

Het expliciet maken van CO₂-emissies gedurende het asfaltproductieproces

Ruben Olthof
Universiteit Twente

Seirgei Miller
ASPARi, Universiteit Twente

Albertus Steenbergen
Roelofs bv

Samenvatting

Asfaltproductiecentrales streven steeds vaker naar verduurzaming. Echter, de onderlinge samenhang tussen het productieproces en de CO₂-uitstoot is nog onvoldoende duidelijk om tot weloverwogen verbeteringen te komen. Binnen deze kaders is daarom bij een specifieke asfaltproductiecentrale onderzoek gedaan naar het verband tussen de vermoedelijke oorzaak en het gevolg met als doel om tot aanbevelingen te komen voor CO₂-reductie.

Om de geformuleerde doelstelling te behalen zijn eerst productieparameters geïdentificeerd, welke presumptief met CO₂-uitstoot correleren. Hieruit zijn de vermoedelijk invloedrijkste parameters geselecteerd voor observatie. Eveneens is bepaald om de CO₂-uitstoot te relateren aan gasverbruik. Gedurende zes productiedagen is vervolgens data verzameld om mogelijke verbanden te identificeren.

Uit analyse is geconstateerd dat de grootste winst te behalen is op het gebied van vochtgehalte. Daarnaast is geconstateerd dat elke procentuele stijging in de branderstanden meer CO₂-uitstoot tot gevolg heeft. Betreffende de mengselsamenstelling is waargenomen dat de CO₂-uitstoot lineair toeneemt wanneer de maximale korreldiameter afneemt. Vastgesteld is ook dat een gemiddelde mengselwisseling extra CO₂-uitstoot tot gevolg heeft en dat een laag productiedebiet meer uitstoot oplevert. Tot slot is het mogelijk om te verduurzamen op een lagere eindtemperatuur.

Op basis van deze resultaten zijn aanbevelingen voor zowel de korte als lange termijn gedaan. Voor de korte termijn gaat het om operationele aanbevelingen welke relatief eenvoudig door te voeren zijn. Aanbevelingen voor de lange termijn zijn van een strategische aard. Daarbij zijn investeringen noodzakelijk. Tot slot is voorgesteld om vervolgonderzoek te doen naar de invloed van additionele parameters, zoals leklucht, gerecycled asfalt, laagtemperatuurasfalt en het benutten van restwarmte.

Steekwoorden: Asfalt, Asfaltproductie, CO₂, duurzaamheid

1 **Introductie**

De Nederlandse infrasector heeft op jaarbasis miljoenen tonnen asfalt nodig dat afkomstig is van tientallen asfaltproductiecentrales. Hiermee vormt het product de basis voor de Nederlandse automobiele infrastructuur. Met het toenemende belang van duurzaamheid krijgen asfaltcentrales echter te maken met een steeds lastigere uitdaging. Al vanaf 1995 is de sector, in het kader van de door de overheid geïnitieerde meerjarenafspraken (MJA), bezig met het optimaliseren van de energie-efficiëntie. Doordat het maatschappelijke belang van duurzaamheid in de tussentijd alleen maar is toegenomen en ondertussen verdragen als het Kyoto-protocol en de klimaatconferentie van Parijs zijn getekend, heeft ook de asfaltsector niet stil gezeten. Inmiddels is voor de periode tot 2020 de derde tranche van de MJA ingegaan. Als doelstelling is gesteld om de energiebehoefte in de gehele sector jaarlijks met 2% te reduceren. Naast de MJA zijn ook andere initiatieven als Europese emissiehandel en marktinitiatieven als de CO₂-prestatieladder geïntroduceerd. Deze initiatieven richten zich minder op energiebesparing, maar specifiek op CO₂-uitstoot. De door Europa opgelegde emissiehandel laat bedrijven jaarlijks emissierechten inkopen om CO₂ te mogen uitstoten. Bij een overschrijding van de ingekochte kwantiteit zal de vervuiler een boete moeten betalen. Al met al wordt een flinke investering gevraagd in de verduurzaming van het asfaltproductieproces.

Ondanks de sterke stimulans om te blijven verduurzamen wordt het steeds moeilijker om de vooraf gestelde doelstellingen te behalen. Mede doordat veel asfaltcentrales al vanaf 1995 in het kader van de MJA bezig zijn met het efficiënter omgaan met energie en er al erg veel bereikt is, wordt het steeds lastiger om nieuwe optimalisatiemogelijkheden te vinden. Daarom is het van belang om naast generieke oplossingen steeds specifiek te weten wat de impact van bepaalde maatregelen zijn op het energieverbruik. Momenteel wordt het productieproces voornamelijk gebaseerd op ervaring en vakmanschap. Dit is ook terug te zien in het feit dat energiebesparingen voornamelijk worden afgeschat op jaarlijkse gemiddelden en theoretische berekeningen. Door een specifiek beeld te krijgen van de relatie tussen het productieproces en het energieverbruik worden er mogelijk nieuwe optimalisatiemogelijkheden bekend. Daarnaast wordt duidelijk waarom processen gaan zoals ze gaan, waardoor potentiële barrières in de implementatie van nieuwe oplossingen in een vroeg stadium erkend en overkomen kunnen worden.

De auteurs hebben de relatie tussen productieparameters en de CO₂-uitstoot bij een asfaltproductiecentrale in kaart gebracht met als doel potentiële mogelijkheden voor CO₂-reductie te achterhalen. De CO₂-uitstoot is een belangrijke pijler binnen het containerbegrip duurzaamheid en wordt voornamelijk veroorzaakt door de verbranding van fossiele brandstoffen. Door hier op te focussen wordt enkel naar het energieverbruik van de gasbrander gekeken en niet de overige energieposten. De gasbrander wordt beschouwd als de grootste energieverbruiker in het asfaltproductieproces. Daarnaast zijn uitsluitend metingen gedaan bij één asfaltcentrale, omdat de installatie en bedrijfsvoering van elke centrale onderling verschilt. Daardoor zijn de resultaten niet één-op-één over te nemen voor een willekeurige andere centrale. Wel geven de resultaten een goede indicatie van de optimalisatiemogelijkheden voor de gehele sector.

Deze paper presenteert de resultaten van een onderzoek naar het verband tussen het asfaltproductieproces en de CO₂-uitstoot. Hierin zijn verschillende productieparameters geïdentificeerd, waarvan de invloed is onderzocht. Bediscussieerd wordt de mogelijkheid om aan de hand van deze parameters de CO₂-uitstoot van het gehele asfaltproductieproces te reduceren. Concluderend worden een aantal aanbevelingen gedaan om de asfaltsector in de toekomst verder te kunnen verduurzamen.

2 Onderzoeksmethodiek

Dit hoofdstuk gaat in op het onderzoeksmodel die gebruikt is om de geformuleerde doelstelling te behalen. In eerste instantie is een literatuurstudie uitgevoerd, welke geverifieerd is door het enquêteren van vakmensen. Uit deze stappen zijn ter afbakening een aantal belangrijke te onderzoeken parameters geëxtraheerd. Vervolgens is het asfaltproductieproces geobserveerd met de focus op de voor dit onderzoek gekozen parameters. Tot slot is de geobserveerde data geanalyseerd om mogelijke relatie te ontdekken tussen de specifieke parameters en de CO₂-uitstoot.

2.1 Theorie

Om inzicht te krijgen in het asfaltproductieproces en potentieel invloedrijke processen op het gebied van CO₂-uitstoot te achterhalen is een literatuurstudie uitgevoerd. In deze studie is ten eerste het exacte verloop van het asfaltproductieproces beschreven van grondstof tot eindproduct. Tevens zijn gangbare manieren om de CO₂-uitstoot te meten geïnventariseerd, om uiteindelijk de invloed van productieprocessen op deze uitstoot te achterhalen. Tot slot zijn reeds onderzochte methodes voor CO₂-reductie op een rij gezet om op te maken waar potentieel de meeste winst te behalen valt. Het resultaat van de literatuurstudie is een onderbouwde lijst met relevante productieparameters welke de moeite waard zijn om te onderzoeken.

2.2 Praktijk

Ter verificatie van de literatuurstudie zijn enquêtes afgenomen onder de medewerkers van de onderzochte asfaltcentrale. De enquête bestond gedeeltelijk uit open vragen aangevuld met een scorelijst waarin de geënquêteerde de uit de literatuur relevant bevonden parameters kon waarderen. Het gedeelte met open vragen intendeerde het verkrijgen van inzicht in de verschillende functies en de bijbehorende werkzaamheden. Met name de alledaagse gang van zaken in de asfaltcentrale werd in kaart gebracht om uiteindelijk resultaten goed te kunnen interpreteren. De scorelijst had als doel om de relevantie van de gevonden productieparameters te beoordelen met een score tussen de één en vijf (een vijf indiceert een hoge relevantie en een één een lage relevantie). De uiteindelijke relevantie werd bepaald aan de hand van een multicriteria-analyse, waarin de beoordeelde criteria ‘de mate van invloed op de uitstoot’ en ‘verwachte mogelijkheid voor optimalisatie’ waren. Daarnaast werd de mogelijkheid geboden om de lijst met mogelijk onvoorziene, maar toch relevante parameters aan te vullen. In het kader van afbakening is op basis van deze gegevens besloten om het onderzoek te focussen op de relevantst bevonden parameters.

2.3 CO₂-uitstoot

Om te kunnen achterhalen wat het effect is van de productieparameters op de CO₂-uitstoot, is gekozen om met behulp van een conversiefactor de uitstoot te relateren aan het gasverbruik. In de literatuur zijn enkele alternatieven naar voren gekomen waaronder directe en indirecte methodes. Een directe methode, gebruikt door Rubio et al. (2013), is het toepassen van een multi-parameteranalysator welke de vrijgekomen CO₂ in de schoorsteen kan meten. Deze methode is echter ongeschikt voor het meten van grote hoeveelheden, zoals benodigd bij het analyseren van een continue en grootschalige verbranding. Daarom is gekeken naar indirecte methodes, zoals de relatie tussen CO₂-uitstoot en temperatuur of gasverbruik (D'Angelo, et al., 2008; Wen, Lu, & VanReken, 2014). Geconcludeerd is dat het gasverbruik in dit onderzoek de beste representatie voor CO₂-uitstoot weergeeft. De CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van aardgas is immers direct het gevolg van het asfaltproductieproces (Wen, Lu, & VanReken, 2014). Om het gasverbruik om te rekenen naar CO₂-uitstoot is gekozen om de CO₂-emissiefactoren te gebruiken (SKAO, Rijksoverheid, Stimular, Connekt, Milieu Centraal, 2015). Voor de omrekening van het verstookte aardgas naar CO₂ zijn drie verschillende factoren opgesteld. Deze variëren op basis van de vrijgekomen CO₂ gedurende verbranding en het raffinageproces. Omdat het raffinageproces niet binnen de afbakening van het onderzoek plaatsvindt, is gekozen de 'Tank to Wheel' (TTW) conversiefactor te gebruiken. Deze factor baseert de vrijgekomen CO₂ uitsluitend op de uitstoot die vrijkomt bij de verbranding van aardgas.

2.4 Observatiemethodiek

De gekozen productieparameters zijn handmatig over enkele willekeurige dagen op kwantitatieve wijze geregistreerd. Gedurende intervallen van vijf minuten is de benodigde data overgenomen uit het besturingssysteem van de asfaltcentrale. Om de relatie tussen de verschillende parameters en de CO₂-uitstoot te kunnen analyseren is tevens het gasverbruik bijgehouden via een separate monitor. Een parameter die niet direct via de eerder benoemde registratie methodes is te meten, is het vochtgehalte. Voor de registratie van het vochtgehalte zijn steekproefsgewijs monsters afgenomen van de aanvoerband. Hierin is onderscheid gemaakt tussen de nieuwe grondstoffen (wit materiaal) en het gerecyclede asfaltgranulaat (PR-materiaal). Slechts drie typen mengsels zijn onderzocht, vanwege de tijd die het kost om een monster op vochtgehalte te onderzoeken. Het zou te prefereren zijn om in de toekomst de data via dataloggers te registreren. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om het vochtgehalte met een aparte meter doorlopend te registreren in plaats van steekproefsgewijs. Op deze wijze is de onderzoeker niet genoodzaakt zijn tijd te besteden aan het noteren van data, maar gebeurt dit automatisch. Hierdoor kan over een langere periode worden gemeten en wordt de tijd efficiënter benut. De onderzochte installatie beschikte echter niet over deze apparatuur.

3 Observatie en analyse

Uit de literatuurstudie en enquêtes is gebleken dat de branderstand, mengselwisselingen, mengselsamenstelling, productiedebiet, productievolume, temperatuur en vochtgehalte de belangrijkste productieparameters zijn om te analyseren. In dit hoofdstuk wordt de relevantie van elke gekozen parameter toegelicht gevolgd door een beschrijving van de wijze waarop de parameter is geanalyseerd.

3.1 Branderstand

Jullien et al. (2010) stellen dat automatisering van de branderstand zal resulteren in een lager brandstofgebruik. Ervaringen uit de praktijk tonen hetzelfde aan, omdat de branderstand handmatig wordt ingesteld op basis van vermoedens. Dit heeft als resultaat dat de branderstand in eerste instantie hoog wordt ingesteld, omdat onbekend is hoe het nieuw aan te voeren materiaal exact zal reageren. Wanneer de reactie van het materiaal bekend is, kan de branderstand bewuster worden ingesteld. De mengers denken echter dat volledige automatisatie niet mogelijk is, omdat het proces zorgvuldige monitoring vereist en de ervaring van de menger een essentiële rol speelt. Tot slot is de brander de enige factor direct verantwoordelijk voor het gasverbruik en dus relevant voor dit onderzoek.

De branderstanden van zowel de primaire- als paralleltrommel worden afgelezen in percentages. Het percentage geeft aan hoe ver de gasklep van een brander openstaat. Aangenomen wordt dat het gasverbruik op lineaire wijze stijgt bij elke procentuele toename in de branderstand. Omdat gedurende de productie van de meeste mengsels beide branders actief zijn op verschillende intensiteiten, is de relatie tussen gasdebiet (m^3/uur) en branderstand (%) gebaseerd op een gecombineerde branderstand. Deze is bepaald aan de hand van het fractionele verschil in vermogen tussen beide branders (69% van het totale vermogen is toerekenbaar aan de primaire brander in dit specifieke geval). Met behulp van deze fracties kan vervolgens het totale gasdebiet weer worden onderverdeeld over de individuele branders. Het doel van deze observatie is om te achterhalen wat het effect is van een procentuele toename in de branderstand op de CO_2 -uitstoot.

3.2 Mengselwisselingen

Bij iedere mengselwisseling wordt nieuw materiaal aangevoerd waardoor het productieproces onderhevig is aan nieuwe materiaaleigenschappen. De hoeveelheid mengselwisselingen is afhankelijk van de interne planning en vraag vanuit de opdrachtgever. Vanwege de veranderde omstandigheden vereist een mengselwisseling een aanpassing van de branderstand. Uit de praktijk blijkt dat mengers bij een wisseling de branders in eerste instantie te hoog instellen, omdat niet exact bekend is hoe het materiaal reageert en een te lage temperatuur afbraak doet aan de kwaliteit. Daarom is het van belang om in kaart te brengen wat het effect van een willekeurige mengselwisseling is op de CO_2 -uitstoot.

Uit de observaties is gebleken dat er bij een mengselwisseling meestal een piek in het gasverbruik ontstaat. Dit bevestigt het vermoeden dat de menger bij de aanvoer van

nieuw materiaal een te hoge branderstand kiest om te voorkomen dat de temperatuur te laag uitvalt. Wanneer het mengsel langere tijd in productie is, worden de instellingen geoptimaliseerd en ontstaat een evenwicht. Dit evenwicht is in feite de instelling waarbij de menger tevreden is met de bijbehorende asfalttemperatuur. Geanalyseerd is hoeveel gas bespaard kan worden bij een gemiddelde mengselwisseling, wanneer direct de ideale instelling wordt toegepast.

3.3 Mengselsamenstelling

Verschillende asfaltmengsels bestaan uit diverse componenten en vereisen daarom een uiteenlopende hoeveelheid energie. Ondanks dat het te produceren mengsel grotendeels bepaald wordt vanuit de opdrachtgever, is het relevant om te achterhalen wat het effect is van de mengseleigenschappen op de CO₂-uitstoot. Hierin is onderscheid gemaakt tussen zowel de grofheid van het aggregaat en het percentage PR-materiaal dat wordt bijgemengd. Bij de asfaltcentrale wordt gestreefd om mengsels met een kleine korreldiameter eerst te produceren. Deze werkwijze is ontstaan om zo continu mogelijk te kunnen produceren. Te veel wisselingen in de mengseleigenschappen kan een groot verschil in branderstanden teweegbrengen. Aan de andere kant wordt het PR-materiaal aangedragen als relevante factor in de mengselsamenstelling. Wen, Lu en VanReken (2014) tonen aan dat er minder CO₂ wordt uitgestoten bij de productie van mengsels waarin een hoog percentage PR-materiaal is verwerkt in vergelijking tot lagere percentages. Opmerkelijk is echter dat Wei, Lin en Yu (2013) constateren dat het bijmengen van PR-materiaal een negatief effect heeft op de CO₂-uitstoot. Voor de productie van mengsels met PR-materiaal is een tweede droogtrommel (paraleltrommel) nodig, omdat het al bitumen bevat. Dit materiaal vat vlam wanneer het aan dezelfde temperaturen wordt blootgesteld als het witte materiaal in de primaire droogtrommel (witte trommel). Het effect op de uiteindelijke CO₂-uitstoot is daardoor onzeker en juist daarom relevant voor onderzoek.

Mengsels worden normaliter ingedeeld op basis van de te vervullen functie. Hierin zijn deklagen (Surf), tussenlagen (Bind) en onderlagen (Base) te onderscheiden. Voor het gasverbruik is echter de bovenmaat van het mengsel belangrijker. Dit bepaalt namelijk de grofheid van het te gebruiken materiaal en daardoor verandert de verhouding tussen oppervlakte en volume. Door de bovenmaat van de mengsels uit te zetten tegen het gasverbruik is gezocht naar een relatie tussen beide factoren. Hierin zijn echter geen productiebatches meegenomen kleiner dan 50 ton, omdat de data in die gevallen te veel wordt beïnvloed door de mengselwisseling. Eenzelfde methode is toegepast om de relatie tussen het percentage PR-materiaal aanwezig in het mengsel en gasverbruik te achterhalen.

3.4 Productiedebiet

In het asfaltproductieproces zijn de branderstand en het productiedebiet nauwverwante factoren. De brander warmt namelijk het materiaal op, terwijl het productiedebiet bepaald hoe lang het materiaal wordt opgewarmd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat beide factoren in balans moeten zijn om een correcte materiaaltemperatuur te bereiken. Gedurende de observatie is gebleken dat het vinden van de balans een iteratief proces is, welke is gestaafd op de ervaring van de menger. Het is relevant om te bekijken wat het effect van het productiedebiet is op de CO₂-

uitstoot, omdat deze direct invloed heeft op de toevoer van energie, oftewel de branderstand.

Het productiedebiet wordt bepaald door de aanvoer van materiaal over de tijd. Ondanks dat het debiet wordt gemonitord bleek het nauwkeuriger om het debiet per batch te bepalen. De exacte begin en eindtijden van elke batch zijn bekend evenals het volume. Daaruit kan met een simpele berekening het debiet per batch bepaald worden. Vervolgens is gekeken naar het benodigde gasverbruik voor de productie van iedere batch en is deze gerelateerd aan het debiet. Op deze wijze is gekeken naar de relatie tussen gasverbruik en productiedebiet.

3.5 Productievolume

Voordat er asfalt kan worden geproduceerd, moet de centrale op temperatuur gebracht worden. Tijdens het opstarten wordt gebruik gemaakt van de branders om de temperatuur te verhogen. Gedurende dit proces wordt gas verstoekt zonder dat dit direct bijdraagt aan de productie van asfalt. Ang, Fwa en Ng (1993) concluderen dat de energieconsumptie van de asfaltcentrale kan worden gereduceerd door de productie goed in te plannen. Omwille van de efficiëntie is het daarom belangrijk om grote volumes te produceren, zodat zoveel mogelijk profijt gehaald wordt uit de opstartenergie. De reden om deze parameter te onderzoeken is om de rendabiliteit te achterhalen van opstarten bij een bepaald productietonnage.

Het gasverbruik van het opstarten van de installatie is vergeleken met het totale gasverbruik van het totale productievolume tussen start en stop. Deze methode is gebruikt om te bepalen vanaf welke productieomvang het rendabel wordt om de installatie op te starten met het oog op gasverbruik.

3.6 Temperatuur

Temperatuur is onherroepelijk verbonden met de traditionele asfaltproductie. Aggregaten dienen opgewarmd te worden om vervolgens met de bitumen vermengd te worden. De juiste productietemperatuur hangt af van het type bitumen, want deze moet voldoende vloeibaar zijn tijdens het mengen. Tevens moet rekening worden gehouden met potentieel warmteverlies tijdens de opslag- en transportfase, omdat asfalt ook op de bouwplaats nog bewerkbaar en dus op temperatuur moet zijn. Voor de reductie van CO₂-uitstoot is het belangrijk om bewust om te gaan met energie en dus niet op onnodig hoge temperaturen te produceren. Tevens heeft een asfaltproductiecentrale te maken met hoge restwarmtes. Potentieel is het aantrekkelijk om deze restwarmte te gebruiken voor de herwinning van energie (Peinado, Vega, García-Hernando, & Marugán-Cruz, 2011). Dit vraagt echter om meer specifiek onderzoek naar toepasbare mogelijkheden om restwarmte op te vangen in de asfaltproductiecentrale. Al met al is het interessant om te bekijken of er winst te behalen valt op het gebied van temperatuur.

Voor de eindtemperatuur van het eindproduct moet naast een minimale productietemperatuur ook rekening worden gehouden met de benodigde temperatuur op de bouwplaats. Om goed verwerkbaar te zijn moet het asfalt een temperatuur tussen de 120°C en 160°C hebben (Huerne, Blom, & Koelen, 2010). Daarnaast mag volgens de Europese normen (NEN-EN 12697-13) de temperatuur van het asfalt

tijdens het vervoer niet meer dan 25°C dalen. Als het gemiddelde van de temperatuur op de bouwplaats en het maximale temperatuurverlies gedurende vervoer in beschouwing worden genomen, dan kan worden gesteld dat 165°C gemiddeld een realistische eindtemperatuur is. Door de realistisch bevonden temperatuur te vergelijken met de daadwerkelijk behaalde eindtemperaturen kan op basis van het verschil de mogelijke winst op gebied van gasverbruik en CO₂-uitstoot bepaald worden.

3.7 Vochtgehalte

Het vochtgehalte is mogelijkwijs de meest invloedrijke factor in het asfaltproductieproces op het gebied van CO₂-uitstoot. Dit komt, doordat al het vocht uit het aggregaat moet verdampen voordat het materiaal gemengd wordt. Doordat water een hoge energetische waarde bezit kost dit verdampingsproces relatief veel energie in vergelijking met de verwarming van het aggregaat. Er kan worden geconcludeerd dat een daling in het vochtgehalte een lager brandstofgebruik oplevert (Ang, Fwa, & Ng, 1993). Om te bepalen hoeveel winst op dit vlak behaald kan worden is het belangrijk om een kwantitatieve voorstelling te krijgen van de invloed van vocht in aggregaat.

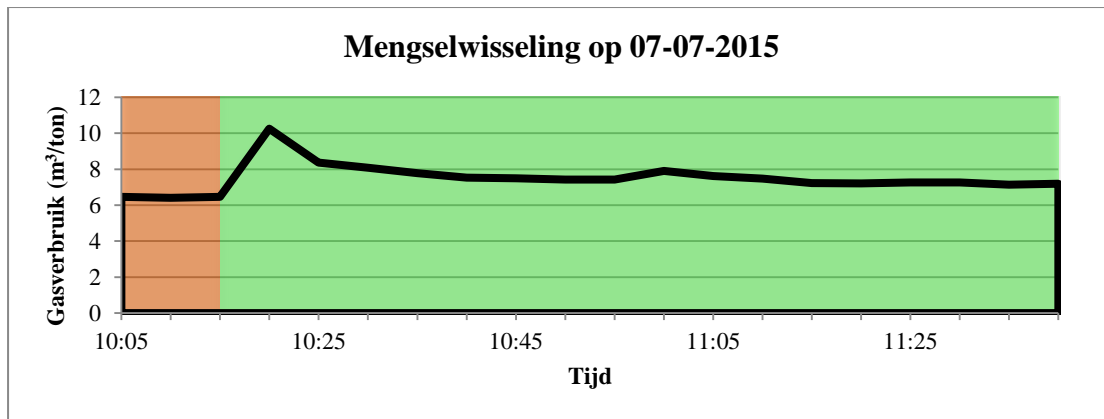
Het aggregaat gebruikt voor de productie van het asfalt ligt buiten in open bunkers opgeslagen. Dit maakt dat het vochtgehalte in deze materialen afhankelijk is van de weersomstandigheden. Het vochtgehalte is steekproefsgewijs voor drie verschillende soorten mengsels bepaald over het verloop van de observatieperiode. De relatie tussen het vochtgehalte en het bijbehorende gasverbruik is in kaart gebracht en vervolgens gevalideerd middels een theoretische berekening. Het doel hiervan is het vinden van een trend, die gebruikt kan worden om te voorspellen hoeveel gas benodigd is wanneer het vochtgehalte in het materiaal stijgt of daalt.

4 Resultaten en discussie

De resultaten van de analyse worden in dit hoofdstuk bediscussieerd. De gewichtigste uitkomsten zijn gevonden op het gebied van mengselwisselingen, temperatuur en vochtgehalte. De resultaten hiervan komen achtereenvolgens aan bod. Tot slot worden de overige bevindingen op gebied van branderstand, productiedebiet en volume en mengselsamenstelling beknopt besproken.

4.1 Mengselwisselingen

Gedurende het productieproces is opgemerkt dat een piek in het gasverbruik ontstaat wanneer van mengsel wordt gewisseld. In Figuur 4-1 is een representatieve piek afgebeeld, die het fenomeen weergeeft. De overgang van mengsels is weergegeven met diverse kleuren. Gemiddeld wordt er 56 ton asfalt geproduceerd voordat de menger de ideale instellingen heeft gevonden en er efficiënt geproduceerd wordt. Door deze pieken te analyseren is berekend dat tijdens een gemiddelde mengselwisseling 7,12 m³ aardgas extra wordt verbruikt ten opzichte van een scenario waarin geen piek voorkomt. Overeenkomstig met dit additionele gasverbruik komt een extra 12,71 kg CO₂ vrij bij een dergelijk verschijnsel.



Figuur 4-1. Representatieve piek in het gasverbruik door toedoen van een mengselwisseling.

Zoals eerder besproken wordt het extra gasverbruik ten tijde van een mengselwisseling veroorzaakt doordat het onbekend is hoe de branders moeten worden bijgesteld op het nieuwe materiaal. Het nieuwe materiaal heeft andere eigenschappen, waaronder bijvoorbeeld de korreldiameter en het vochtgehalte, waardoor het een andere hoeveelheid energie benodigd om op temperatuur te komen. Om geen risico te nemen met de temperatuur stelt de menger de branders naar boven bij en ontstaat een verhoogd gasverbruik. Om dit fenomeen in de toekomst mogelijkerwijs te voorkomen is het noodzakelijk voor de menger om inzicht te krijgen in de directe materiaaleigenschappen en hun invloed op de benodigde hoeveelheid energie. Dit vereist het gebruik van sensoren die de verschillende eigenschappen kunnen meten. De precieze invloed kan worden uitgewezen op basis van additioneel onderzoek. Een andere mogelijkheid is het gedeeltelijk automatiseren van het mengproces waarbij de menger een meer controlerende rol krijgt toebedeeld. Met de informatie van sensoren zou het mogelijk zijn een computer te instrueren om een ideale branderstand te bepalen en in te stellen. Tot slot is ook het minimaliseren van mengselwisselingen een besparingsmogelijkheid. Wanneer een installatie op een willekeurige dag vier verschillende mengsels moet produceren, betekent dit niet logischerwijs dat er maar vier mengselwisselingen plaatsvinden. Vanwege de planning kan het zijn dat eerst een mengsel gedeeltelijk wordt geproduceerd en tussendoor wordt onderbroken voor een ander mengsel. Potentieel kan de planning in overleg met de opdrachtgever worden geoptimaliseerd, echter zou dit waarschijnlijk concessies vereisen en ten koste gaan van de flexibiliteit van de centrale.

4.2 Temperatuur

Na analyse is geconstateerd dat de eindtemperatuur van het eindproduct consequent hoger uitvalt dan de voorgeschreven minimum temperatuur. Ook in vergelijking met de 165°C gebaseerd op de benodigde temperatuur op de bouwplaats (zie paragraaf 3.6) worden gemiddeld hogere temperaturen behaald. Omdat de benodigde productietemperatuur afhankelijk is van de bitumengrade is hierin onderscheid gemaakt met de berekeningen. De in theorie benodigde hoeveelheid energie en corresponderende gasverbruik om het materiaal op te stoken is berekend op basis van een vochtgehalte van 3% en een buitentemperatuur van 15°C. In Tabel 4-1 zijn de gemiddeld geobserveerde eindtemperaturen weergegeven inclusief het onder de genoemde omstandigheden potentiële gasverbruik. Ter vergelijking is in dezelfde tabel hetzelfde gedaan voor de in paragraaf 3.6 genoemde realistische temperatuur.

Tabel 4-1. Verschil tussen gemiddelde eindtemperatuur tijdens observatie en minimale realistische temperatuur.

Bitumen penetratiegraad	Eindtemperatuur (°C)		Gasverbruik (m ³ /ton)	
	Geobserveerd	Realistisch	Geobserveerd	Realistisch
70/100	176	165	6,12	5,86
50/70	162		5,78	
40/60	172		6,02	
35/50	168		5,93	

Op basis van de onderlinge verschillen tussen de geobserveerde eindtemperaturen en de alternatieve variant (realistisch) is berekend hoeveel gas bespaard kan worden per ton asfalt. De potentiële besparing in gasverbruik en CO₂-uitstoot is weergegeven in Tabel 4-2.

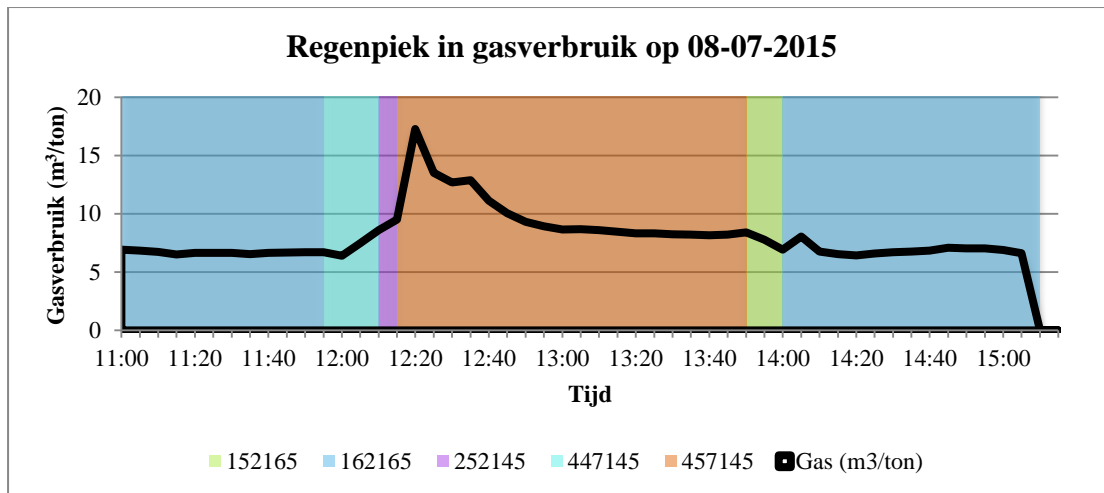
Tabel 4-2. Potentiele besparing bij hanteren van een minimale realistische eindtemperatuur.

Bitumen penetratiegraad	Gasbesparing (m ³ /ton)	CO ₂ -reductie (kg/ton)
	Realistisch	Realistisch
70/100	0,26	0,46
50/70	-	-
40/60	0,16	0,29
35/50	0,07	0,12
Gemiddeld	0,16	0,29

Gemiddeld is het mogelijk om 0,16 m³/ton gas te besparen op basis van de eindtemperatuur. Deze waarde lijkt verwaarloosbaar klein, maar bij een dagelijkse productie van 1500 ton asfalt levert dit al 240 m³ gas en een uitstoot reductie van 435 kg CO₂. Implementatie van een scherpere eindtemperatuur vereist wel enige overweging. In theorie geeft de voorgestelde 165°C genoeg marge en is het mogelijk nog lagere temperaturen aan te houden, maar een te lage eindtemperatuur resulteert in een lage kwaliteit asfalt wat ten koste gaat van de verwerkbaarheid en houdbaarheid. Implementatie van een lagere eindtemperatuur is eenvoudig en vereist enkel het maken van interne afspraken. In samenspraak met de opdrachtgever zou het mogelijk zijn om eventueel nog lagere eindtemperaturen te bereiken. Dit is afhankelijk van de tijd tussen productie en afhalen en de afstand tussen centrale en bouwplaats.

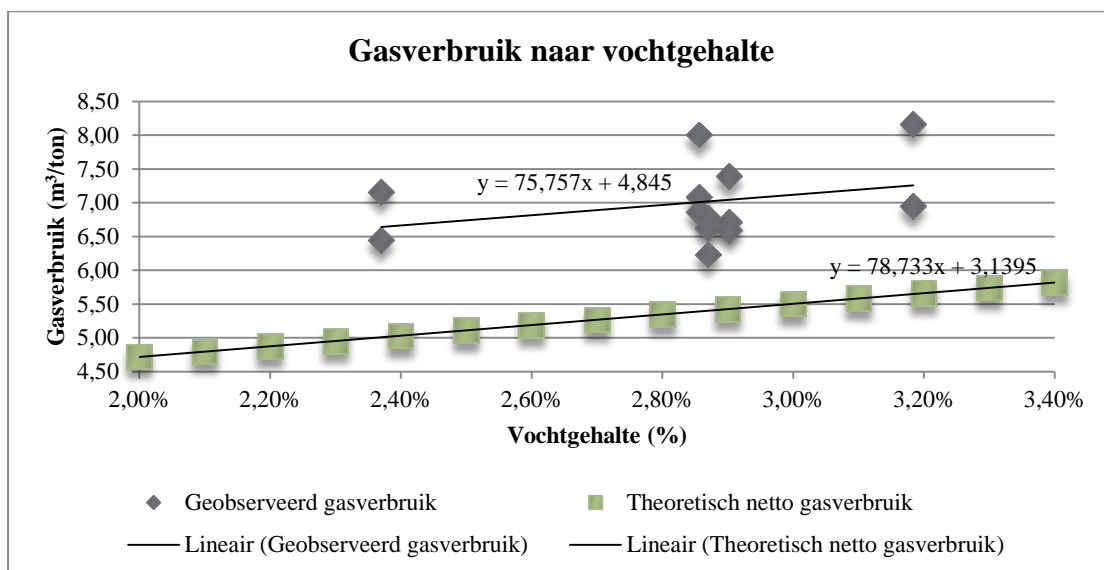
4.3 Vochtgehalte

Voor onderzoek werd vermoed dat het vochtgehalte één van de meest invloedrijkste factoren is, omdat het aanwezige vocht in de mineralen verdampt moet worden. Tijdens observatie werd dit al bevestigd wanneer het ging regenen. Figuur 4-1 geeft een visueel voorbeeld van een stortbui rond 12:00 op 8 juli 2015. Af te lezen valt dat de installatie direct reageert op de extra hoeveelheid water die op de aanvoerband terecht komt. In dit geval daalde de temperatuur in met name de paralleltrommel drastisch waardoor de menger moest reageren met een hogere branderstand. Direct is te zien dat het gasverbruik stijgt.



Figuur 4-2. Visualisatie van verhoogd gasverbruik bij regen.

Deze geobserveerde regenpiek is een visueel voorbeeld van het effect van vocht op het asfaltproductieproces, maar de exacte relatie tussen vocht en gasverbruik kan er niet mee worden aangetoond. Om een voorspelling te doen over het gasverbruik aan de hand van het vochtgehalte is zowel het vocht in het witte materiaal als het PR-materiaal benodigd. Doordat beide vochtgehalten zijn gemeten, kan het vochtgehalte in het mengsel uitgezet worden tegen het gemiddelde gasverbruik per ton van een productiebatch. Dit is afgebeeld in Figuur 4-3.



Figuur 4-3. Analytisch bepaalde relatie tussen vochtgehalte en gasverbruik.

Uit bovenstaand figuur blijkt dat de relatie tussen het vochtgehalte en het gasverbruik lineair stijgt. Echter is de gevonden relatie niet erg sterk, omdat ook andere parameters het gasverbruik beïnvloeden. Vermoedelijk ontstaan de bandbreedtes door de verschillende mengselsamenstellingen. Om te onderzoeken of de lineaire trendlijn toch de werkelijkheid benadert is de invloed van vocht ook theoretisch onderzocht (groene stippellijn in Figuur 4-3). Wanneer er een parallelle trend ontstaat kan aangenomen worden dat de trendlijn een benadering is van de werkelijkheid en de afwijkingen veroorzaakt worden door andere parameters.

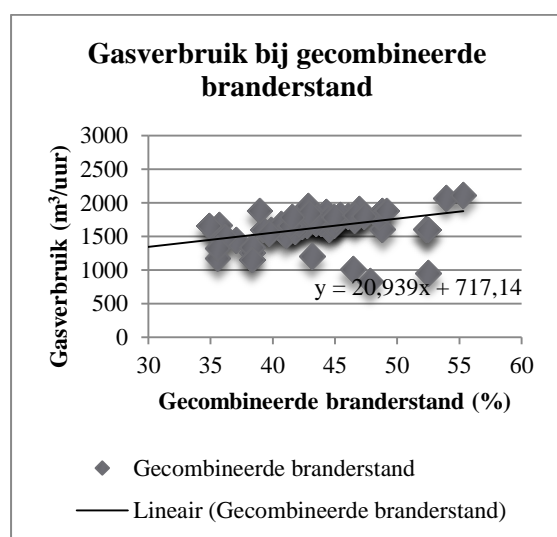
Uiteindelijk kan geconcludeerd worden dat de gevonden relatie valide is en de werkelijkheid benaderd, omdat deze nagenoeg parallel loopt met de theoretische benadering. Gevonden is dat het gasverbruik met $0,76 \text{ m}^3/\text{ton}$ stijgt wanneer er 1% extra vocht in het materiaal zit. Dit staat gelijk aan $1,35 \text{ kg}/\text{ton}$ minder CO_2 -uitstoot. Ten aanzien van een dagelijkse productie van 1500 ton asfalt levert dit een besparing van 1140 m^3 gas en 2025 kg CO_2 op. Welk materiaal, wit of zwart, hierin het invloedrijkst is kan niet worden geconcludeerd op basis van deze data. Wel bestaat het vermoeden dat het vochtgehalte in het PR-materiaal een grotere rol speelt, omdat de temperaturen in deze trommel minder hoog oplopen waardoor het materiaal langer in de trommel moet verblijven om droog te worden. Hierdoor neemt het productiedebiet af waardoor ook de CO_2 -uitstoot toeneemt. Daarnaast vermoedt het personeel van de asfaltcentrale op basis van ervaring dat het PR-materiaal minder goed droogt. Hierdoor zijn de consequenties voor een stijging in het vochtpercentage groter, dan bij het witte materiaal.

4.4 Overige resultaten

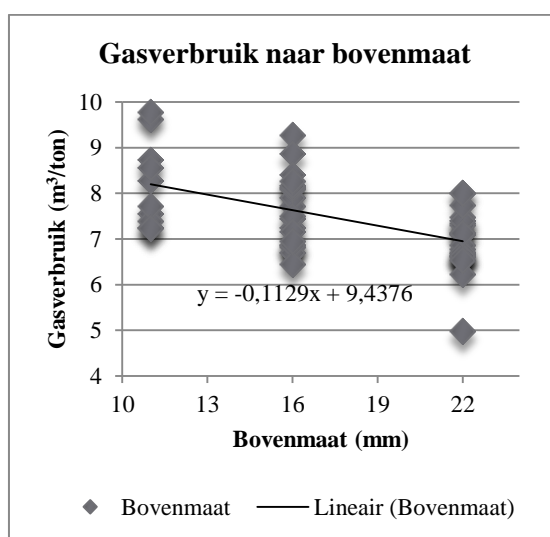
De overige onderzochte parameters zijn de branderstand, de korreldiameter, de invloed van PR-materiaal, productiedebiet en productievolume. De resultaten worden kort benoemd, maar resulteren niet direct in een relevante aanbeveling voor de asfaltsector.

In Figuur 4-4 is de relatie tussen de branderstand en het gasdebiet uitgebeeld. Een toename van 1% resulteert in een extra toevoer van 21 m^3 gas per uur. Op basis van het vermogen kan worden gesteld dat de primaire brander hierin een aandeel van $14 \text{ m}^3/\text{uur}$ heeft en de parallelbrander $7 \text{ m}^3/\text{uur}$.

De bovenmaat van een mengsel is de maximale korreldiameter van het aggregaat aanwezig in het een specifiek mengsel. Aan de hand van Figuur 4-5 is af te lezen dat een grotere maximale korreldiameter een lager gasverbruik oplevert. Op het gebied van PR-materiaal is echter geen duidelijke relatie gevonden.



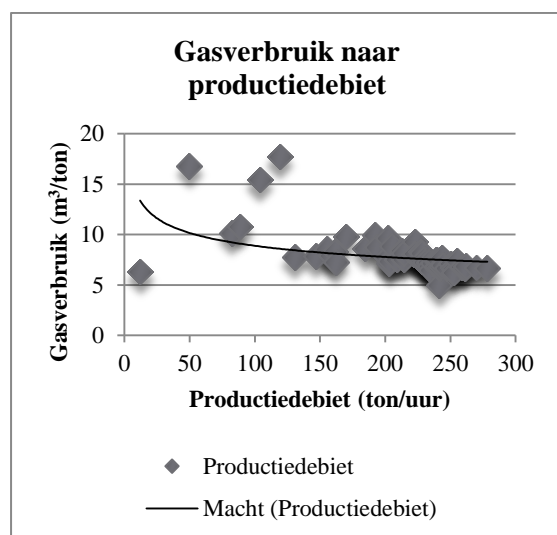
Figuur 4-4. Invloed branderstand op het gasverbruik.



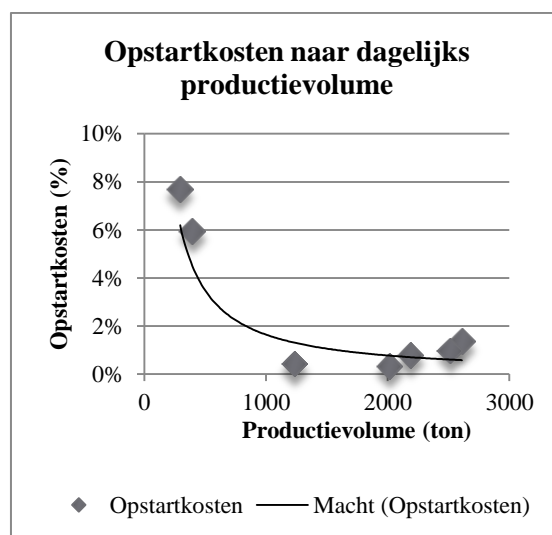
Figuur 4-5. Invloed korreldiameter op gasverbruik.

Aangaande het productiedebiet zijn twee wolken te onderscheiden (Figuur 4-6). Hieruit valt af te leiden dat het gasverbruik sterk begint te stijgen wanneer het productiedebiet onder de 135 ton/uur komt. In zo'n geval neemt het gasverbruik toe tot boven de 10 m³/ton. Vanaf een productiedebiet boven de 200 ton/uur wordt er gemiddeld maar tussen de 6 en 8 m³/ton gas verbruikt. De analyse toont hierbij een trend aan waaruit blijkt dat een hoog debiet een lagere CO₂-uitstoot als gevolg heeft. Om zo efficiënt mogelijk om te gaan met het gasverbruik wordt dus een productiedebiet van minimaal 200 m³/uur aangeraden.

In Figuur 4-7 is het aandeel van de opstart in het dagelijks verbruik uitgezet tegen het dagelijkse productievolume. Uit de data is een trend bepaald, welke als voorspelling dient. Uit deze verwachting is op te maken dat bij een productievolume van 850 ton de opstartkosten zo'n 2% zullen zijn van het totale verbruik. Dit is een acceptabel percentage, omdat uit de analyse blijkt deze waarde daarna niet of nauwelijks meer zal zakken.



Figuur 4-6. Invloed productiedebiet op gasverbruik.



Figuur 4-7. Aandeel van de opstartkosten in het dagelijks verbruik.

5 Conclusies en aanbevelingen

Geconcludeerd kan worden dat de grootste winst op gebied van CO₂-reductie te behalen is door het vochtgehalte in het aggregaat te minimaliseren. Vocht heeft een beduidende impact op het totale gasverbruik, benodigd voor de productie van asfalt. Daarom zal de sector naar oplossingen moeten zoeken om het mogelijk te maken met minder nat aggregaat te produceren. Ten tweede zijn de eindtemperaturen van het asfalt vaak te hoog. Door doelbewuster te produceren kunnen te hoge eindtemperaturen voorkomen worden. Hierdoor wordt niet alleen minder CO₂ uitgestoten, maar ook energie bespaard. Een potentiële innovatieve oplossing, die dit fenomeen grotendeels kan uitbannen is laag temperatuurasfalt. Dit type asfalt maakt het mogelijk om op veel lagere temperaturen toch asfalt te produceren. Het gebruik van dit type asfalt hangt echter af van een goede samenwerking met de aannemer (de opdrachtgever van de asfaltcentrale), omdat een ander type asfalt mogelijk ook andere specificaties met zich meebrengt. Wel is deze innovatie potentieel gezien één

van de meest effectieve oplossingen in het kader van verduurzaming, omdat het verhitten van materialen de grootste energiepost is binnen het asfaltproductieproces. Een goede samenwerking tussen de asfaltproducent en de aannemer is ook vereist bij de optimalisatie van de productieplanning. Dit resulteert mogelijk in minder mengselwisselingen en een constanter proces. Ten vierde gaat de verduurzaming van het productieproces hand in hand met kennis. Hoe meer men van het materiaal weet en hoe meer gemonitord wordt, hoe beter daarop kan worden ingesprongen tijdens de productie. Daarom is het aan te bevelen om te gaan meten met dataloggers om zodoende over een lange periode in kaart te brengen wat de gevolgen zijn van productietechnische keuzes. Tevens zijn additionele meters, zoals bijvoorbeeld een vochtmeter, aan te bevelen, zodat de menger in staat is om bij een mengselwisseling een betere inschatting te maken. Tot slot zijn er mogelijkheden voor vervolgonderzoek. Zoals benoemd is er geen duidelijke relatie gevonden tussen het bijmengen van PR-materiaal en de CO₂-uitstoot. Dit kan verder onderzocht worden. Daarnaast is het relevant om de toepassingsmogelijkheid van laag temperatuurasfalt te onderzoeken evenals mogelijkheden voor het benutten van restwarmte.

6 Referenties

- Ang, B., Fwa, T., & Ng, T. (1993). Analysis of process energy use of asphalt-mixing plants. *Energy*, 18 (7), 769–777.
- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert, J., et al. (2008). *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. Federal Highway Administration.
- Huerne, H. t., Blom, P., & Koelen, J. (2010). *Strukton scope 3: CO2-emissie voor asfalt*. Strukton. Utrecht: Strukton.
- Jullien, A., Gaudefroy, V., Ventura, A., de la Roche, C., Paranhos, R., & Monéron, P. (2010). Airborne Emissions Assessment of Hot Asphalt Mixing. *Road Materials and Pavement Design*, 11 (1), 149-169.
- Peinado, D., Vega, M. d., García-Hernando, N., & Marugán-Cruz, C. (2011). Energy and exergy analysis in an asphalt plant's rotary dryer. *Applied Thermal Engineering*, 31 (6-7), 1039–1049.
- Rubio, M. C., Moreno, F., Martínez-Echevarría, M. J., Martínez, G., & Vázquez, J. M. (2013). Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 41, 1-6.
- SKAO, Rijksoverheid, Stimular, Connekt, Milieu Centraal. (2015, January). *Lijst emissiefactoren*. Opgehaald van CO2 emissiefactoren: <http://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/>
- Wei, K.-Y., Lin, J.-D., & Yu, I.-H. (2013). Assessment of CO2 Emission Reduction in Road Construction Using Recycled Concrete Materials. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 6 (4), 423-430.
- Wen, H., Lu, J., & VanReken, T. (2014). Modelling the Effects on Energy and Carbon Dioxide from the Use of Recycled Asphalt Pavement in Hot Mix Asphalt. *International Journal of Sustainable Transportation*, 8, 249-261.