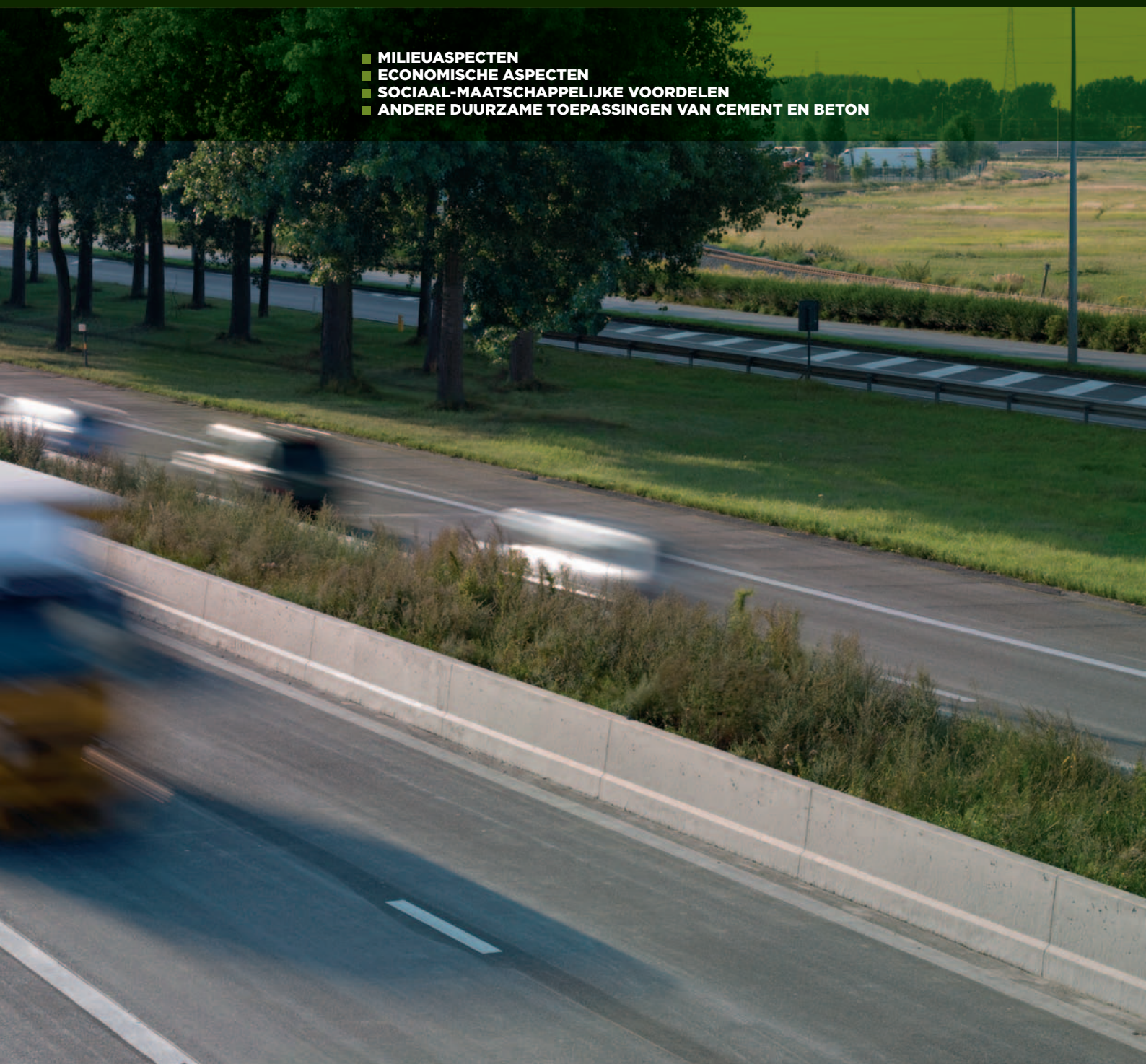


BETONWEGEN : EEN DOORDACHTE EN DUURZAME KEUZE

- MILIEUASPECTEN
- ECONOMISCHE ASPECTEN
- SOCIAAL-MAATSCHAPPELIJKE VOORDELEN
- ANDERE DUURZAME TOEPASSINGEN VAN CEMENT EN BETON



INHOUDSOPGAVE

Inleiding	3
Milieuaspecten van betonwegen	4
Ecologische voetafdruk & LCA	4
Impact van het type verharding op het brandstofverbruik van vrachtwagens	8
Gebruik van “lage-energie-cement”	9
Globale CO ₂ reductie door valorisatie van industrieel afval	9
Opname van CO ₂ door het beton	10
Ongevaarlijk op het vlak van uitloging	11
Recycleerbaarheid	11
<i>Renovatie van de N49/E34 te Zwijndrecht met tweelaags</i>	
<i>doorgaand gewapend beton met gerecycleerde granulaten in de onderlaag</i>	12
Grotere lichtweerkaatsing en verminderd opwarmingseffect in stedelijke gebieden	12
Economische aspecten van betonwegen	14
Levensduur – Onderhoud – Kosten over de levensduur van de weg (life-cycle cost analysis)	14
Klimaat- en weersbestendigheid	15
Kosten voor verlichting	15
Prijsstabiliteit	15
Belang van de concurrentie tussen verschillende verhardingstypes	15
<i>Een economische vergelijking tussen bitumineuze en betonverhardingen voor autosnelwegen</i>	16
Sociaal-maatschappelijke voordelen van betonwegen	18
Minder files wegens minder onderhoudswerkzaamheden	18
Verbeterde oppervlakkenmerken over de levensduur van de weg	18
Rijcomfort	18
Veiligheid	20
Geluid	21
<i>Case-studie van Herne</i>	22
<i>Case-studie van Estaimpuis</i>	23
<i>Case-studie van Zwijndrecht</i>	23
Andere duurzame toepassingen van cement en beton	24
Een gamma aan oplossingen ten voordele van de mobiliteit	24
Brandveiligheid in tunnels	25
Technieken van grondbehandeling, in situ recyclage en immobilisatie van vervuilde gronden	26
Waterdoorlatende verhardingen	26
Luchtzuiverende betonverhardingen	27
Besluit	28
Referenties	29

INLEIDING

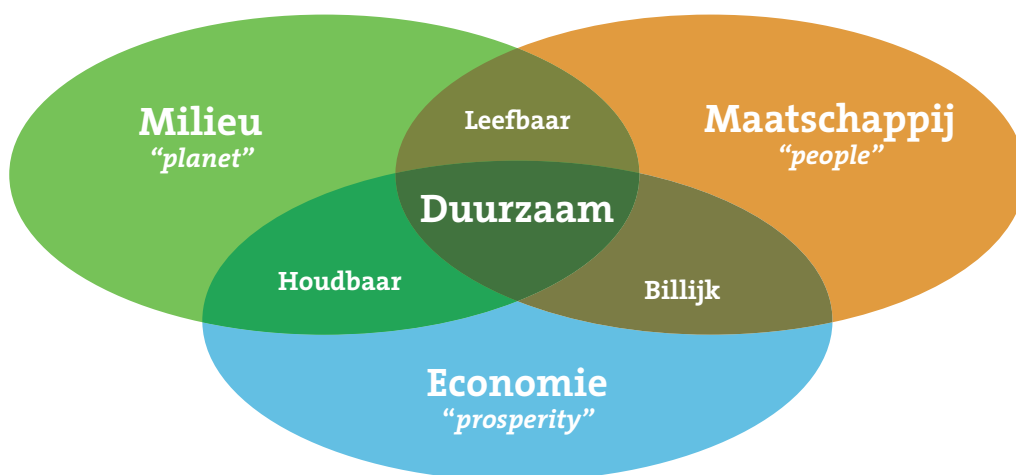
Zowat iedereen is zich vandaag bewust van de universele uitdaging waarvoor we staan : hoe onze levenswijze aan te passen en welke maatregelen te nemen om de opwarming van de aarde tegen te gaan en er voor te zorgen dat ook de generaties na ons een waardig leven kunnen leiden. Dit is precies wat duurzame ontwikkeling inhoudt : een antwoord bieden aan de behoeften van vandaag, daarbij rekening houdend met zowel de economische, de ecologische als de sociale factoren in elk beslissingsproces, zodat ook aan de behoeften van morgen zal kunnen voldaan worden. In onze sector spreken we dan van duurzaam bouwen.

Van betonnen constructies en betonwegen is altijd al gezegd dat ze duurzaam zijn. In het verleden ging het dan hoofdzakelijk over het robuuste aspect en het feit dat deze bouwwerken erg lang meegaan. Vandaag komt er echter heel wat meer bij kijken. De ontginning van de grondstoffen, de fabricatie van de bestanddelen, het transport ervan, het ganse bouwproces, de volledige gebruiks-fase en het hergebruik of de recyclage worden onder de loupe gehouden om zo tot een globale beoordeling te komen. We spreken dus niet botweg van duurzame materialen louter op basis van de ontginning of productie ervan maar trachten het volledige plaatje te bekijken. Tenslotte komt het erop aan om duurzame oplossingen te vinden voor het vervoer van personen en goederen.

Voor de transportinfrastructuur en wegen in het bijzonder zou volgende definitie van duurzaam kunnen gehanteerd worden :

“Duurzame wegen maken op efficiënte wijze gebruik van de natuurlijke rijkdommen, met respect voor de leefomgeving gedurende hun volledige levenscyclus; ze verbeteren de transportmogelijkheden voor de ganse gemeenschap; ze leveren sociaal-maatschappelijke diensten op vlak van mobiliteit, veiligheid en comfort door middel van doordachte keuzes in het ontwerp, de aanleg, het onderhoud, de renovatie en opbraak”.

In deze publicatie wordt op basis van Belgische en internationale ervaringen aangetoond dat de hedendaagse betonwegen een duurzame oplossing kunnen betekenen voor onze maatschappij en dit voor de drie pijlers van duurzaam bouwen : het milieu, de economie en het sociaal-maatschappelijk belang. Verschillende onderzoeken in deze domeinen zijn nog aan de gang wat maakt dat de beschreven onderwerpen nog kunnen evolueren in de loop van de tijd.



MILIEUASPECTEN VAN BETONWEGEN

De milieupijler krijgt binnen de context van duurzame ontwikkeling ongetwijfeld de meeste aandacht en vaak – hoewel ten onrechte – worden de economische en sociale beschouwingen zelfs achterwege gelaten. Door de problematiek van het broeikaseffect met als gevolg de opwarming van de aarde en door de rol die de mens daarin speelt werd dit accent nog versterkt. Maar wat is “groen” en wat niet? Hiertoe worden heel wat beoordelingssystemen gebruikt, het ene al wat correcter en vollediger dan het andere. In het kader van een aanbestedingsprocedure, bij voorbeeld voor de aanleg van een nieuwe autoweg, kan volgens de principes van “Green Public Procurement” een milieufaweging gemaakt worden voor alternatieve oplossingen. Hierna wordt een reeks van factoren besproken die voor een betonweg een invloed kunnen hebben op de finale beslissing. Sommige factoren kunnen doorslaggevend zijn, andere hebben misschien een beperktere invloed maar zijn zeker niet verwaarloosbaar.

ECOLOGISCHE VOETAFDRIK & LCA

De duurzaamheid in de enge betekenis van het woord, namelijk de zeer lange gebruiksfase, speelt ook een cruciale rol in de drie aspecten van duurzaam bouwen. Voor het milieuaspect komt dit tot uiting via het begrip van “CO₂-voetafdruk” (Eng.: “Carbon Footprint”) of nog via de ruimere evaluatiemethode van LCA – *Life Cycle Assessment*.

De Carbon Footprint is de totale hoeveelheid koolstofdioxide (CO₂) en andere uitgestoten broeikasgassen (methaan, lachgas, fluorhoudende gassen) die aan een product verbonden zijn vanaf de aanmaak tot en met de uitdienstname door hergebruik, recyclage of dumpen. Als referentiegas wordt CO₂ gekozen en de andere gassen worden uitgedrukt in hun CO₂-equivalent op vlak van opwarmingsvermogen.

Deze Carbon Footprint, die uitsluitend rekening houdt met de effecten op klimaatverandering, is slechts een onderdeel van de volledige LCA-benadering, die de totale milieupact

evalueert over de volledige levenscyclus – “from cradle to grave” – volgens een gestandaardiseerde methode (ISO 14040, ISO 14044). Door alleen de broeikasgassen in acht te nemen in een beslissingsproces zou men immers tot maatregelen kunnen komen die dan weer negatief zijn voor andere milieuaspecten. Beoordelings- en evaluatiesystemen voor milieupact dienen daarom altijd te gebeuren aan de hand van een eerlijke holistische aanpak over alle fasen van het bestaan van een bouwwerk, in dit geval de verharding.

Het is al gauw duidelijk dat voor een betonweg met een erg lange levensduur van 30, 40 jaar of meer, die nauwelijks enige ingreep vraagt voor onderhoud of renovatie, het milieubilan gunstig wordt omwille van de besparingen op lange termijn in grondstoffen, transport en energie. Neem daarbij nog de vermindering van files wegens minder nodige werkzaamheden wat alweer een reductie in brandstofverbruik en uitlaatgassen inhoudt.

Om te weten waar betonwegen staan ten opzichte van de soepele wegverhardingen in asfalt werd door het Franse Centrum voor Informatie over Cement en zijn Toepassingen CIMbéton opdracht gegeven aan het *Centre d’Energétique de l’Ecole des Mines de Paris* om een LCA-studie hieromtrent uit te voeren. Op basis van objectieve gegevens afkomstig van een Zwitserse en Duitse universeit werd de impact van zes verschillende wegstructuren vergeleken aan de hand van twaalf milieupact-indicatoren. Die indicatoren kunnen een globaal belang hebben, op planetaire schaal, zoals energie en broeikasgassen of kunnen een lokaal of regionaal karakter hebben zoals smog, stank, verzuring e.a.

Tabel 1 : Opwarmingspotentieel van enkele broeikasgassen

Naam – omschrijving	Chemische formule	Opwarmingsvermogen over referentieperiode van 100 jaar (Global Warming Potential GWP ₁₀₀)
Koolstofdioxide	CO ₂	1
Methaan	CH ₄	25
Distikstofoxide (lachgas)	N ₂ O	298
Gefluoreerde koolwaterstoffen CFK’s, HCFC’s, HFC’s, PFK’s	-	124 – 14.800
Zwavelhexafluoride	SF ₆	22800

Tabel 2 : Milieu-indicatoren in de LCA-studie van CIMbéton

Indicator	Eenheid
Primaire energie	MJ
Waterverbruik	kg
Natuurlijke rijkdommen	10 ⁻⁹ (verbruik ten opzichte van wereldreserves)
Afval	t eq
Radioactief afval	dm ³
GWP ₁₀₀ (broeikasgassen)	kg CO ₂
Verzuring	kg SO ₂
Eutrofiëring	kg PO ₄ ³⁻
Ecotoxiciteit	m ³ eq. vervuild water
Toxiciteit voor de mens	kg eq. besmet vlees
O ₃ -smog	kg eq. C ₂ H ₂
Stank	m ³ eq. vervuilde lucht door ammoniak

In de studie werd voor vier types betonverhardingen, één type composietverharding en één type asfaltverharding de LCA opgesteld van een autosnelweg met twee maal twee rijstroken over een lengte van één kilometer en met een gebruiksduur van 30 jaar. Het beschouwde verkeersvolume in de gebruiksfase bedraagt ongeveer 100 miljoen personenwagens en 25 miljoen vrachtwagens. De bestudeerde structuren zijn als volgt samengesteld :

1. 21 cm gedeuveld platenbeton op 15 cm schraal beton;
2. 19 cm doorgaand gewapend beton op 15 cm schraal beton;

3. 22 cm doorgaand gewapend beton op 5 cm asfalt;
4. 37 cm ongedeuvelde platenbeton op 10 cm ongebonden steenslag;
5. 2,5 cm bitumineuze deklaag op 17 cm doorgaand gewapend beton (DGB) op 9 cm bitumengebonden steenslag;
6. 8 cm asfalt op 26 cm bitumengebonden steenslag.

Het is duidelijk dat deze structuren, gebaseerd op de Franse praktijk, helemaal niet overeenstemmen met de Belgische wegopbouw. In ons land worden voor zwaar belaste autosnelwegen doorgaans zwaardere structuren voorzien : hetzij 23 cm doorgaand gewapend beton op een asfalt tussenlaag en een fundering van 20 cm schraal beton, hetzij een pakket van 21 à 25 cm asfalt op een fundering van schraal beton. De Belgische oplossing in DGB lijkt op het eerste gezicht veel nadeliger te zijn voor de broeikasgassen. De ervaring heeft ons echter al geleerd dat een gebruiksduur van 40 jaar realistisch is en dit zonder de belastende onderhoudsingrepen die in de Franse studie voorzien zijn. Op die manier kan alsnog een belangrijke milieuwinst geboekt worden. Ook andere hypothesen voor de materialen, de aanleg, het onderhoud en de recyclage zijn voor discussie en aanpassing vatbaar. Bij gebrek aan een betrouwbare vergelijking op Belgisch niveau laat deze studie ons niettemin toe een veralgemeend beeld te krijgen over de kwestie.



Gedeuveld beton

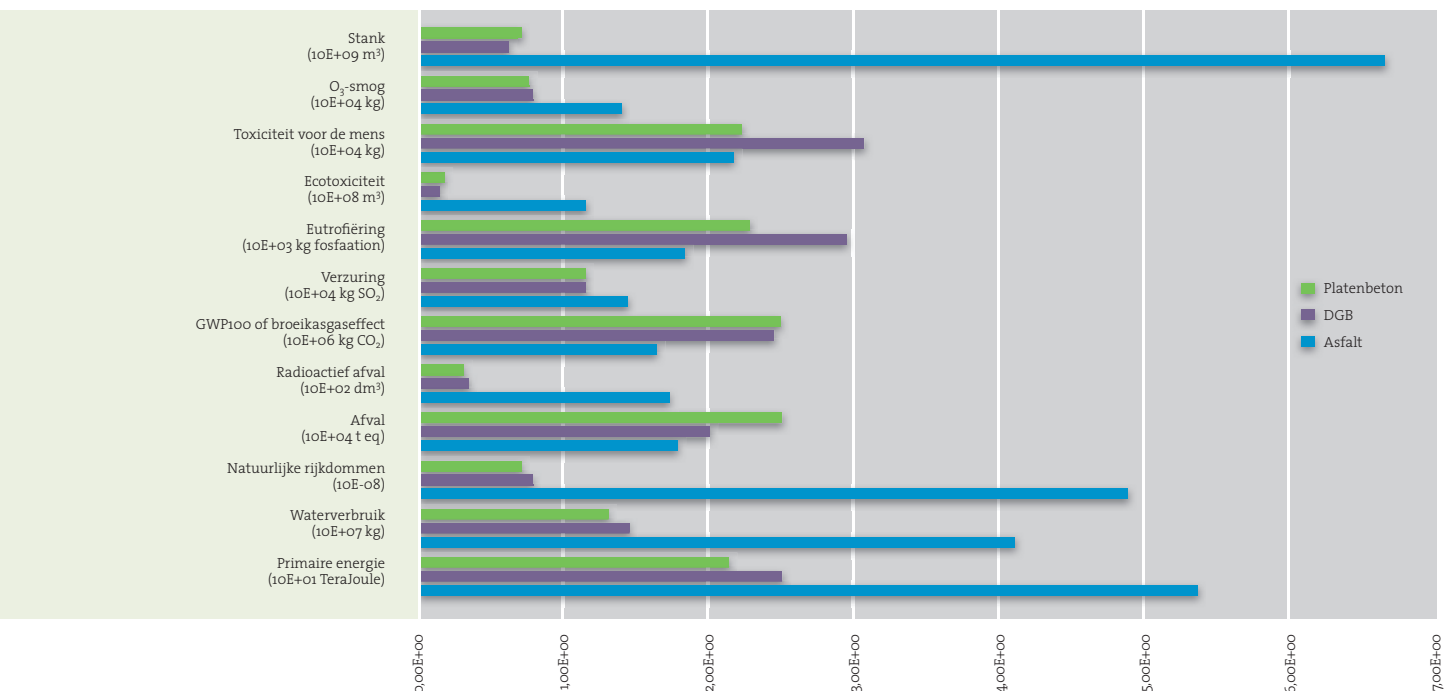


Doorgaand gewapend beton

De resultaten kunnen worden voorgesteld in een staafdiagram waarin de structuren voor de twaalf beschouwde milieu-indicatoren met elkaar vergeleken worden. Elke staaf heeft een schaal volgens de specifieke meeteenheid voor de betreffende indicator, zodat visueel de relatieve afwijkingen tussen de verschillende structuren kunnen vergeleken worden. Hoe korter de staaf, hoe zwakker de milieu-impact van de beschouwde structuur is voor die indicator. Tussen verschillende indicatoren kunnen staaflengtes niet vergeleken worden daar het om totaal verschillende grootheden gaat. In deze studie werden geen gewichten toegekend aan de milieu-indicatoren.

Figuur 1 geeft de vergelijking tussen de betonstructuur nr.1 (gedeeveld platenbeton), de betonstructuur nr.3 (doorgaand gewapend beton op asfaltlaag) en de asfaltstructuur nr. 6 voor de fasen van ontginning en productie van de grondstoffen, de aanmaak en transport van de mengsels, aanleg van de wegstructuur, onderhoud en uitgebruikname bij einde levensduur. De eigenlijke gebruiksfase of m.a.w. de impact van het verkeer is niet inbegrepen. De bitumineuse structuur is gunstiger dan de betonstructuur voor de indicatoren Afvalstoffen, Broeikasgassen, Eutrofiëring en Toxiciteit voor de mens. De betonstructuur daarentegen is gunstiger voor de indicatoren Energie, Water, Natuurlijke rijkdommen, Radioactief afval, Verzuring, Ecotoxiciteit, Smog en Stank.

Figuur 1 : Impact over een levensduur (30 jaar) van een weg, exclusief verkeer, voor verschillende milieu-indicatoren - vergelijking platenbeton, doorgaand gewapend beton en asfalt



Wanneer we echter de gebruiksfase, het verkeer, mee in beschouwing gaan nemen, komen we tot een totaal ander beeld. Dit is te zien in figuur 2 die van toepassing is voor de structuur in platenbeton. Het is duidelijk dat het gele stukje van de staven dat betrekking heeft op de aanleg, het onderhoud en de uitgebruikname bijzonder klein is ten opzichte van het groene gedeelte dat de bijdrage door het verkeer voorstelt. Met uitzondering voor de indicator Vast Afval is de impact van het verkeer minstens tien maal groter dan die van alle andere fasen uit de levensduur van de weg.

Maatregelen die het brandstofverbruik kunnen terugschroeven zijn daarom van uitermate groot belang. Die kunnen zich op verschillende vlakken situeren :

- alternatieve brandstoffen,
- automobieltechnologie (motor, banden,...),
- kwaliteit (vlakheid) en onvervormbaarheid van de wegverharding,
- verkeersmaatregelen,
- doorstromend verkeer, vermijden van files,...

We kunnen hieruit besluiten dat de vergelijking van verschillende wegstructuren en/of verhardingstypes op basis van een LCA een genuanceerd beeld geeft voor verschillende milieu-indicatoren. Verbeteringen en optimalisatie dienen hoe dan ook nagestreefd te worden in de domeinen van het ontwerp, de aanleg, de onderhoudstechnieken, de opbraak en de recyclage. Andere eigenschappen van betonverhardingen zoals het hoger weerkaatsingsvermogen en de verminderde opwarming in stedelijke gebieden werden in deze studie niet beschouwd maar kunnen toch een belangrijke rol spelen in de klimaatproblematiek, zoals verder zal aan bod komen. De grote winst kan echter geboekt worden op vlak van brandstofverbruik door het verkeer.



Figuur 2 : Impact over de levensduur van een weg in platenbeton inclusief verkeer voor verschillende milieu-indicatoren

IMPACT VAN HET TYPE VERHARDING OP HET BRANDSTOFVERBRUIK VAN VRACHTWAGENS

Net omwille van het maatschappelijk en ecologisch belang van de vermindering van de fossiele brandstoffen werden al diverse studies en onderzoeksprojecten uitgevoerd naar het effect van het type verharding op het brandstofverbruik van personenwagens en vrachtwagens. De meest gekende is de studie uitgevoerd in Canada door de *National Research Council*. In feite gaat het om een reeks van vier onderzoeken, die

progressief werden uitgebouwd met extra proefnemingen op verschillende types van wegen en voertuigen, tijdens verschillende seizoenen en met verschillende statistische modellen. Tijdens alle fasen werd voor de zware voertuigen een verminderd brandstofverbruik vastgesteld op een betonverharding in vergelijking met een bitumineuze soepele verharding. De laatste fase, die ook de meest volledige was met een gamma aan wegen van verschillende niveau's van vlakheid en proefnemingen in alle jaargetijden gaf weliswaar de minst grote verschillen maar kwam niettemin tot het besluit dat de brandstofbesparing op betonwegen in vergelijking met asfaltwegen, zowel voor een lege als voor een volle trekker met aanhangwagen, in vier van de vijf periodes van het jaar, van 0,8 tot 3,9% bedroeg en dit met statistisch significante resultaten met een betrouwbaarheidsdomein van 95%. Een gemiddelde brandstofbesparing van 2,35% is zeker niet verwaarloosbaar en kan over de levensduur van een druk bereden autoweg een enorm verschil betekenen in globaal brandstofverbruik en uitstoot van vervuilende gassen.

In Groot-Brittannië werd in hetzelfde domein een laboratoriumonderzoek verricht door TRL (*Transport Research Laboratories*) in opdracht van de *Highways Agency* om het effect van de stijfheid van de wegverharding op het brandstofverbruik na te gaan. Door de mindere doorbuiging van de betonverharding werd een vermindering in de rolweerstandscoefficiënt gemeten van 5,7% overeenstemmend met een brandstofbesparing van 1,14%. Dit verschil bleek echter niet statistisch significant te zijn maar had anderzijds ook gunstiger kunnen zijn omdat de bestudeerde betonplaat niet dezelfde stijfheid had als in de werkelijkheid.

Naast het type van verharding zijn de vlakheid en de oppervlaktetextuur belangrijke factoren die het brandstofverbruik kunnen beïnvloeden. De kwaliteit van het afgewerkte betonoppervlak speelt hierin een cruciale rol: een goed en vlak aangelegde betonweg behoudt deze eigenschappen gedurende tientallen jaren; een slecht aangelegde betonverharding met golven of oneffenheden vraagt moeilijke en dure behandelingen om het gewenste rijcomfort te bekomen en tevens het brandstofverbruik te minimaliseren.



WAT BETEKENT EEN BRANDSTOFBESPARING VAN 2,35% VOOR VRACHTVERKEER ?

Veronderstellen we even dat we op alle autosnelwegen de zwaarst belaste rechterrijstrook van asfalt in beton wensen te veranderen. Welke impact heeft een brandstofbesparing van 2,35% op de CO₂ uitstoot ?

Beschouw 1 km rijstrook à 4 m breedte en 23 cm dikte en een dagelijks verkeer van 2000 vrachtwagens op werkdagen met een verbruik van 35 l/100 km. We nemen aan dat 1 liter brandstof overeenstemt met 2,5 kg CO₂. De CO₂-uitstoot is dan :
220 werkdagen x 2000 vrachtwagens x 35 liter/100 km x 1 km x 2,5 kg CO₂/liter = 385 ton CO₂/jaar.
Een brandstofbesparing van 2,35% betekent dus 9,05 ton CO₂/jaar.

Het aandeel CO₂ nodig voor de cementproductie bedraagt :
1 km x 4 m x 0,23 m x 400 kg hoogovencement/m³
x 500 kg(*) CO₂/1000 kg cementproductie = 184 ton CO₂.

De CO₂ - uitstoot door de cementproductie wordt dus volledig geneutraliseerd na 184/9,05 = 20 jaar
of ver beneden de verwachte levensduur van 30 à 40 jaar voor de betonnen rijstrook.

(*) Zie volgende paragrafen voor meer uitleg over cementproductie en CO₂-emissies.

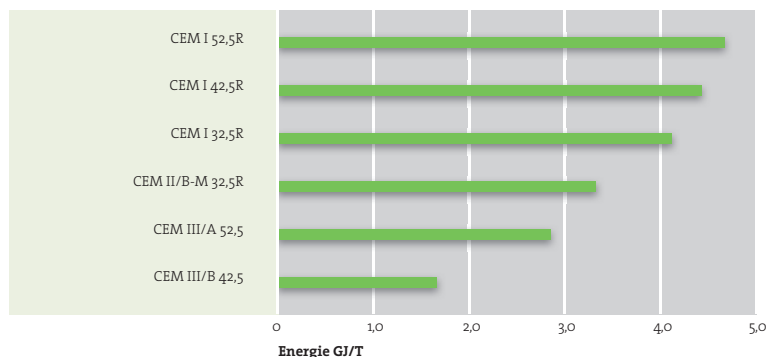
GEBRUIK VAN “LAGE ENERGIE-CEMENT”

Er wordt wel eens beweerd dat de productie van één ton cement overeenstemt met de uitstoot van één ton CO₂-equivalent. Deze al te gemakkelijke benadering is echter totaal onjuist. Voor het gemiddelde cement geproduceerd in de Europese Unie is de verhouding één ton cement tegen 750 kg CO₂-equivalent. Dit komt omdat er naast het basisproduct klinker veel gebruik wordt gemaakt van secundaire grondstoffen (poederkoolvliegias, hoogovenslakken, kalksteenfiller,...) in de cementproductie.

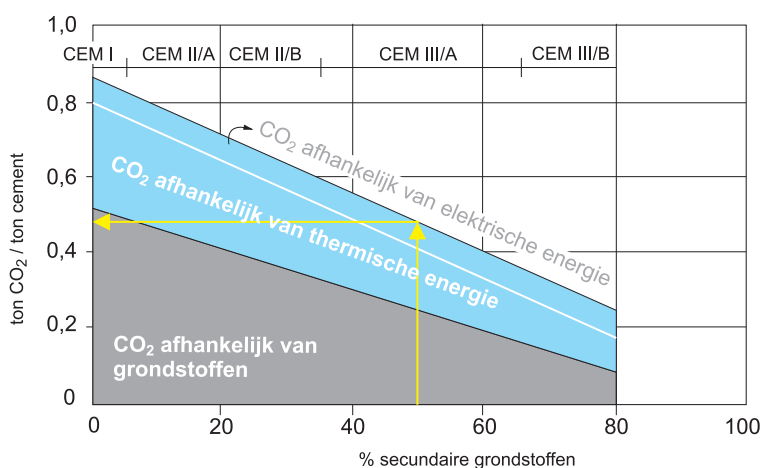
In België, en zeker in de sector van de wegenbouw, is de situatie zelfs nog gunstiger. Zo wordt in de wegenbouw vooral gebruik gemaakt van hoogovencement CEM III/A 42,5 N LA. In dit type cement is ongeveer de helft (theoretisch volgens NBN EN 197-1 tussen de 36 en 65%) van het klinkergehalte vervangen door hoogovenslakken en het is precies de productie van klinker die bijzonder veel energie vereist en ook nog CO₂ produceert door het decarbonatatieproces dat in de cementoven plaatsvindt.

Figuur 3 geeft een vergelijking van de energie-inhoud van verschillende types en sterkteklassen van cement. Wanneer we de hoogovencement CEM III/A vergelijken met de portlandcement CEM I, zien we dat de verbrandings- en elektrische energie met ongeveer 40% werd verminderd.

De invloed van het gebruik van samengestelde cementen op de CO₂-emissie tijdens de productie van de cement is af te lezen uit figuur 4, afkomstig uit het internationaal samenwerkingsproject “ECOserve”. De gegevens houden rekening met de verminderingen door het lager brandstofverbruik, het lagere elektriciteitsverbruik, de verminderde CO₂-emissie tijdens de decarbonatatie alsook de verhogingen voor het drogen van de vervangingsgrondstoffen en het fijner malen van de cement. Voor een gemiddelde samenstelling van een hoogovencement CEM III/A zien we dat één ton cement nog overeenstemt met slechts 500 kg CO₂. Er is dus wel degelijk een drastische reductie ten opzichte van het gebruik van portlandcement.



Figuur 3 : Energie-inhoud van verschillende types en sterkteklassen van cement



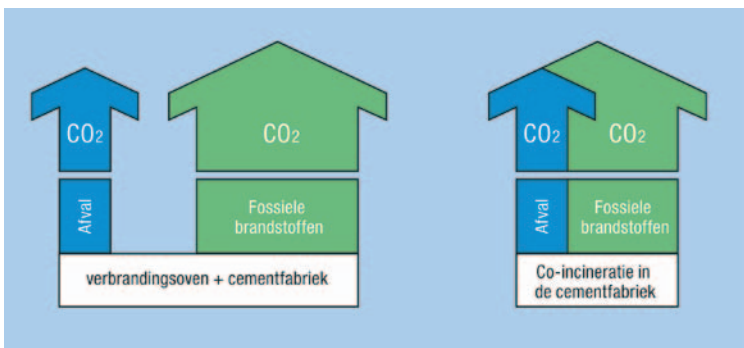
Figuur 4 : CO₂-uitstoot bij de productie van samengestelde cementsoorten

Globale CO₂ Reductie Door Valorisatie Van Industrieel Afval

Het gebruik van industriële afvalstoffen zoals autobanden, oplosmiddelen, afvalolie, slib van afvalwaterbehandeling, verfresten,...als vervangingsbrandstoffen in de cementovens levert eveneens een betekenisvolle bijdrage tot het terugdringen van de globale CO₂-emissies. Als dit afval niet tijdens de cementproductie wordt verbrand, dient het geëlimineerd te worden via traditionele verbranding. Het energierendement is dan veel lager en de overeenkomstige CO₂-uitstoot komt bovenop die van de cementindustrie. De ultieme afvalstoffen worden nadien afgevoerd naar een stortplaats, zonder enige valorisatie, waar ze aanleiding geven tot de vorming van methaan, een broeikasgas waarvan de impact 25 x die

van CO₂ bedraagt. In geval van verbranding in de cementovens, bij temperaturen tot 1450 °C, worden alle organische moleculen vernietigd zodat er geen gevaar voor verontreiniging is. Bovendien is er in dat geval geen enkele restafval. In België is vandaag meer dan 1/3 van de calorische energie voor de productie van cement, afkomstig uit de verbranding van afval. Dit is goed voor een jaarlijkse invoerbeparing van meer dan 500.000 ton olie-equivalent (TOE).

Figuur 5 : CO₂-reductie door afvalverbranding in cementovens



OPNAME VAN CO₂ DOOR HET BETON

Net zoals bij de fabricatie van cement CO₂ vrijkomt door het decarbonatieproces, wordt tijdens de levenscyclus van beton CO₂ opgenomen door de omgekeerde reactie, namelijk de carbonatie. Dit staat gekend als een van de mogelijke oorzaken van schade aan



Betonpuin gestockeerd in open lucht : hogere opname van CO₂

gewapend beton. Voor betonwegen stelt dit echter geen probleem :

- platenbeton is ongewapend en carbonatie wordt dan niet als schadelijk aanzien;
- bij doorgaand gewapend beton bevindt de wapening zich op een diepte van 6 cm of meer, afhankelijk van het concept. Dit is ruim voldoende opdat het carbonatiefront nooit de wapeningszone bereikt tijdens de levensduur van de weg.

Bovendien is wegenbeton van zeer goede kwaliteit : het is een compact beton met weinig poriën. De carbonatatie diepte, die evenredig is met de vierkantswortel van de tijd van blootstelling, bedraagt na een levensduur van 40 jaar slechts 5 à 10 mm. Maar dat betekent dan ook dat de opname van CO₂ beperkt is. Beperkt betekent echter niet verwaarloosbaar. Uit studies blijkt dat de hoeveelheid opgenomen CO₂ na 40 jaar, voor een muur met dikte 20 cm en aan beide zijden blootgesteld, ongeveer 20 kg/m³ beton bedraagt. Voor een wegverharding alleen aan de bovenzijde blootgesteld bedraagt de CO₂-opname dan 10 kg/m³ of 2 kg/m² voor een gelijke dikte van 20 cm. Dit stemt overeen met 5% van de CO₂ nodig voor de overeenstemmende productie van hoogoven cement voor dezelfde m² betonverharding (1 m² x 0,20 m x 400 kg cement/m³ x 0,5 kg CO₂/kg hoogoven cement = 40 kg/m²).

Indien het wegenbeton op het einde van de levenscyclus wordt gebroken tot betonpuin is er nog een groot potentieel tot opname van CO₂, wanneer dit puin in open lucht wordt gestockeerd. Het specifiek oppervlak van betonpuin is immers veel groter en de carbonatatiereactie verloopt dan ook veel sneller. Na een periode van 2 à 3 jaar kan er 15 tot 35 kg/m³ opgenomen worden.

Tijdens de volledige cyclus komen we dus tot een hoeveelheid opgenomen CO₂ van 25 à 45 kg/m³ wegenbeton en dat stemt ongeveer overeen met 10 à 25% van de hoeveelheid CO₂ die vrijkwam bij de productie van 400 kg hoogoven cement voor dat wegenbeton.

ONGEVAARLIJK OP HET VLAK VAN UITLOGING

Door het gebruik van industriële bijproducten in de cementproductie (vliegassen, hoogovenslakken, ...) wordt wel eens geopperd dat er uit beton zware metalen kunnen uitlogen die dan de bodem zouden vervuilen. Uitloging is een wetenschappelijke term die slaat op het vrijkomen van chemische elementen uit een vast materiaal bij contact met water (drinkwater, regenwater, zeewater, ...).

Een studie hieromtrent werd uitgevoerd door het Nationaal Centrum voor Wetenschappelijk en Technisch Onderzoek der Cementnijverheid (O.C.C.N. – C.R.I.C.). Op basis van de experimentele “Tank Test” methode, zoals beschreven in de norm NEN 7345 werden betonnen proefstukken ondergedompeld in de uitloogvloeistof die na vastgelegde termijnen geanalyseerd werd door middel van ICP-MS (plasmatoorts in combinatie met een massaspectrometer). Uit de resultaten bleek dat het uitlogingsgedrag van een typisch Belgisch wegenbeton, zowel rijk beton als schraal beton, vervaardigd met verschillende types Belgisch cement, totaal onschadelijk is voor het milieu. De uitgeloopte hoeveelheden van zware metalen waren immers lager dan de hoeveelheden die voorkomen in mineraal drinkwater dat in de winkel verkocht wordt !

RECYCLEERBAARHEID

Beton is een inert materiaal en is 100% recycleerbaar. Het merendeel van de betonverhardingen die opgebroken worden, gaat naar een breek- en zeefinstallatie waarna het betonpuin hergebruikt wordt in onderfundering- en funderingslagen van ongebonden of gebonden steenslag, schraal beton of walsbeton.



Recyclage van betonpuin in een samenstelling van rijk wegenbeton is perfect mogelijk in het geval van een tweelaags beton waarbij 60% of meer van de grove granulaten door gerecycleerd wegenbeton kan vervangen worden. Dit is de standaard bouwwijze voor autosnelwegen in Oostenrijk en is ook al in andere landen (Duitsland, Polen, ...) toegepast. Ook ons land heeft dit voorbeeld gevolgd : een eerste belangrijke toepassing in België vond plaats in 2007-2008 bij de heraanleg van een 3 km lange sectie van de N49/E34 te Zwijndrecht/Melsele. Zie kaderstuk.

Recyclage van opgebroken wegenbeton, bestemd voor gebruik in de fundering van walsbeton en als granulaat in het nieuw wegenbeton (A17-E403 Brugge-Kortrijk, 2007)

Tabel 3 : Uitloogwaarden van wegenbeton en parameterwaarden van de Europese Richtlijn

“Tank test” Gedemineraliseerd water - Porfierbeton, CEM I en CEM III/A 42,5
Waarden uitgedrukt in ppb (µg/l) (*) (**)

Gemiddelde waarde gerapporteerd na 24 u contact					Parameter- waarden CE 98/83/CE (**)
Element	CEM I		CEM III/A		
	minimum	maximum	minimum	maximum	
Ba	6,4	22	8,0	8,8	geen
Ni	0,19	0,45	0,096	0,28	20
Cr	0,31	0,71	0,13	0,29	50
Sb	0,011	0,028	0,010	0,068	5
Se	< 0,060	< 0,060	< 0,060	< 0,060	10
Mn	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,008	50
Hg	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	1
As	< 0,002	< 0,006	< 0,002	< 0,007	10
Ag	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,003	geen
Zn	0,014	0,020	0,005	0,022	geen
Pb	< 0,001	0,027	< 0,001	< 0,001	10
Cd	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	5
Cu	< 0,004	0,015	< 0,004	< 0,004	2000

(*) ppb = (in het Engels: 'parts per billion' = deeltjes per miljard, bijv. microgram per kilo of liter water)

(**) Waarden voorafgegaan door ' < ' duiden op gehalten die kleiner zijn dan de meetbare ondergrens.

(***) De CE-parameterwaarden zijn vastgelegd op basis van de maximale hoeveelheden die door de mens in 24 uur mogen worden ingenomen zonder dat nevenwerkingen op zijn gezondheid te vrezen zijn.

RENOVATIE VAN DE N49/E34 TE ZWIJNDRECHT MET TWEELAAGS DOORGAAND GEWAPEND BETON MET GERECYCLEERDE GRANULATEN IN DE ONDERLAAG

De techniek van tweelaags beton wordt toegepast hetzij om een hoog kwalitatieve top laag te realiseren, hetzij om minder kwalitatieve en dus goedkopere materialen te kunnen gebruiken in de onderlaag, of om beide redenen samen.

In Europa wordt deze techniek algemeen toegepast in Oostenrijk waarbij in de onderlaag gebruik wordt gemaakt van gerecycleerd betonpuin van de opgebroken verharding. Gestimuleerd door een groeiend milieubewustzijn en zin voor innovatie besloot de Vlaamse Overheid het Oostenrijks voorbeeld te volgen en plande de uitvoering van een 3 km lange proefsectie in doorgaand gewapend beton op de expresweg E34 te Zwijndrecht. De uitvoering gebeurde in twee fasen : richting Gent in 2007, richting Antwerpen in 2008.

Het betrof hier een unieke internationale primeur, weliswaar verder bouwend op bestaande ervaringen, namelijk de combinatie van een tweelaagse betonverharding, van doorgaand gewapend beton en van hergebruik van betonpuin.

Met dit concept werd duurzaamheid nagestreefd, zowel in de klassieke zin van het woord gezien de lange levensduur die een verharding in DGB biedt, als in de ruimere betekenis van het woord, met name de aandacht voor het milieu en de beperktheid van de natuurlijke rijkdommen. Dit project mag dus zeker beschouwd worden als een geoptimaliseerd concept van duurzame wegenbouw en zal zeker bijdragen tot de verdere ontwikkeling van dit type verhardingen.



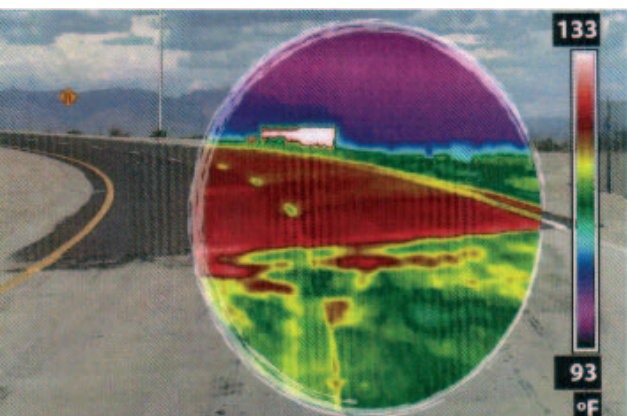
GROTERE LICHTWEERKAATSING EN VERMINDERD OPWARMINGSEFFECT IN STEDELIJKE GEBIEDEN

Het vermogen om lichtstralen – dus energie – te weerkaatsen wordt bepaald door het “albedo” van een oppervlak. Albedo wordt uitgedrukt als de verhouding van de weerkaatste ten opzichte van de ingevallen zonne-energie; hoe hoger dit percentage, hoe meer energie terug de atmosfeer wordt ingestuurd. Gemiddeld bedraagt het albedo van de aarde 0,35 : 35% van de zonne-energie wordt weerkaatst terwijl 65% wordt geabsorbeerd. Dat geeft een gemiddelde temperatuur van 15°C op het aardoppervlak. Het poolijs met zijn hoog albedo speelt een belangrijke rol in dit temperatuurevenwicht. Het smelten van het poolijs doet het gemiddelde albedo van de aarde dalen omdat de oceanen meer warmte absorberen dan het ijs. De temperatuur op aarde neemt dan ook in verhouding toe en de opwarming komt zo in een versnelling terecht.

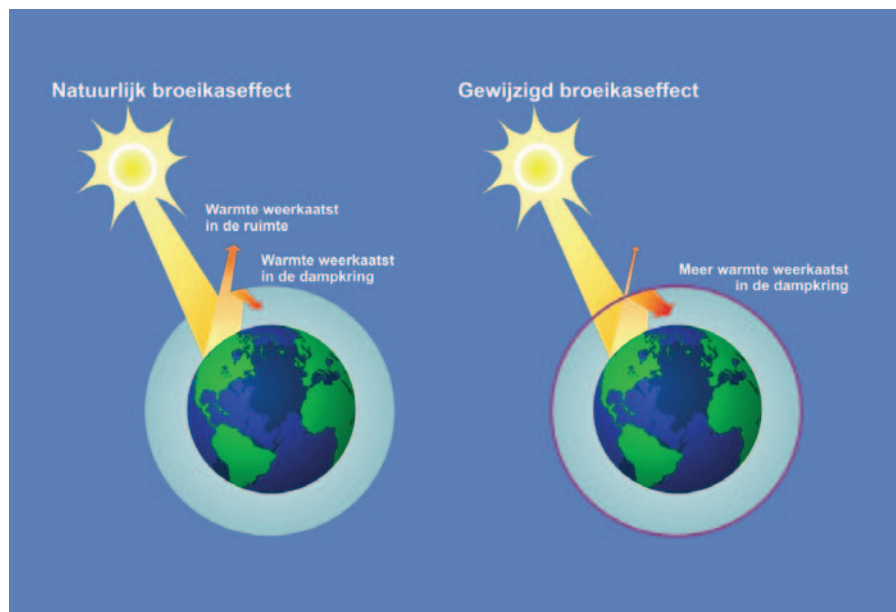
Tabel 4 : waarden van lichtweerkaatsing of albedo voor verschillende materialen

	ALBEDO
Verse sneeuw	81 à 88%
Oude sneeuw	65 à 81%
Ijs	30 à 50%
Rotsen	20 à 25%
Bossen	5 à 15%
Aarde	35 %
Beton	15 à 25%
Asfalt	5 à 10%

Maar het globaal opwarmingseffect kan ook op die manier vertraagd worden, namelijk door meer reflecterende oppervlakken te voorzien op aarde : witte daken en ...betonverhardingen ! Dit werd door wetenschappers van de “*Heat Island Group*” bestudeerd aan de universiteit van Berkely (Californië, U.S.). Zij vergeleken enerzijds de invloed van albedo en anderzijds de invloed van de atmosferische CO₂-concentratie op het netto stralingsvermogen dat verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde. Zij berekenden dat een toename met één percent in de albedo van een oppervlak overeenstemt met een vermindering van de straling van 1,27 W/m². Deze verminderde straling heeft als effect een vertraging van de opwarming van de aarde. Voor die vertraagde opwarming berekenden ze dat die evenwaardig is met een vermindering aan CO₂-uitstoot van 2,5 kg per m² aardoppervlak. Een betonverharding heeft ten opzichte van een bitumineuze verharding een Δ_{albedo} van 10 à 15% en leidt dus tot een vermindering aan CO₂ van 25 à 38 kg/m² oppervlak. De laagste waarde, 25 kg CO₂/m², levert nog altijd een enorm voordeel op dat overeenstemt met 60% van de CO₂ die nodig is voor de cementproductie van 1 m² platenbeton met een dikte van 20 cm.



Figuur 7 : Thermisch beeld van een wegverharding in Mesa, Arizona met temperatuursverschillen tussen de betonverharding onderaan en de asfaltverharding bovenaan op de foto

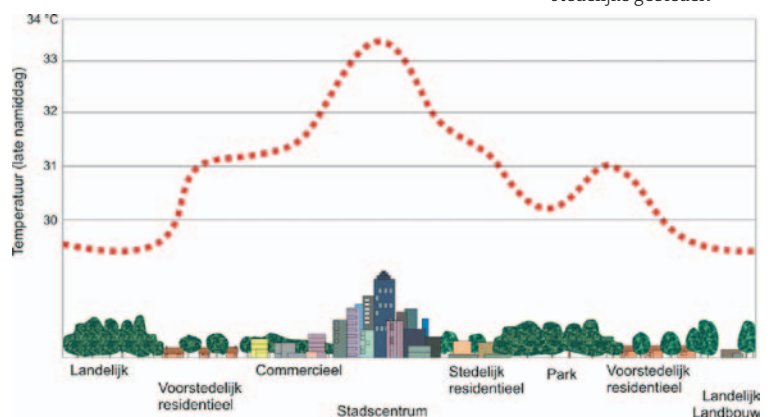


Figuur 6 : Opwarming aarde door broeikaseffect

De lagere warmteopname van lichte oppervlakken zoals beton draagt ook bij tot de vermindering van het opwarmingseffect dat zich vooral voordoet in grote steden. Figuur 7 toont een thermisch beeld van een achter elkaar gelegen asfalt- en betonverharding. De meting gebeurde in augustus 2007 omstreeks 17 u in licht bewolkte toestand en het temperatuurverschil tussen beide wegverhardingen bedroeg ongeveer 11° C.

Dat stedelijk opwarmingseffect, zoals grafisch voorgesteld in figuur 8, leidt tot hoge energieverbruiken voor airconditioning van gebouwen en dus een hoge economische en milieukost. Hogere temperaturen bevorderen ook de vorming van smog. Licht gekleurde wegverhardingen kunnen ook hier bijdragen tot een beperking van de opwarming en een reductie van het smoggevaar.

Figuur 8 : Beeld van het opwarmingseffect in stedelijke gebieden



ECONOMISCHE ASPECTEN VAN BETONWEGEN

Het is de wens van iedere wegbeheerder/bouwheer om te investeren in duurzame bouwwerken die weinig onderhoud vergen en die gedurende de langst mogelijke levensduur een hoge graad van beschikbaarheid garanderen. Bij de keuze van de structuur van de weg kunnen de technische voorwaarden bepalend zijn maar de keuze hangt vaak ook af van de economische implicaties die ermee verbonden zijn. Deze kunnen als volgt ingedeeld worden :

- uitgaven verbonden met de bouw van de infrastructuur of de investeringskost;
- het budget voor latere onderhouds- en instandhoudingswerken;
- de economische repercussies van de onderhoudsoperaties, wat vooral maatschappelijke kosten zijn zoals tijdverlies voor personen en bedrijven door files ingevolge werkzaamheden of verminderde beschikbaarheid van de infrastructuur.

LEVENSDUUR – ONDERHOUD – KOSTEN OVER DE LEVENSDUUR VAN DE WEG (LIFE-CYCLE COST ANALYSIS)

De initiële investeringskost wordt vaak, ten onrechte, als voornaamste criterium gehanteerd. Alleen al vanuit economisch oogpunt kan dit een misrekening zijn omwille van de hoog oplopende onderhoudskosten. De nuttige levensduur van de wegverharding speelt hier duidelijk een belangrijke rol in. Bij het nemen van dergelijke strategische langetermijnbeslissingen, gekoppeld aan budgettaire beperkingen op korte termijn, bestaan mathematische – en soms probabilistische – modellen die de beslissingnemer kunnen ondersteunen.

De “*Life-Cycle Cost Analysis*” of LCCA is een dergelijke beslissingsondersteunende techniek waarmee het rendement op lange termijn van alternatieve investeringsopties kan worden geëvalueerd. In zijn meest volledige vorm houdt die rekening met de kosten voor de wegbeheerder/investeerder en voor de gebruiker, en met alle andere relevante kosten over de ganse levensduur voor de verschillende opties. Voor een bepaalde investering wordt gezocht naar de optie met de laagste langetermijncost maar waarbij toch de beoogde prestaties bereikt worden.

De moeilijkheid bij deze techniek blijft bestaan in het inschatten of voorspellen van de nodige parameters in het model :

- nuttige levensduur van de verschillende opties;
- kosten voor de wegbeheerder;
- residuele waarde van de wegverharding op het einde van de analyseperiode;
- de kosten voor de weggebruiker (of maatschappelijke kosten) tijdens het normaal gebruik van de weg en tijdens onderhouds- en renovatiewerkzaamheden, zoals :
 - operationele kosten aan het voertuig;
 - kosten door vertragingen;
 - ongevallenkosten;
- discontovoet

Er dient met andere woorden een heel aantal inputparameters geschat, aangenomen of voorspeld te worden, dit steeds met een bepaalde graad van waarschijnlijkheid. Om hiermee rekening te houden kan het LCCA-model aangevuld worden met een risicoanalyse. Hiervoor wordt meestal beroep gedaan op probabilistische modellen, zoals de Monte Carlo simulatietechniek, en gespecialiseerde computerprogramma's.

Omwille van de moeilijkheid om de maatschappelijke parameters te begroten, wordt meestal uitsluitend gerekend met de aanleg- en onderhoudskosten en eventueel met de opbraak en heraanleg, dit in functie van het gebruikte model.

KLIMAAT- EN WEERBESTENDIGHEID

Een betonverharding weerstaat aan de grillen van alle seizoenen, weersomstandigheden en klimaten. Na een strenge winterse periode met vorst- en dooi cycli wordt de wegbeheerder niet geconfronteerd met rafelende oppervlakken, met putten in het wegdek of gevaarlijke scheurvorming. Weliswaar is de aanleg van een betonverharding niet mogelijk in alle omstandigheden: bij te extreme temperaturen worden de risico's groter en dienen zo nodig maatregelen genomen te worden op het vlak van betonsamenstelling en/of verwerkingsmethoden. Maar eenmaal de betonweg op een correcte manier aangelegd is, is hij niet langer onderhevig aan de klimatologische invloeden. De diverse scenario's qua klimaatveranderingen vormen dan ook geen probleem voor de betonweg.

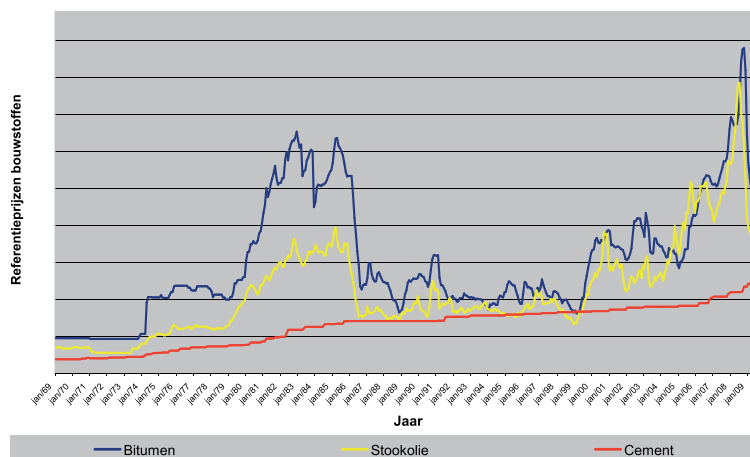
KOSTEN VOOR VERLICHTING

Het hoger reflecterend vermogen van beton, door zijn helder oppervlak, laat toe om een besparing te realiseren in de kosten voor de verlichting van straten en autowegen. Voor de berekening van de verlichting wordt immers uitgegaan van het weerkaatste licht zoals het wordt waargenomen door de bestuurder van een voertuig. De besparing kan verkregen worden door minder verlichtingspalen te voorzien of door een lagere luminantie van de verlichtingslampen. In beide gevallen wordt er bespaard op de uitbatingkosten, namelijk het jaarlijkse elektriciteitsverbruik en in het eerste geval wordt ook op de initiële investering bespaard door het gereduceerd aantal palen.

Uit een Canadese studie blijkt dat bijvoorbeeld voor een afstand van 1 km er 14 verlichtingspalen zouden nodig zijn voor een rijweg in beton en 20 verlichtingspalen voor een wegdek in asfalt om dezelfde verlichtingsprestaties te behalen.

PRIJSSTABILITEIT

Wanneer we de prijzevolutie van de materialen voor de wegenbouw bekijken, is het duidelijk dat stookolie en bitumen, als geïmporteerde materialen, volledig afhankelijk zijn van de internationale prijzen voor ruwe olie en dat die aan sterke schommelingen onderhevig is, in het bijzonder in perioden van energieschaarste. Cement daarentegen is een lokaal geproduceerd



bouw materiaal en volgt een veel stabielere prijskoers, die uiteraard wel deels gebonden is aan de energieprijzen. Zo zien we dat in periodes van crisis, gekenmerkt door een schaarste aan olie, de prijs van bitumen onvoorspelbaar hoge pieken vertoont terwijl de cementprijs met een zekere vertraging en minder schommelingen wordt aangepast (zie figuur 9).

Figuur 9 : Evolutie van de prijzen in België van bitumen, stookolie en cement van 1969 tot 2009

In sommige landen, zoals Turkije, is de marktsituatie anders dan in de meeste Westeuropese landen voor wat de bindmiddelen cement en bitumen betreft. De investeringskost voor een betonweg is er lager dan voor een gelijkwaardige structuur in asfalt. Wanneer dan ook nog de onderhoudskosten in rekening worden gebracht, worden de verschillen bijzonder groot.

BELANG VAN DE CONCURRENTIE TUSSEN VERSCHILLENDE VERHARDINGSTYPES

Landen waar de wegenbouw gedomineerd wordt door één type materiaal, doorgaans asfalt, hebben het nadeel dat er op vlak van materiaal-aanbod weinig of geen concurrentie speelt op de markt, wat zich afspiegelt op hogere kostprijzen voor de grondstoffen. In landen zoals België, waar de bitumineuze en de cementbetonverhardingen op evenwaardige manier ontwikkeld zijn – er is de nodige knowhow en ervaring bij ontwerpers en bij aannemers; de nodige materialen en machines zijn beschikbaar – heeft de wegbeheerder de mogelijkheid om te kiezen in functie van het soort toepassing, het verkeersvolume, de werkomstandigheden enz. en is er geen dominante positie van het ene materiaal ten opzichte van het andere, met bijgevolg een positieve impact op de marktsituatie.

EEN ECONOMISCHE VERGELIJKING TUSSEN BITUMINEUZE EN BETONVER- HARDINGEN VOOR AUTOSNELWEGEN

In 2001 werd door de Wegenadministratie van Wallonië een studie gepubliceerd waarin een economische vergelijking werd gemaakt tussen verschillende wegdekken in doorgaand gewapend beton enerzijds en asfalt anderzijds op basis van een life-cycle cost analyse.

De sterkte van de studie bestaat erin dat ze gebaseerd is op een ervaring van meer dan 30 jaar in de aanleg en het onderhoud van twee gedeelten van de E42 (*Autoroute de Wallonie*) van elk 20 km lang.

Kenmerken van de studie :

- de herleiding tot constante waarde in 2001 aan de hand van een actualisatievoet;
- een analyse over een termijn van 50 jaar;
- verkeersschattingen gebaseerd op tellingen;
- zeer goede en actuele ramingen van de kosten voor aanleg en onderhoud van de verschillende wegtypes;
- de onderhoudsscenario's werden opgesteld door de lokale verantwoordelijken in de schoot van een werkgroep waar in consensus geoordeeld werd;
- er werden geen indirecte kosten voor de weggebruiker opgenomen wat betekent dat alle gehanteerde parameters zeer goed gekend zijn en dat de studie op technisch-economisch vlak als zeer betrouwbaar mag worden beschouwd.

Er werden zes verschillende wegstructuren bestudeerd, twee op basis van asfalt en vier op basis van doorgaand gewapend beton.

Voor de twee structuren in asfalt verschilt de totale dikte van de asfaltlagen : 21 cm en 26 cm. De fundering bedraagt in beide gevallen 20 cm schraal beton en de onderfundering bestaat uit respectievelijk 35 cm en 30 cm zandsteenslagmengsel. De eerste structuur was klassiek voor autosnelwegen in asfaltbeton; de tweede wordt aangetroffen na een overlaging van de autosnelweg zonder affrezen van de onderliggende lagen.

De vier bestudeerde betonstructuren verschillen alleen door de breedte van de wegstroken :

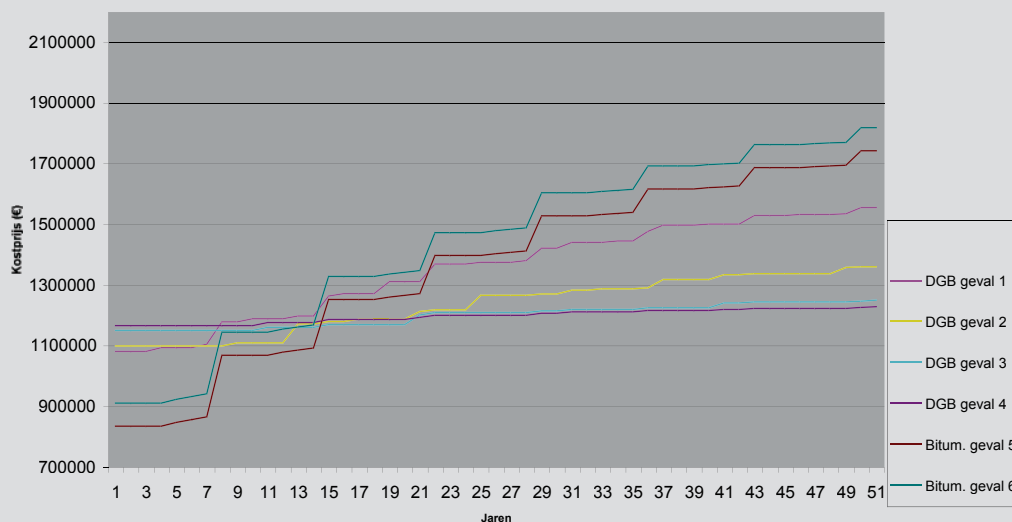
- 7,20 m DGB met pechstrook en middenbermstrook in asfalt (wegmarkeringen op de pechstrook waardoor het DGB op schadelijke wijze wordt belast op de randen);
- 8,00 m DGB met pechstrook en middenbermstrook in asfalt (wegmarkeringen op het DGB om randeffect te vermijden);
- 10,30 m DGB met alleen middenbermstrook in asfalt;
- 11,05 m in DGB over volledige breedte.

In de vier gevallen werd het DGB aangelegd met een dikte van 20 cm op een tussenlaag van 6 cm asfaltbeton (samenstelling voor onderlaag). De fundering was steeds 20 cm schraal beton en de onderfundering 30 cm zandsteenslagmengsel.

Op basis van de gemiddelde eenheidsprijzen voor de samenstellende lagen van de autosnelweg werden de prijzen per m² berekend voor een verharding in DGB, een pechstrook in asfalt en voor de twee types asfaltverharding. De initiële investeringskost voor 1 kilometer autosnelweg (twee rijrichtingen) volgens de verschillende structuren is weergegeven in tabel 5:

Tabel 5 : Initiële investeringskost per km autosnelweg voor verhardingen in doorgaand gewapend beton en asfalt

Nr. geval	Beschrijving	Prijs per km autosnelweg inclusief BTW (€)
1	DGB – b = 7,20 m	1 080 215,30
2	DGB – b = 8,00 m	1 097 909,27
3	DGB – b = 10,30 m	1 148 779,42
4	DGB – b = 11,05 m	1 165 367,51
5	Asfalt dikte 21 cm	833 749,24
6	Asfalt dikte 26 cm	909 458,45



Figuur 10 : Kosten voor aanleg en onderhoud van autosnelwegen in doorgaand gewapend beton en asfalt

De aanlegkosten van wegdek, fundering en onderfundering van de bestudeerde autosnelwegen variëren dus van ca. 834.000 euro tot ca. 1.165.000 euro. Er is dus een significant verschil. Hierbij dient opgemerkt dat de studie werd uitgevoerd op een moment van erg lage olieprijsen, in het voordeel van de bitumineuze structuren.

De verschillende onderhoudsscenario's werden in gemeenschappelijk overleg vastgelegd tussen twee autosnelwegdistricten op basis van hun ervaringen terzake. Elk scenario geeft aanleiding tot een bepaalde onderhoudskost en een bepaalde frequentie.

De resultaten zijn voorgesteld in de grafiek in figuur 10, die berekend werd op basis van een actualisatievoet van 3,6%, de hoogst beschouwde waarde in de studie.

Uit de grafiek blijkt duidelijk de stijgende trend van de onderhoudskosten voor de soepele wegdekken. **Al vanaf 7 à 14 jaar worden de betonnen structuren voordeliger dan de asfaltstructuren.** De lagere investeringskost voor asfalt weegt dus economisch niet op tegen de langetermijnvoordelen van een wegdek in DGB. Deze studie bevestigt dan ook de juiste keuze van de Belgische wegenautoriteiten voor doorgaand gewapend beton in geval van druk bereiden autosnelwegen.

E42 "Autoroute de Wallonie"



SOCIAAL-MAATSCHAPPELIJKE VOORDELEN VAN BETONWEGEN

Naast de aspecten van milieu en economie is er ook een sociaal-maatschappelijk luik aan het verhaal van duurzame ontwikkeling. Het welzijn en de veiligheid van de mensen staan hierbij centraal. Deze willen niet te veel gehinderd worden door wegwerkzaamheden bij de aanleg, herstelling of onderhoud en verwachten van de overheid kwaliteitsvolle en verstandige investeringen. Ook wordt er alsmaar meer belang gehecht aan de kwaliteit van het wegoppervlak, vooral dan door de weggebruikers die op veilige en comfortabele wegen wensen te rijden. Naast het wegdek is ook de uitrusting van de weg belangrijk: wegmarkeringen, signalisatie, verlichting, veiligheidsuitrusting, ...

MINDER FILES WEGENS MINDER ONDERHOUDSWERKZAAMHEDEN

Door het onderhoudsarm karakter van betonverhardingen zijn minder werkzaamheden noodzakelijk gedurende de levensduur van de verharding. Dit betekent dus minder ingrepen en minder hinder voor weggebruikers en omwonenden.

Bovendien hoeft een herstelling van beton niet lang te duren. De uithardingstijd bedraagt zeker geen 28 dagen zoals vaak verkeerdelijk wordt aangenomen. Na 4 à 7 dagen kan een nieuwe betonbaan, aangelegd met klassiek wegenbeton, opengesteld worden voor het verkeer. Door het gebruik van snelhardende betonsamenstellingen is het mogelijk om de uithardingstijd verder te beperken tot 3 dagen of zelfs tot 24 uur. Deze techniek wordt vandaag al courant toegepast op drukke verkeersaders.

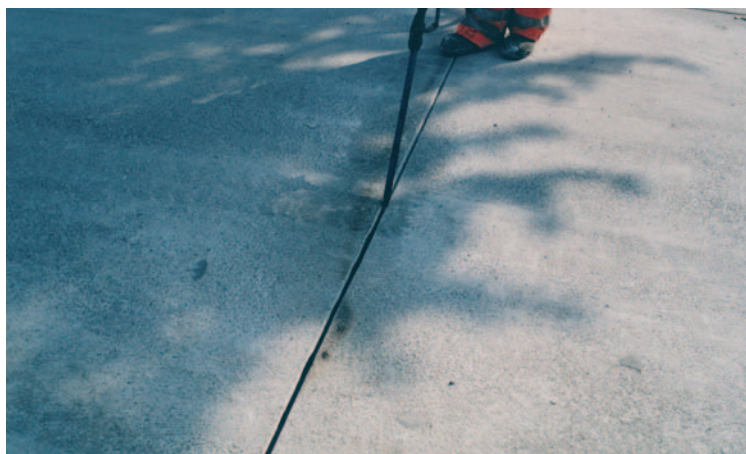
VERBETERDE OPPERVLAKKENMERKEN OVER DE LEVENSDUUR VAN DE WEG

Betonverhardingen hebben vaak te lijden onder een slecht imago door het feit dat ze vaak heel erg oud zijn en destijds ontworpen werden volgens andere criteria dan vandaag en aangelegd werden met verouderde technieken en machines. Veiligheid is altijd een vooropgestelde voorwaarde geweest maar geluid en rijcomfort waren daarentegen geen beslissingsfactoren veertig jaar geleden. Aangepaste ontwerpen, nieuwe aanlegtechnieken, oppervlakafwerkingen en moderne machines maken het vandaag echter perfect mogelijk om kwaliteitsvolle betonoppervlakken te realiseren die wel degelijk voldoen aan de behoeften en doelstellingen van weggebruikers, bewoners en wegbeheerders.

RIJCOMFORT

De effenheid van het oppervlak, gekenmerkt door de langsvlakheid en de megatextuur, maar ook door de spoorvorming en macrotextuur, heeft een significante impact op het rijcomfort.

In de beginperiode van de betonwegenbouw werden ongewapende betonverhardingen aangelegd, bestaande uit lange platen (8 tot 15 m), gescheiden door brede (25 tot 50 mm) uitzetvoegen. Die wegen werden door het gebruik erg oncomfortabel omwille van de brede voegen en de trapvorming ter hoogte van die voegen, ten gevolge van de ongebonden samendrukbare of erosiegevoelige funderingen. Een aangepast ontwerp, al



sinds de jaren 1970, pakte die problemen aan met de volgende maatregelen :

- kortere platen (maximum 5 m lengte) maken de verhardingen minder gevoelig voor scheurvorming;
- smalle afgeschuinde en gevulde krimpvoegen beperken de hinder van de voegen tot een minimum;
- deuvels in de dwarsvoegen en cementgebonden funderingen voorzien een zeer goede lastoverdracht en laten geen niveauverschillen aan de voegen meer toe.

Voor autosnelwegen en primaire wegen wordt vaak gekozen voor de techniek van doorgaand gewapend beton, die gekenmerkt wordt door de afwezigheid van dwarsvoegen. De krimp van het beton wordt gecontroleerd door een patroon van fijne microscheuren dat geen invloed heeft op de vlakheid of het rijcomfort. Vlakke betonwegen kunnen vandaag gerealiseerd worden dankzij :

- geoptimaliseerde betonsamenstellingen met constante verwerkbaarheid, geproduceerd in moderne computergestuurde betoncentrales die vaak op de werf geïnstalleerd worden;
- nieuwe generaties van glijbekistingsmachines met automatische controlesystemen van de trilnaalden;
- degelijk geïnstalleerde geleidedraden voor de sturing van de machine of zelfs draadloze systemen door middel van totaalstations;
- het gebruik van een langse afstrijkbalk achter de afwerkmachine (supersmoother);
- nieuwe types van vlakheidsmetingen onmiddellijk achter de betonneermachine waardoor een bijsturing van het bouwproces mogelijk is.

Met uitzondering van landen waar spijkerbanden worden toegelaten, zijn betonoppervlakken totaal ongevoelig voor spoorvorming. Belangrijk voor betonwegen is dat de langse en dwarse vlakheid die bereikt wordt na aanleg ook onveranderd zal blijven gedurende tal van jaren. Oppervlakschade ten gevolge van afschilfering wordt tegengegaan door het gebruik een kwalitatieve betonsamenstelling (voldoende cementgehalte, lage watercementfactor en gebruik van luchtbelvormers). Rafeling, het fenomeen van loskomende steentjes aan het oppervlak, is al evenmin een probleem voor de normale betonoppervlakken.



VEILIGHEID

Veiligheid is altijd al het belangrijkste aspect geweest voor wegoppervlakken. De beschouwingen inzake rijcomfort zijn evenzeer relevant voor de veiligheid. Stroefheid, aquaplaning en de zichtbaarheid voor de bestuurder zijn echter belangrijkere aspecten. Zowel bij nat als bij droog weer kunnen ongevallen voorkomen worden door een goede oppervlaktetextuur met voldoende stroefheid.

In landen met een lange traditie van betonwegen is er doorgaans geen probleem met stroefheid. Bovendien is de vereiste stroefheid al onmiddellijk aanwezig vanaf de indienststelling van de weg.

In België werden in de jaren 1970-1980 de autosnelwegen hoofdzakelijk afgewerkt met een dwars gegroefd oppervlak omwille van de uitstekende eigenschappen op het vlak van stroefheid en zijdelingse waterafvoer. Die oppervlakken hebben vandaag nog altijd een goede stroefheid maar maken dan weer veel lawaai.



Dwars gegroefd beton

De A3, de E40-autosnelweg tussen Brussel en Luik (vroeger de E5 genoemd), is aangelegd in 1971 en was een van de eerste grootschalige toepassingen van doorgaand gewapend beton in België. Het oppervlak werd dwars gegroefd. Een groot gedeelte van de autosnelweg is recent



E40 in 1972

overlaagd met een dunne bitumineuze slijtlaag om geluidsredenen. Op de niet overlaagde gedeelten voldoet de stroefheid na bijna 40 jaar nog steeds aan de eisen die in ons land gelden voor nieuwe snelwegen. Tabel 6 geeft de resultaten van de dwarse wrijvingscoëfficiënt, gemeten met de SCRIM, in 2004 en 2008. De waarden liggen ver boven de waarde van 0,48 wat de minimale vereiste is voor nieuwe wegen. Andere types oppervlaktetextuur zijn het dwars bezemen of het slepen van een jutedoek. Die hebben in het begin ook een goede stroefheid maar een afname in de loop van de tijd wordt wel waargenomen, zeker voor de afwerking met jutedoek, een techniek die vooral in Duitsland werd toegepast. Oppervlakken in uitgewassen beton blijken het beste compromis in te houden daar er voor deze oppervlakbehandeling geen significante vermindering van stroefheid wordt waargenomen na verloop van jaren.

Sinds half de jaren 1990 zijn heel wat autosnelwegen en gewestwegen aangelegd met een fijn uitgewassen oppervlak. “Fijn” betekent dat de maximum korrelgrootte beperkt is tot 20 mm en dat de fijnere steentjes (4 tot 6 of 8 mm) ten minste 20% uitmaken van alle granulaten (zand + steenslag). Hoewel er een afname van de initiële waarden en een variatie in de resultaten wordt vastgesteld, zijn er toch goede prestaties in de tijd voor de wrijvingscoëfficiënten op een nat wegdek. De resultaten kunnen overigens sterk variëren in functie van het seizoen waarin de proeven worden uitgevoerd. Tabellen 7, 8 en 9 geven hiervan enkele resultaten van de dwarse wrijvingscoëfficiënt, gemeten met de SCRIM.

Tabel 6 : Resultaten stroefheidsmetingen met de SCRIM op de autosnelweg E40 – oppervlak in dwars gegroefd beton

	2004 (32 jaar in dienst)	April 2008 (36 jaar in dienst)
E40 Brussel – Liège km 30 – km 34	0,62	0,58
E40 Liège – Brussel km 30 – km 34	0,63	0,59

Tabellen 7,8,9 : Resultaten stroefheidsmetingen met de SCRIM op de autowegen A12, R3, A8 – oppervlakken in uitgewassen beton

							2004 (3 jaar in dienst)	2008 (7 jaar in dienst)
A12 Brussel – Antwerpen km 4,7 – km 6,5							0,59	0,51
A12 Antwerpen – Brussel km 4,7 – km 6,5							0,62	0,51
	1997 (indienst- stelling)	1998	1999	2000	2001	2002	2004	
R3 Ring Charleroi km 27,0 – km 24,0	0,56	0,57	0,58	0,59	0,55	0,53	0,58	
				2000 (1 ^e metingen)	2001	2002	2004	
E429-A8 Tournai- Brussel km 25,0 – km 30,0				0,55	0,52	0,55	0,54	

Wat ook het type van oppervlakafwerking is, de duurzaamheid van de stroefheid vereist het gebruik van de juiste granulaten aan de bovenzijde van de verharding. Zij moeten voldoen aan vereisten van polijstbaarheid, abrasie, hardheid, vorstgevoeligheid,... Aan deze eisen voldoen onder andere porfier, zandsteen en gebroken grind : granulaten die in België in ruime mate beschikbaar zijn.

De textuur van de verharding in combinatie met het dwarsprofiel heeft grote invloed op het mogelijk gevaar voor aquaplaning waarbij de banden volledig het contact met het wegoppervlak verliezen. Aangezien een betonoppervlak vrij is van spoorvorming, is het gevaar hiervoor onbestaande, zolang het dwarsprofiel met de correcte verkanting uitgevoerd werd.



Een andere oorzaak van ongevallen bij regenweer is de verminderde zichtbaarheid door opspattend en verneveld water achter de voertuigen. Niet-poreuze betonoppervlakken kunnen zeker de concurrentie niet aan met poreus asfalt, met een poreuze toplaag in beton of zeker niet met het tweelaags poreus asfalt. Niettemin zullen dwars groefde of uitgewassen oppervlakken

met voldoende textuurdiepte het spatwater aanzienlijk beperken.

De helderheid van betonoppervlakken draagt tenslotte ook bij tot de nachtzichtbaarheid van voertuigbestuurders.



Fijn uitgewassen beton

GELUID

Verkeersgeluid zou kunnen beschouwd worden als onderdeel van het rijcomfort. Het is echter hoofdzakelijk een bekommernis van de omwonenden, vooral in stedelijke omgevingen waar de bevolkingsdichtheid hoog is in de omgeving van grote verkeersaders. De beperking van rolgeluid aan de bron, t.t.z. aan het wegoppervlak, is in diverse studies als de meest kostenefficiënte oplossing uit de bus gekomen. Tal van geluidsbeperkende slijtlagen werden ontwikkeld in de voorbije jaren en er vinden nog steeds onderzoeken en proefnemingen plaats.

Het is juist dat met klassieke betonverhardingen niet dezelfde reducties kunnen bekomen worden als met nieuwe poreuze oppervlakken of dunne bitumineuze deklagen. Nochtans biedt

de techniek van het fijn uitgewassen beton een zeer goed alternatief voor een geluidsarm en stroef wegdek. De rolgeluidsniveaus zijn vergelijkbaar met splitmastiëkasfalt en die geluidsniveaus zijn er niet alleen bij aanleg maar blijven behouden over de levensduur van de verharding. Andere efficiënte technieken zijn het fijngroeven in langse richting en het diamantslijpen. Welk type van geluidsreducerend oppervlak ook gekozen wordt, het is stellig aanbevolen om geen toegevingen te doen op het vlak van veiligheid.

De beste resultaten worden bekomen met het tweelaags beton waarbij in de top laag alleen kleine steentjes worden gebruikt, bijvoorbeeld met een maximale korreldiameter van 6 mm. Hiernaast staan enkele case-studies over dergelijke toepassingen.

De geluidsmetingen gebeurden met verschillende apparaten; er is enerzijds de *Statistical Pass-By* (SPB) methode die het totale verkeersgeluid meet en anderzijds de *Close Proximity* (CPX) methode die het rolgeluid meet in de omgeving van het contact band-wegdek. Sommige metingen gebeurden met een Amerikaanse methode, de *On-Board Sound Intensity* (OBSI) methode, gelijkaardig aan de CPX. Het is daarom duidelijk dat de absolute waarden van deze resultaten onderling weinig met elkaar te maken hebben en dat vergelijkingen slechts mogelijk zijn binnen een bepaalde meetcampagne met dezelfde meetmethode, meetuitrusting en omgevingsvoorwaarden.

Herne : geluidsarm
wegdek in beton

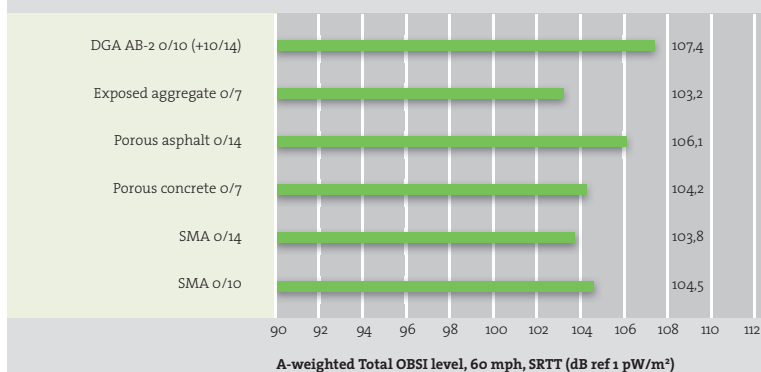
CASE-STUDIE VAN HERNE

Een eerste experimentele werf met tweelaags doorgaand gewapend beton (DGB) betrof de proefvakken geluidsarme wegdekken op de N255 te Herne, aangelegd in 1996. Op een 18 cm dikke onderlaag van DGB werden toplagen met 4 cm dikte aangebracht van fijn uitgewassen beton, poreus beton, splitmastiëkasfalt en poreus asfalt. Deze testsecties werden onderworpen aan tal van metingen en evaluaties. De geluidsmetingen in 1999, dus drie jaar na aanleg, toonden aan dat er zowel voor het zeer open beton als voor het zeer open asfalt een toename was met 2,5 dBA, te wijten aan het dichtslibben van de poriën door het vervuilen landbouwverkeer. Het fijn uitgewassen beton had zijn initieel laag geluidsniveau behouden.

In oktober 2007 werd een nieuwe reeks metingen uitgevoerd door een Amerikaans team met een methode gelijkaardig aan de CPX (*Close Proximity*)-methode (meting rolgeluid nabij de band). De resultaten zijn voorgesteld in figuur 9. Door degradatie van het oppervlak heeft het dicht asfalt nu de hoogste geluidsproductie. De andere oppervlakken volgen de trend van 1999. In 2009 worden alle toplagen in asfalt vernieuwd; de structuur in DGB en de toplagen in beton blijven behouden.

De algemene conclusie na 13 jaar dienst is dat de top laag in fijn uitgewassen beton (o/7) het best heeft gepresteerd op lange termijn, dit op vlak van rolgeluid en van duurzaamheid.

Figuur 11 : Herne – resultaten geluidsmetingen in 2007



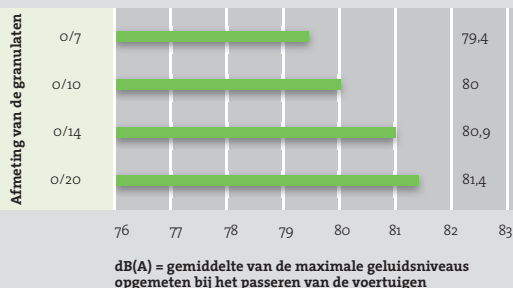
CASE-STUDIE VAN ESTAIMPUIS

Een tweede experimentele bouwplaats bestond uit vijf testsecties te Estaimpuis, aangelegd in 2001. Tabel 10 geeft een overzicht van de verschillende combinaties van onderlaag (DGB) en bovenlaag (fijn uitgewassen beton) die getest werden. Het te verwachten besluit was dat, hoe fijner de steentjes in de bovenlaag, hoe beter de resultaten waren op vlak van rolgeluid. Maar het bleek ook dat de kwaliteit van aanleg van de verharding, in het bijzonder de vlakheid van het rijoppervlak, een even belangrijke rol hierin speelt.

Tabel 10 : Combinaties van onderlaag en top laag toegepast te Estaimpuis - 2001

Sectie nr.	Onderlaag		Toplaag	
	Dikte	Korrel-afmeting (in mm)	Dikte	Korrel-afmeting (in mm)
1	15 cm	0/32	5 cm	0/7
2	14 cm	0/32	6 cm	0/10
3	12 cm	0/32	8 cm	0/14
4	12 cm	0/32	8 cm	0/20

Figuur 12 : Invloed van de grootte van de granulaten op het verkeersgeluid – Estaimpuis



Ook de resultaten voor de stroefheid (gemiddelde dwarse wrijvingscoëfficiënt gemeten met de SCRIM) op het fijn uitgewassen beton liggen ver boven de minimale waarde van 0,48.

Tabel 11 : Resultaten stroefheidsmetingen met de SCRIM - Estaimpuis – oppervlak in tweelaags fijn uitgewassen beton

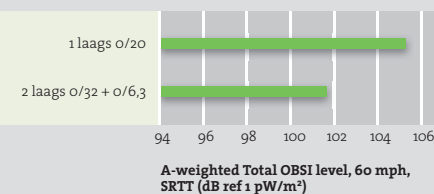
DWC _{gem}	Toplaag 0/7	Toplaag 0/10	Toplaag 0/14	Toplaag 0/20
2001	0,66	0,70	0,69	0,62
2004	0,65	0,63	0,68	0,64
2005	0,59	0,56	0,59	0,57
2008	0,61	0,55	0,60	0,59

CASE-STUDIE VAN ZWIJNDRECHT

In oktober 2007 werden in het kader van een Amerikaans onderzoeksprogramma naar de oppervlakkenmerken van betonverhardingen metingen uitgevoerd in Europa. De eerste fase van de tweelaagse betonverharding op de E34 (N49) was een van de drie testsecties in België. Het rolgeluid werd gemeten met de "OBSI"-techniek, wat staat voor *On-Board Sound Intensity* en wat enigszins vergelijkbaar is met de Europese trailer methode (CPX-methode) waarbij het rolgeluid nabij de band wordt geregistreerd. Tevens werd de macrotextuur gemeten met een stapvoets lasersysteem, de zogenaamde RoboTex (*Robotic Texture Measurement System*).

Het geluidsniveau (OBSI) bedroeg 101,7 dBA. Deze waarde kan vergeleken worden met die van metingen op een andere betonsectie op de E34 gelegen nabij Zelzate. Daar betreft het echter geen tweelaagse maar een eenlaagse uitvoering in uitgewassen beton met een maximum nominale korrelgrootte van 20 mm. Een geluidsniveau van 105,3 dBA werd daar genoteerd wat betekent dat er door middel van de tweelaagse techniek een reductie van meer dan 3 dBA werd gerealiseerd.

Figuur 13 : vergelijking geluidsmetingen tussen eenlaags en tweelaags uitgewassen doorgaand gewapend beton



ANDERE DUURZAME TOEPASSINGEN VAN CEMENT EN BETON

EEN GAMMA AAN OPLOSSINGEN TEN VOORDELE VAN DE MOBILITEIT

Beton is niet weg te denken in tal van infrastructuurprojecten voor het verwezenlijken van een duurzame mobiliteit op alle niveaus.

In de wegenbouw zijn er de bijzondere toepassingen zoals rotondes in platenbeton of doorgaand gewapend beton.

In het domein van de weguitrusting vormen de betonnen veiligheidsstootbanden, zowel geprefabriceerd als in ter plaatse beton, degelijke, duurzame en veilige oplossingen.

Ze voldoen aan de Europese normen (EN 1317) die de prestaties bepalen op basis van reële botsproeven met personenwagens en autobussen of vrachtwagens.

In stedelijke omgeving zijn er de doortochten, straten en pleinen waar het esthetisch karakter van de verharding een belangrijke rol speelt. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van het rijke gamma van betonstraatstenen of van het gekleurd uitgewassen beton als monolietverharding.

Voor de zachte weggebruikers zijn er wandelpaden en fietspaden in beton.



Ook voor de infrastructuur voor openbaar vervoer – bussen, trams en treinen – wordt meer en meer beroep gedaan op beton voor een duurzame oplossing.

Op het platteland vinden we tal van betonnen landbouwwegen die dank zij hun stijfheid vaak rechtstreeks op de natuurlijke grond werden aangelegd. Zonder enig onderhoud weerstaan ze na vele jaren nog steeds het alsmaar zwaardere landbouwverkeer.

En tot slot zijn er de grote verbindingen via tunnels, viaducten maar ook de waterwegen, de vliegvelden en de haventerreinen.



BRANDVEILIGHEID IN TUNNELS

De voordelen die betonwegen bieden zijn a fortiori geldig voor wegverhardingen in tunnels. Hierbij denken we aan de lange levensduur, de minimale tussenkomsten voor onderhoud of herstellingen, het veilige oppervlak dat vrij blijft van spoorvorming en de helderheid van de verharding die een betere zichtbaarheid oplevert voor de bestuurder en een vermindering van het nodige verlichtingsvermogen.

Als belangrijke extra troef heeft beton de eigenschap van brandvrij te zijn en geen giftige stoffen vrij te geven in geval van brand. Een betonverharding draagt niet bij tot het calorisch vermogen van de brand en levert dus geen extra gevaar op voor de evacuatie van mensen of voor het personeel van brandweer en hulpdiensten. De keuze voor beton past daarom in een beleid van risicopreventie en van beperking van de gevolgen van brand in tunnels.



TECHNIEKEN VAN GRONDBEHANDELING, IN SITU RECYCLAGE EN IMMOBILISATIE VAN VERVUILDE GRONDEN

De in-situ behandeling van grond bestaat erin de grond ter plaatse te mengen met een bindmiddel (cement, kalk, hydraulisch bindmiddel voor de wegenbouw) met het oog op het verbeteren of stabiliseren van een grondlaag. We spreken van stabilisatie indien de gevormde laag bestand is tegen water en vorst. Mogelijke toepassingen zijn ophogingen, onderfunderingen en zelfs funderingen in het geval van minder belaste verhardingen.

De techniek van in situ recyclage van verhardingen bestaat erin de bestaande steenslag-fundering, al dan niet bedekt met een wegdek in asfalt, op te frezen en ter plaatse te mengen met cement en zonodig water. Indien nodig worden granulaten toegevoegd om een korrelverdeling te bekomen die een optimale binding met cement verzekert. Het resultaat is een cementgebonden fundering met een zeer goed draagvermogen en een uitstekende weerstand tegen erosie door water of vorst. Na overdekken met 1 of 2 lagen asfalt ontstaat een baan die over de volledige diepte vernieuwd is en dit met nauwelijks enige aan- en afvoer van materialen. Dit is met andere woorden de recyclagetechniek bij uitstek voor secundaire wegen.

Een derde belangrijke toepassing is het immobiliseren van afvalstoffen door ze te binden met cement. De vervuiling van terreinen en grondwater door zware metalen is immers een

van de grote gevaren voor leefmilieu en volksgezondheid en dikwijls is het uit praktisch of financieel oogpunt niet mogelijk om de gepollueerde gronden of materialen te evacueren en te behandelen.

De voordelen van deze verschillende technieken kunnen als volgt worden samengevat :

- de snelheid van uitvoering;
- het verminderen of elimineren van de stortkosten;
- geen import noodzakelijk van granulaten;
- minder ontginning van granulaten;
- vermindering van het lokaal verkeer;
- een economische oplossing voor een dragende laag in de structuur;
- omgaan met vervuilde gronden.

WATERDOORLATENDE VERHARDINGEN

Doorlatende verhardingen, meestal uitgevoerd in waterdoorlatende betonstraatstenen, vormen een bijzonder milieuvriendelijke toepassing. Ze maken het mogelijk dat het regenwater doorheen het oppervlak in de structuur dringt, waar het tijdelijk wordt gebufferd en nadien vertraagd wordt afgevoerd, hetzij in de doorlatende grond, hetzij naar een nabijgelegen infiltratiezone of afvoersysteem. Waterdoorlatende funderingen in combinatie met waterdoorlatende bestratingen helpen zo om overstromingen te vermijden door de vermindering van het afgevoerde water aan het oppervlak naar de rioleringen. Bovendien verbeteren ze zelfs de kwaliteit van het grondwater aangezien vervuilende bestanddelen in de fundering worden vastgezet.



Grondstabilisatie met cement



Parking in waterdoorlatende bestrating

Waterdoorlatende verhardingen kunnen gerealiseerd worden met bestratingen van poreuze stenen, betonstraatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen. Voor het funderingsmateriaal biedt drainerend schraal beton een ideale combinatie van stabiliteit en waterdoorlatendheid.

LUCHTZUIVERENDE BETONVERHARDINGEN

Luchtverontreiniging is een steeds groter wordend probleem in de drukbevolkte gebieden en steden. De belangrijkste polluenten ten gevolge van verkeer zijn fijne stofdeeltjes, vluchtige organische componenten en stikstofoxiden. Deze laatste leiden in aanwezigheid van vluchtige organische componenten tot de vorming van ozon en versterken bijkomend de impact van fijne stofdeeltjes. Het is dus van groot belang om de uitstoot van het verkeer zoveel als mogelijk te beperken. Dit gebeurt natuurlijk in de eerste plaats door de uitstoot door het verkeer te verlagen, maar ook de weg en de nabijgelegen omgeving kunnen hiertoe bijdragen.

Door het gebruik van titaandioxide TiO_2 aan het oppervlak van een verharding is het mogelijk om een luchtzuiverend effect tot stand te brengen. Het titaandioxide speelt de rol van katalysator voor de omzetting onder invloed van UV-licht, en meer en meer ook van zichtbaar licht, van anorganische schadelijke stoffen zoals stikstofmonoxide of stikstofdioxide - de zogenaamde NOx -en - naar nitraten NO_3 . Dit laatste zet zich neer op het oppervlak en wordt weggespoeld door de regen. Hierdoor wordt een natuurlijke cirkel teniet gedaan en wordt de schadelijke NOx , die kan leiden tot ozon vorming, zure regen en vorming van kleine stofdeeltjes zo snel mogelijk uit de lucht gehaald. Deze fotokatalytische materialen kunnen tevens organische schadelijke stoffen uit de lucht halen door hen te ontbinden. Het TiO_2 wordt afzonderlijk in de betonsamenstelling verwerkt of door het gebruik van speciale cementsoorten waar nanodeeltjes TiO_2 in vervat zitten.

In verband met dit onderwerp werd al heel wat onderzoek verricht in het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. De fotokatalytische werking werd hierbij ruimschoots in het laboratorium aangetoond. Hierbij wordt de omzetting van NOx bepaald door middel van eenmalig contact tussen de lucht en de fotokatalytische materialen bepaald. Reducties van 30% tot 95% zijn hierbij opgemeten. De efficiëntie bij reële toepassingen zal natuurlijk niet enkel afhangen van de efficiëntie van het fotokatalytische materiaal zelf, maar ook van het contact (hoeveelheid lucht en contacttijd) tussen de lucht en het oppervlak, de lichtintensiteit, de relatieve vochtigheid en de verontreiniging van de lucht.

Een eerste Belgische toepassing waren de zijwegen van de Antwerpse Leien. Hier werd in 2004-2005 een oppervlakte van 10.000 m² betonstraatstenen geplaatst met titaandioxide in de deklaag van de stenen. De duurzaamheid van de fotokatalytische werking van de stenen is vastgesteld in het laboratorium.

Andere interessante toepassingen zijn het gebruik van het fotokatalytisch materiaal in de toplaag van een tweelaagse betonverharding of in dunne overlagingen in cementbeton, zoals in Parijs aan de Porte de Vanves. In een druk bereden straat (13.000 voertuigen per dag) werden twee secties van elk 300 m heraangelegd op verschillende wijze :

- één sectie met een klassieke betonverharding;
- één sectie met een experimentele dunne betonoverlaging op basis van een cement met fotokatalytisch effect.

Gedurende een jaar lang werden metingen uitgevoerd op de kwaliteit van de lucht en van het afgevoerde oppervlaktewater. Er werd vastgesteld dat de vervuiling door NOx met ongeveer 20% gereduceerd werd in ongunstige weersomstandigheden.

Onderzoek wees ook uit dat de fotokatalytische reactie niet alleen plaats vindt bij UV-licht maar ook bij gewoon zichtbaar licht en dit maakt het mogelijk om ook tunnels uit te rusten met luchtzuiverende wandbekledingen en verhardingen in combinatie met een klassieke verlichting.



Poreuze
betonstraatstenen



Antwerpen -
zijstraten Leien



BESLUIT

De meeste beslissingnemers zijn er wel van overtuigd dat een betonweg op lange termijn heel wat voordelen biedt en dat het op economisch vlak de meest gunstige oplossing wordt wanneer ook de onderhoudskosten over de levensduur worden meegerekend. Dit is zeker zo wanneer ook nog de gebruikerskosten in acht worden genomen, vooral omdat beton nauwelijks onderhoud behoeft en er zo ook geen hinder ontstaat.

Vandaag is het echter net zo belangrijk geworden om aan te tonen dat betonwegen ook voordelig zijn voor het milieu en dat ze sociaal aanvaardbare oplossingen bieden voor het mobiliteitsvraagstuk.

De verschillende troeven van betonverhardingen werden toegelicht vanuit de drie pijlers van duurzame ontwikkeling : milieu, economie en sociaal-maatschappelijk belang. Prestaties voor elk van die drie domeinen dienen geëvalueerd te worden op basis van een volledige levenscyclus van de verharding. Hieruit blijkt dat ze nu al perfect passen in de filosofie van duurzaam bouwen maar dat er op een aantal vlakken nog verbetering mogelijk is. Hedendaagse onderzoeken en studies worden daarom verdergezet en maken deel uit van een technische ontwikkeling die nauw gelinkt wordt aan de maatschappelijke verwachtingen.

Gezien het grote belang van de levensduur op de duurzaamheid is het van essentieel belang dat de kwaliteit en de prestaties van het materiaal “beton” en van de toepassing “wegconstructie” niet gecompromitteerd worden door maatregelen die een schijnbare winst op korte termijn beogen op het vlak van milieu, kostprijs of maatschappij.

Kiezen voor een betonweg vraagt dezelfde moed, doordachtheid en langetermijnvisie als kiezen voor duurzaam bouwen.

Kiezen voor een betonweg IS kiezen voor duurzaam bouwen.



REFERENTIES

Aanpak van industrieel afval in cementovens vergeleken met verbrandingsovens. Een milieuvergelijking – FEBELCEM, Brussel

AKBARI H. Global Cooling : Increasing world-wide urban albedos to offset CO₂ – Heat Island Group, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, presentation at the fifth annual California Climate Change Conference, Sacramento, California, U.S., 9 september 2008

BEELDENS A. Air purification by pavement blocks : final results of the research at the BRRC – TRA Conference, Ljubljana, Slovenia, April 2008

BENBOW E.; IAQUINTA J.; LODGE R.; WRIGHT A. Investigation of the effects of pavement stiffness on fuel consumption. – Published project report PPR 253, Transport Research Laboratory Limited, U.K., July 2007

Beton en rationeel energiegebruik. Dossier Cement – FEBELCEM, Brussel, juni 2005, www.febelcem.be

Béton et développement durable. Analyse du cycle de vie de structures routières – CIMbéton, Centre d'information sur le ciment et ses applications, Paris, France 2005, www.infociments.fr

Bituminous and continuously reinforced concrete pavements for motorways – An economic comparison – Les cahiers du MET Nr. 24, Walloon Ministry for Infrastructure and Transport, General Directorate of Motorways and Roads, Namur, 2006, <http://routes.wallonie.be>

BRIESSINCK M.; RENS L. Oppervlakkenmerken van hedendaagse betonverhardingen – Bijdrage voor het Belgisch Wegencongres, Gent, 2009

CAESTECKER C. Test sections of noiseless cement concrete pavements. Conclusions, Vilvoorde, 1999

Carbon Footprint – what it is and how to measure it – European Platform on Life Cycle Assessment, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2007, <http://lca.jrc.ec.europa.eu>

Cement, beton en CO₂. Feiten en trends – Cement&BetonCentrum, 's Hertogenbosch, Nederland, 2008, www.cementenbeton.nl

Concrete thinking in transportation solutions – Cement Association of Canada, Ottawa, Canada 2007, www.cement.ca

DEBROUX R.; DUMONT R. Twin-layer continuously reinforced concrete pavement on the N511 at Estaimpuis (Belgium) : an investigation of the optimisation of surface characteristics", 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colorado, U.S., 2005

De bijdrage van de cementindustrie tot de beperking van de CO₂-uitstoot, FEBELCEM, Brussel, 2007

Enlightened – American Concrete Pavement Association,
U.S., 2006, www.pavement.com, www.pavements4life.com

FILFE M. ; FRIEND R. ; SCHIAVONI P. Etude comparative des facteurs socio-économiques relatifs
aux chaussées en béton et en asphalte –
Rapport final – Groupe-conseil KPMG S.E.C., Montréal (Canada), Juni 2000

Green Highways. Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements –
American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois, U.S.A., 2007, www.pavement.com

General guidelines for reducing CO₂ in civil engineering works –
European Concrete Platform, 2009, www.europeanconcrete.eu

Improving Fire Safety in Tunnels – CEMBUREAU, Brussels, 2004

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, www.ipcc.ch

KENDALL A.; KEOLEIAN G.A.; LEPECH M.D. Materials design for sustainability
through life cycle modeling of engineered cementitious composites –
Materials and Structures 41 : 1117-1131, RILEM 2008

KJELSEN K.O.; GUIMARAES M.; NILSSON A. The CO₂ balance of concrete in
a life cycle perspective – Nordic Innovation Centre, December 2005

Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – In Search of Better Investment
Decisions, Pavement Division Interim Technical Bulletin, U.S. Department of
Transportation, Federal Highway Administration, U.S., September 1998

LÖFSJÖGÅRD M., Functional Properties of Concrete Roads – General Interrelationships
and Studies on Pavement Brightness and Sawcutting Times for Joints – Royal Institute of
Technology, Department of Structural Engineering, Stockholm (Sweden), April 2000

MARION A.-M.; DE LANEVE M.; DE GRAUW A. Onderzoek naar het uitlogingsgedrag
van wegenbeton : kwantificering van de hoeveelheden zware materialen uitgelooft
tijdens de “Tank Test” – Verslag OCCN 1999-2000, pag. 5-24, Brussel, 2001, www.cric.be

MARION A.-M.; DE LANEVE M.; DE GRAUW A. Onderzoek naar het uitlogingsgedrag
van schraal beton : kwantificering van de hoeveelheden zware materialen uitgelooft
tijdens de “Tank Test” – Verslag OCCN 2001-2002, pag. 3-21, Brussel, 2003, www.cric.be

MULLER Ch. Blended cements – German Cement Works Association VDZ,
presentation at the ECO-Serve Seminar “Challenges for Sustainable Construction :
the Concrete Approach”, Warsaw, May 18-19, 2006, www.eco-serve.net

POMERANTZ M.; BON. P.; ABKARI H.; CHANG S.-C. The effect of pavement's temperatures on air temperatures in large cities – Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkely, Canada 94720, April 2000, <http://heatisland.lbl.gov>

SNYDER M. B. Pavement Surface Characteristics – A Synthesis and Guide, American Concrete Paving Association ACPA, Skokie, Illinois, U.S., 2006

Sustainable Cement Production. Co-Processing of alternative fuels and raw materials in the European cement industry – CEMBUREAU, Brussels, 2009, www.coprocessing.info

TAYLOR G.W.; FARREL P.; WOODSIDE A. Effects of pavement structure on vehicle fuel consumption. Phase III – prepared for Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change and Cement Association of Canada by the National Research Council of Canada, January 2006

THIERY M.; ROUSSEL N.; HABERT G.; BELIN P.; DANGLA P.
Comment intégrer quantitativement la carbonatation atmosphérique dans le bilan-carbone des matériaux cimentaires – AFGC, Paris, Mars 2009





Een publicatie van:
FEBELCEM
Federatie van de Belgische Cementnijverheid
Vorstlaan 68 - 1170 Brussel
tel. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70
www.febelcem.be
info@febelcem.be

Auteur:
ir. L. Rens

Foto's:
FEBELCEM,
O.C.C.N.,
OCW,
Agentschap Wegen en Verkeer,
A. Nullens (cover),
photo-daylight.com

Wettelijk depot: D/2009/0280/08

V.u.: A. Jasienski

infobeton.be

