



## Re-RACE (Rejuvenation of Reclaimed Asphalt in a Circular Economy): resultaten van 4 jaar onderzoek

Het streven naar een circulaire economie wordt door de Europese Commissie voor alle industriële sectoren als een belangrijke strategische doelstelling naar voren gebracht. Het duurzaam hergebruik van asfaltgranulaat (AG) is voor de asfaltsector een perfecte manier om aan deze doelstelling te beantwoorden. Recycling van AG biedt veel voordelen op ecologisch en economisch vlak, maar de toepassing van steeds hogere percentages AG en/of het herhaaldelijk hergebruik van AG in de nabije toekomst vereist bijkomende aandacht.

In België wordt recycling in de asfaltsector al meer dan 40 jaar succesvol toegepast. Daarmee is ons land één van de voorlopers in Europa en bij uitbreiding op wereldvlak. In de jaren 70 was de petroleumcrisis de economische drijfveer om te starten met het hergebruik van AG. De voorbije tien jaar zijn de ecologische voordelen een bijkomende motor bij de transitie naar circulariteit binnen de sector geworden. Bijgevolg is de asfaltrecyclingtechnologie verder gegroeid en wordt het recyclingproces steeds beter beheerst. Ook de percentages aan AG namen geleidelijk toe – tot ruim 60 % in bepaalde asfaltonderlagen.

Dit succesverhaal heeft tot gevolg dat vandaag reeds een gedeelte van het AG een tweede maal de levenscyclus doorloopt. Bijgevolg wordt de sector geconfronteerd met de problematiek van herhaaldelijk hergebruik of *multiple recycling* van AG. In de nabije toekomst zal dat nog veel vaker gebeuren. Ook blijft de toepassing van AG in asfalttoplagen in België, evenals in andere Europese landen, ondanks de vraag van de asfaltsector beperkt. De voornaamste hinderpalen hebben te maken met de aard en de constantheid van de kwaliteit van het AG en de mogelijke impact hiervan op de prestaties van het asfalt, wat voor toplagen van groter belang is dan voor onderlagen.

Gedurende zijn levensloop ondergaat het bitumineus bindmiddel een oxidatief verouderingsproces, waardoor sommige prestatie-eigenschappen van dit bindmiddel verminderen. Deze vermindering uit zich in een toenemende stijfheid en brosheid van het materiaal en een verminderde capaciteit tot herstel (*healing*). Indien dit proces zich steeds verderzet in de tijd, kan worden aangenomen dat het bindmiddel uiteindelijk volledig zijn functionele eigenschappen verliest (*black rock*).

Bovenstaande problematiek, die een duurzaam hergebruik van AG beperkt, noopt wellicht tot het gebruik van additieven, in het bijzonder verjongingsmiddelen. Een verjongingsmiddel is een algemene term voor een additief dat bij toevoeging aan een verouderd bindmiddel, zoals aanwezig in AG, in staat is om de kenmerken van dit oud bindmiddel te regenereren, waarbij de oorspronkelijke prestaties van het bindmiddel in belangrijke mate opnieuw worden verkregen.

OCW heeft de laatste vier jaar in het kader van het prenormatief project Re-RACE (*Rejuvenation of Reclaimed Asphalt in a Circular Economy*) uitgebreid onderzoek gevoerd om tegemoet te komen aan de vragen en noden omtrent duurzaam hergebruik van AG in de toekomst. Dat deed het met de steun van het Bureau voor Normalisatie. Deze bijdrage beschrijft de doelstellingen en de voornaamste resultaten van dit project.

## Projectdoelstellingen

De doelstelling van het door het NBN gesubsidieerde project was om bij te dragen tot een duurzamere toepassing van het hergebruik van AG zonder kwaliteitsafbreuk aan het materiaal, hetzij door de inzet van verjongingsmiddelen, hetzij door inzichten en kennis omtrent de beheersing van de kenmerken van AG. Daarnaast vormde de objectieve beoordeling van deze duurzaamheid een integraal onderdeel van het project. De diverse luiken van het onderzoek betroffen zowel het niveau van het bindmiddel als het asfaltmengsel (met hergebruik van AG). In dit kader werd ervaring verkregen met de inzet van verjongingsmiddelen aan de hand van zowel praktijkstudie als door experimenteel laboratoriumonderzoek.

In de eerste tweejarige periode was het project gericht op het opbouwen van kennis omtrent **de werking van verjongingsmiddelen en hun impact op de prestaties van het bindmiddel**. In dit kader werd aandacht besteed aan de bepaling van reologische indicatoren voortvloeiend uit *Dynamic Shear Rheometer* of DSR-metingen. Daarnaast werden ook relevante fysicochemische karakteristieken van bindmiddelen bepaald. Parallel werd **het effect van verjongingsmiddelen op de prestaties van asfaltmengsels met AG** geëvalueerd, waarbij ook ruime aandacht ging naar het uitvoeren van een voorstudie bij gebruik van verjongingsmiddelen. Tot slot werd een aanzet gegeven tot een algemene duurzaamheidsbeoordeling en dit in het kader van nieuwe (groene) aanbestedingsvormen.

In de tweede tweejarige periode reikten de projectdoelstellingen verder en werden de meetmethoden voor het **op een uniforme wijze afleiden van zowel de reologische als thermische indicatoren** vastgelegd, waarbij ook het onderscheidende vermogen of de zeggingskracht van deze indicatoren werd bepaald. Het beschikken over deze indicatoren laat vervolgens toe de impact van een additief zoals een verjongingsmiddel in kaart te brengen. Om een antwoord te kunnen bieden op de vraag van de asfaltsector om in de toekomst ook het duurzaam hergebruik van AG in toplagen sterk uit te breiden, werd het *Steering Committee Reclaimed Asphalt* opgericht. In deze OCW-stuurgroep wordt **in nauwe samenwerking met de asfaltsector in**

**België een gevoeligheidsstudie uitgevoerd** om de impact te bepalen van schommelingen in de karakteristieken van AG op de prestatiekenmerken van APT-C asfaltmengsels. Parallel werd een **analyse van de duurzaamheid van de APT-C varianten** uitgevoerd volgens de aanpak uitgewerkt in het project EDGAR (*Evaluation and Decision process for Greener Asphalt Roads*).

## Wat is er gerealiseerd?

### Classificatie van verjongingsmiddelen

Op vraag van de asfaltsector werd bij de start van het onderzoek een *guidance* document opgesteld met een kritische analyse van de *sustainability* van verjongingsmiddelen, inclusief specifieke aandacht voor de milieuhygiënische aspecten. Een dergelijk document is immers van groot belang om verjongingsmiddelen op een milieubewuste en tevens veilige manier te kunnen inzetten, waarbij niet alleen aandacht wordt besteed aan de initiële toepassingsfase (productie van asfalt met AG), maar ook aan de *end-of-life* fase (mag geen hindernis vormen voor hergebruik tijdens de volgende cyclus).

Dit document geeft een beter zicht op het ruime aanbod van producten aangeboden op de markt door middel van een categorisering van de verjongingsmiddelen in diverse groepen, gebaseerd op de aard en herkomst. Deze indeling maakte het ook mogelijk om per groep een analyse van de plus- en minpunten te maken. De volgende elementen komen aan bod:

- oorsprong en productieproces;
- chemische samenstelling;
- werking;
- beschikbaarheid en praktijkervaring;
- milieuhygiëne, arbeidsveiligheid en bepaalde duurzaamheidsaspecten zoals emissies en uitloging.

Deze categorisering en analyse werden per groep eveneens aan de hand van een aantal voorbeelden geïllustreerd. Het *guidance* document werd in januari 2020 gepubliceerd onder de vorm van OCW Dossier 21: Categorisering en analyse van verjongingsmiddelen voor asfaltrecycling (De Bock et al., 2020).

### Indicatoren voor bindmiddelen

Om een beter inzicht te krijgen in de intrinsieke werking en om de efficiëntie van verjongingsmiddelen op het niveau van het bindmiddel te kunnen aantonen, werd in het onderzoek aandacht besteed aan het afleiden van indicatoren voortvloeiend uit zowel de reologische als calorimetrische kenmerking. Beschikken over deze indicatoren maakt het immers mogelijk om een screening van de impact van additieven zoals verjongingsmiddelen uit te voeren.

In een eerste stap ging de aandacht naar het opstellen van gestandaardiseerde meetmethoden voor de bepaling van reologische indicatoren afgeleid uit de bepaling van de complexe afschuifmodulus  $G^*$  en fasehoek  $\delta$  met behulp van de *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) en de *Bending Beam Rheometer* (BBR). Reologische indicatoren worden onderverdeeld op basis van

hun inzetbaarheid in een bepaald temperatuurgebied (lage, intermediaire en hoge T). Vervolgens werd de kenmerking van bindmiddelen uitgevoerd aan de hand van *Modulated Differential Scanning Calorimetry* (M-DSC). M-DSC meet op een erg gevoelige en nauwkeurige wijze de calorimetrische kenmerken van een materiaal. Dat maakt het mogelijk het fasegedrag van materialen als functie van de temperatuur te bepalen, bijvoorbeeld het smelt- en kristallisatiepunt, de glastransitietemperatuur of T<sub>g</sub>, enz.

Met het oog op de selectie van indicatoren werd in een tweede stap het onderscheidende vermogen of de zeggingskracht bepaald op basis van de precisie (herhaalbaarheid) waarbij een minimale waarde die overeenstemt met een significant verschil werd berekend. Deze evaluatie bood de mogelijkheid een set van de meest relevante indicatoren voor de diverse temperatuurdomeneinen op te stellen (Tabel 1). Voor de precieze betekenis van deze indicatoren wordt verwezen naar (Piérard et al., 2020), AI-report 240 (Asphalt Institute Technical Advisory Committee, 2019) en (Apostolidis et al., 2021).

|   | Indicator                       |
|---|---------------------------------|
| <b>DSR-metingen</b> (Piérard et al, 2020)       |                                 |
| <b>Globaal Temperatuurgebied Ta - Tb</b>        | $G^*(T_a)/G^*(T_b)$             |
|   | $\delta(T_a) - \delta(T_b)$     |
| <b>Hoge temperatuur</b>                         | $T @ G^* = 15 \text{ kPa}$      |
|   | $\delta @ G^* = 15 \text{ kPa}$ |
| <b>Intermediaire temperatuur</b>                | $T_m @ \delta = 45^\circ$       |
|   | $G^* @ T_m$                     |
| <b>BBR-metingen</b> (Asphalt Institute, 2019)   |                                 |
| <b>Lage temperatuur</b>                         | $\Delta T_c = T(S) - T(m)$      |
| <b>M-DSC metingen</b> (Apostolidis et al, 2021) |                                 |
| <b>Lage temperatuur</b>                         | T <sub>g</sub>                  |

**Tabel 1** – Overzicht van de geselecteerde indicatoren bepaald aan de hand van DSR, BBR of M-DSC metingen

## Effect van verjongingsmiddelen op asfalt

De eerste ervaringen met de inzet van een verjongingsmiddel in België werden opgedaan door middel van een praktijkstudie uitgevoerd in nauwe samenwerking met Kraton Chemical (aanbieder *bio-based* verjongingsmiddel) en nv Stadsbader. De proefvakken die in 2017 op de productiesite van nv Stadsbader te Vaulx werden aangelegd, boden de kans om een zestal varianten van zowel onder- als toplagen met hoog gehalte aan hergebruik van AG, al dan niet in combinatie met een verjongingsmiddel, te monitoren (Vansteenkiste et al., 2021).

Het betrof in het bijzonder:

- onderlagen van het type APO-B:
  - APO-B-mengsel met 50 % AG;
  - APO-B-mengsel met 70 % AG;
  - APO-B-mengsel met 70 % AG met verjongingsmiddel;
- toplagen van het type APT-B:
  - APT-B-mengsel met 30 % AG;
  - APT-B-mengsel met 50 % AG;
  - APT-B-mengsel met 50 % AG met verjongingsmiddel.

Het verjongingsmiddel werd tijdens de productie (meer bepaald tijdens de aanvoer van het AG naar de paralleltrommel) met behulp van een volumegestuurde sproei-installatie rechtstreeks aan het AG toegevoegd (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, 2017).

Aan deze praktijkstudie werd een uitvoerig onderzoek gekoppeld, waarbij proeven in diverse stadia werden uitgevoerd (tijdens de productie en asfaltverwerking, na het nemen van bulkmonsters of a posteriori aan de hand van boorkernen) op het niveau van zowel het bindmiddel als het asfaltmengsel. Dit onderzoek leverde de volgende resultaten op:

- de positieve impact van dit verjongingsmiddel kon worden aangetoond aan de hand van de empirische kenmerken (naaldpenetratie en verwekingstemperatuur R&K) van de teruggewonnen bindmiddelen. Dit effect werd bevestigd aan de hand van reologische metingen;
- het effect van het verjongingsmiddel bleek ook uit de lagere waarden voor de stijfheid van de asfaltmengsels waarbij verjongingsmiddel werd toegepast;
- het was moeilijk om de impact van het verjongingsmiddel in deze praktijkstudie aan te tonen aan de hand van de weerstand tegen spoorvorming, de watergevoeligheid of het vermoeiingsgedrag en dat rekening houdend met de precisie van deze proeven.

De praktijkstudie was eveneens een kans om te beschikken over grote hoeveelheden aan materialen om in het laboratorium een geschikte en representatieve procedure op te stellen voor de uitvoering van de voorstudie bij de toepassing van AG in combinatie met een verjongingsmiddel. Tijdens een reële productie kan een verjongingsmiddel immers op meerdere manieren worden toegevoegd (bv. koud via sproeien op AG transportband, warm via directe dosering in menger). Ook de verschillende meng- en inwerkingstijden spelen mogelijk een rol gezien de temperatuurafhankelijke diffusieprocessen van deze additieven.

In dit onderzoek werd de invloed van diverse parameters geëvalueerd zoals:

- de wijze van toevoegen: koude versus warme toevoeging van verjongingsmiddel;
- de blootstellings- of inwerkingstijd tussen mengen en aanmaken proefstukken.

Op basis van de prestatieproeven in het kader van een voorstudie en de toetsing aan de praktijkstudie konden de volgende conclusies en/of aanbevelingen worden geformuleerd:

- de laboratoriumresultaten toonden geen significant verschil tussen de koude of warme toevoeging van een verjongingsmiddel. Rekening houdend met de aanbeveling van leveranciers verdient warme toevoeging de voorkeur;

- het is niet nodig om een inwerkingstijd in te lassen tussen het mengen en het aanmaken van proefstukken door verdichting van een mengsel om de efficiëntie en werking van het verjongingsmiddel duidelijker aan te tonen;
- er wordt aangeraden om deze wachttijd in de huidige norm EN12697-35 (European Committee for Standardization, 2016) te verkorten om het effect van de veroudering te beperken (bv. tot 30 min.);
- bij toetsing van de resultaten van de voorstudie aan deze verkregen op het bulkmateriaal afkomstig van de asfaltmenginstallatie, gaven de proeven met warme toevoeging van het verjongingsmiddel en met verdichting korte tijd na het mengen de beste overeenstemming.

Voor een gedetailleerd overzicht van alle resultaten in dit onderzoek verwijzen we naar een recente publicatie (Tanghe et al., 2021).

## Gevoelighedsstudie van asfaltgranulaat

In 2020 werd de stuurgroep *Steering Committee Reclaimed Asphalt* opgericht. Deze OCW-stuurgroep, waaraan de belangrijkste actoren van de wegenbouwsector in ons land actief deelnemen, heeft als doel om in kaart te brengen welke kenmerken van AG bij mogelijke schommelingen een impact kunnen hebben op de prestaties van asfaltmengsels met hergebruik van AG. Er is bijzondere aandacht voor de beheersing van deze kenmerken, die nodig is voor de toekomstige duurzame toepassing van AG in mengsels voor toplagen (type APT-C). Op dit ogenblik is de toepassing van APT-C mengsels met hergebruik van AG niet toegelaten volgens de standaardbestekken in België.

Om deze doelstelling te kunnen bereiken, focuste de stuurgroep op het opzetten en uitvoeren van een uitgebreide gevoelighedsstudie, gebaseerd op de praktijk in België. De impact van schommelingen in de kenmerken van AG, zoals het bindmiddelgehalte, de residuele pen-waarde van het oude bindmiddel, de korrelverdeling en de holle ruimte Rigden van de vulstof, werd in een eerste stap onderzocht door middel van theoretische berekeningen met PradoWeb voor (extreme) APT-C varianten met een gehalte aan AG. De berekeningen gaven aan dat schommelingen in het AG, binnen de toegelaten toleranties van een stapelreferentie, een impact kunnen hebben op de kenmerken van APT-C mengsels met AG tussen 20 % en 50 %. Meer bepaald kon worden geconcludeerd dat:

- vooral wijzigingen in de vulstof afkomstig van het AG een invloed hebben.
- bij schommelingen in het vulstofgehalte van het AG vooral de *Mastic Stiffness Indicator* of MSI-waarde en dus de verwerkbaarheid van de overeenkomstige APT-C mengsels wordt beïnvloed. Daarenboven, hoe hoger de holle ruimte Rigden van de vulstof van het AG, hoe groter het effect op de MSI-waarde.
- een wijziging in het bindmiddelgehalte van het AG en zijn hardheid (pen-waarde) vooral invloed heeft op de verwerkbaarheid en de stijfheid van het mengsel.

In een tweede stap wordt momenteel voor een beperkt aantal APT-C varianten het effect van schommelingen in het AG geëvalueerd aan de hand van een experimentele studie in het laboratorium (prestatieproeven op asfalt). Resultaten verkregen op basis van gyratorproeven bevestigden alvast de impact van schommelingen in het AG op de holle ruimte van APT-C mengsels met AG.

Na het afronden van de experimentele studie zullen de bevindingen van de stuurgroep in de vorm van aanbevelingen worden gepubliceerd (verwacht in 2022).

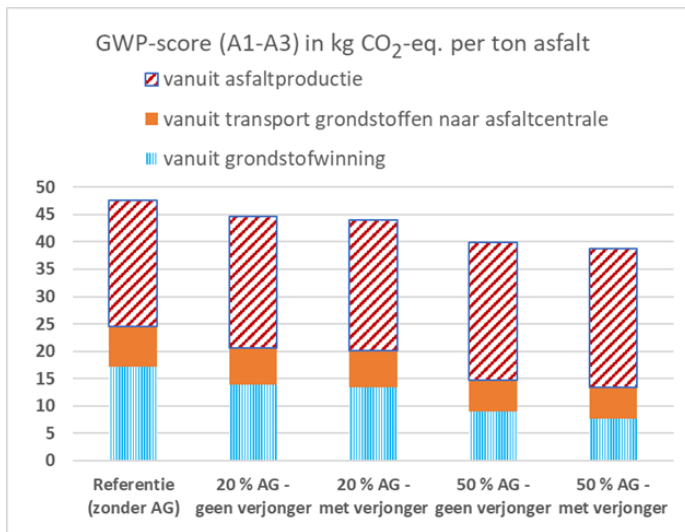
## Objectieve beoordeling duurzaamheid

De beoordeling van de duurzaamheid werd in het Re-RACE project uitgevoerd aan de hand van de EDGAR-methode. Deze methode werd door OCW ontwikkeld in samenwerking met internationale partners, in opdracht van de *Conference of European Directors of Roads* (De Visscher et al., 2016). Bij deze aanpak wordt gebruikgemaakt van een beperkt aantal relevante indicatoren (zie Tabel 2), waarbij met geschikte softwaretools objectieve inschattingen worden gemaakt.

| Impact / Indicator                 | Beschrijving  |
|------------------------------------|---|
| Klimaatverandering                 | bijdrage tot klimaatopwarming door broeikasgasemissies  |
| Uitputting abiotische grondstoffen | bijdrage tot uitputting van niet-hernieuwbare primaire grondstoffen   |
| Luchtverontreiniging               | bijdrage tot luchtvervuiling (verzurende emissies en smog)  |
| Uitloging                          | potentieel van uitloging van schadelijke chemische substanties naar bodem- en grondwater  |
| Lawaaihinder                       | geluidsproductie ten gevolge van de interactie band-wegdek  |
| Recycleerbaarheid                  | evaluatie van de toekomstige recycleerbaarheid (einde levensduur)   |
| Stroefheid                         | stroefheid bepaald door de oppervlakkenmerken van het asfalt, als essentiële indicator voor verkeersveiligheid (toplagen)             |
| Verantwoord aankopen               | evalueert de verantwoordelijkheid voor sociale en ecologische impact in het aankoopproces   |
| Kostprijs                          | financiële kost over de volledige levenscyclus (aanleg, onderhoud, freeswerken en recycling)  |
| Verkeersopstopping                 | evaluatie van de impact van de aanleg en het onderhoud (als functie van de technologie) op de mobiliteit van de weggebruiker          |
| Prestaties technische duurzaamheid | combinatie van prestatie-indicatoren (vermoeiings- en spoorvormingsweerstand, watergevoeligheid) gerelateerd aan verwachte levensduur |

**Tabel 2** – Set van duurzaamheidsindicatoren (EDGAR-methodiek [De Visscher et al., 2016])

Deze evaluatie werd uitgevoerd op een reeks asfaltmengsels voor zowel onder- als toplagen (respectievelijk APO-B en APT-C mengsels) met een variërend percentage aan hergebruik van AG, al dan niet in combinatie met een verjongingsmiddel. De focus lag hierbij op de levenscyclus van “wieg tot fabriekspoort” van een asfaltmengsel (winning van grondstoffen, transport naar asfaltcentrale en productie). In figuur 1 wordt het resultaat voor de indicator klimaatverandering of GWP-score (*Global Warming Potential*) voor een reeks APT-C varianten geïllustreerd.



**Figuur 1** – GWP-scores voor bijdrage tot klimaatverandering voor vijf APT-C varianten

Op basis van de uitgevoerde analyse kunnen conclusies worden getrokken over een positieve of negatieve impact op de beschouwde indicatoren. Zo kan worden aangegeven dat er voor belangrijke indicatoren zoals GWP-score, uitputting grondstoffen, luchtverontreiniging en financiële kostprijs een duidelijk verschil is in het voordeel van de asfaltmengsels met hergebruik van AG. Het gebruik van een verjongingsmiddel (in dit geval *bio-based* van oorsprong) vergroot dit voordeel nog in (erg) lichte mate. Ook de technische duurzaamheidsaspecten zoals het behoud of de verlenging van de levensduur en aantoonbare verhoogde prestaties, kunnen bepalend zijn in een

finale duurzaamheidsbeoordeling van de bestudeerde APT-C varianten. Een gedetailleerd rapport in de vorm van een OCW Dossier is in voorbereiding (publicatie in 2022).

## Conclusies

Het uitgevoerde onderzoek bood OCW de mogelijkheid een ruime knowhow en expertise op te bouwen over de mogelijke inzet van een verjongingsmiddel bij hergebruik van AG. Dat uit zich op tal van kennisdomeinen zoals:

- een *guidance* document over de categorisering en analyse van verjongingsmiddelen (De Bock et al., 2020);
- het beschikken over gestandaardiseerde meetmethoden voor de bepaling van relevante reologische en thermische indicatoren die toelaten een screening van additieven en in het bijzonder verjongingsmiddelen in kaart te brengen;
- het beschikken over een protocol om de voorstudie uit te voeren voor een asfaltmengsel met hergebruik van AG in combinatie met een verjongingsmiddel;
- inzichten in de mogelijke impact van schommelingen in de kenmerken van AG op de prestaties van asfaltmengsels met (hoog percentage aan) AG;
- kennis omtrent de objectieve duurzaamheidsbeoordeling van asfaltmengsels met AG, al dan niet in combinatie met de inzet van een verjongingsmiddel door toepassing van de EDGAR-methodiek.



## Dankbetuiging

Dit project kwam tot stand dankzij de financiële ondersteuning van NBN (overeenkomsten CCN/NBN/PN17A en 17B en CCN/NBN/19A en 19B).

OCW wenst ook alle leden van het *Steering Committee Reclaimed Asphalt* te bedanken voor hun actieve en waardevolle bijdragen tijdens de (online) overlegmomenten.

Tot slot wensen we ook alle betrokken onderzoekers en technici te bedanken voor hun inzet, hun zorg bij de uitvoering van de talrijke proeven en de monitoring van bouwplaatsen.



**Stefan Vansteenkiste**

E [s.vansteenkiste@brrc.be](mailto:s.vansteenkiste@brrc.be)

T +32 2 766 03 85

## Literatuur

Apostolidis, P., Elwardany, M.D., Porot, L., Vansteenkiste, S. & Chailleux, E. (2021). Glass transition in bituminous binders. *Materials and structures*, 54(3), Article 132. <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01726-6>

Asphalt Institute Technical Advisory Committee. (2019). *State-of-the-knowledge: Use of the Delta Tc parameter to characterize asphalt binder behavior* (Asphalt Institute No. IS-240). Asphalt Institute.

De Bock, L., Piérard, N., Vansteenkiste, S. & Vanelstraete, A. (2020). *Classificatie en analyse van verjongingsmiddelen voor asfaltrecycling* (OCW Dossier No. 21). Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). [https://brrc.be/sites/default/files/2020-03/dossier21\\_nl.pdf](https://brrc.be/sites/default/files/2020-03/dossier21_nl.pdf)

De Visscher, J., Maeck, J., Vansteenkiste, S., Vanelstraete, A., Wayman, M., Peeling, J., Bueche, N., Schobinger, B., Anastasio, S. & Hoff, I. (2016). *EDGAR: Evaluation and decision process for greener asphalt roads. Deliverable D4.6: Final report*. Conference of European Directors of Roads (CEDR). [https://www.ntnu.edu/documents/701369389/0/D4+6+Final+report\\_vFinal+%28revised+II%29.pdf/b80c3ad7-41e6-44aa-86f4-d77265da5313](https://www.ntnu.edu/documents/701369389/0/D4+6+Final+report_vFinal+%28revised+II%29.pdf/b80c3ad7-41e6-44aa-86f4-d77265da5313)

European Committee for Standardization. (2016). *Bituminous mixtures: Test methods for hot mix asphalt. Part 35: Laboratory mixing* (EN 12697-35).

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. (2017, september 12). *OCW en nv Stadsbader leggen de eerste proefvakken aan met verjongingsmiddel voor asfalthergebruik* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=346eHEa7zTE>

Pierard, N., Vansteenkiste, S., Vanelstraete, A. & Peaureaux, P. (2020, december 14-16). Methodology for evaluating the performance of bituminous binders based on rheological indicators: Impact of the use of a rejuvenator. In *Collection of papers of the RILEM international symposium on bituminous materials (ISBM 2020), Lyon, France*. International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM).

Tanghe, T., Vansteenkiste, S. & Vanelstraete, A. (2021, juni 16-18). Development of a protocol for the initial type testing of asphalt mixtures with the use of rejuvenators. In *Asphalt 4.0 for future mobility: Proceedings of the 7th Eurasphalt & Eurobitume congress (7th E&E)*, Madrid, Spain. Foundation Eurasphalt.

Vansteenkiste, S., Tanghe, T., Duerinckx, B., Vanelstraete, A., Porot, L., Govers, B., Libbrecht, D. & Modde, P.-P. (2021, juni 16-18). Impact of bio-based rejuvenator on bitumen and asphalt mix performance: Laboratory and field evaluation. In *Asphalt 4.0 for future mobility: Proceedings of the 7th Eurasphalt & Eurobitume congress (7th E&E)*, Madrid, Spain. Foundation Eurasphalt.