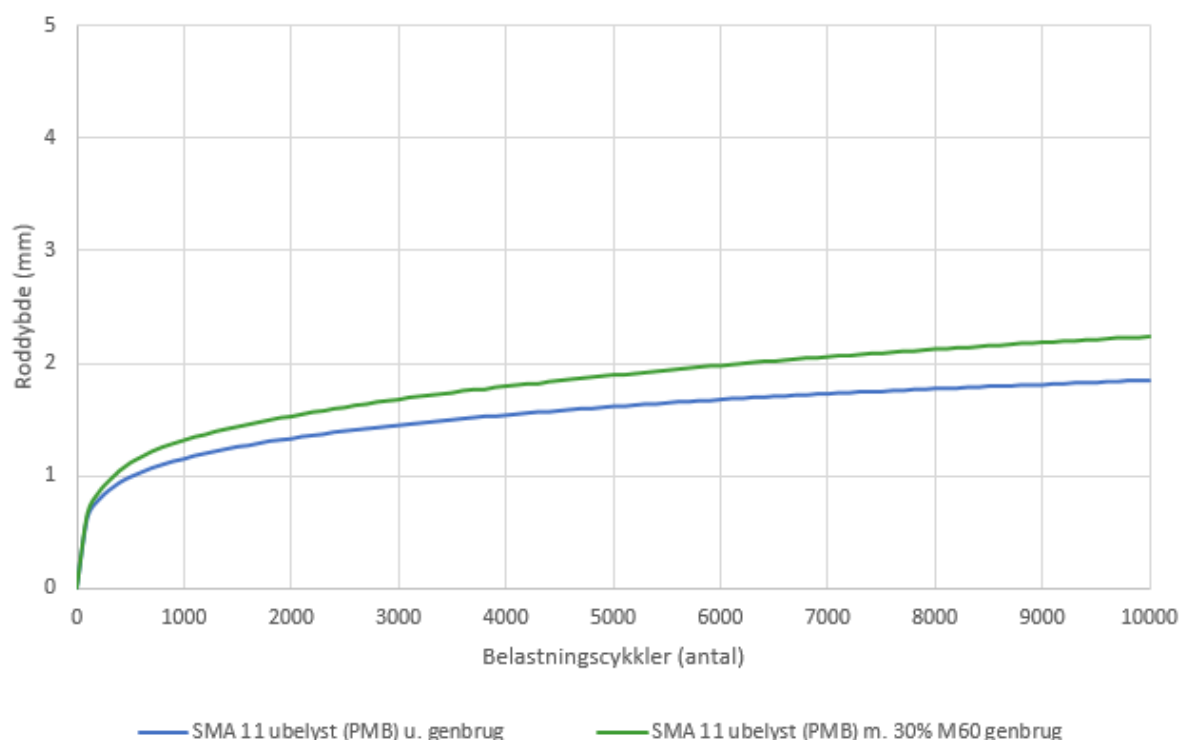
Anderledes forholder det sig, når der skal fremstilles et nyt polymermodificeret slidlag, hvor genbrugsasfalten også indeholder polymer, for i dette tilfælde er der formodentligt ikke behov for at tilsætte ekstra polymer til genbrugsdelen. For at undersøge denne situation er der på YIT's laboratorium foretaget en laboratorieblanding med anvendelse af den gamle belægning affræset på motorvej M60, hvor der i det nu affræsedede lag var anvendt en (SBS) polymermodificeret bitumen.

Der er som ved de foregående forsøg udført blanding med/uden 30 % genbrugsasfalt. Udgangspunktet for forsøget var at fremstille den samme type SMA 11 slidlag, som kendt fra de i rapporten tidligere omtalte forsøg. Til den "jomfruelige" blanding er der anvendt en polymermodificeret bitumen type 25/55-55 A. Den friske bitumen har et blødhedspunkt K&R på 59,0°C, M60-genbrugsasfaltens K&R er 67,2°C og den resulterende prøveblanding opnår efter genindvinding en K&R på 64,8°C. Blandingerne med/uden genbrug har i øvrigt (tilnærmelsesvis) identisk kornkurve og bindemiddelindhold. Der er efterfølgende udført sporkørings-test (DS/EN 12697-22, small size, lufttemostatering). Resultatet fremgår af figur 14.2.1.

Det fremgår af figur 14.2.1, at der for den laboratorieblandede SMA 11 med polymerbitumen og tilsætning af 30% polymerbitumenholdig genbrugsasfalt er opnået en sporkøringsresistens i samme størrelsesorden som for den fabriksblandede, jomfruelige SMA 11 med polymerbitumen. Der er brugt eksakt samme polymerbitumen i begge blandinger. Genbrugsmaterialet stammer fra affræsning på motorvej M60 og indeholder (gammel) SBS-polymer, hvorfor der i dette tilfælde ikke er tilsat ekstra polymerholdig bitumen som kompensation for genbrugstilsætningen.

Sporkøringstest på SMA 11 ubelyst

Jomfruelig med 25/55-55A - med M60 genbrug med 25/55-55A
EN 12697-22, Small size device, procedure B i luft. Temperatur 60°C. Lagtykkelse 4 cm.



Spordybde mm	SMA 11 ubelyst (PMB) u. genbrug 25/55-55A	SMA 11 ubelyst (PMB) m. 30% M60 genbrug 25/55-55A
Efter 1.500 cykler	1,26	1,43
Efter 10.000 cykler	1,85	2,23
Stigning	0,59	0,80
Efter 5.000 cykler	1,62	1,89
Efter 10.000 cykler	1,85	2,23
WTS (mm/1000 cykler)	0,046	0,068
Komprimering %	99,6	99,0

SMA 11 med M60 genbrug er en laboratorieblending medens SMA 11 uden genbrug er en fabriksblending.

FIGUR 14.2.1: Sporkøringstest på SMA 11 med polymermodificeret bitumen 25/55-55 A.

Konklusionen er således, at der synes at være god basis for at forudsætte, at polymeren i en gammel polymerholdig genbrugsasfalt kan gen-aktiveres ved tilsætning af genbrugsasfalten i ny varmblandet asfalt.

15. Bæredygtigheds-dokumentation, LCA- og LCC-analyser

I de foregående afsnit er det påvist, at der med de i rapporten omtalte metoder og materialer kan opnås fuldt ud ligeværdige funktionsegenskaber og forventede levetider ved produktion af ABB og SMA med op til 30 % genbrugsasfalt fra gamle asfaltslidlag. Genbrugskonceptet kan således betragtes som "holdbart" for selv de mest "ædle" danske asfalttyper som SMA (Skærvemastiks) og ABB til tung trafik (AsfaltBeton Bindelag).

Ved at tilsætte op til 30 % genbrugsasfalt i disse asfalttyper, kan der opnås en tilsvarende besparelse på import af indgående råvarer. Begge disse "ædle" asfalttyper er i det væsentlige baseret på knust klippestensmateriale, som typisk importeres fra Norge eller Sverige, samt bindemidlet bitumen, som er udvundet af raffinering af jordolie, der f.eks. kan komme fra Mellemøsten, Venezuela, Rusland eller Østersøen. Ved at tilsætte og "genaktivere" gammel genbrugsasfalt kan der således opnås ikke uvæsentlige besparelser på råvareimporten og dermed også opnås væsentlige besparelser på de transportafhængige miljøbelastninger (CO₂) såvel som ikke uvæsentlige samfundsøkonomiske besparelser. Endelig sikres med stigende genbrugsanvendelse, at gammel asfalt ikke i sidste ende ender som affald til deponi. Da det primære mål med øget genbrugsanvendelse er at opnå en større grad af cirkulær ressourceøkonomi og miljømæssig gevinst gennem mere bæredygtig produktion med mindre klimabelastning, er der i dette afsnit gennemført en række beregninger af den miljømæssige såvel som økonomiske gevinst over belægningsens livscyklus.

Livscyklusvurderingen omfatter således både en LCA (Life Cycle Assessment - miljøforhold) og en LCC analyse (Life Cycle Costs - livscyklusøkonomi). Sådanne livscyklusanalyser omfatter normalt alle led og påvirkninger, lige fra vugge til grav. I dette tilfælde er det dog godtgjort, at der for såvel ABB som SMA, inden for de givne rammer, opnås ligeværdig bearbejdelse og holdbarhed, uanset genbrugsasfalt tilsætning eller ej. Livscyklusanalyserne er derfor i denne rapport begrænset til "cradle to gate" (vugge til port) analyser, idet det antages, at den varme asfalts egenskaber er identiske ved asfaltudlægning og efterfølgende trafikering.

Projektets komplette, bagvedliggende livscyklusstudie (selvstændig rapport) fylder i sig selv omtrent 50 sider. I nærværende hovedrapport er medtaget de væsentligste punkter og konklusioner. Studiet er i det væsentlige gennemført af Henrik Fred Larsen og Mathias Hoeg, begge Teknologisk Institut, med produktionsteknisk/fagligt input fra Kjeld F. Pedersen, YIT, samt Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut.

15.1 LCA: Miljøforhold

Livscyklusvurdering (Life Cycle Assessment eller LCA) er en holistisk metode til at vurdere produkters eller produktsystemers miljøbelastning gennem hele livscyklus - fra udvinding af råmaterialer og fremskaffelse af naturressourcer, over fremstilling af produktet, brugen af det, inklusive vedligeholdelse og reparation, til bortskaffelse af alle restprodukter.

Ved at anvende LCA-metoden og dermed redegøre for alle miljømæssige udvekslinger, f.eks. forbrug af energi, råmaterialer og andre ressourcer, udledning til luft, vand og jord samt affaldsstrømme, i hele livscyklussen, kan man sammenligne og vurdere forskellige produkters miljøbelastning i de forskellige faser i den samlede livscyklus.

Miljøbelastninger bliver målt i forhold til en række miljøkategorier, f.eks. global opvarmning, forsurening, eller humantoksicitet. I praksis bliver LCA oftest anvendt for at sammenligne forskellige alternativer ved design af produkter eller processer – som her, hvor effekten af tilsætning af genbrugsasfalt vurderes.

Formålet med denne livscyklusbaserede miljøvurdering er således at dokumentere den miljømæssige effekt af at øge andelen af genbrugsasfalt i produktionen af ny asfalt. Der beregnes resultater for de to udvalgte typer af asfalt SMA og ABB, henholdsvis uden genbrug og med 30 % genbrug for SMA og 25 % genbrug for ABB, svarende til de ved fuldskauldægningen anvendte genbrugsasfalmængder.

Den i det efterfølgende beskrevne, livscyklusbaserede miljøvurdering, er baseret på rammerne for LCA, som beskrevet i ISO 14044. LCA-beregningerne inkluderer ikke transport og udlægning af asfalten eller drift og vedligehold af vejene, da de to typer af asfalt henholdsvis med og uden genbrug antages at opnå funktionel ækvivalens efter færdigblanding på produktionsstedet og inden transport til kunden.

15.1.1 Beregningsforudsætningerne for LCA'en

For at kunne opnå nogle generelt anvendelige betragtninger, er den gennemførte livscyklusanalyse beregnet ud fra en teoretisk, dansk "standard" asfaltfabriks energiforbrug, transportafstande m.v. Det er antaget, at fabrikken er placeret midt i Jylland, med ca. 30 km afstand til Aarhus havn, hvor importerede stenmaterialer omlæsses på lastbil. Importerede stenmaterialer forudsættes transporteret på skib fra produktionssted (anvendt udgangspunkt Stavanger, Norge) til havnen og derfra 30 km på lastbil. Bitumen kan principielt være fra Mellemøsten, Venezuela, Rusland, Nordsøen eller en række andre lokaliteter. I miljøberegningerne er derfor anvendt et typisk "miljøbelastningsmiks" svarende til data fra et gennemsnit på det tyske bitumenmarked. Det er forudsat i beregningerne at bitumen afslutningsvis transporteres på tankvogn fra tanklager i Brunsbüttel i Nordtyskland. Det forudsættes, at begge belægningstyper (SMA og ABB), bortset fra genbrugsasfalttilsætning, er standard "vejregel-produkter", som overholder de generelle krav i Vejdirektoratets AAB (Almindelig ArbejdsBeskrivelse) for varm-blandet asfalt (som dog i skrivende stund er gjort historisk).

Den færdigblandede SMA asfalt (slidlagsasfalt) - henholdsvis med og uden genbrug - som er anvendt i nærværende LCA studie, bygger på recepter fra YIT og har følgende overordnede sammensætning, som ses i tabel 15.1.1

TABEL 15.1.1. Procentvis sammensætning (w/w) af SMA med og uden genbrug

Råvare	SMA uden genbrug	SMA med 30 % genbrug
Klippegranit (2-15 mm)	73,1	58,7
Klippegranit (0/2)	17,1	6,5
Bindemiddel, bitumen	5,7	4,4
Filler, kalk	2,4	0,0
Filler, cement	1,4	1,4
Støttefiller, cellulose	0,3	0,3
Slidlagsgenbrug	0,0	28,7

Den færdigblandede ABB asfalt (bindelagsasfalt) - henholdsvis med og uden genbrug - som er anvendt i nærværende LCA studie, bygger ligeledes på recepter fra YIT og har følgende overordnede sammensætning, som ses i tabel 15.1.2:

TABEL 15.1.2. Procentvis sammensætning (w/w) af ABB med og uden genbrug

Råvare	ABB uden genbrug	ABB med 25 % genbrug
Klippegranit (2-15 mm)	63,2	50,6
Knust grusgravsmat. (0/2)	29,7	21,7
Bindemiddel, bitumen	4,6	3,5
Filler, kalk	2,4	0,0
Slidlagsgenbrug	0,0	24,1
Kunstvoks, Sasobit (modificering)	0,1	0,1

Beregningerne tager udgangspunkt i en såkaldt funktionel enhed, der fungerer som reference-enhed, i forhold til hvilken alle input og output flows og miljøvurderinger resultater relateres til.

I denne LCA-analyse defineres den funktionelle enhed som 1 ton færdigblandet asfalt, ved produktionsstedet, ud fra recept, som overholder de funktionelle krav til den specifikke type af asfalt.

Som beskrevet ovenfor antages det, at SMA med og uden genbrug opnår funktionel ækvivalens som asfaltblandinger af fabrik. Det samme er gældende for ABB blandingerne. Der er derfor tale om en sammenlignende vugge-til-port LCA, hvor det antages at evt. forskelle vedr. udlægning, vedligehold (holdbarhed) og bortskaffelse/genbrug (end-of-life) m.m. ikke er betydende for udfaldet af sammenligningen. Således er processerne og de relaterede elementære udvekslinger forbundet med transport til kunden, udlægning, brug, drift, vedligehold og reparationer af belægningerne over tid, samt end-of-life processer (evt. affræsning når belægningens levetid er opbrugt) ikke medtaget. Det skal i denne forbindelse understreges, at det er et meget essentielt opmærksomhedspunkt for den brede danske vejsektor, at asfaltfremstilling tilrettelægges, så der også fremadrettet er mulighed for at genbrugsasfalten kan indgå i et cirkulært kredsløb. Der lægges derfor generelt vægt på, at der i asfaltfremstillingen ikke indgår delkomponenter eller restmaterialer, som i værste fald kunne influere på muligheden for fremtidig genbrugsanvendelse af den gamle udtjente asfalt.

15.1.2 Beregningsmodellen

Til beregningerne er anvendt karakteriseringsmodellen CML 2001 – Apr. 2013 (som implementeret i EN 15804) sammen med det internationalt anerkendte GaBi miljøberegningsprogram, version 8.1.0.29, for klassificering og karakterisering af input og output flows. Denne model er valgt, da den anvendes i standarden EN 15804 vedrørende bæredygtighed inden for byggeri og anlæg. GaBi indeholder endvidere databaseværdier for en lang række indgående råstoffers respektive miljøbelastninger. Eneste datasæt, der ikke stammer fra GaBi databasen er dichlormetan fra Ecoinvent databasen. Forbruget er i dette tilfælde også meget lavt, så konsistens af de anvendte datasæt vurderes som høj.

I beregningerne indgår foruden de enkelte råvarers miljøbelastninger også tilnærmede værdier for typisk fræsning og knusning af genbrugsasfalt, blandeproces/asfaltproduktion, lokaltransport på fabrikken med læssemaskine m.v.



FIGUR 15.1.1. Fræsemaskine til affræsning af asfalt. Det lille indsatte billede til højre viser fræsevalsens "tænder", som "gnaver" asfalten bort (Foto: YIT)

Ved produktionen er bl.a. medtaget forbruget af el, naturgas til opvarmning/tørring, dieselolie til transportmaskiner og methylenchlorid (dichlormethan), som benyttes i asfaltlaboratoriet til nødvendig ekstraktionsanalyse af genbrugsasfalten (råvarekontrol). Energiforbruget ved asfaltproduktionen er beregnet ud fra et normaliseret elforbrug på ca. 5 kWh/tons asfalt, samt et naturgasforbrug beregnet ud fra forudsatte temperaturer og vandindhold i de respektive råvarer. Genbrugsasfaltens gamle bindemiddel tåler ikke den direkte flammeopvarmning fra tørretromlen. Der er derfor i beregningerne taget udgangspunkt i en produktionsteknik, hvor genbrugsasfalten tilsættes koldt til det opvarmede stenmateriale i blanderen, hvorefter den tilstræbte sluttemperatur opnås.

TABEL 15.1.3. Forudsætninger og beregnet energiforbrug til brænder, pr. tons asfalt

Parameter	Værdi	Enhed
Varmekoefficient for vand	4,19	kJ/kg°C
Varmekoefficient for damp	1,88	kJ/kg°C
Fordampningsvarme for vand	2.260	kJ/kg
Varmekoefficient for granit	0,79	kJ/kg°C
Temperatur af stenmateriale	10	°C
Asfalttemperatur	150	°C
Vandindhold, stenmaterialer	3,0	%
Vandindhold, genbrug	4,0	%
Beregnet energiforbrug med genbrug	201	MJ
Beregnet energiforbrug uden genbrug	191	MJ

Andre produktionsteknikker (f.eks. tilsætning via en genbrugsring uden på tørretromlen eller via en paralleltromle til forhåndsopvarmning af den gamle asfalt) er også mulige. Den i bereg-

ningerne forudsatte teknik er dog den simplest tilgængelige og hidtil mest udbredte teknik, hvorved beregningernes resultat kan betragtes som generelt opnåeligt.

Som det fremgår af tabel 15.1.2 indeholder ABB-bindelaget en (såkaldt Fisher-Tropsch) kunstvoks, som på grund af en basis-fremstilling i Sydafrika har relativt høje påvirkningsværdier. Da der imidlertid er tale om en relativ sammenligning (med/uden genbrugsasfalt) og der totalt tilsættes samme mængde kunstvoks per tons produceret asfalt i begge recepter, giver denne råvare samme belastning. Det skal for god ordens skyld også oplyses, at det ikke har været muligt at finde et egnet datasæt for miljøparametre for polymermodificeret bitumen, som i praksis anvendt i SMA på motorvejsstrækningen. Beregningerne for SMA er derfor baseret på standard bitumen 40/60, selvom der på motorvejsprojektet er anvendt polymermodificeret bindemiddel. På motorvejen er der i den genbrugsholdige SMA-variant anvendt en bitumen med forøget indhold af polymerer, således, at der i de færdige asfaltblandinger opnås samme polymerindhold (og dermed funktionsegenskaber) uanset om der er tilsat genbrugsasfalt eller ej. Dette fremgår desuden af en supplerende følsomhedsanalyse af denne parameter.

Et specielt forhold er anvendelsen af opløsningsmidlet methylenchlorid. Ved normale asfaltanalyser forudsættes i laboratoriet efter typisk dansk laboratoriepraksis anvendt den såkaldte afbrændingsmetode, hvor bindemiddelmængden bestemmes ved afbrænding i en specialovn. Denne metode indebærer således ikke anvendelse af organiske opløsningsmidler. Anderledes er det imidlertid ved analyse af gammel genbrugsasfalt, hvor afbrændingsmetoden ikke er egnet, da råvaresammensætningen ikke på forhånd er kendt. For at kunne bedømme bindemidlets hårdhed og tilsætningsmængde korrekt er det her nødvendigt at foretage en såkaldt ekstraktionsanalyse, hvor bindemidlet udvaskes med opløsningsmiddel og efterfølgende genindvindes til nærmere analyse.

15.1.3 Miljøpåvirkningskategorier

I den anvendte LCA beregningsmodel beregnes resultaterne for en lang række forskellige påvirkningskategorier:

- Global opvarmning (GWP – CO₂-belastning/Carbon Footprint)
- Nedbrydning af ozonlaget (ODP)
- Forsuring af jord og vand (AP)
- Eutrofiering (EP)
- Fotokemisk ozondannelse (POCP)
- Udtynding af abiotiske, ikke-fossile ressourcer (ADPe)
- Udtynding af abiotiske, fossile ressourcer (ADPf)

Derudover beregnes resultater for primærenergiforbrug, vandforbrug og affald:

- Forbrug af vedvarende primære energiresourcer (PERT)
- Forbrug af ikke-vedvarende primære energiresourcer (PENRT)
- Forbrug af ferskvand (FW)
- Bortskaffet farligt affald (HWD)
- Bortskaffet ikke-farligt affald (NHWD)
- Bortskaffet radioaktivt affald (RWD)

15.1.4 Gunstige LCA resultater ved genbrugstilsætning

Nedenstående tabel 15.1.4 angiver de ved beregningerne fundne miljøpåvirkninger for de forskellige kategorier, for hver af de fire undersøgte asfaltvarianter (SMA hhv ABB med/uden 30 % hhv. 25 % genbrug).

TABEL 15.1.4. Samlede LCA resultater

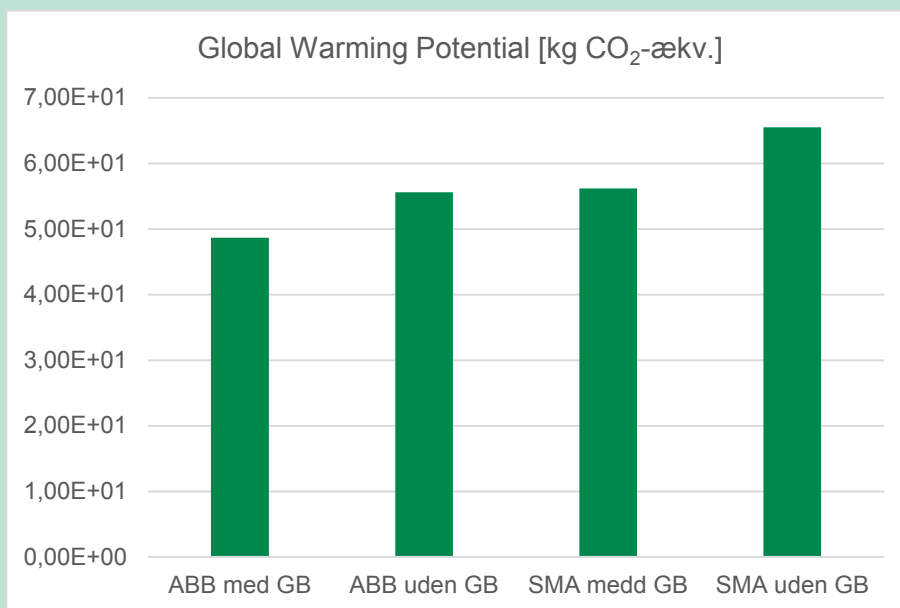
Parameter	Unit	AAB med GB	AAB uden GB	SMA med GB	SMA uden GB
GWP	[kg CO ₂ -eq.]	4,87E+01	5,56E+01	5,62E+01	6,55E+01
ODP	[kg CFC11-eq.]	2,68E-08	2,84E-10	2,69E-08	4,22E-10
AP	[kg SO ₂ -eq.]	1,53E-01	1,78E-01	1,84E-01	2,23E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -eq.]	2,28E-02	2,58E-02	2,96E-02	3,50E-02
POCP	[kg ethene-eq.]	8,59E-03	1,40E-02	1,16E-02	1,88E-02
ADPE	[kg Sb-eq.]	8,08E-06	1,01E-05	3,31E-05	3,51E-05
ADPF	[MJ]	2,08E+03	2,59E+03	2,44E+03	3,07E+03
PERT	[MJ]	6,01E+01	7,04E+01	1,88E+02	1,98E+02
PENRT	[MJ]	2,11E+03	2,64E+03	2,49E+03	3,13E+03
FW	[m ³]	1,02E-01	1,25E-01	1,30E-01	1,57E-01
HWD	[kg]	4,68E-06	4,19E-06	6,51E-06	5,88E-06
NHWD	[kg]	4,70E+00	6,40E+00	1,63E+00	3,87E+00
RWD	[kg]	1,53E-02	1,93E-02	2,08E-02	2,53E-02

Som det fremgår af tabellen udviser asfalttyperne med genbrug, som forventet, den bedste miljøprofil (ca. 5-60 % lavere værdi) for alle kategorier, på nær "Nedbrydning af ozonlaget" (ODP) og mængden af "Bortskaffet farligt affald" (HWD).

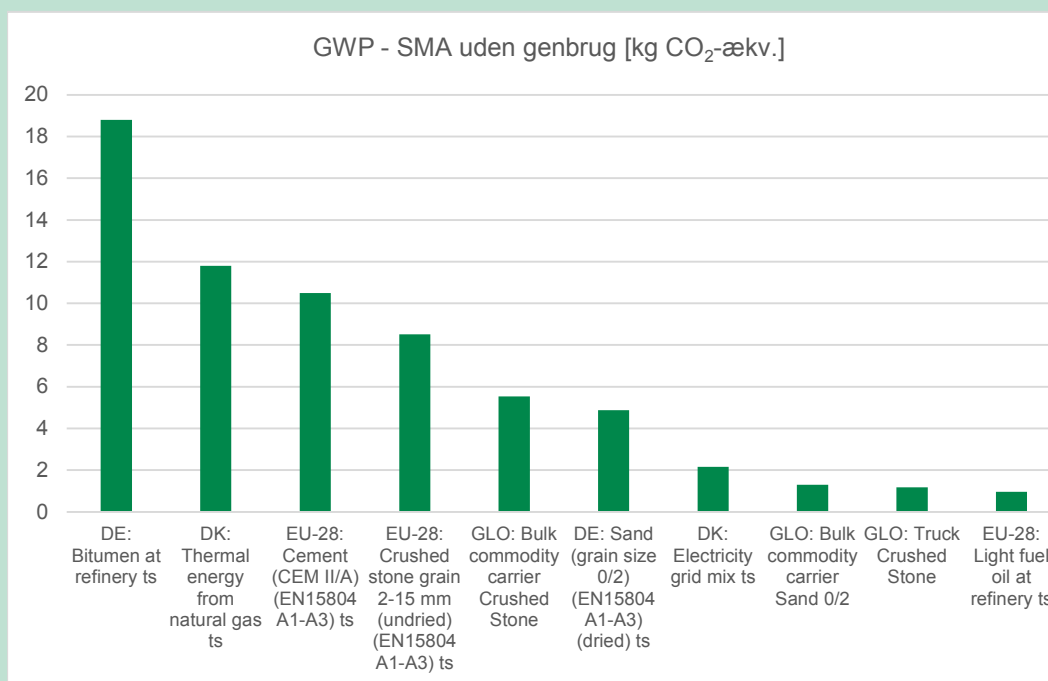
Det højere bidrag til ODP for asfalt med genbrug skyldes udelukkende brugen af metylenchlorid til supplerende laboratorieanalyser, da der ved produktionen af opløsningsmidlet udledes en lille mængde dichlorodifluorometan (R 12). Det er dette stofs ozonlagnedbrydende effekt, der registreres som den store afvigelse. Sammenlignes den udledte mængde med den mængde ozonlagnedbrydende stoffer, som en verdensborger udleder årligt (iht. Normaliseringsreferencen), udgør mængden dog kun 0,0007 promille. Denne lave værdi afspejles også i den lave anvendte mængde metylenklorid, idet der kun anvendes ca. 0,4 g metylenklorid per tons genbrugsasfalt. Analysen afslører dog, at der her er et tydeligt potentiale for substitution til en mere "grøn" teknik uden organiske opløsningsmidler.

At værdien for HWD ligeledes er højere for typerne med genbrug hænger primært sammen med et større forbrug af dieselolie til fræsning. Man skal dog i denne sammenhæng også bemærke, at der i de beregnede miljøbelastninger ved fremstilling af genbrugsholdig asfalt er medregnet bidraget fra selve asfaltaffræsningen, transport til asfaltfabrikken, opstakning og knusning. Hvis man antager, at fræsningen under alle omstændigheder gennemføres, hvilket normalt er tilfældet, kan der ses bort fra dette bidrag til den samlede miljøbelastning. Dette er i et efterfølgende delafsnit vurderet i en følsomhedsanalyse for beregningernes robusthed.

I den efterfølgende figur er angivet en grafisk afbildning for global opvarmning (GWP). Her illustreres det, at der ved produktion med 30 % genbrugsasfalt (eksakt 28,7 %) for SMA opnås en reduktion i GWP/CO₂-udledningen på ca. 14 % (14,2). Tilsvarende er reduktionen ca. 12 % (12,4) for ABB ved tilsætning af 25 % (eksakt 24,1 %) genbrug:



FIGUR 15.1.2. Oversigt over bidraget til global opvarmning (CO₂) for ABB med/uden 25 % genbrug og SMA med/uden 30 % genbrugsasfalt. Belastningen reduceres med knap 15 % ved 30 % genbrugstilsætning



FIGUR 15.1.3. Oversigt over de enkelte komponenters bidrag til den samlede GWP/CO₂-belastning for SMA uden genbrug. (Tilsvarende opdelinger er beregnet for SMA med genbrug samt ABB med/uden genbrug). Det ses, at bitumen giver det største bidrag til GWP

Besparelserne i bidraget til den globale opvarmning opnås primært ved det lavere forbrug af jomfruelige stenmaterialer og specielt for det lavere forbrug af jomfruelig bitumen. Denne besparelse imødegås kun i begrænset omfang af et lidt højere, nødvendigt behov for tørring

(naturgas), når der anvendes genbrugsasfalt, og der ses derfor samlet set en markant, gavnlig effekt af at begrænse anvendelsen af nye råvarer, især ny bitumen.

15.2 Følsomhedsanalyser for LCA-beregningerne

De gennemførte beregninger af miljøbelastninger med/uden genbrugstilsætning er baseret på en række forudsætninger og estimater for produktionen. For at sikre, at de fundne resultater "holder vand" er der supplerende foretaget konsekvensberegninger ved ændringer af forskellige parametre:

15.2.1 Følsomhed for vandindholdet i materialerne

I LCA-modelberegningerne er forudsat et gennemsnitligt vandindhold på 3 % i stenmaterialerne og 4 % i genbrugsasfalten. Supplerende beregninger viser, at der ved et alternativt, højere vandindhold i genbrugsasfalten på 5 % ville opnås en reduceret GWP/CO₂ besparelse på 13,3 % i stedet for 14,2 % og ved 6 % vandindhold 12,5 % i stedet for de 14,2 %. Det forudsatte vandindhold i genbrugsasfalten er således ikke afgørende for det beregnede udfald, men viser samtidigt klart, at der opnås en stor miljøgevinst ved at opbevare genbrugsmaterialerne så tørt som muligt forud for asfaltproduktionen.

15.2.2 Følsomhed for transportafstand af genbrugsasfalt

Der er i beregningerne forudsat en "standardafstand" for transport af affræset asfalt til asfaltfabrikken på 50 km. Hvad betyder det, hvis denne øges til det dobbelte? Beregningerne viser her, at GWP-bidraget øges med 1,2 %. Transportafstanden af genbrugsasfalt er således ikke uden betydning, men flytter omvendt ikke meget på det fundne resultats robusthed.

15.2.3 Følsomhed for sejlafstand af stenmaterialer

I de gennemførte LCA-beregninger er forudsat en sejlafstand svarende til at hente det knuste klippestensmateriale i Stavanger, hvilket giver en sejlafstand på ca. 650 km. Øges denne afstand til 900 km (ved afhentning længere nordpå i Norge eller alternativt i Sverige), forøges GWP/CO₂-bidragene generelt, men naturligvis størst for asfaltvarianterne uden genbrugsasfalt. For SMA uden genbrug giver den forøgede transportafstand en forøgelse af GWP (miljøbelastningen) med 4,6 % mod en mindre forøgelse på 3,7 % for varianten med 30% genbrug. En næsten 50% større sejlafstand for stenmaterialerne resulterer således i, at gevinsten ved genbrugstilsætning øges med ca. 1 %, til en samlet CO₂-besparelse på knap 16 % ved fremstilling af SMA med 30 % genbrugsasfalt.

15.2.4 Følsomhed for eventuel ekstra fræseproces

Der har (jf. tidligere afsnit) indledningsvis været gjort overvejelser, om der kunne være en fordel i at affræse gamle asfaltslidlag ad to gange, så de eventuelle små bidrag fra underlaget, som ellers vil kunne forekomme ved affræsning i grænsefladen mellem gammelt slidlag og gammelt asfaltbærelag, kunne udelukkes. Denne fremgangsmåde har dog ikke vist sig teknisk hensigtsmæssig, idet dette dels begrænser de egnede slidlagsgenbrugsmængder og dels skaber et mere findelt slidlagsgenbrug, som ikke tillader så store tilsætningsmængder, når den tilstræbte kornkurve skal opnås for den færdige asfalt.

I følsomhedsanalysen er beregningerne supplerende gennemført for et scenarie, hvor genbrugsasfalten affræses ad 2 gange. Resultatet viser, at dette medfører en forøgelse af GWP for såvel SMA som ABB på 1,8 %, svarende til en reduktion af GWP-besparelsen fra 14 til 12 % for SMA, hhv. fra 12 til 10 % for ABB. En ekstra fræseproces ændrer således ikke på det hensigtsmæssige i at anvende genbrugsasfalt, men begrænser miljøgevinsten lidt.

15.2.5 Følsomhed for om affræsning medtages i beregningerne.

I alle de hidtil oplistede miljøberegninger er det for miljøbelastningerne fra asfalt med genbrugsasfalt forudsat, at affræsning af den gamle asfalt samt transport til fabrikken medtages i den samlede proces. Dette er nok i virkeligheden "worst case", idet det "i virkelighedens ver-

den" sjældent forekommer, at man affræser gammel asfalt for at skabe genbrugsasfalt. Den gamle asfalt affræses i virkeligheden normalt fordi den er udtjent og skal udskiftes med ny asfalt. Den affræsedes asfalt bliver således skabt under alle omstændigheder – uanset af det nye slidlags art – så reelt kan man med god fornuft tillade sig at se bort fra dette miljøbelastningsbidrag. Supplerende beregninger viser, at der ved udeladelse af bidrag fra affræsning af gammel asfalt ("høstning af genbrug", samt transport af denne til asfaltfabrikken) opnås en yderligere reduktion i GWP/CO₂ på 3,1 % for ABB med 25 % genbrug hhv. 3,2 % for SMA med 30 % genbrug, svarende til en samlet miljøbelastningsreduktion for SMA's GWP/CO₂ på 17,4 %.

15.2.6 Følsomhed for anvendt genbrugstilsætningsmængde

Ud fra de i de foregående afsnit beregnede værdier ses i størrelsesorden en GWP/CO₂ besparelse på ca. 0,5 % per procent tilsat genbrugsasfalt. Det kunne således være nærliggende at konkludere, at der ved 40 % genbrugstilsætning så ville opnås en GWP/CO₂ besparelse på 20 %. Supplerende følsomhedsberegninger viser, at der for SMA med teoretisk tilsætning af 40 % genbrug vil kunne opnås en GWP/CO₂ besparelse på hele 22,1 % mod 14,2 % ved 25 % genbrug og for ABB tilsvarende 21,9 % ved 40 % genbrug mod 12,4 % ved 25 % genbrug.

Der er således rigtig gode miljøbesparelser at opnå, hvis genbrugsmængderne kan øges yderligere, ud over de forudsatte 30 %. Det skal dog bemærkes, at så høje genbrugsprocenter sandsynligvis vil forde yderligere tiltag i produktionsapparatet, til fortsat sikring af den tekniske kvalitet. Det skal desuden overvejes, om der er tilstrækkelige mængder egnet slidlagsgenbrug til rådighed, idet et jævnt forbrug på 25-30 % nok er mere hensigtsmæssigt end lejlighedsvis udsving mellem 0 og måske 40-50 %.

15.2.7 Følsomhed for anvendelse af polymerbitumen i SMA

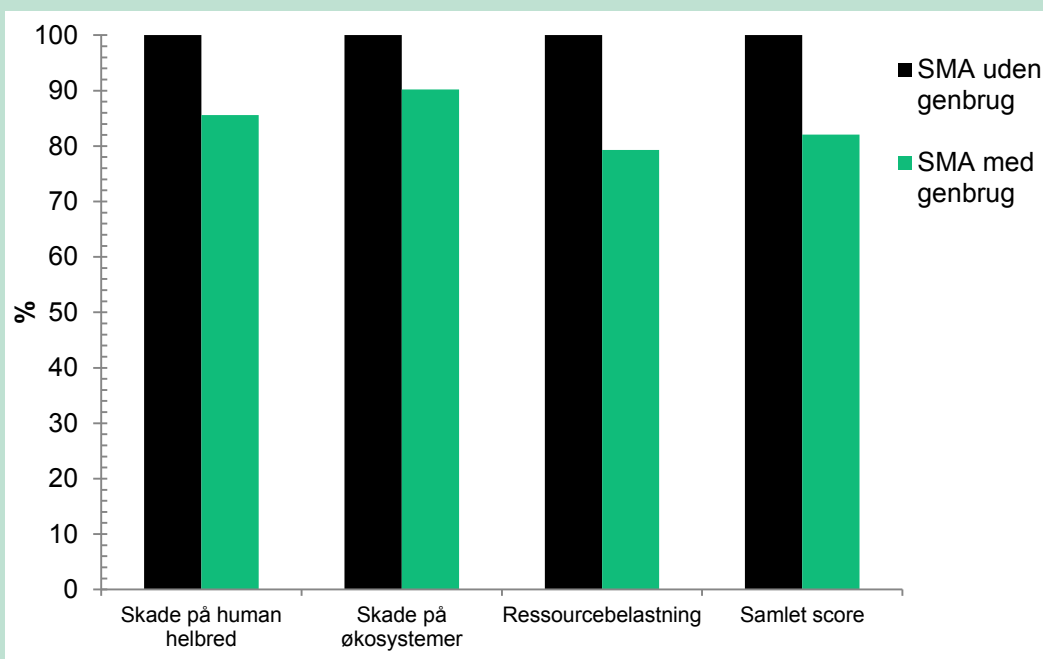
Inden for rammerne af nærværende projekt har det ikke været muligt direkte at skelne mellem "almindelig" bitumen (anvendt i ABB) og polymermodificeret bitumen (anvendt i SMA), da der ikke umiddelbart findes tilgængelige enhedsprocesser (miljødata) for den polymermodificerede type. Følsomhedsanalyser, hvor det typiske indhold af SBS (styrene-butadien-styrene kunstgummi) i polymermodificeret bitumen inddrages, viser dog, at den polymermodificerede type givetvis udviser en samlet højere miljøbelastning, end den ikke modificerede, på grund af SBS indholdet. Imidlertid er den tilsatte mængde SBS til SMA med genbrug og SMA uden genbrug identisk i projektets tilfælde (bitumen i den anvendte genbrugsasfalt indeholder ikke SBS), så inddragelse af SBS i LCA'en vil ikke ændre på det absolutte resultat af sammenligningen. Den relative reduktion i GWP/CO₂ falder dog svagt fra 14,2 % til 12,9 %, hvis SBS inddrages i sammenligningen. Det vurderes dog at en evt. mulig detaljeret inddragelse af polymermodificering i nærværende LCA studie ikke ville ændre de overordnede konklusioner. I det omfang fremtidige affræsedes genbrugsmaterialer kommer til at indeholde funktionelt SBS, vil dette endvidere bidrage til en forøgelse af den undgåede mængde CO₂ ækvivalent emission ved anvendelse af genbrug. En fuldstændig afklaring af disse forhold vil dog kræve modellering af enhedsprocesser med de rette mængder og typer af polymer.

15.3 Alternativ LCA-miljøvurderingsmetode

For at gøre rapportens LCA-/miljøvurderingsdel endnu mere robust, er der i projektet supplerende gennemført en alternativ LCA-beregning. Det er her valgt at undersøge sammenligningen af SMA med og uden genbrug ved at inddrage ReCiPe (ReCiPe 1.08), der er en af de nyere og mest komplette metoder. Metoden giver både midpoint resultater (i lighed med den i tidligere afsnit omtalte hovedmetode), end-point resultater (modellering hele vejen til skade, damage) samt muligheden for at normalisere resultaterne og få en enkelt værdi (single score) ved brug af vægtning. Desuden omfatter ReCiPe metoden hele 19 påvirkningskategorier. ReCiPe metoden er anvendt sammen med GaBi program version 8.1.0.29 for klassificering, karakterisering, normalisering og vægtning af input og output flows.

Det fremgår af de nye beregninger, at SMA uden genbrug er højest i alle påvirkningskategorier, på nær hvad angår Ozone depletion (ODP – påvirkningen fra methylenchlorid-baserede laboratorieanalyser). Overordnet set bekræfter anvendelsen af ReCiPe metoden altså de fundne resultater med den i de foregående afsnit anvendte CML metode, herunder den opnåede besparelse ved anvendelse af genbrug på omkring 14 %, hvad angår udledning af drivhusgasser, GWP.

Figur 15.3.1 viser den beregnede påvirkning for SMA med/uden 30 % genbrugsasfalt, inden for tre hovedkategorier: Skade på human helbred, skade på økosystemer og ressourcebelastning. I figuren er værdierne oplyst som relative værdier, hvor værdierne for SMA uden genbrug sat til 100 %. Da ReCiPe er en såkaldt "single score" metode, kan man afslutningsvis, efter vægtning af de tre hovedområder (Areas of protection) opnå en enkelt, samlet score. Dette resultatet vises i figur 15.3.1 sammen med resultaterne for de tre vægtede Areas of protection.



FIGUR 15.3.1. ReCiPe end-point vægtede værdier (SMA uden genbrug sat til 100 %)

Som det fremgår af figur 15.3.1 er SMA uden genbrug højest for alle Areas of Protection (11-26 % højere end SMA med genbrug) og for den samlede, vægtede single score hele 22 % højere end for SMA med genbrug.

15.4 Samlet konklusion om LCA og miljøgevinst ved tilsætning af genbrugsasfalt

De overordnede resultater af den udførte LCA viser, at der ved anvendelse af (25 %-30 %) genbrugsasfalt i SMA og ABB, kan opnås en stor reduktion i den samlede miljøbelastning. For potentiel global opvarmning (GWP/CO₂) opnås en reduktion på i størrelsesordenen 14 % for SMA med 30 % genbrug og i størrelsesordenen 12 % for ABB med 25 % genbrug. Medregnes ikke miljøbelastningen fra selve fræseprocessen (da affræsningen af den gamle belægning nok foretages under alle omstændigheder) bliver miljøgevinsten for SMA hele 17,4 %.

En tidligere hollandsk ledet LCA undersøgelse fra det europæiske udviklingsprojekt ERA-NET ROAD (2013), med deltagelse af bl.a. Vejdirektoratet, indikerede til sammenligning en reduktion i miljøpåvirkning (single score) på 25-30 % for SMA med og uden 40% genbrug. Dette

resultat ligger omtrent på niveau med de her fundne 22 % ved brug af ReCiPe single score, som endda også indeholder miljøbelastningsbidraget fra fræseprocessen.

Samlet set, ud fra begge de gennemførte beregningsmetoder, kan det konkluderes, at der vil kunne opnås en klar reduktion af GWP (og CO₂-udledningen), i størrelsesorden 20 %, ved tilsætning af 30 % genbrugsasfalt i skærvemastiks slidlag (SMA) - og en anelse mindre besparelse for ABB ved tilsætning af 25 % genbrugsasfalt.

15.5 LCC – Livscyklusøkonomiske beregninger

Beregning af de økonomiske konsekvenser af øget genbrugsanvendelse er i stor grad afhængig af parametre og oplysninger, som af konkurrencehensyn kan være svære at afdække eksakt. Dette gælder såvel de enkelte producenters råvare- og produktionsomkostninger, som de eksakte tekniske tiltag på fabrikkerne, hvor genbrugsoptimering i høj grad er en konkurrenceparameter. Samme konklusioner om LCC-udfordringer fremgår da også i stort omfang af diverse litteraturkilder. Som det fremgår af de foregående kapitler omhandlende LCA, er det i nærværende undersøgelse antaget, at de undersøgte asfalttyper med/uden genbrugsasfalt opnår funktionel og levetidsmæssig ækvivalens, når de er færdigblandede og dermed inden udlægning (vugge-til-port). Det er derfor valgt at udføre den økonomiske analyse (LCC'en) som en simpel opgørelse af nutidsprisen (2017) på de enkelte indgående råvarer (indhentet som offentligt tilgængelige listepreiser) kombineret med en generisk pris på energiforbruget opdelt i el, dieselolie og naturgas. Følgende antagelser og begrænsninger ligger i øvrigt til grund for analysen:

- Det anvendte råvareprisgrundlag er baseret på af indsamlede listepreiser, fundet på leverandørernes hjemmesider. Prisen på genbrug er oplyst af projektpartneren YIT som værende den aktuelle pris fra demonstrationsstrækningen og indeholder både fræsning, transport og oparbejdning.
- Udgiften til ekstra vedligehold og slitage på fabrikken pga. anvendelse af genbrug har ikke kunnet opgøres separat og er derfor ikke indregnet.
- Transport af råvare fra leverandør til asfaltfabrik er i dette beregningseksempel antaget at være indeholdt i listepreisen.
- Nødvendige investeringer i anlæg, pladsindretning og overdækning er ikke indregnet, idet det er vanskeligt at omsætte disse til en produktionsmængderelateret enhedspris, da de aktuelle tidsmæssige afskrivnings- og anvendelsesperioder endnu ikke er kendte. YIT oplyser, at de bl.a. har investeret ca. 30 millioner kr. de seneste 5 år i optimeret anvendelse af genbrug.

Beregningerne indikerer, at der på det anvendte grundlag for SMA vil kunne opnås en nutidsbesparelse på godt 58 kr/t asfalt ved tilsætning af 30 % genbrugsasfalt og tilsvarende ca. 44 kr/t ved tilsætning af 25 % genbrugsasfalt i ABB - i begge tilfælde svarende til en procentvis besparelse på ca. 12 %.

De ovenfor fundne besparelser skal dog også ses i lyset af de nævnte begrænsninger for beregningerne. Med en gennemsnitsbesparelse på ca. 50 kr./tons asfalt, skal der produceres 600.000 tons asfalt med minimum 30 % genbrugsasfalt før en investering som ovenfor nævnt er betalt og en egentlig fortjeneste vil kunne opnås.

Det er således vanskeligt at opgøre den eksakt mulige besparelse for vejmyndighederne, hvor salgsprisen i øvrigt også afhænger af forskellige markedsmekanismer og markeds-mæssige forhold og vilkår, markedets størrelse og udbuddenes omfang, sæsonudsving m.v.

Set i et samfundsøkonomisk perspektiv hersker der dog ingen tvivl om, at der ved øget genbrugsanvendelse i relation til den danske betalingsbalance kan opnås en markant besparelse ved at konvertere udgifter til import af udenlandske råstoffer til udgifter til lokal oparbejdning, transport og håndtering af genbrugsasfalt, ligesom der samfundsmæssigt spares udgifter til

håndtering af eventuelle alternative depoter for deponering af opbrudte og affræsedede materialer, såfremt de ikke ville kunne genbruges i ny asfalt.

16. Samlet konklusion og anbefalinger

Der stræbes overalt efter mere bæredygtige, miljørigtige løsninger. Dette underbygges bl.a. af de overordnede klima-mål fra Paris-aftalen og Kyotoprotokollens forpligtelse til målrettet reduktion af de globale udledninger af drivhusgasser. Set i dette lys ligger der, som dokumenteret i denne rapport, en stor miljøgevinst at hente ved at tillade op til i hvert fald 30 % slidlagsgenbrugsasfalt i nye asfaltslidlag og bindelag. Dette gælder for selv de mest "ædle" asfalttyper som SMA og ABB.

Asfalt består i hovedtræk af sten, grus og sand, sammenbundet med det sorte bindemiddel, bitumen, udvundet af råolie. Da asfalten således er sammensat af "naturens egne materialer" er asfalt en oplagt kandidat til et cirkulært produktionsforløb. Danmark har da også igennem en lang årrække været foregangsland for genbrug af gammel opbrudt eller affræset asfalt i ny varmblandet asfalt, hvor det med gode erfaringer har været benyttet regelmæssigt i produktion af asfaltbærelag siden 1980'ernes start. Statistikkerne viser imidlertid, at der fortsat er plads til forbedringer, specielt hvad angår tilsætning af genbrugsasfalt i slidlag.

I Danmark fremstilles asfaltslidlag i det væsentlige af stærke skærver af knust klippesten, som bedst modstår trafikken direkte slitage, hvor bærelag typisk fremstilles af lidt svagere, lokale grusgravsmaterialer. Nøglen til at kunne opnå en højere grad af cirkulær ressourceøkonomi i den danske asfaltproduktion er et større fokus på "indhøstning" og oparbejdning af genbrugsasfalten, samt den efterfølgende produktionsteknologi. Ved at affræse og opbevare gamle asfaltslidlag for sig, vil disse bedre kunne genbruges i nye slidlag, i stedet for som hidtil praktiseret at sammenblande gamle slid- og bærelag. Sortering er således et nøglebegreb. Fræsning kan i sig selv være en udfordring. Normal fræsning kan efterlade en lidt grov tekstur, der måske kan nødvendiggøre et lidt større materialeforbrug i det nye slidlag, hvis der planlægges udlagt meget tynde asfaltlag. Omvendt vil en eventuel "finfræsning", med ekstra mange "fræsetænder", ud over en forventelig meromkostning, resultere i et mindre stenrigt og teknisk mindre egnet genbrugsmateriale, hvilket taler til gunst for i videst muligt omfang at anvende normal fræsning.

De danske asfaltfabrikker er underlagt standardvilkårene for sådanne listevirksomheder, som med hensyn til genbrugsasfalt blot anfører krav til opbevaring på befæstet underlag med kontrolleret afløb. Desuden fastsættes normalt nogle lokale krav til den maksimalt tilladelige størrelse af genbrugsoplaget. Med en ny produktionsteknik med øget fokus på sortering kan der imidlertid opstå udfordringer som følge af arealmæssige begrænsninger for oplaget af genbrugsasfalt. En opsplitning i slidlagsgenbrug, bærelagsgenbrug og evt. en eller flere separate stakke fra store affræsnings-entrepriser synes derfor mest realistisk. Rapporten dokumenterer i øvrigt, at der kan opnås en væsentlig reduktion af det til asfaltproduktionen nødvendige energiforbrug, og deraf afledte CO₂-belastning, hvis lagerstakken af knust genbrugsmateriale på fabrikken opbevares under tag i store tørrehaller, så fugtindholdet i materialet minimeres.

Rapportens omfattende miljøvurderinger viser på baggrund af flere forskellige gennemførte livscyklusanalyse-beregninger (LCA) samstemmende, at der kan opnås en stor miljøgevinst ved at tillade 30% slidlagsgenbrugsasfalt i selv de mest "ædle" asfalttyper. Afhængig af valgt analysemetode og scenarie viser beregningerne, at der vil kunne opnås en reduktion af det samlede GWP (bidrag til global opvarmning, CO₂-belastning) på mellem ca. 14 og 22 procent.

Samtidigt med den væsentlige reduktion af miljøbelastningen opnås også en stor samfundsøkonomisk gevinst fra den sparede import af råvarer til asfaltfremstilling (klippesten, typisk importeret fra Norge/Sverige og bitumen, som kan komme fra råolie fra forskellige verdensdele).

Der er i projektet også gennemført en livscyklusøkonomi-analyse (LCC), som viser den opnåede økonomiske besparelse. Det har imidlertid vist sig, at afdækning af disse forhold involverer en række konkurrencefølsomme oplysninger om produktionsoptimeringsprocesser med videre, hvorfor LCC-analysen er gennemført i en simplificeret form.

Rapportens afsnit om den særdeles omfattende laboratorieprøvning, samt det efterfølgende fuldskala demonstrationsforsøg, udført på en del af den nye Herning-Holstebro motorvej i Midtjylland, dokumenterer, at de gode miljøgevinster vil kunne forventes opnået uden risiko for samtidigt tab af asfaltmaterialernes holdbarhed eller funktionsegenskaber, når de anvendte forudsætninger følges. Prøvningen dokumenterer desuden, at slidlagsgenbrugsasfalt også kan benyttes, når der produceres asfalt med polymermodificeret bindemiddel, uden tab af funktionsegenskaber og forventet holdbarhed. Endelig viser de omfattende laboratorieforsøg, at det med hensyn til stenmaterialets finfraktions knusningsgrad ikke synes nødvendigt at være helt så restriktiv, som de hidtil gældende vejregelkrav. Forsøgsresultaterne indikerer, at der for selv de mest "ædle" asfalttyper som SMA og ABB vil kunne accepteres en "petitessegrænse" på nogle enkelte procent uknust sand i stenmaterialet, uden tab af kvalitet og holdbarhed. Dette er af stor betydning for den praktiske håndtering af slidlagsgenbrug, så man sorteringsmæssigt vil kunne håndtere slidlagsgenbrug under ét, uden nødvendigvis at skulle underopdele genbruget i den enkelte slidlagstype. Denne enklere håndtering vil således kunne reducere pladsbehovet for antallet af separate lagerstakke på asfaltfabrikkerne. Ensartede genbrugsmaterialer fra meget store slidlags-fræseopgaver kan dog med fordel holdes særskilt, hvis praktisk muligt.

Endelig dokumenterer den lange række af vejinventeringstests på fuldskalastrækningen på Herning-Holstebro motorvejen - herunder måling af jævnhed, bæreevne, støj og friktion - at der ikke ses forringede egenskaber ved tilsætning af 30% genbrugsasfalt i SMA-slidlaget med polymerbitumen.

Projektet konkluderer således, at der ved tilsætning af op til 30 % slidlagsgenbrugsasfalt i nye varmblandede asfaltslidlag vil kunne opnås en væsentlig reduktion af miljøbelastningen, samt en ikke uvæsentlig samfundsøkonomisk gevinst, uden tab af den færdige belægnings funktionsegenskaber og holdbarhed.

På baggrund af projektets positive resultater er det oplagt, at den samlede, brede vejsektor (bygherrer, myndigheder, rådgivere og entreprenører/producenter) alle – i god tråd med gældende lovgivning om restprodukter - medvirker til at gennemføre en højere grad af cirkulær ressourceøkonomi gennem accept af større anvendelse af genbrugsasfalt i den danske asfaltproduktion.

Det er i denne forbindelse også et erklæret mål for projektet at forelægge den opnåede dokumentation og de fundne resultater for Vejdirektoratets vejregelgruppe for varmblandet asfalt, med henblik på at opnå en revision af de hidtidige kravgrænser for tilsætning af genbrugsasfalt i varmblandet asfalt. Herved vil der effektivt kunne sikres en bred implementering af projektets teknologi og resultater, til gavn for det danske samfund og miljø. Som nævnt i et tidligere afsnit af denne rapport, er den hidtil gældende version af vejregel på området (Almen Arbejds Beskrivelse, AAB for varmblandet asfalt) dog i øjeblikket (i skrivende stund, september 2018) trukket tilbage, grundet afventning af afklaring omkring nogle forhold om tilpasning til CEN/Byggevejforordningen. Når en ny udgave udgives, vil det derfor være oplagt at implementere de fra Cirkulær Asfalt projektet fundne teknikker og muligheder for øget genbrugsan-

vendelse, til gavn for en mere bæredygtig og (endnu mere) miljøoptimeret dansk asfaltproduktion.

Bilag 1. Specifikationer

Bilag 1.1 Specifikationen for ABB 16 Æ₁₀ > 500 henholdsvis med og uden genbrug, udlagt 2016

Reference uden genbrug:

Asfaltspecifikation

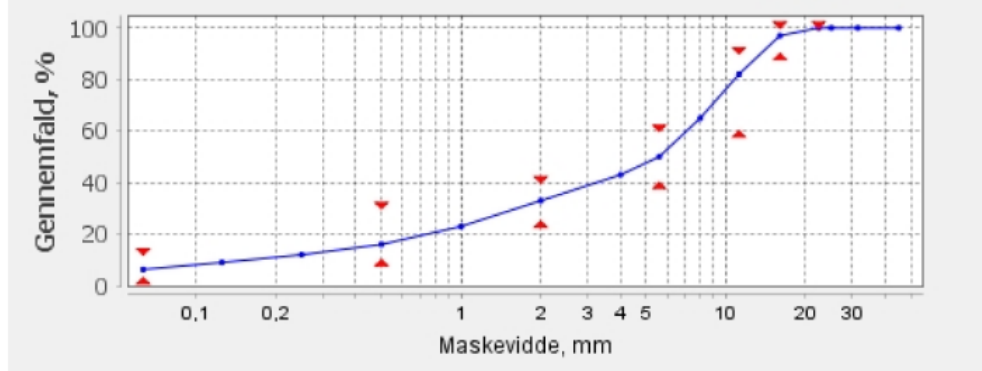
Entreprenør: Lemminkäinen A/S (Hkt)

Asfaltværk:	Lemminkäinen A/S Viborg	Udstedt d.:	16-06-2016
Bygherre:	VD Anlægsområdet	Erstatter:	
Entreprise:	Holstebro motorvej, Aulum - Sinding	Recept nr:	2900
Produkt:	ABB type 16, mod.		

Materialedata		Marshalldata	
Bitumen, type:	Mod.	Stabilitet, N:	12000,0
Bitumenindhold %:	4,5*	Deformation, mm:	
Blødhedspunkt, k&r, C:	76,0*	Indstampningstemperatur. (2x50 slag) C:	143-151
Stendensitet, g/cm ³ :	2,875	Densitet, g/cm ³ :	2,560
Reflektion:		Hulrum, %:	3,7
Vb/Vs:		Bitumenfyldning, %:	75,5
		Hulrum i stenmateriale, %:	15,0

Råvare	Vare	Fraktion	%	Modificeringsmiddel:	Type: FT-voks, In situ Indhold i %: 2,0
	Klippegranit	11/16	21,6		
	Klippegranit	8/11	19,6		
	Klippegranit	4/8	15,7	Klæbning:	Type: Kationisk Mængde, g/m ² :
	Klippegranit	2/5	9,8		
	Knust grusgravsmat.	0/2	31,4		
	Filler		2,0		

Kornkurve



Sigte, mm	45	31,5	25	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,075	0,063
Gennemfald, %	100,0	100,0	100,0	100,0	97,0	82,0	65,0	50,0	43,0	33,0	23,0	16,0	12,0	9,0		6,3
Min, %					0,0	90,0	60,0	40,0		25,0		10,0				3,0
Max, %					100,0	100,0	90,0	60,0		40,0		30,0				12,0

Bilag 1.1. fortsat

ABB 16 med 25% genbrug:

Asfaltspecifikation

Entreprenør: Lemminkäinen A/S (Hkt)

Asfaltværk:	Lemminkäinen A/S Viborg	Udstedt d.:	28-06-2016
Bygherre:	VD Anlægsområdet	Erstatter:	
Entreprise:	Holstebromotorvejen, Aulum - Sinding		
Produkt:	ABB type 16, mod.	Recept nr:	0010

Materialedata

Bitumen, type:	Mod.
Bitumenindhold %:	4,8
Blødhedspunkt, k&r, C:	76,0*
Stendensitet, g/cm ³ :	2,845
Reflektion:	
Vb/Vs:	

Marshalldata

Stabilitet, N:	12000,0
Deformation, mm:	
Indstampningstemperatur. (2x50 slag) C:	143-151
Densitet, g/cm ³ :	2,540
Hulrum, %:	3,1
Bitumenfyldning, %:	79,7
Hulrum i stenmateriale, %:	15,0

Råvare	Vare	Fraktion	%
	Klippegranit	11/16	19,5
	Klippegranit	8/11	15,0
	Klippegranit	5/8	11,2
	Klippegranit	2/5	6,8
	Knust grusgravsmat	0/2	22,5
	Slidlags genbrug	0/8	25,0

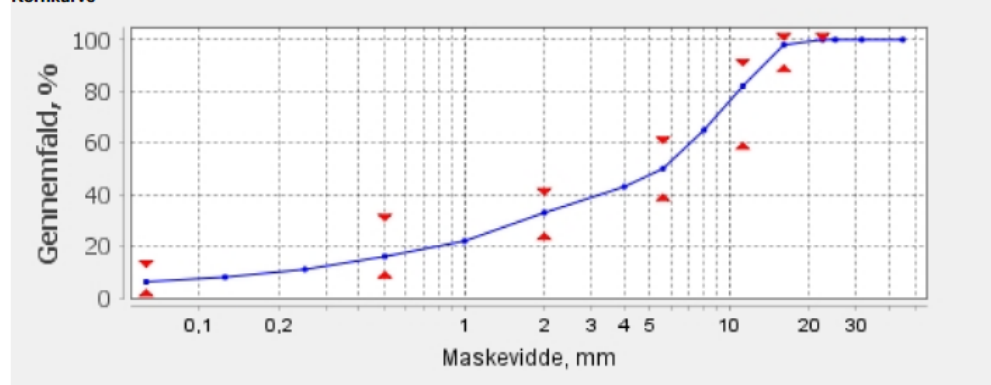
Modificeringsmiddel:

Type:	FT-voks, in-situ
Indhold i %:	2,0

Klæbning:

Type:	kationisk
Mængde, g/m ² :	

Kornkurve



Sigte, mm	45	31,5	25	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,075	0,063
Gennemfald, %	100,0	100,0	100,0	100,0	98,0	82,0	65,0	50,0	43,0	33,0	22,0	16,0	11,0	8,0		6,2
Min, %				0,0	90,0	60,0		40,0		25,0		10,0				3,0
Max, %				100,0	100,0	90,0		60,0		40,0		30,0				12,0

Bilag 1.2 Specifikationen for SMA 11 henholdsvis med og uden genbrug, udlagt 2017

SMA 11 reference uden genbrug, PmB:

FÆRDIGVARESPECIFIKATION

Udskrevet: 20-09-2017

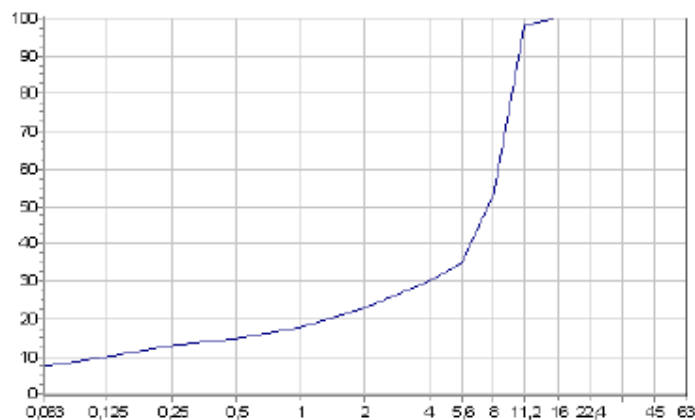
Produkt:	SMA 11 Klippegranit (mørk) ubelyst (PMB)	Spec. nr.:	108445	Fabrik:	VIBORG
Kunde:	M.J.Eriksson	Ordrenr.:	1132441	Recept:	8530
Sted:	MTV 6717.200, Aulum-Sinding			Ikrafttr.dato:	22-05-2017

Tilslag og additiver				Materialedata		Spec.
Råvaretype	Fraktion	Betegnelse	Vægt %	Stendensitet, Mg/m3:		
Lyst tilslag	8/11	Labradorit	17,23	DS/EN 1097-6 A4		2,950
Klippegranit	8/11	Hyperit	41,15	Asfaldensitet, Mg/m3:		2,590
Klippegranit	5/8	Hyperit	8,61	DS/EN 12697-6 B	2x50 149-155	
Klippegranit	2/5	Hyperit	10,53			
Klippegranit	0/2	Hyperit	18,18			
Filler			2,50	Hulrum spec., %:		2,7
Filler		Klæbeaktivt	1,50	Stendensitet		
Støttefiller			0,30	Hulrum i sten, %:		17,2
			100,00	Bitumenfyldning, %:		84,1
				Vb/Vs:		0,175

Bindemiddelttype:	25/55-55 EL	Max genbrug, %:		Refleksionsfaktor:	> 0,080
Analysemetode:	DS/EN 12697-39	Bindemiddel indh., %:	5,7	SV 30.5	
Modificering type/mængde:	Elastomér			K&R-tilsat bit., °C:	58,0
				Materialemtemp., °C:	Max 180,0

Gennemfald %

Sigte	Spec.
63	100,0
45	100,0
31,5	100,0
22,4	100,0
16	100,0
11,2	98,0
8	53,0
5,6	35,0
4	30,0
2	23,0
1	18,0
0,5	15,0
0,25	13,0
0,125	10,0
0,063	7,5



Klæbemiddelttype: kationisk emulsion

Klæbemiddel, g/m2:

Godkendt:

Bemærkning:

SMA 11 med 30% genbrug, PmB:

FÆRDIGVARESPECIFIKATION

Udskrevet: 20-09-2017

Produkt:	SMA 11 Klippegranit (mørk ubelyst (PMB)	Spec. nr.:	108531	Fabrik:	VIBORG
Kunde:	M.J.Eriksson	Ordrenr.:	1132441	Recept:	8540
Sted:	MTV 6717.200, Aulum-Sinding			Ikrafttr.dato:	20-06-2017

Tilslag og additiver				Materialedata		Spec.
Råvaretype	Fraktion	Betegnelse	Vægt %	Stendensitet, Mg/m3:		
Lyst tilslag	8/11	Labradorit	17,05	DS/EN 1097-6 A4		2,870
Klippegranit	8/11	Hyperit	39,56	Asfaldtensitet, Mg/m3:		2,520
Klippegranit	2/5	Hyperit	4,77	DS/EN 12697-6 B	2x50	149-155
Klippegranit	0/2	Hyperit	6,82			
Slidlags GB	0/8		30,00			
Filler		Klæbeaktivt	1,50	Hulrum spec., %:		2,8
Støttefiller			0,30	Stendensitet		
			100,00	Hulrum i sten, %:		17,4
				Bitumenfyldning, %:		83,9
				Vb/Vs:		0,176

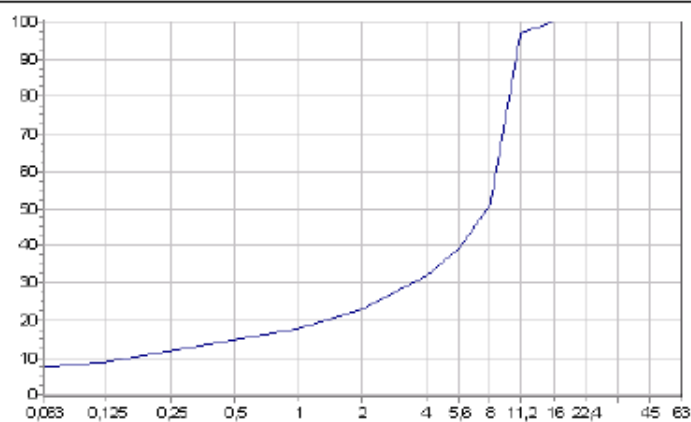
Bindemiddeltipe:	25/55-55 EL	Max genbrug, %:	30,0	Refleksionsfaktor:	> 0,080
Analysemetode:	DS/EN 12697-39	Bindemiddel indh., %:	5,9	SV 30.5	
				K&R-tilsat bit., °C:	58,0

Modificering type/mængde: Elastomér

Materialetemp., °C: Max 180,0

Gennemfald %

Sigte	Spec.
63	100,0
45	100,0
31,5	100,0
22,4	100,0
16	100,0
11,2	97,0
8	51,0
5,6	39,0
4	32,0
2	23,0
1	18,0
0,5	15,0
0,25	12,0
0,125	9,0
0,063	7,5



Klæbemiddeltipe: kationisk emulsion

Klæbemiddel, g/m2:

Godkendt:

Bemærkning: Anvendes til MUDP-forsøg Aulum-Sinding

Bilag 2. Litteraturliste:

- [1] Hugo M.R.D. Silva, Joel R.M. Oliveira, Carlos M.G. Jesus:
Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving?
Department of Civil Engineering, University of Minho, Portugal
Fundet på www.researchgate.net
- [2] Audrey Copeland, John D'Angelo, Raj Dongré, Satish Belagutti and Gregory Sholar:
Field Evaluation of High Reclaimed Asphalt Pavement-Warm-Mix Asphalt Project in Florida - Case Study
<http://trrjournalonline.trb.org/doi/abs/10.3141/2179-11>
- [3] Randy West (NCAT):
Reclaimed asphalt pavement management: best practices
<http://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/rap/files/rap-best-practices.pdf>
- [4] C. Daranga:
Characterization of aged polymer modified asphalt cements for recycling purposes
PhD-afhandling – Department of Chemistry , Technical University LTRC – Louisiana, 2005
<http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-11142005-160319/>
- [5] Il Al-Quadi et al.:
Development of an Economical, Thin, Quiet, Long-Lasting, High Friction Surface Layer, Volume 1: Mix Design and Lab Performance Testing
University of Illinois, USA
<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/45783>
- [6] C De La Roche, M Van de Ven, T Gabet et al.:
Development of a laboratory bituminous mixtures ageing protocol
Proceedings fra RILEM 2009 Rhodes, Grækenland Bind 1, side 331-345
- [7] Farhad Yousefi Rad:
Estimating Blending Level of Fresh and RAP Binders in Recycled Hot Mix Asphalt
Thesis Univ. Wisconsin, Madison, USA, April 2013
- [8] Frigio, F., Pasquini, E. , Canestrari, F.:
Study to Evaluate the Influence of Reclaimed Asphalt Content on Performance of Recycled Porous Asphalt
ASTM – Journal of Testing and Evaluation Volume 43, Issue 6 (November 2015)
- [9] Yves Brosseaud (IFSTTAR):
Recycling asphalt overview of more than 25 years of use in France
University of Nantes, France, Power Point 2010
<http://hal.univ-nantes.fr/file/index/docid/594740/filename/doc00007089.pdf>
- [10] Usama Heneash:
Effect of the Repeated Recycling on Hot Mix Asphalt Properties
Doctor-afhandling Nottingham , Maj 2013
<http://core.ac.uk/download/pdf/18183658.pdf>
- [11] Dragos Andrei, William Kitch, Erik Ellingsen, Lynn Grosz, Stephan Longoria, Dan Stoica:
Review of High Percentage RAP Usage in Asphalt Concrete
Pavement Recycling and Reclaiming Center – report 1370-1 for Caltrans April 2013
Fundet på www.researchgate.net
- [12] Miguel Arellano, Cindy K. Estakhri, Tom Scullion and Tommy Blackmore:
Guidelines on the use of thin surface mixes for pavement preservation
TRB paper 2015 – <http://docs.trb.org/prp/15-4712.pdf>
- [13] Geological Engineering – Recycled Materials Resource Center.
Reclaimed asphalt pavement – Material description

Madison, Wisconsin, USA.
<http://rmrc.wisc.edu/ug-mat-reclaimed-asphalt-pavement/>

- [14] G. R. Cherab and T. Kumar:
Preventive Maintenance on I-79
Final report , December 2005
http://www.pti.psu.edu/pti_docs/PTI%202006-16.pdf
- [15] Darjusas Mucinis, Henrikas Sivilevicius and Rolandas Oginskas:
Factors Determining the Inhomogeneity of Reclaimed Asphalt Pavement and Estimation of its Components Content Variation Parameters
Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vol. 4, no. 2 , pp 69-79, 2009
- [16] Imad L. Al-Qadi, Mostafa Elseifi and Samuel H. Carpenter:
Reclaimed Asphalt Pavement – A literature review
Project No.: ICT R27-11 Determination of Usable Residual Asphalt Binder in RAP
Illinois Center for Transportation, March 2007
- [17] Robert Locander:
Analysis of using reclaimed asphalt pavement (RAP) as a base course material
CDOT-2009-5, Colorado DOT, Feb. 2009
<http://www.aggregateresearch.com/resources/items/Reports/rapbase.pdf>
- [18] Ali Jamshidi, Meor Othman Hamzah and Zulkurnain Shahadan :
Selection of reclaimed asphalt pavement sources and contents for asphalt mix production based on asphalt binder rheological properties, fuel requirements and greenhouse gas emissions
Journal of Cleaner Production, Volume 23, Issue 1, March 2012, Pages 20–27
- [19] Doyle, J., Howard, I., and Robinson, W.:
"Prediction of Absorbed, Inert, and Effective Bituminous Quantities in Reclaimed Asphalt Pavement."
J. Mater. Civ. Eng., 24(1), 102–112, 2012 (Journal of Materials in Civil Engineering)
- [20] Jie Han, Subhash C. Thakur, Oswald Chong and Robert L. Parsons:
Laboratory evaluation of characteristics of recycled Asphalt Pavements in Kansas
Report No. K-TRAN: KU-09-2 ▪ FINAL REPORT ▪ September 2011
- [21] Benjamin Frank Bowers:
Investigation of Asphalt Pavement Mixture Blending Utilizing Analytical Chemistry Techniques
Doctoral Dissertations 12-2013 – Univ. of Tennessee – Knoxville
- [22] David Fowler and David Whitney:
TxDOT Project 0-6590: Material Selection for Concrete Overlays
Texas DOT Training manual August 2011
- [23] Allan S. Brantley and Timothy G. Townsend:
Leaching of Pollutants from Reclaimed Asphalt Pavement
Environmental Engineering Science. March/April 1999, 16(2): 105-116.
<http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ees.1999.16.105>
- [24] Feng Hong , Dar-Hao Chen and Magdy Mikhail:
Long-Term Performance Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Results from Texas. Pavement Studies Category 5 Sections from the Long-Term Pavement Performance Program
<http://trrjournalonline.trb.org/doi/abs/10.3141/2180-07>
- [25] Xinjun Li, Timothy R. Clyne, Mihai O. Marasteanu:
Recycled asphalt pavement (RAP) effects on binder and mixture quality
Minnesota DOT final report, MN/RC 2005-02
<http://www.lrrb.org/PDF/200502.pdf>
- [26] Anne Ventura, Agnès Jullien, Pierre Monéron:
Polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from a hot-mix drum, asphalt plant: study of the influence from use of recycled bitumen
Journal of Environmental Engineering and Science, 2007, 6(6): 727-734, 10.1139/S07-022

- [27] Gonzalo Valdés, Félix Pérez-Jiménez, Rodrigo Miró and Adriana Martínez:
Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP)
Construction and Building Materials, March 2011
- [28] Agnès Julliena, Pierre Monérona, Gaetana Quarantab and David Gaillardc
Air emissions from pavement layers composed of varying rates of reclaimed asphalt
Resources, Conservation and Recycling Volume 47, Issue 4, July 2006, Pages 356–374
- [29] Joel R.M. Oliveira, Hugo M.R.D. Silva, Carlos M.G. Jesus, Liliana P.F. Abreu and Sara R.M. Fernandes:
Pushing the Asphalt Recycling Technology to the Limit
Department of Civil Engineering, University of Minho, Portugal
Fundet på www.researchgate.net
- [30] Carvalho, Shirazi, Ayres and Selezneva:
Performance of recycled hot mix asphalt overlays in rehabilitation of flexible pavements
TRB 2010 Annual meeting
<http://docs.trb.org/prp/10-2209.pdf>
- [31] Gabriele Tebaldi, Eshan Dave, Paul Marsac, Patrick Muraya, Martin Hugener, Marco Pasetto, Andrea Graziani, Andrea Grilli, Alessandro Marradi, Louisette Wendling, Vincent Gaudefroy, Kim Jenkins, Andreas Loizos and Maurizio Bocci:
Classification of recycled asphalt (RA) material
TG6 of RILEM TC-SIB: Classification of RAP
2nd International Symposium on Asphalt Pavement and Environment, Oct 2012, France.
- [32] MA Peng-yu, HU Yong-biao, ZHANG Xin-rong:
Research on Adaptive Power Control Parameter of a Cold Milling Machine
Construction Machinery School, Chang'an University, Xi'an 710064, China
Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2007-02
- [33] Kęstutis Vislavičius and Henrikas Sivilevičius:
Stochastic simulation of the influence of reclaimed asphalt pavement mineral aggregate variation on the homogeneity of recycled hot-mix asphalt
10th Int. conference, Vilnius. Lithuania 19th-21st May 2010 pp 324-329
- [34] Jean-Baptiste Gobert and Thomas Gabet:
Milling operation: Possible Influence on Gradation and Aggregate Properties
EU –project Re-Road Deliverable 4.3, November 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [35] Virginie Mouillet et al.:
State of the Art on existing laboratory methods (sampling, characterization) linked to Reclaimed Asphalt study.
EU-project Re-Road, Deliverable 1.1, May 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [36] Virginie Mouillet et al.:
Methodology for laboratory characterization of Reclaimed Asphalts.
EU-project Re-Road, Deliverable 1.2, May 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [37] Thomas Gabet et al.:
Sampling procedure for Reclaimed Asphalt.

- EU-project Re-Road, Deliverable 1.3, November 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [38] Virginie Mouillet et al.:
 Test procedure/methodologies for Reclaimed Asphalt.
 EU-project Re-Road, Deliverable 1.4, August 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [39] Jean-Baptiste Gobert et al.:
 Test procedure/methodologies for Quick Screening of Reclaimed Asphalt.
 EU-project Re-Road, Deliverable 1.5, August 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [40] Anja Enell et al.:
 Test Methods for Environmental Characterization of Reclaimed Asphalts.
 EU-project Re-Road, Deliverable 1.6, December 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [41] Virginie Mouillet et al.:
 Sampling and Characterization of Reclaimed Asphalt – Final Report
 EU-project Re-Road, Deliverable 1.7, November 2012
<http://re-road.fehrl.org>
- [42] Federal Highway Administration (USA):
 Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice
 FHWA Publication : FHWA-HRT-11-021, April 2011
- [43] Deutscher Asphaltverband e.V. (DAV):
 Wiederverwenden von Asphalt – Nachhaltigkeit auf höchstem Niveau
 Rapport, Juli 2014 (ny-bearbejdet udgave), www.asphalt.de
- [44] Timo Blomberg:
 Changes in binder properties in ageing and rejuvenation.
 Indlæg på NABin seminar “Gjenvinning og bindemidlets påvirkning”, Oslo, Norge, 2015-10-20
- [45] Olga Mirochnikova:
 Project with RAP in Asphalt with Polymer modified bitumen on Highway in Norway (E6 Kløfta-Jessheim)
 Indlæg på NABin seminar “Gjenvinning og bindemidlets påvirkning”, Oslo, Norge, 2015-10-20 og Master Thesis Maj 2015 NTNU, Norge
- [46] Anders Gudmarsson:
 Evaluation of rejuvenating agents (SBUF-projekt)
 Indlæg på NABin seminar “Gjenvinning og bindemidlets påvirkning”, Oslo, Norge, 2015-10-20
- [47] Cliff Nicholls, Sean Cassidy, Ciaran McNally, Konrad Mollenhauer, Reza Shahmohammadi, Amir Tabaković, Richard Taylor, Aikaterini Varveri og Matthew Wayman:
 Final report on effects of using reclaimed asphalt and/or lower temperature asphalt on the road network
 EARN project Deliverable No D9, December 2014
 + Indlæg på CEDR Workshop 24.-25. September 2015, Prag, Tjekkiet

- [48] Jan Valentin et al.:
Presentation of CEDR-project CoRePaSol
Indlæg på CEDR Workshop 24.-25. September 2015, Prag, Tjekkiet

- [49] Fromut Wellner et al.:
High-content RA asphalt mixture design
Deliverable No D2.1, AllBack2Pave, February 2015
Gustavo Canon Falla & Davide Lo Presti:
Presentation of CEDR-project AllBack2Pave
Indlæg på CEDR Workshop 24.-25. September 2015, Prag, Tjekkiet

- [50] Per Tyllgren:
Förnygring av returasfalt med miljöanpassade tillsatsmedel.
SBUF projekt 12230, 2010-07-05

- [51] Brochure:
The World of Wirtgen Cold Milling Machines – Efficient Milling and Granulating of Road Pavements
Wirtgen GmbH, No. 2176052, EN-09/14, 2014 (www.wirtgen.com)

- [52] Bernd Holl:
Wirtgen cold milling manual
Wirtgen GmbH, 2013 (www.wirtgen.com)

- [53] Erik Nielsen:
State of the Art – Recycling Polymer Modified Asphalt
ERA-NET Road projekt RECYPMA, deliverable 2.1 & 2.2, Januar 2013

- [54] Tom Scarpas:
Rejuvenation of asphalt mixes: The Dutch experience
Indlæg på NABin seminar "Gjenvinning og bindemidlets påvirkning", Oslo, Norge, 2015-10-20

- [55] Thomas Sandmann:
PMB and Recycling – Experiences from Germany
Indlæg på NABin seminar "Gjenvinning og bindemidlets påvirkning", Oslo, Norge, 2015-10-20

- [56] Ian Lancaster:
Warm Mix Asphalt in Europe
Indlæg på NABin seminar "Gjenvinning og bindemidlets påvirkning", Oslo, Norge, 2015-10-20

- [57] Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning:
Veileder i gjenbruk av asfalt.
Brochuremateriale lagt frem på NABin seminar "Gjenvinning og bindemidlets påvirkning", Oslo, Norge, 2015-10-20

- [58] Jozef Komačka, Eva Remišová og František Schlosser:
Asphalt Mixtures Using Reclaimed Asphalt containing Polymer Modified Binder
ERA-NET Road projekt RECYPMA, deliverable 4.1, Juni 2013

- [59] Sara Bressi, Maria Chiara Cavalli, Manfred N. Partl, Gabriele Tebaldi, Andre Gilles Dumont og Lily D. Poulikakos:

- Particle clustering phenomena in hot asphalt mixtures with high content of reclaimed asphalt pavements
Construction and Building Materials 100 (2015) 207–217
- [60] Sara Bressi, André-Gilles Dumont og Michel Pittet:
Cluster phenomenon and partial differential aging in RAP mixtures
Construction and Building Materials 99 (2015) 288–297
 - [61] Timm, West & Taylor (Auburn University), TRB2016:
PERFORMANCE AND FATIGUE ANALYSIS OF HIGH RAP CONTENT AND WARM MIX ASPHALT TEST SECTIONS
 - [62] Varveri, Avgerinopoulos, Scarpas (TU Delft), TRB2016: Durability of European Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt and Warm Mix Additives
 - [63] Mogawer et al (Highway Sustainability Research Center, University of Massachusetts), TRB2016: Using Polymer Modification and Rejuvenators to Improve the Performance of High Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures
 - [64] Sabahfar, Hossain & Schieber (Kansas State University/DoT), TRB2016: EFFECT OF ASPHALT REJUVENATING AGENT ON RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT FROM HOT-IN-PLACE RECYCLING
 - [65] Charturabong, Bahia (University of Wisconsin Madison), TRB2016: EFFECT OF MOISTURE ON THE COHESION OF ASPHALT MASTICS AND BONDING WITH SURFACE OF AGGREGATES
 - [66] Ghabchi, Barman, Singh, Zaman & Mubarak (University of Oklahoma), TRB2016: COMPARISON OF LABORATORY PERFORMANCE OF ASPHALT MIXES CONTAINING DIFFERENT PROPORTIONS OF RAS AND RAP.
 - [67] Zaumanis, Mallick & Frank, E&E Congress 2016: Towards production of 100% recycled asphalt
 - [68] Falchetto, Moon & Wistuba, E&E Congress 2016: Microstructural analysis of asphalt mixtures containing recycled asphalt materials using digital image processing.
 - [69] Kowalski, Król, Radziszewski, Pilat & Sarnowski, TU Warsaw, Polen, E&E Congress 2016: New concept of sustainable road structure with RAP binder course using bio-agent.
 - [70] Sonmez, Yildirim & Tamren (Turkey), E&E Congress 2016: Investigation of performance properties of laboratory and plant produced bituminous mixture containing high rates of reclaimed asphalt.
 - [71] Van den Bergh, Seghers, Anthonissen, Vuye, Benor & Haulet (University of Antwerp, Belgien), E&E Congress 2016: Recycling reclaimed asphalt in Flanders: state of the art 2014
 - [72] Huurman, Qui, Woldekidan, Demmik & Bruin (BAM Infra Asphalt, Utrecht, Netherlands), E&E Congress 2016: Low Emission2 Asphalt Pavement LE2AP
 - [73] Erik Nielsen: Cirkulær asfaltproduktion - Erfaringsindsamling - Litteratur- og projektstudie, Vejdirektoratet notat 15/10198-3
 - [74] Erik Nielsen: Cirkulær asfaltproduktion - Undersøgelser på affræsedede materialer, Vejdirektoratet notat 15/10199-2
 - [75] Erik Nielsen: Cirkulær asfaltproduktion - Notat over evaluering af materialeegenskaber ved Vejdirektoratets laboratorium, Vejdirektoratet notat 15/09355-20

- [76] Erik Nielsen: Cirkulær asfaltproduktion - "fødselsattest" for demonstrationsstrækningen Aulum-Sinding, Vejdirektoratet notat 15/10201-41.
 - [77] Ole Grann Andersson og René Brodersen: Erfaringer med genbrug i slidlag. Trafik & Veje, november 2014.
 - [78] Ole Grann Andersson: Genbrugsasfalt – en værdifuld ressource, også til "ædle" slidlagstyper. Trafik & Veje, april 2015.
 - [79] Mette Bender: Innovativt dansk asfaltsamarbejde: Klima og genbrug på fremtidens dagsorden. ASFALT, juni 2015.
 - [80] Ole Grann Andersson: Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark – Asfaltproduktion med større bæredygtighed. Trafik & Veje, november 2015.
 - [81] Lotte Regel Josephsen, Erik Nielsen og Ole Grann Andersson: Affræsning af asfalt med fokus på genbrug i nye bæredygtige slidlag. Trafik & Veje, juni/juli 2017.
 - [82] Lotte Regel Josephsen, Erik Nielsen og Ole Grann Andersson: Bæredygtig produktion af SMA og ABB med genbrugsasfalt. Trafik & Veje, juni/juli 2017.
 - [83] Anke Oberender og Ole Grann Andersson: Nyttiggørelse af bygge- og anlægsaffald og restprodukter. Trafik & Veje, juni/juli 2017.
 - [84] Ole Grann Andersson: Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark: Bæredygtig asfalt med mere genbrug. Trafik & Veje, november 2017.
 - [85] Henrik Fred Larsen: Cirkulær asfaltproduktion i Danmark, LCA og LCC rapport, juli 2018.
-

Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark

Hovedformålet med projektet "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark" har været at afdække mulighederne for at forbedre den cirkulære ressourceøkonomi gennem en forøget anvendelse af genbrugsasfalt i ny, varmblandet asfalt - uden at dette går ud over økonomien og asfaltens funktionalitet og holdbarhed. Projektet har gennem et detaljeret fokus på alle procesled, lige fra affræsning af den gamle asfalt til den nye asfaltproduktion, udforsket og afdækket mulighederne for en større grad af cirkulær asfaltproduktion i Danmark. Denne projektrapport beskriver det omfattende udviklings- og dokumentationsforløb, hvor både de tekniske, miljømæssige og samfundsøkonomiske effekter er belyst. Omfattende livscyklusanalyseberegninger viser, at der ved at følge projektets retningslinjer for tilsætning af genbrugsasfalt i selv de mest "ædle" standard asfalttyper vil kunne opnås en markant reduktion af det globale opvarmningspotentiale (CO₂-reduktion) i størrelsesorden op til 20 procent.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk