

# Carbon Road Map voor energie-efficiënt wegonderhoud

Christ van Gorp  
*KOAC•NPC*

Jantine Zwinkels  
*Royal HaskoningDHV*

## **Samenvatting**

Vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op allerlei terreinen wordt steeds meer en meer van cruciaal belang voor de moderne samenleving. Diverse voorspellende modellen zijn door de jaren heen ontwikkeld voor de wegenbouw. De meeste instrumenten hebben zich sterk op de bouw-fase gericht, terwijl 90% van de wegwerkzaamheden bestaat uit onderhoud en herstel en niet uit nieuwbouw. Het in deze bijdrage gepresenteerde CEREAL Carbon Road Map is een Europees beslissingsmodel dat door de nationale wegbeheerders, aannemers en adviesbureaus kan worden toegepast om de duurzaamheid van verschillende keuzes in ontwerp, bouwwijze, materialen en onderhoudstrategieën te adresseren. De tool richt zich op de verwachte CO<sub>2</sub>-uitstoot van zowel de bouw- als de onderhoudsfase. Deze bijdrage beschrijft beknopt de opbouw van de tool en laat zien hoe de tool kan worden gebruikt. Carbon Road Map bevat een databank met standaard onderhoudsstrategieën met diverse relevante cijfers over de duurzaamheid. De gebruiker kan zijn nieuwe materialen, materieel en maatregelen toevoegen om de tool aan te passen aan zijn specifieke situatie.

## **1. Inleiding**

De dreiging van de klimaatverandering voor onze samenleving en de stijgende prijzen van energie worden voor wegbeheerders steeds relevanter. Energiebesparing en de daarmee gepaarde vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot zou daarom een vast onderdeel in het besluitvormingsproces moeten zijn. Tot nu toe zijn voor de wegenbouwsector geen uitgebreide op grote schaal toegepaste en algemeen aanvaarde hulpmiddelen beschikbaar om deze vermindering van het energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot te realiseren. Zo is nog onduidelijk welke materialen het best kunnen worden toegepast en welke logistieke processen vanuit een duurzaamheidsperspectief moeten worden gevolgd in de bouw- en onderhoudsfase.

Voorafgaand aan de ontwikkeling van Carbon Road Map is een enquête gehouden onder (kandidaat-)gebruikers van duurzaamheidgereedschappen in Europa. Het doel van dat onderzoek was om de ervaring met bestaande emissievoorspellende instrumenten te inventariseren en om een idee te krijgen waarom sommige bestaande instrumenten niet worden gebruikt. In het laatste decennium zijn namelijk al tal van modellen en instrumenten ontwikkeld om nationale wegbeheerders, aannemers en adviesbureaus te ondersteunen in hun streven naar lage CO<sub>2</sub>-uitstootoplossingen in de wegenbouw. Voorbeelden zijn asPECT [1], DuboCalc [4], Greenroads [6], JouleSAVE [7] en SEVE [10]. De meeste van deze, meestal nationaal geïntendeerde, modellen richten zich sterk op de ontwerpfasen, terwijl 90% van de wegwerkzaamheden in onderhoud en herstel zit en niet in de nieuwbouw. Een ander kenmerk van veel modellen is dat ze input vragen over tal van zaken van materialen, materieel, mankracht, enz. Deze aanpak heeft als voordeel dat het model kan worden afgestemd op de lokale situatie. Het grote nadeel van deze modellen is echter dat de gevraagde hoeveelheid en soorten gegevens bij de gebruiker meestal niet bekend zijn. Met andere woorden, de duurzaamheidgereedschappen zijn te complex in gebruik.

In dit project van de Carbon Road Map is onderzocht aan welke eisen moet worden voldaan om een gebruikersvriendelijke tool te ontwikkelen die na een korte instructie meteen gebruikt zou kunnen worden. Deze bijdrage gaat kort in op de resultaten van deze enquête. Het grootste deel van de bijdrage belicht het werkproces van de emissietool.

Het ontwikkelingswerk is uitgevoerd door het projectteam CEREAL onder de vlag van het grensoverschrijdend gefinancierd onderzoeksprogramma ENR2011 ENERGIE - Duurzaamheid en energie-efficiënt beheer van wegen". Dit programma is geïntendeerd door "ERA-NET ROAD II - coördinatie en uitvoering van Road Research in Europe"(ENR2), een gecoördineerde actie in het 7e kaderprogramma van de Europese Commissie. De partijen in het projectteam waren Royal HaskoningDHV (Projectleider), KOAC•NPC en Danish Road Institute.

## **2. Enquête gebruikerseisen**

### **2.1 Doelstelling project**

Het project CEREAL is opgestart om Europa-breed de duurzaamheidsanalyses van de aanleg van wegen en wegonderhoud te verbeteren. Meer in detail zijn de volgende doelstellingen aan het begin van het project geformuleerd:

- De ontwikkeling van een instrument voor de beoordeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de verschillende fasen van de levenscyclus van een weg (ontwerp, bouw, onderhoud en herstel);
- De identificatie van de belangrijkste factoren in de CO<sub>2</sub>-uitstoot, om te voorkomen dat de rekentool te complex wordt;
- De ontwikkeling van een tool die gemakkelijk te gebruiken is voor niet-experts en beschikt over een gebruikersvriendelijke interface;
- Een brede toepasbaarheid van de tool, gelet op de meeste lidstaten van Europa, maar hopelijk nog meer transnationaal.

### 2.3 Onderzoeksresultaten en conclusies

In totaal werden 47 ingevulde vragenlijsten teruggestuurd, waarvan 18 van relevante stakeholders. De respondenten vertegenwoordigden een goede spreiding over verschillende landen, achtergronden en organisaties. De huidige ervaring met CO<sub>2</sub> (gereedschap) bleek zeer beperkt te zijn. De algemene opinie was, dat de meeste bestaande CO<sub>2</sub>-instrumenten als “te ingewikkeld”, “niet transparant”, “te veel een zwarte doos” en “niet gebruiksvriendelijk” werden beschouwd en te hoge eisen stelden aan het type en de hoeveelheid benodigde invoergegevens. De softwarecode asPECT [1] bijvoorbeeld bevat een zeer gedetailleerde opbouw van werkprocessen en daarvoor benodigde gegevens, maar vult geen enkele waarde voor de duurzaamheidsparameters in. Het programma Greenroads [6] kent duurzaamheidsratings toe, maar het is niet duidelijk op welke basis deze ratings zijn ontwikkeld en moeten worden aangepast aan andere lokale situaties. JouleSAVE [7] richt zich op de gebruiksfase en niet op de onderhoudsfase. Dit programma vereist bovendien specifieke operationele software om het programma te laten draaien. Het programma Afwegingsmodel Wegen van CROW [2] is een van de weinige programma's die het mogelijk maakt om een groot aantal constructie- en onderhoudshandelingen in te voeren. Het programma bevat ook een databank met duurzaamheidsdata. Het programma geeft geen richtlijnen over de zwaarte en frequentie van alle mogelijke onderhoudsmaatregelen. Dit bemoeilijkt gebruik door een minder deskundige gebruiker. Slechts enkele (nationale) instrumenten werden als zeer nuttig en adequaat beschouwd. Deze zijn echter niet ingebed in de nationale ontwerp- en aanbestedingsprocedures. Alleen DuboCalc [4] is in bepaalde situaties verplicht voorgeschreven in een aantal nationale aanbestedingen.

Samenvattend kan worden gesteld dat de respondenten het volgende wilden:

- De nieuwe tool moet eenvoudig maar compleet zijn, met inbegrip van relevante landspecifieke verschillen;
- De tool moet ingezet kunnen worden in de beslissingsfase waardoor een optimale keuze kan worden gemaakt van kandidaat-scenario's in termen van CO<sub>2</sub>-uitstoot;
- Objecten zoals bruggen, riolering, wegmarkering en borden zouden bij voorkeur op een eenvoudige manier in de tool moeten worden opgenomen.

## 3. Opbouw van Carbon Road Map

### 3.1 Algemeen

Carbon Road Map is opgezet als een op Excel gebaseerde tool die met beperkte instructie kan worden gebruikt. In het eerste scherm kan de gebruiker zich identificeren als Default (niet-

expert) of Expert. In de expertmodus kan de gebruiker vooraf gedefinieerde instellingen veranderen, terwijl in de standaardmodus vele instellingen, invoergegevens of berekeningsresultaten niet kunnen worden gewijzigd. De gebruiker kan bijvoorbeeld de database niet wijzigen of nieuwe gegevens toevoegen aan de database.

Het programma bestaat uit de volgende schermen:

- projectdefinitie met een aantal administratieve gegevens en aanduiding van het land, het soort project (nieuwe weg of bestaande weg) aantal rijstroken (2x1, 2x2 of 2x3 ), het aantal toe- en afritten, de gemiddelde lengte van de toe- en afritten en de tijdshorizon waarover het project wordt geanalyseerd;
- constructiegegevens;
- onderhoud;
- overzicht een samenvatting van alle ingevoerde gegevens met de kwantitatieve resultaten van de CO<sub>2</sub>-uitstoot per projectfase;
- grafieken met de CO<sub>2</sub>-uitstoot tijdens de bouw- en/of onderhoudsfase.

### 3.2 Bouwfase

Wanneer een gebruiker een nieuwe wegconstructie wil evalueren in termen van CO<sub>2</sub>-uitstoot, moet hij de volgende data invoeren: aantal rijstroken, aantal en de gemiddelde lengte van de toe- en afritten, rijstrookbreedte, laagdikten en soorten materiaal per laag. Voor een nauwkeurige kwantificering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot, is het raadzaam om de wegoopbouw op daarvoor ontwikkelde ontwerpprogramma's of ontwerpcatalogi te baseren. Bij een bestaande weg moet de gebruiker uiteraard de werkelijke opbouw van die weg hanteren.

Carbon Road Map heeft een menu dat de niet-ervaren gebruiker bijstaat in gevallen waarin slechts beperkte ontwerpgegevens beschikbaar zijn. De lijst in figuur 1 toont de gevraagde invoergegevens voor deze situatie. De tool zoekt in de database naar de bijbehorende laagdikte van het totaal van asfaltlagen of cementbetonlagen. Deze hulptool werkt met lineaire interpolatie en ontwerpresultaten die zijn afgeleid van bekende ontwerpprocedures. Deze procedures zijn: voor Nederland KMW [8], voor Denemarken MMOPP [9] en voor het Verenigd Koninkrijk DMRB [3]. De database bevat slechts een beperkte verzameling van verhardingsvarianten.

The screenshot shows a software interface for 'Carbon Road Map'. At the top left is the logo, and at the top center is a red button labeled 'Details'. Below this is a table titled 'Construction data' with the following entries:

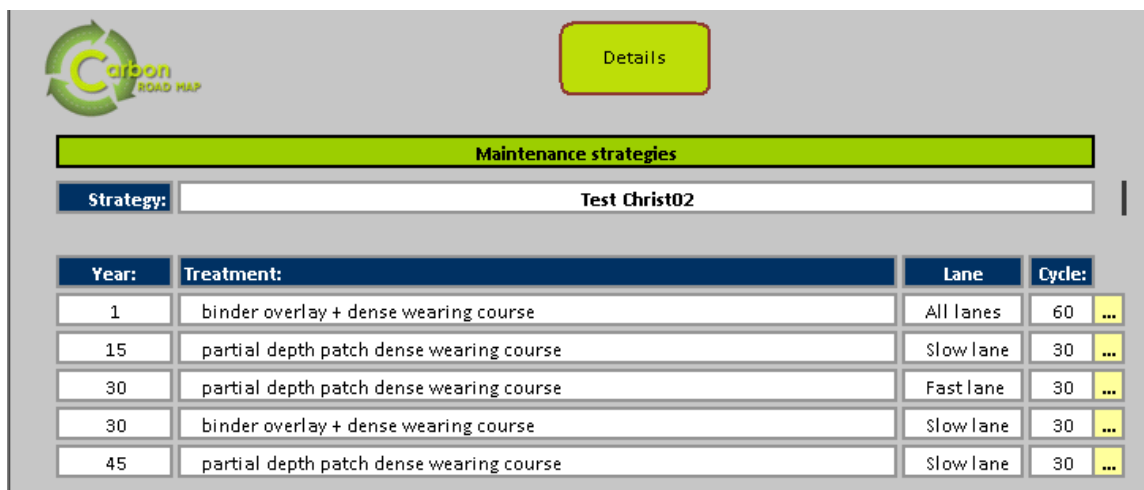
Construction data			
Design life (years):	20	...	?
Truck traffic (%):	10	...	?
Annual growth rate (%):	2	...	?
Maximum speed limit for truck traffic (km/h)	80	...	?
Type of subgrade:	Clay	...	?
Type of pavement:	Asphalt Concrete	...	?
Type of Road foundation:	Granular base	...	?
Thickness of Road foundation (mm):	300	...	?
Average daily traffic per direction	8000	...	?

**Figuur 1 Invoer van data voor een wegontwerp**

De tool geeft een overzicht van materialen en laagdikten voor de vrachtwagenrijstrook. De gebruiker moet, wanneer hij dit wenselijk vindt, de laagdikten van de inhaalstroken, vluchtstrook, toe- en afritten handmatig wijzigen.

### 3.3 Onderhoudsfase

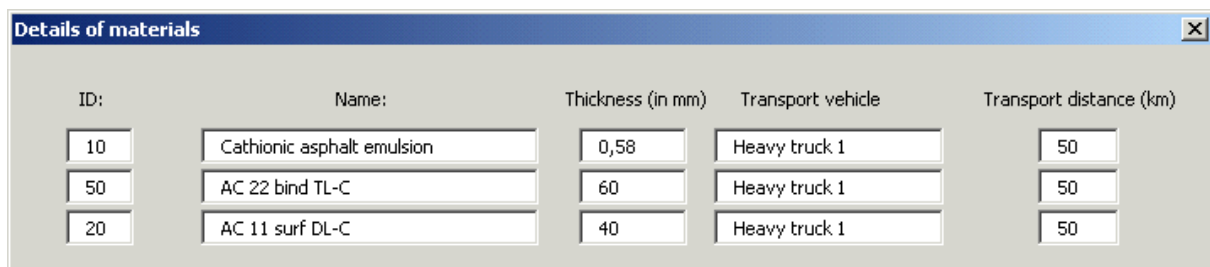
De tool maakt onderscheid tussen asfalt, cementbeton en doorgaand gewapend beton. De gebruiker kan voor elk van deze soorten verharding een set onderhoudstrategieën definiëren of uit de database halen. Een strategie is in Carbon Road Map gedefinieerd als een reeks verschillende maatregelen die eenmalig of periodiek kunnen worden toegepast. De maatregel kan worden toegepast op de vrachtwagenrijstrook, de andere rijstroken of alle rijstroken. Alleen de maatregelen die binnen de opgegeven tijdshorizon worden toegepast worden weergegeven en geanalyseerd (zie figuur 2). De grafiek toont aan de linkerkzijde het jaar waarin de maatregelen worden toegepast en in de rechterkolom de duur van de periodieke cyclus.



Maintenance strategies			
Strategy:		Test Christ02	
Year:	Treatment:	Lane	Cycle:
1	binder overlay + dense wearing course	All lanes	60 ...
15	partial depth patch dense wearing course	Slow lane	30 ...
30	partial depth patch dense wearing course	Fast lane	30 ...
30	binder overlay + dense wearing course	Slow lane	30 ...
45	partial depth patch dense wearing course	Slow lane	30 ...

**Figuur 2 Jaren en soorten onderhoudsmaatregel voor een geselecteerde strategie**

De gebruiker kan voor elke rijstrook en constructielag subschermen openen voor het ophalen van gedetailleerde informatie over de materialen (zie figuur 3) en de gebruikte apparatuur (zie figuur 4). De producties van elke type apparatuur en materieel zijn berekend met behulp van de software EasyCalc [5].



ID:	Name:	Thickness (in mm)	Transport vehicle	Transport distance (km)
10	Cathionic asphalt emulsion	0,58	Heavy truck 1	50
50	AC 22 bind TL-C	60	Heavy truck 1	50
20	AC 11 surf DL-C	40	Heavy truck 1	50

**Figuur 3 Materiaaldetails voor een onderhoudsmaatregel**

ID	hours/m2	name	Fuel consumption (l/h)
102	0,0032	Asphalt milling machine	51,0
122	0,0024	Streetsweeper/cleaner	10,0
165	0,0294	Truck ca. 18 m3	13,5
206	0,0084	Roller 9.000 kg	14,0
182	0,0028	Asphalt paver, incl. operator em beam	28,8

**Figuur 4 Materieeldetails voor een onderhoudsmaatregel**

### 3.4 Invoeren van nieuwe onderhoudsstrategieën en -maatregelen

Bij gebruik van het programma in de Expertmodus kan de gebruiker onderhoudsstrategieën en -maatregelen toevoegen of wijzigen. Herschikken van bestaande maatregelen in een nieuwe strategie is een eenvoudige klus. De gebruiker moet alleen de jaren van onderhoud (eerste jaar en periodiciteit) en de rijstroken aangeven die een specifieke maatregel nodig hebben. De technische gegevens zoals hoeveelheid per eenheid van materiaal of productiesnelheid van materieel en bijbehorend brandstofverbruik zijn gekoppeld aan de individuele maatregel en hoeven meestal niet te worden aangepast.

Invoer van nieuwe onderhoudsmaatregelen vergt meer inspanning. Als de nieuwe maatregel veel gemeen heeft met een van de standaard maatregelen in de database, zal het verzamelen van alle relevante gegevens niet zo moeilijk zijn. Als de maatregel uit de database uitgaat van frezen over een oppervlak van 20% van het totale oppervlak en de gebruiker wil deze waarde verhogen tot 40%, zullen alle basiseenheidgegevens zoals productiesnelheid van materieel, materiaaldichtheid, etc. hetzelfde blijven. Alleen de hoeveelheid freeswerk per kilometer rijstrook zal worden verdubbeld.

In het algemeen zijn de volgende gegevens nodig wanneer een nieuwe onderhoudsmaatregel wordt gespecificeerd:

- naam van de onderhoudsmaatregel;
- proportioneel te behandelen oppervlak per rijstrook (100% bij volle breedte en lengte);
- freesdiepte (indien van toepassing);
- laagdikte van maatregel;
- materiaalgegevens;
- apparatuur- of materieelgegevens.

De figuren 3 en 4 tonen de belangrijkste materiaal- en materieelgegevens. Een ander belangrijk kenmerk is de dichtheid van het materiaal. Apparatuur- en materieelgegevens zijn traditioneel invoergegevens die het moeilijkst zijn te verzamelen of aan te passen. De gebruikersgids voor Carbon Road Map bevat een lijst van combinaties van maatregel en materieel. Deze lijst moet de minder ervaren gebruiker een idee geven hoe hij de materieeldata in kwestie moet aanpassen aan zijn nieuwe maatregel. Voor zeer specifieke behandelingen, zoals de invoering van nieuwe milieuvriendelijke producten zoals warm asfalt, is de gebruiker helaas gedwongen contact op te nemen met de producent van het nieuwe product voor een nauwkeurige waarde van de emissiegegevens. Het is altijd maar de vraag of deze gegevens openbaar gemaakt worden.

### **3.5 Overzicht en resultaten**

Het scherm "Overzicht" geeft een overzicht van alle ingevoerde gegevens, evenals de kwantitatieve resultaten van de CO<sub>2</sub>-uitstoot per projectfase. De emissiegegevens kunnen worden onderverdeeld in productie van de materialen, transport van de materialen naar de bouwplaats en bewerking en vervoer van de materialen op de bouwplaats. Belangrijke materiaalgegevens zijn soort materiaal, dichtheid en emissiefactor in kg CO<sub>2</sub> per ton. Belangrijke gegevens per materiaal zijn afstand tot de bouwplaats, vervoerd gewicht, uren per m<sup>2</sup>, brandstofverbruik en de emissiefactor uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub> per tonkilometer.

De database van Carbon Road Map geeft voor elk materiaal of stuk apparatuur in de database via een identificatielabel de bron van de data aan. Gebruikers worden geadviseerd om bij zelf ingevoerde data altijd de herkomst van de emissiefactoren te controleren en te vermelden. Emissiefactoren kunnen namelijk met behulp van verschillende protocollen zijn bepaald, zoals ISO 14040, ISO 14064, CESSM3 Carbon, etc. Deze protocollen zijn niet in elk land van de Europese Unie hetzelfde. Uitwisseling van gegevens van verschillende internationale bronnen moet daarom met de grootste omzichtigheid worden uitgevoerd.

### **3.6 Output en resultaten**

De uitkomst van de emissieberekening wordt in verschillende grafieken afgebeeld. De bouw- en onderhoudsfase kunnen afzonderlijk worden weergegeven voor alle afzonderlijke wegonderdelen zoals vrachtwagenrijstrook, andere rijstroken, vluchtstrook, toe- en afritten, en objecten zoals bruggen, tunnels. Figuur 5 toont de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een onderhoudsstrategie na jaar 1 uitgesplitst naar jaar van behandeling, materiaal, vervoer naar de bouwplaats en vervoer en bewerking op de bouwplaats. De grafiek laat duidelijk zien dat in dit geval de productie van materiaal een belangrijkere emissiebron is dan de transportaspecten. Het is daarom verstandiger de emissiereductie te zoeken in de groep van materialen in plaats van in de groep van apparatuur en materieel.

## **4. Voorbeeld**

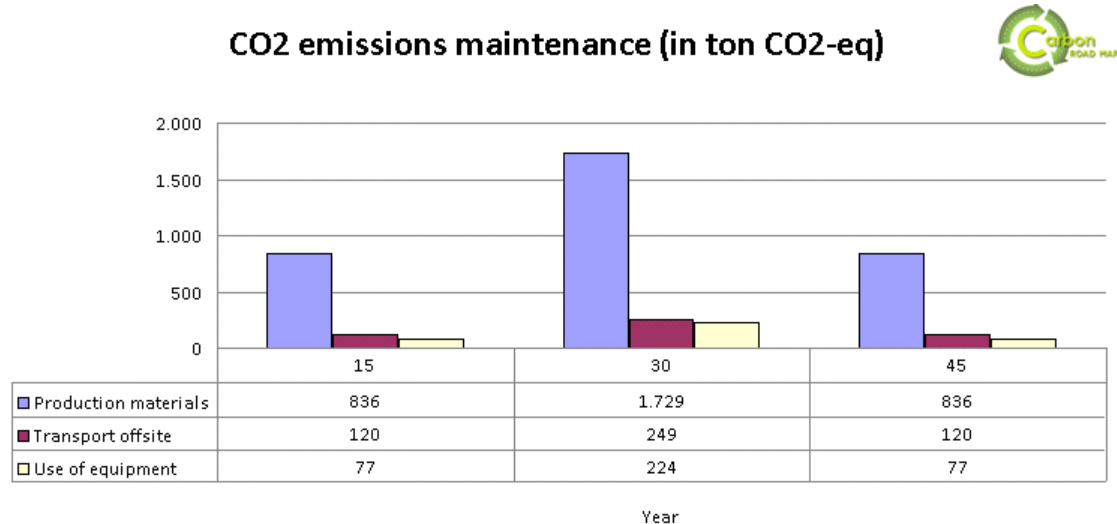
De volgende twee cases geven beknopt weer wat kan worden berekend en geanalyseerd met behulp van Carbon Road Map. Het eerste voorbeeld heeft betrekking op een situatie waarin een beslissing moet worden genomen welk type wegfunderingsmateriaal de beste keuze is in termen van totale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het tweede voorbeeld toont het geval waarin een aannemer wil weten of extra inspanningen in het verbeteren van de kwaliteit van de asfaltdeklaag en daarmee de verlenging van de structurele levensduur van die laag zijn vruchten zullen afwerpen in CO<sub>2</sub>-uitstoot.

### **4.1 Voorbeeld nieuwbouw**

Een regionale wegbeheerder wil een enkele rijbaan bouwen van 10 km lang en 6 m breed zonder verharde berm in een regio met een klei ondergrond. De ontwerp levensduur is 20 jaar en de verwachte gemiddelde dagelijkse verkeerintensiteit per rijrichting bedraagt 8000

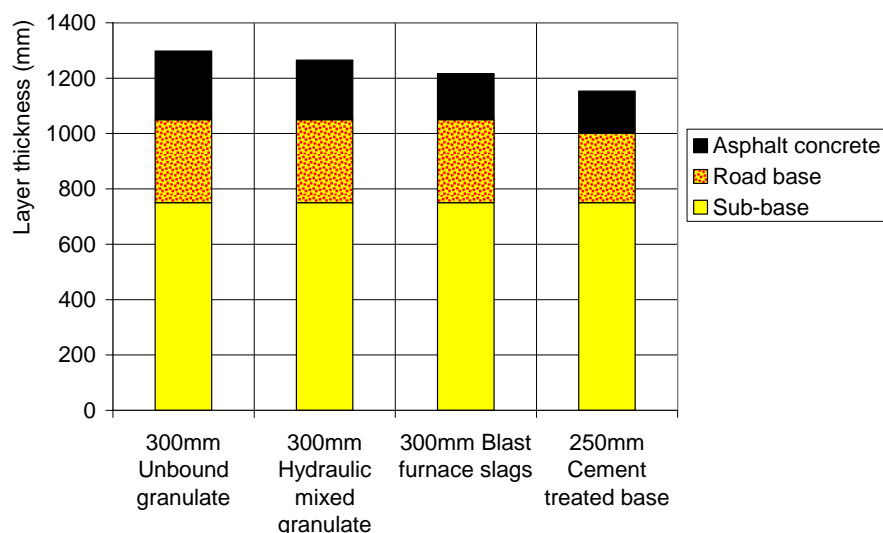
met 10% zware vrachtwagens. De constructie wordt een asfaltweg waarbij een van de volgende oplossingen voor de fundering wordt overwogen:

- 300 mm ongebonden granulair materiaal;
- 300 mm hydraulisch gebonden menggranulaat;
- 300 mm hoogovenslakken;
- 250 mm zandcement.



**Figuur 5**      **Overzicht van CO<sub>2</sub>-emissie in onderhoudsjaren**

De vier verhardingsontwerpen kunnen worden gemaakt met een dimensioneringsprogramma, met de eenvoudige ontwerptool van Carbon Road Map of op een andere wijze. Figuur 6 toont de laagdikten van de verschillende lagen en materialen. In alle gevallen wordt een 750 mm dik zandbed op de slappe ondergrond aangebracht. De figuur laat duidelijk zien dat hoe stijver de fundering is, hoe dunner de asfaltlaag kan worden voor de gevraagde levensduur en verkeersbelasting. Aangezien asfalt het duurste materiaal is, lijkt de oplossing met zandcement fundering (cement treated base) de beste optie.

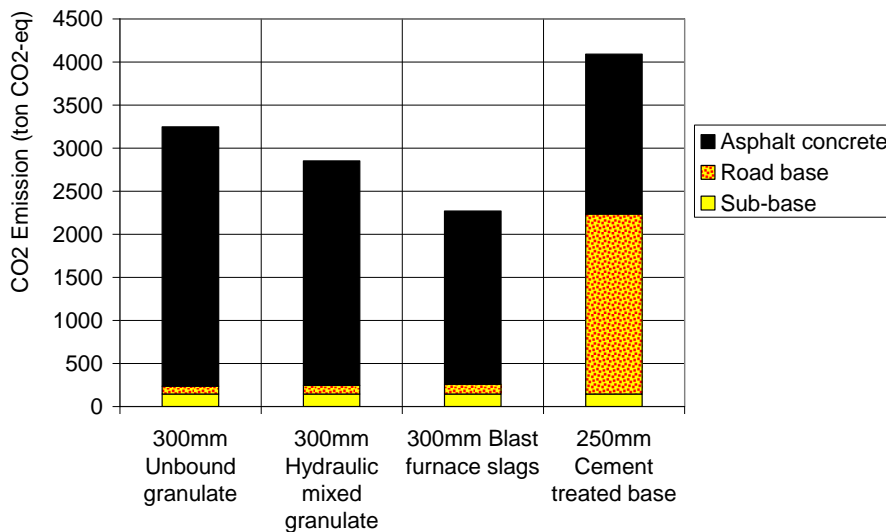


**Figuur 6**      **Laagopbouw van constructievarianten**

Een heel ander beeld wordt verkregen wanneer de vier varianten worden beoordeeld in termen van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Uit figuur 7 blijkt dat cement bevattende producten geen goede keuze zijn



in termen van duurzaamheid. Het alternatief met hoogovenslakken (blast furnace slags) lijkt dan de beste keuze te zijn.



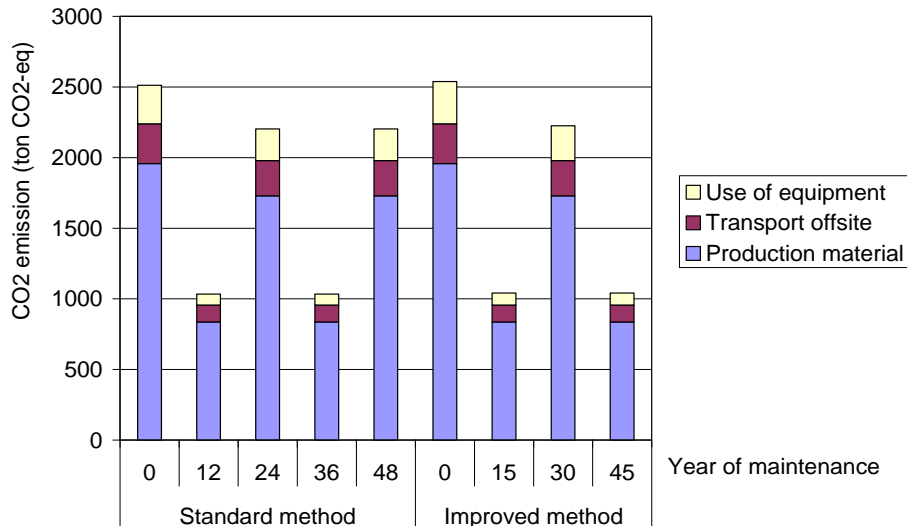
**Figuur 7** CO<sub>2</sub>-emissie van constructievarianten

Een hoogovenslakmengsel wordt vaak toegepast in een laagdikte van 250 mm in plaats van 300 mm. Een dunnere fundering zal leiden tot een iets dikker pakket aan asfaltlagen. Met behulp van figuur 7 blijkt dat deze verandering in funderingslaagdikte resulteert in een hogere CO<sub>2</sub>-emissie omdat de emissie van het asfalt veel hoger is dan die van het hoogovenslakmengsel, met als eindresultaat een hogere totale emissie voor de variant met de dunnere fundering.

## 4.2 Voorbeeld onderhoud

Een 2x2-rijstroken weg van asfalt van 10 km lang met een AC-deklaag toont wat schade verspreid over het totale oppervlak. De weg heeft enige versterking nodig en een nieuwe deklaag over de gehele lengte van de rijbaan. De door vrachtverkeer belaste rijstrook moet elke 12 jaar worden behandeld, de inhaalstrook slechts elke 24 jaar. De linkerzijde van figuur 8 toont de emissiegegevens over een tijdshorizon van 60 jaar. Het onderhoud in jaar 60 is niet meegenomen in de analyse. De grafiek laat duidelijk zien dat de productie van de materialen vergeleken met het transport naar en op de bouwplaats de belangrijkste factor is in de emissie.

De aannemer wil de structurele levensduur van de onderhoudsmaatregelen van 12 tot 15 jaar oprekken door veel meer aandacht te besteden aan de kwaliteit tijdens de werkzaamheden. Hij wil weten welke vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot kan worden bereikt. De rechterzijde van figuur 8 toont de emissiegegevens van de verbeterde werkwijze. De cumulatieve emissies in ton CO<sub>2</sub>-equivalent is over de periode van 60 jaar 8981 voor de standaard methode en 6844 voor de verbeterde methode. Op basis van dit voorbeeld kan worden geconcludeerd dat verlenging van de levensduur van een asfalt deklaag van 12 tot 15 jaar leidt tot een 24% vermindering van de emissie voor de beschouwde weg.



**Figuur 8 CO<sub>2</sub>-emissie van onderhoudsvarianten**

## 5. Epiloog

De softwaretool Carbon Road Map is een eenvoudig te gebruiken instrument voor de beoordeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van nieuwbouwactiviteiten en onderhoudstrategieën van asfalt- en cementbetonwegen. De database van het programma is al gevuld met diverse wegverhardingsconstructies, bijpassende onderhoudstrategieën en standaard CO<sub>2</sub>- emissiewaarden, zodat de gebruiker na een korte instructie direct aan de slag kan. De standaard set van gegevens kan worden vervangen door of aangevuld met lokale gegevens indien deze beschikbaar zijn.

De tool is bedoeld voor gebruik door wegbeheerders, aannemers en adviesbureaus om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van verschillende keuzes in ontwerp, bouwwijze, materialen en onderhoudstrategieën te onderzoeken en daarna de meest effectieve variant te kiezen.

## 6. Referenties

- 1 AsPECT, Software User Manual. Version 2.0. TRL Ltd. Crowthorne, UK. 2011.
- 2 Afwegingsmodel Wegen. Software product D926A. CROW, Ede. 2008.
- 3 Design Manual for Roads and Bridges – Vol.7 - Section 2: Pavement Design and Construction, Part 3 (HD 26/06). The Stationary Office Ltd. 2006.
- 4 DuboCalc, Protocol voor gebruik DuboCalc bij Duurzaam Inkopen RWS. V14. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu. 2013.
- 5 EasyCalc, Tool for calculations in the civil engineering and infrastructure sector. Duncan BV, Schiedam. 2012.
- 6 Greenroads, A sustainability performance metric for roadway design and construction. WSDOT Research Report WA-RD 725.1. Washington State Department of Transportation, Seattle, WA. 2009.
- 7 JouleSAVE, Energy Conservation in Road Pavement design, Maintenance and Utilisation (incl. software JouleSAVE). ECRPD. 2010.
- 8 Keuzemodel Wegconstructies. Publicatie 189 incl. software KMW 1.1. CROW, Ede, 2005.

- 9 Dimensioneringsprogram for vejbefæstelser (Ontwerpprogramma voor wegverhardingen) incl. software MMOPP 2011. User manual, Vejdirektoratet, Copenhagen, June 2011.
- 10 SEVE, Système d'Évaluation des Variantes Environnementales - Ecocomparateur. User's manual - Union Syndicale des Industries Routières Française. 2011.