



Litteraturstudie om bæredygtig asfaltfremstilling

Optimering af bindemidler og slidlags-
sammensætning i forbindelse med øget
anvendelse af genbrugsasfalt



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Rapport nr. 176-1612-F01

1. december 2016

Titel:

Litteraturstudie om bæredygtig asfaltfremstilling – Optimering af bindemidler og slidlagssammensætning i forbindelse med øget anvendelse af genbrugsasfalt.

Rapportbaggrund:

Udarbejdet i overensstemmelse med RK E1, Milepæl MP 1.2, som leverance til offentliggørelse på "Expertcentre.dk".

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg

Ole Grann Andersson
Faglig leder, civ.ing. (B)
Tlf.: 7220 3209
E-mail: olan@teknologisk.dk

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Ole Grann Andersson, tlf. 7220 3209, olan@teknologisk.dk
Godkendt af: Thomas Pilegaard Madsen, tlf. 7220 2164, tpm@teknologisk.dk

Rapportnr.: 176-1612-F01

Dato: 1. december 2016

Revision: 0.

Indholdsfortegnelse

1.	Baggrund	4
2.	Basis fra MUDP-projektet "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark"	4
3.	Input fra Transportation Research Boards (TRB) konference, januar 2016:	7
4.	Input fra Euroasphalt & Eurobitume Congress, Prag, juni 2016:.....	9
5.	Kort opsummering af litteraturstudiets erfaringer	12
6.	Videre erfaringsindsamling.....	13
7.	Litteraturliste:	14

1. Baggrund

Der er generelt et stort og øget fokus på bæredygtighed og cirkulær ressourceøkonomi inden for bygge- og anlægsområdet. Dette gælder ikke mindst for asfaltvejbygning, hvor der trods mere end 30 års positive erfaringer med anvendelse af genbrugsasfalt i primært asfaltbærelag fortsat er plads til forbedringer, især når vi taler om asfaltbinde- og slidlag. Asfalt består i det væsentlige af stenmateriale (sten/grus/sand/finstof) sammenbundet af bindemidlet bitumen, og har dermed potentiale for at kunne genbruges 100%. En del af de gamle affræsede eller opbrudte asfaltbelægninger finder dog kun genanvendelse som ubundet bærelag eller fyld, i stedet for at blive genbrugt i ny varmbladet asfalt, hvor genbrugsasfaltens værdifulde bindemiddel kan genudnyttes – i overensstemmelse med intentionerne i EU's "affaldsdirektiv" og dansk miljølovgivning. Dette litteraturstudium skal således ses som et "State-of-the-Art" litteraturstudie, med hovedfokus på at afsøge de seneste udenlandske erfaringer om asfalt med tilsætning af genbrugsasfalt, herunder optimering af bindemiddel- og slidlags sammensætningen.

2. Kondensat fra MUDP-projektet "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark"s indledende litteraturstudie

Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark er et to-årigt MUDP-projekt, støttet af Miljøstyrelsen, med deltagelse af Lemminkäinen, Vejdirektoratet, Asfaltindustrien, KL og Teknologisk Institut (projektledelse). Dette udviklingsprojekt sætter gennem bl.a. omfattende laboratorietests og fuldskalaafprøvning primært fokus på at efterprøve hvor meget genbrugsasfalt, der kan tilsættes i de mest "ædle" asfalttyper, uden at gå på kompromis med materialekvaliteten og holdbarheden. I det igangværende MUDP-projekt er der indledningsvis foretaget et omfattende baggrunds-litteraturstudie, udarbejdet af Erik Nielsen, Vejdirektoratet. Et resumé af væsentlige punkter er gengivet i det efterfølgende.

Om affræsningsteknik angives i NCAT's omfattende Best Practice Guide [3] at det er vigtigt ved fræsning at fastlægge grænsefladen imellem lagene, så der ikke efterlades tynde flager med dårlig vedhæftning. Det nævnes, at det er vigtigt, at den nye asfalts mix-design ikke blot baseres på borekerneanalyser af den gamle asfalt, idet der under opfræsning og efterfølgende nedknusning forekommer en finere neddeling af stenmaterialet. En del amerikansk litteratur omtaler sigteanalyse af affræsede materialer før ekstraktion af bindemidlet som "black curves". Disse er dog ikke egnede til mix-design grundlag, da partiklerne kan bestå af agglomerater af finstof og bindemiddel og er derfor ikke nærmere beskrevet i det efterfølgende. Mix-design bør derfor udelukkende baseres på "white curves", som er sigteanalyser af ekstraheret stenmateriale fra genbrugsasfalten. Det bemærkes også at anvendelse af finfræsning kan skabe en mere plan fræseoverflade men til gengæld skaber en del mere finstof/filler, da en del af stenmaterialet neddeles under processen. I [3] omtales også muligheden for at sammenblende forskellige materialer fra egnede kilder med et acceptabelt resultat.

Tibaldi et al [31] påpeger, at homogenitet i kornstørrelsesfordeling, mineral type, bindemiddel-mængde og -type osv. er de vigtigste egenskaber i fastlæggelse af kvalitetskriterier for genbrugsasfalt. Det optimale er genbrug fra én kilde og ét belægningslag. For at forbedre homogeniteten anbefales det at opdele genbruget i to fraktioner, da det kan give bedre styringsmuligheder ved den senere anvendelse.

På baggrund af RECYPMA [58] konkluderes omkring laboratorieanalyser af polymermodificeret asfalt med genbrug, at da SBS i Danmark synes at være den dominerende polymertype, er ekstraktion med dichlormethan (kogepunkt 40 °C) stadig det foretrukne opløsningsmiddel, selvom DS/EN 12797-3 giver flere alternative muligheder. Dette grundet fordelene omkring at undgå brand og opnå en skånsom be-handling af det genindvundne bindemiddel. Ved forsøg med tre slidlagstyper og op til 40% genbrugsasfalt (3 forskellige polymermodificerede varianter) konstateredes generelt en acceptabelt lav vandfølsomhed. En sammenhæng mellem trækstyrkeegenskaberne og bindemidlernes penetration indikerer, at der som ventet er sket en opblanding af nyt og gammelt bindemiddel. Alle blandingerne med polymermodificeret bitumen som jomfrueligt bindemiddel gav god sporkøringsresistens. De to blandinger med henholdsvis 15 og 40 % genbrug gav sammenlignelige værdier med referencen. Blandingerne med almindeligt bindemiddel uden polymermodificeret genbrug viste betydelig sporkøringsfølsomhed, mens blandingen med 40 % genbrug gav bedre sporkøringsresistens og demonstrerede dermed effekten af den gamle polymer. Blandingerne med polymermodificeret bitumen og genbrug har større stivhed end referencen, hvilket er en fordel i forhold til bæreevne, så længe at stivheden ikke tager overhånd og medfører sprødhed ved lavere temperaturer. AB 11t med almindelig bitumen og genbrug viste bedre udmattelsesegenskaber end tilsvarende reference uden polymermodificeret genbrug. Konklusion fra hele RECYPMA-projektet (dvs. både bindemiddel og asfalt-studiet) bliver, at der er god effekt af en SBS polymermodificeret gen-brugsasfalt, hvis den tilsættes i virksomme mængder og ikke "fortyndes".

Scarpas [54] omtaler følgende informationer for asfaltgenbrug i Holland:

- Der produceres 8 mio. tons asfalt årligt og der er 4 mio. tons genbrugsasfalt til rådighed årligt
- 80 % af genbrugsasfalten udnyttes i form af varmblandet asfalt eller Warm Mix asfalt
- 73 % af al varmblandet asfalt og Warm Mix asfalt indeholder genbrug.
- Genbrugsprocenten i bære- og bindelagsmaterialer er typisk 60 – 70 %
- Genbrugsprocenten i slidlag er < 30 %
- Ved genbrugsprocenter under 50 anvendes sædvanligvis ikke rejuvenators

Sandman [55] giver et tilsvarende overblik over anvendelse af polymermodificeret bitumen i kombination med genbrugsasfalt i Tyskland:

- Der var i 2013 11,5 mio. tons genbrugsasfalt, hvor 10 % gik til ubundet anvendelse
- Andelen af polymermodificeret asfalt er stigende og lå i 2013 på næsten 28 %.
- Siden 1996 har andelen af genbrug i bindelag ligget på op til 20 %, mens den efter 2005 blevet hævet til op til 40 %. For bindelag med krav til polymermodificeret bindemiddel gælder kravene for hele det ækvivalente bindemiddel i blandingen; altså også hvis der har været tilsat genbrugsasfalt.
- I 2012 indeholdt ca. 97 % af al varmblandet asfalt genbrug i en eller anden mængde.

Feng Hong et al. har i [24] set på asphalt overlays i Texas med genbrugsprocenten omkring 35 i forhold til belægninger uden genbrug, baseret på mindst 16 års data. Den overordnede vurdering i [24] er, at en veldesignet mix med 35 % genbrug kan give tilfredsstillende egenskaber i forhold til belægninger baseret på jomfruelige materialer.

Carvalho et al. [30] har udført et analogt studie til [24]. Her ses der på 18 LTTP-strækninger spredt over USA og Canada, med historiske tidsserier fra 8 til 17 år og sammenlignende materialer med og uden genbrug. Studiet er udført som en stor variansanalyse med sammen-

ligning af belægningsdata og skadesmøn-stre som parametre. Resultatet viser, at størstedelen af belægningerne med genbrug har funktionsegenskaber på højde med tilsvarende med jomfruelige materialer.

Gonzalo Valdés et al. beskriver i [27] et projekt i Spanien, hvor to halvtætte asfalttyper med 12 mm og 20 mm som maksimal kornstørrelse blev benyttet med et indhold af genbrugsasfalt på henholdsvis 40 og 60 %. Projektet havde særlig fokus på variation i genbrugsasfalten med hensyn til bitumenprocent og kornkurve (mest i de storkornede materialer). Anbefalingen er, at foretage en fraktionering af genbruget og benytte mest af finfraktion for at minimere variationen på det færdige produkt. Konklusion på projektet er, at det er muligt at benytte op til 60 % genbrug i recepterne og stadig opnå sammenlignelige egenskaber med jomfruelig asfalt. Men det fremhæves at korrekt karakterisering af genbruget og håndtering af genbrugsstakkene er essentielt for at undgå for stor variation i recepterne.

Den tyske asfaltforening DAV beskriver i deres opdaterede udgave af "Genbrug af asfalt - bæredygtighed på højeste niveausfalt" [43] bl.a. de forsøg med genbrug i binde- og slidlag, som blev påbegyndt koordineret af vej- og jernbane instituttet ved Karlsruhe Universitet i 1989. Genbrugsprocenterne var for bindelag 30 % og for slidlag i form af asfaltbeton 20 %. Hverken lavtemperaturogenskaber eller udmattelsesforhold syntes at vise betydende forskelle mellem kold- og varmdosering af genbrug i forhold til referencerne.

Cliff Nicholls et al. beretter bl.a. i [47], hvordan der blev udført omfattende forsøgsstrækninger med SMA 10 asfaltslidlag ved Dublin, Irland. I forhold til den jomfruelige reference blev der udført tre forsøgsstrækninger med 30-40 % genbrug, hvoraf to tillige blev tilsat Warm Mix Asphalt (WMA) additiv. Præsentationen bygger dog på visse fejlagtige forudsætninger og en revideret præsentation af samme forsøgsserie er efterfølgende præsenteret af Varveri et al ved TRB 2016, hvorfor der henvises til dennes beskrivelse i det efterfølgende.

Olga Mirochnikova præsenterede på NABin seminaret i Oslo, Norge, oktober 2015, sit afgangsprojekt [45]. Projektet dokumenterede egenskaberne for fire sammenlignelige asfaltmaterialer udlagt i 2014. Som reference anvendtes en AB 16t med polymermodificeret bitumen, uden genbrug. Da det ofte kan være vanskeligt at fremskaffe polymermodificeret genbrugsasfalt blev forsøget gennemført for bl.a. at vurdere effekten fra eventuel tilsætning af op til 15% ikke-polymerholdig genbrugsasfalt. Der blev udført blandinger med tilsætning af hhv. 10 og 15% blandet slidlagsgenbrug uden polymerbitumen, men med forskellige blandetider. Rapporten konkluderer, at funktionsegenskaberne af de fire varianter af polymermodificeret AB 16t varierer noget både med genbrugsprocent og blandetid, men ikke i en grad så det forventes at ville påvirke den forventede levetid (elasticitet, Prall/pigdækslitage, sporkøringsmodstand m.v.). Ideelt set bør der i polymermodificeret asfalt kun tilsættes polymermodificeret genbrug (eller ikke-modificeret genbrug ved kompensation med ekstra polymerholdig ny bitumen). Projektets konklusion gælder naturligvis kun det specifikke polymermodificerede bindemiddel, men viser dog, at fremstilling af asfaltslidlag med polymermodificeret bitumen og relativt lave genbrugsmængder synes at have en vis robusthed over for genbrugsasfaltens polymerindhold.

3. Erfaringer fra Transportation Research Boards (TRB) conference i Washington, januar 2016:

I det følgende er anført nogle af de væsentlige bidrag om asfaltgenbrug fra TRB-konferencen afholdt i Washington, januar 2016.

Timm, West & Taylor [61] har set på fuldskala-performance og udmattelse af teststrækninger med asfalt med højt indhold af genbrugsasfalt. Brug af Warm Mix Asphalt (WMA) teknologi og øget brug af genbrugsasfalttilsætning breder sig hastigt i USA. NCAT har derfor allerede i 2009 opført 5 teststrækninger. Det var forventet at de skulle kunne holde til en trafikbelastning på 10 mio ESALs (standardaksler), men viste sig alle at holde fint helt frem til 14 mio. ESALs, hvor udmattelsesrevner opstod. Ingen af strækningerne havde over 10 mm sporkøring.

Teststrækningerne omfattede en referencestrækning, en strækning med højt genbrugsindhold (50%) og to strækninger med WMA teknik, og en strækning med både højt genbrugsindhold og WMA-teknik. Disse blev udsat for accelereret trafikbelastning. Strækningerne var konstrueret med måleudstyr for løbende kontrol af tøjninger og spændinger og blev desuden på ugebasis visuelt kontrolleret for revnedannelser, sporkøring m.v. Der blev udført forskellige udmattelsestest i laboratoriet med forskellige resultater. Det konkluderes dog fra fuldskalastrækningerne, at strækningerne med 50% genbrugsasfalt i virkelighedens verden klarede sig fuldt ud lige så godt eller bedre end referencestrækningen uden genbrug.

Varveri, Avgerinopoulos & Scarpas (TU Delft) [62] har beskrevet erfaringerne fra et fuldskala-forsøg i Irland, hvor der på tilsvarende vis blev set på egenskaber ved tilsætning af genbrugsasfalt og WMA-additiver. (Det skal bemærkes, at dette paper omfatter en korrigeret præsentation af samme forsøgsrække som tidligere blev nævnt ved [47].

På en fuldskala teststrækning på en landevej i Irland blev udført forsøg med 4 varianter af SMA: Referen-ce uden genbrug, variant med 30% genbrug, variant med 30% genbrug og WMA-additiv og variant med 40% genbrug og WMA-additiv (Cecabase). Der er særligt set på vandfølsomhed efter lang tids vandlagring og en ny "MiST" test, hvor vand presses ind i prøvelegemer. Tests er udført på borekerner umiddelbart efter udlægning og gentaget efter et års trafikpåvirkning. Det konkluderes, at tilsætning af genbrug styrkemæssigt generelt øger materialets spaltetrækstyrkeværdi. Der ses ikke signifikant forskel på vandfølsomheden af blandinger med 30 og 40% genbrug. Sammenlignet med referencen udviste genbrugs-strækningerne generelt en forbedret vandfølsomhedsmodstand for kerner udtaget et år efter udlægning, hvilket tolkes som, at en form for curingsproces er foregået. Ved samme genbrugs-tilsætning opnås en forbedret vandfølsomhedsmodstand ved tilsætning af WMA-additiv. (Det skal dog bemærkes, at der i materialesammensætningen for genbrugsvarianterne tilsyneladende ikke har været regnet med, at hele det gamle bindemiddelindhold kunne genaktiveres, hvilket muligvis kan influere på resultatet).

Mogawer et al [63] har set på optimering af genbrugsholdige asfaltslidlag med højt genbrugsindhold ved tilsætning af rejuvenators og polymermodificeret bitumen. Det oplyses, at de fleste stater tillader op til 30% genbrug i asfaltslidlag. Der foretages normalt compensation for genbrugsbindemidlets hårdhed ved tilsætning af blødere ny bitumen. En forsøgsrække med asfaltslidlag tilsat 50% genbrug og fem forskellige rejuvenators viste, at rejuvenatorerne (tilsat i en mængde sv.t. 9% af genbrugsbitumenmængden) alle forbedrer udmattelsesmodstanden, så den blev bedre end for referencen uden genbrug. Til gengæld resulterede de

anvendte rejuvenators i en reduceret sporkøringsmodstand. Ved samtidigt at iblande polymermodificeret bitumen kunne god sporkøringsmodstand dog genskabes. Det anføres afslutningsvis at det dog skal overvejes nærmere, om "korrektions" med polymermodificeret bitumen er en økonomisk hensigtsmæssig løsning.

Sabahfar, Hossain & Schieber (Kansas State University/DoT) [64] har set på effekt af en emulgeret rejuvenator i forbindelse med remix på vej. I dette studie er der udført en lang række laborietests på in-situ remixet asfalt (100 % genbrug på vej) med/uden tilsætning af rejuvenatorolie (rejuvena-toremulsion). Resultaterne viser med rejuvenatoremulSION en nedgang i sporkøringsmodstand, men den af bygherren specificerede maksimale sporkøringsdybde er dog ikke overskredet. Bedst konsistens synes opnået for remix med rejuvenatortilsætning, sammenlignet med referencen, dog viste en enkelt teststrækning ingen forbedring ved rejuvenatortilsætning. Laborietests for bedømmelse af vandfølsomhed (TSR) og kuldemodstand (TSRST) viste blandede resultater, afhængig af de enkelte strækninger. Spektroskopianalyser (SEM og EDXS) viste på mikroskopiniveau en heterogen struktur for det remixede bindemiddel med rejuvenator. Det må heraf antages, at den simple tilsætning af rejuvenatorolie på emulsionsform i f.m. den anvendte remix-procedure (opvarmning, oprivning, blanding og genudlægning i én operation) ikke generelt har resulteret i et ideelt, homogent slutprodukt. Erfaringen er derfor næppe relevant for varm værblandet asfalt med mere moderate genbrugsprocenter.

Charturabong & Bahia (University of Wisconsin Madison) [65] har set på asfalts vandfølsomhed, relateret til vedhæftningssvigt og kohæsionssvigt i varmblandet asfalt. Dette paper er således ikke speci-fikt målrettet genbrugstilsætning, men er mere alment interessant for at forstå nedbrudsmekanismer og opnå langtidsholdbare asfaltprodukter. Det anføres, at det i praksis kan være svært at afgøre om vedhæftningsfejl skyldes manglende vedhæftning mellem sten og bitumen eller måske i virkeligheden oftere skyldes utilstrækkelig kohæsion i bitumen/filler mørteldelen. På basis af Bitumen Bond Strength test (BBS), som er en "stempelaftrækningstest" efter vandlagring, har man gennemført en forsøgsrække med udgangspunkt i fire stenmaterialer med i praksis kendt opførsel mht. vandfølsomhedsproblemer. Der er gennemført blandinger og prøvelegemer med disse forskellige stenmelsfillere og med såvel standard som tre versioner af polymermodificeret bitumen. Det konkluderes at fillerens overfladekemi og overfladeareal har betydning for kohæsionen og vandfølsomheden. For næsten alle varianter var nedbrydningsmekanismen kohæsionssvigt – kun for den mest optimale polymerbitumen var kohæsionen så stærk, at den egentlige vedhæftning imellem bitumen og sten var skadesårsag. Forfatteren [65] anbefaler derfor øget fokus på kohæsionsbedømmelse.

Ghabchi, Barman, Singh, Zaman & Mubarak [66] har vurderet på funktionsegenskaberne af asfaltblandinger med tilsætning af "RAP" (genbrugsasfalt) og "RAS" granulat fra genbrugs-"Shingles" (små bitumenbaserede tagplader, som minder om en slags tagpap, uden at der dog nødvendigvis kan drages direkte sammenligning). Det anføres indledningsvis at trods de miljø- og økonomimæssige fordele ved at anvende genbrugsasfalt og genbrugs-shingles i ny varmblandet asfalt, så er der især fokus på, om udmattelsesegenskaberne og lavtemperatur revnemodstanden er på samme niveau som for jomfrueligt fremstillet asfalt. På baggrund af input fra et omfattende litteraturstudie og rundspørge til vejmyndigheder blev det besluttet at gennemføre en forsøgsrække med følgende varianter: a) reference, jomfruelige materialer, b) 30% genbrugsasfalt, c) 5% genbrugsasfalt + 5% genbrugs-tagshingles, og d) 6 % genbrugs-tagshingles. Forsøget blev gennemført med en standardbitumen (PG 64-22, amerikansk "performance grade" betegnelse, som er beregnet til klima med temperaturvariationer imellem -22 og +64°C). Samme fire blandingsvarianter blev supplerende gennemført med en

polymermodificeret bitumen PG 70-28. På materialet fra blandingerne blev udført en omfattende række tests, herunder udmattelsestest, stivhedsmodul, krybningsmodstand, og spaltrækstyrketest.

Med hensyn til stivheds- og udmattelsestest blev det for forsøgsserien med standard bitumen konstateret, at stivheden blev let forøget ved tilsætning af 30% genbrugsasfalt, yderligere ved blanding med 5% genbrugsasfalt og 5% tagshingles. Klart størst forstivning blev opnået ved tilsætning alene af 6% tagshingles. Betragtes de relaterede udmattelsestests opnåede forbedrede værdier for begge varianter med genbrugsasfalt, men noget forringet udmattelsesmodstand ved tilsætning alene af 6% genbrugs-tagshingles.

For serien med polymermodificeret ny bitumen blev der (naturligvis) opnået bedst udmattelsesmodstand for den jomfruelige referencebelægning, da de tre genbrugsvarianter ikke kompenserede for genbrugsmaterialernes manglende polymerindhold. Blandingen med 6% genbrugs-tagshingles udviste markant lavere udmattelsesmodstand end øvrige blandinger – mindre end den halve udmattelsesmodstand opnået ved tilsætning af 30% genbrugsasfalt. Også bedømt ud fra "Creep compliance" bestemmelse vurderes det vigtigt at se på de opnåede funktionsegenskaber, så ikke genbrugsblandinger udviser øget risiko for lavtemperaturrevner (i koldt klima). Det anføres i paper'et, at da bindemidlet i tagshingles typisk er ældet på raffinaderiet (blæst bitumen) og yderligere ældet under mange års brug på taget, vil tilsætning af genbrugs-tagshingles i asfalt forventeligt medføre væsentligt større materialestivhed end ved tilsætning af genbrugsasfalt – og indebærer derfor risiko for forringede udmattelsesegenskaber og holdbarhed. Det vurderes derfor essentielt for sådanne belægninger med genbrugs-tagshingles at se på de opnåede udmattelsesegenskaber i praksis – og ikke blot se på f.eks. opnået bindemiddelindhold og kornkurve. Det konkluderes endvidere, at brug af polymermodificeret bitumen er en farbar vej til at forbedre/løfte udmattelsesmodstanden af blandinger med lav udmattelsesmodstand.

Forfatterne afslutter med en opfordring til at finde en ny, mere ideel metode til at bedømme udmattelsesmodstand, som både er hurtig, enkel at udføre, og med god repeterbarhed (f.eks. baseret på teknikken fra indirect tensile strength (ITS) og semi-cirkular bending test (SCB), som kan verificeres op imod mere avancerede udmattelsestest). Endvidere henledes opmærksomheden på at genbrugs-tagbelægninger kan indeholde rester af plast, træ og søm, hvorfor det for sådanne materialer anbefales at studere effekten af en sådan forurening på den færdige asfalts funktionelle egenskaber, set i et langsigtet perspektiv.

4. Erfaringer fra Euroasphalt & Eurobitume Congress, Prag, juni 2016:

Bæredygtig asfaltproduktion med mere cirkulær ressourceøkonomi gennem øget genbrugsasfaltanvendelse var et af kongressens absolutte hovedtemaer. Lars Forstén, Lemminkäinen, Finland, indledte som moderator for den blok, som omhandlede genbrug. Han konstaterede at der var mange teoretiske papers omkring genbrugsasfalt, men han savnede en mere praktisk tilgang og tilsvarende praktiske konklusioner. Genbrug har været anvendt af asfaltindustrien igennem mange år. Tidligere ud fra en økonomisk vinkel, men i de senere år i stigende grad ud fra bæredygtighedsbetragtninger, hvor der i et totalt perspektiv spares energi og CO₂-udledning. I lande som Luxembourg, Holland og Japan anvendes mere end 40% genbrug i asfaltproduktionen. Han konkluderer afslutningsvis, at fremstilling af asfalt med genbrug i

dag er en højteknologisk del af asfaltindustrien. Genbrugsmetoder er forbedret kraftigt gennem årene. En asfalt med genbrugsasfalt er en normal asfalt, med normale krav og egenskaber. Genbrugsasfalten er en værdifuld råvare! – og skal ses som sådan! Anvendelse af genbrugsasfalt er den bedst bæredygtige vej til at reducere asfaltindustriens emissioner, så der tages hånd om vores miljø.

Zaumanis, Mallick & Frank [67] præsenterede et laboratoriestudie hvor man havde laboratoriefremstillet asfalt med 100 % genbrugsasfalt og tilsætning af seks forskellige rejuvenatorolier (mineralske og organiske). I studiet er opstillet et forslag til ramme for mix-design, så der anvendes den optimale rejuvenator i den optimale mængde. Det konkluderes, at man i laboratorieblandingerne var i stand til at "løfte" det gamle genbrugsbindemiddel til at opnå den rette bitumenspecifikation for den foreskrevne bitumenkvalitet (US Performance Grade). Alle blandinger havde en god sporkøringsmodstand (Hamburg test). Alle rejuvenatorblandede asfaltvarianter udviste bedre kulderevnemodstand end en blanding med 100% genbrug uden rejuvenator, men kun to af de "foryngede" blandinger udviste kulderevnemodstand på niveau med en tilsvarende jomfruelig asfalt.

Falchetto, Moon & Wistuba [68] har lavet et studie over en ny testmetode, hvor asfaltens mikrostrukturelle sammensætning betragtes ved hjælp af digital image processing (DIP). I studiet anvendtes en række forskellige asfaltmaterialer med op til 40 % genbrugsasfalt. Under analysen betragtes mineral- og hulrumsfordelingen af udsavede skiver af prøvelegemer. Det kunne konstateres, at den mikrostrukturelle fordeling af sten, asfaltmastiks og hulrum for blandinger med op til 40% genbrugsasfalt ikke afveg signifikant fra referenceblandingen uden genbrug. Det foreslås, at metoden kan anvendes til bedømmelse af den mikrostrukturelle sammensætning af belægninger som har performeret dårligt på vejen, for nærmere afklaring af metodens eventuelle grænseværdier i en eventuel mere rutinemæssig anvendelse.

Kowalski, Król, Radziszewski, Pilat & Sarnowski[69] bidrog med et paper, der omtaler forsøg med anvendelse af op til 30% genbrug, hvor genbrugsbindemidlets større hårdhed er søgt kompenseret ved tilsætning af 2,5 – 5,0 % bio-rejuvenator, baseret på rapsolie methylestere. Forsøgsserien viste, at der med bio-rejuvenatoren kunne opnås forbedret bearbejdelse af asfalten med genbrug. Stivhedsmodul bestemt med IT-CY metode (cylindriske prøvelegemer) viste en let stivhedsforøgende effekt ved tilsætning af 30% genbrug uden bindemiddeljustering, hvorimod både 2,5 og 5,0 % bio-rejuvenator tilsætning resulterede i lavere stivhedsmoduler (op imod en halvering af den jomfrueligt fremstillede asfaltblandingens stivhed). Det konkluderes på denne baggrund, at den anvendte rapsolie-"rejuvenator" kan benyttes til at undgå problemer med for stive asfaltmaterialer ved anvendelse af høje genbrugsprocenter. (Red.: Man bør dog tilsyneladende også ved rapsolierajuvenator tage sig i agt for ikke at opnå for bløde asfaltsammensætninger med lav sporkøringsresistens).

Sonmez, Yildirim & Tamren (Turkey) [70]: Investigation of performance properties of laboratory and plant produced bituminous mixture containing high rates of reclaimed asphalt. I Tyrkiet er det normalt, at man kan tilsætte op til 15% genbrugsasfalt uden bitumenkorrektion. Ved genbrugsmængder mellem 15 og ca. 25% anvendes bitumen med ét penetrationstrin blødere end for "jomfrueligt" fremstillet asfalt. Ved højere genbrugsmængder justeres med rejuvenator. Forfatterne har gennemført et studie, hvor tætgraderet asfaltbeton (AC 20 surf 50/70) produceres i laboratoriet og efterfølgende på asfaltfabrik med 50% genbrug og tilsætning af 3% rejuvenatorolie for at kompensere for genbrugsasfaltens hårdere bindemiddel (tilsat mængde justeret for opnåelse af samme penetration og K&R niveau som reference). Data sammenlignes med referenceproduktion uden genbrug. Sporkørings tests viser 15%

bedre sporkøringsresistens for den genbrugsholdige variant end referencen. Vandfølsomhedstests (spaltetrækstyrke før/efter vandlagring) viser bedst vedhæftningsevne for den værksproducerede variant med genbrug og dårligst for referencen. Alle værdier ligger dog over 80%, som ofte anvendes som grænseværdi. Udmattelsestests viser omtrent ensartet kurveforløb for reference og fabriksfremstillet asfalt med 50% genbrug (hvor den laboratoriefremstillede genbrugsvariant har lidt ringere udmattelsesmodstand). Det konkluderes på denne baggrund, at asfaltblandingen med 50% genbrug opfyldte alle specifikationskrav og opnåede mht. sporkøringsmodstand, vandfølsomhed og udmattelsesmodstand værdier, som i de fleste tilfælde var bedre end referenceblandingen uden genbrug.

Van den Bergh, Seghers, Anthonissen, Vuye, Benor & Haulet (University of Antwerp, Belgien) [71], har set på flamske (belgiske) erfaringer med genbrugsasfalt. I 2014 indeholdt 61% af asfaltproduktionen genbrug og den gennemsnitlige genbrugsprocent var 43%. Med udgangspunkt i de hidtil opnåede erfaringer fra produktion af asfaltbærelag med genbrugstilsætning er det konkluderet, at tilsætning af genbrugsasfalt har positiv effekt på sporkøringsmodstanden, at genbrugstilsætning ikke har nogen signifikant indflydelse på materialestivheden, samt at asfaltbærelag med 20% genbrug udviser forbedret udmattelsesmodstand. Der er udført en laboratorieblandingsserie af SMA med både standard og polymermodificeret bitumen, hvor der er tilsat 0, 20 og 30% genbrug uden samtidig bindemiddelkorrektion. Det konkluderes, at tilsætning af genbrug og brug af polymermodificeret bitumen giver en positiv indflydelse på stivhedsmodul, sporkøringsmodstand, vridmodstand (Damstadt raveling tester) og vandfølsomhed. Endnu en laboratorieserie omfatter forsøg med blandinger af tætgraderet asfaltbeton med 0, 20, 40 og 50% genbrug. For referencen er anvendt bitumen 50/70 og for genbrugsvarianterne er den nye bitumen ét trin blødere, altså 70/100. Det konstateres, at der ikke opnås negative egenskaber (samme tests som ovenfor nævnt) for ABt med op til 50% genbrugsasfalt.

Som et kuriosum kan afslutningsvis nævnes Hurman et al's paper [72], som beskriver et nyt og noget ukonventionelt produktionskoncept, kaldet LE2AP. Konceptet, som kombinerer lavenergiasfalt og genbrug, synes hovedsageligt baseret på genbrug af drænasfaltbelægninger fra de hollandske motorveje. Ved hjælp af en speciel anordning med slageffekt (materialet kastes med stor energi mod en stålplade) separeres den opfræsedede genbrugsasfalt, så den finkornede og bitumenrige mørtedel "frasisgtes" fra den skærverige del, som efter processen oplyses at have et restbindemiddelindhold på mindre end 1%. Fra mørtelfractionen produceres en "standardmørtel", som forynges med rejuvenator og tilsættes ny bitumen og opbevares i en tank ved 165-170°C under omrøring. Ved produktion håndteres genbrugsmaterialets stenfraktion som nyt stentilslag og opvarmes til 80°C. Standardmørtelen opskummes og iblandes til de varme sten. Der anvendes op til min. 80% genbrugsasfalt og produktionstemperaturen er under 80°C. Det anføres, at man forventer, at der kan produceres drænasfalt med op til 93% genbrug efter denne metode. Det oplyses afslutningsvis at denne særdeles ukonventionelle metode er under fortsat udvikling...

5. Kort opsummering af litteraturstudiets erfaringer

De mange 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 Holland anvendes op til 60-70% genbrug i 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 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 langtids-fuldskalatester viser at belægninger 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.

Amerikanske forsøg med genbrugsasfalt og genbrugstagplader (shingles) viser, at shingles forstiver belægningen og giver forringet udmattelsesmodstand, blot ved iblanding i en mængde af 6%. Ved brug af disse genbrugstagprodukter er det derfor meget vigtigt at teste asfaltens udmattelsesmodstand. Der ses samtidigt behov for at introducere en hurtigere og pålidelig udmattelsestest til sådanne belægninger. Endelig gøres opmærksom på, at effekten af evt. tagsøm, trærester eller plastrester fra genbrugs-tagshingles bør vurderes nærmere.

Generelt gælder, at der skal være styr på de anvendte genbrugsmaterialer, som bør sorteres efter kvalitet. Ved høje genbrugsasfaltprocenter bør generelt være fokus på kulderevne modstand/udmattelsesmodstand, vedhæftning, sporkøringsmodstand og materialestivhed. Forsøg med op imod 100% genbrugsasfalt og compensation for bindemiddelhårdhed med rejuvenator viser, at det kan lade sig gøre at fremstille asfalt med særdeles højt genbrugsasfaltindhold, som opnår udmattelsesegenskaber på niveau med referencen 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 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 blød bitumen - vil der generelt kunne påregnes fornuftige materialeegenskaber og levetider på højde med ikke-genbrugsholdig asfalt.

6. Videre erfaringsindsamling

Afslutningsvis henledes læserens opmærksomhed på, at det danske MUDP udviklingsprojekt "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark" (med deltagelse fra Lemminkäinen, Vejdirektoratet, Asfaltindustrien, KL og projektledelse af Teknologisk Institut), som forventes afsluttet september 2017, indeholder en lang række nye forsøg og betragtninger med specielt fokus på afprøvning under danske forhold. Der er her taget udgangspunkt i dokumentation af genbrugstilsætning i selv de mest "ædle" asfalttyper SMA og ABB til tung trafik. Alle foreløbige resultater antyder, at tilsætning af ca. 30% sorteret slidlags-genbrugsasfalt kan tilsættes uden forringede egenskaber og holdbarhed, hvilket er i fuld overensstemmelse med litteraturstudiets konklusioner. Slutresultatet vil blive overdraget til Vejdirektoratets vejregelgruppe for varmblandet asfalt.

Der er også i udlandet fortsat stort fokus på genbrug og bæredygtighed, hvorfor der bl.a. i Norge (regi NABin) og Sverige (regi SBUF) parallelt med de danske tiltag foregår nogle udviklingsprojekter om dette emne. Disse projekter forventes ligeledes færdiggjort i løbet af 2017.

7. 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 Rhodos, 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 Brosseau (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 Jullien, Pierre Monéron, 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, Louissette 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] Zaubanis, 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