

TWEELAAGSE BETONVERHARDINGEN

INFRASTRUCTUUR | APRIL 2020

(92)

Ef2

- WAT ZIJN TWEELAAGSE BETONVERHARDINGEN?
- TOEPASSING VOOR ESTHETISCHE EN GELUIDSARME OPPERVLAGKEN
- BETONSAMENSTELLINGEN EN UITVOERING





Brugge-Zeebrugge, A11 (© Willemen)

Moderne wegen moeten beantwoorden aan hoge eisen. De wegdekken dienen veilig, comfortabel en geluidsarm te zijn en bovendien te voldoen aan diverse duurzaamheidseisen.

Een lange levensduur draagt bij tot een goede score op vlak van kostprijs en milieu-impact over de volledige levensduur van de weg. De wegen moeten bovendien “groener” worden en passen in de filosofie van de circulaire economie, dit alles tegen een maatschappelijk verantwoorde prijs.

De hedendaagse betonwegen voldoen aan heel wat van die eisen maar het is niet altijd eenvoudig om aan alle eisen samen te voldoen.

Het concept van wegen in tweelaags beton (F: *chaussées en béton bicouche*; E: *two-layer concrete roads*; *two-lift concrete roads*) maakt het mogelijk om een aantal van die aspecten te optimaliseren. In de onderlaag kunnen materialen van mindere kwaliteit – secundaire grondstoffen of gerecycleerde granulaten – toegepast worden. In de deklaag, waarop gereden wordt en welke zichtbaar is aan het oppervlak, kunnen dan weer hoogwaardige bestanddelen gebruikt worden om de oppervlakkenmerken (effenheid – remafstand – geluid) te verbeteren of om een decoratief uitzicht te realiseren.

Dit bulletin brengt meer inzicht in de kenmerken en voordelen van tweelaags beton en geeft aanbevelingen voor de betonsamenstelling en de uitvoering. Diverse toepassingen van (autosnel)wegen – zowel in platenbeton als in doorgaand gewapend beton – en ook van esthetische betonverhardingen, bestemd voor publieke ruimtes en stedelijke omgeving, worden beschreven en oude en recentere projecten worden toegelicht. Hieruit worden lessen getrokken die bijdragen om een juiste beoordeling en keuze te maken i.v.m. het gebruik van tweelaagse betonverhardingen.

1. EEN LAAGJE GESCHIEDENIS

DE OUDSTE BETONVERHARDING TER WERELD

Het plaatsje Bellefontaine in de Amerikaanse staat Ohio gaat er prat op de oudste betonweg ter wereld te hebben: de Court Avenue. Dat komt door George Bartholomew, een expert in cement en beton, die zijn eigen cementbedrijf 'The Buckeye Portland Cement Co' had opgericht. In 1891 stelt Bartholomew het stadsbestuur voor om de straten voor het stadhuis in beton aan te leggen. Het stadsbestuur is erg sceptisch want nergens anders werd beton al gebruikt voor een wegverharding. Als eerste stap staan ze toe dat hij begint met een testvakje. Dat houdt goed stand en twee jaar later geeft het bestuur zijn toestemming om de werkzaamheden te starten. Toch is niet iedereen enthousiast. Daarom moet Bartholomew het cement zelf leveren. Hij betaalt ook nog eens een waarborg van 5.000 dollar voor een levensduur van 5 jaar. De werkzaamheden op zich kosten in totaal 9.000 dollar.

Bartholomew is bij de pinken en pakt het project toekomstgericht aan. Hij neemt het initiatief om een tweelaagse verharding te voorzien. In de onderlaag, ongeveer 10 cm dik, zitten grote granulaten tot 36 mm met een hoge watercementfactor van 0,60. De deklaag bestaat uit kleinere steentjes van 12 mm met een watercementfactor van 0,45. De betonsterkte van de straat in Bellefontaine bedraagt 35 MPa. Het doel van het tweelaags beton is om harde steentjes in de toplaag te verwerken die kunnen weerstaan aan koetswielen en paardenhoeven. Resultaat? De betonweg geeft geen krimp. Een geweldige opsteker dus voor dit idee van George Bartholomew, die in 1898 zonder probleem zijn waarborg terugkrijgt. De eerste 50 jaar kostte het onderhoud maar 1.400 dollar. De voorbije decennia zijn er wat herstellingen uitgevoerd. Maar vandaag ligt het beton in Court Avenue er nog altijd. Het uitvoeringsprocédé in twee lagen met gebruik van hard graniet in de toplaag werd in 1906 in Chicago gepatenteerd onder de naam 'Granitoid Concrete Streets' en in verschillende staten van Amerika toegepast.



Gedenkplaat te Bellefontaine, Ohio, U.S.

ENKELE DECENNIA LATER IN EUROPA

Pas tussen beide wereldoorlogen in de twintigste eeuw, ongeveer tussen 1920 en 1930, krijgt het systeem van tweelaags beton ook navolging in Europa. In Duitsland is er een concept met een onderlaag uit een schraal beton van ongeveer 20 cm dik; daarop wordt de top laag van 5 à 6 cm dik, nat in nat aangebracht met een rijk beton met een minimaal cementgehalte van 350 kg/m³.

Maar ook in België was er al sprake van tweelaags beton! Getuige hiervan zijn uittreksels uit de publicatie 'Beton van kunstmatig portlandcement. Toegangswegen – Voetpaden – Tuinwegen', uitgegeven in 1928 door onze voorgangers van de Beroepsvereniging der Fabrikanten van Kunstmatig Portland Cement van België.

Bekleedingen in twee betonlagen.

De eerste laag, *weerstandslaag*, is dikker dan de tweede, de *sleetlaag*; deze wordt gemaakt uit mortel of beton van klein steenslag en meer cement, met het doel aan de oppervlakte een effener en beter afgewerkt uitzicht te geven.

	Dikte van de onderste laag.	Dikte van de bovenste laag.
Rijwegen voor boerderijen, werkplaatsen.	10 tot 15 cm.	6 tot 10 cm.
Toegangswegen tot woningen, garages, kleine werkplaatsen.	10 cm.	5 tot 6 cm.
Voetpaden, tuinwegen, betonvloeren voor koeren, schuren, enz.	7 tot 8 cm.	3 tot 5 cm.

HET MAKEN VAN BETONBEKLEEDINGEN IN TWEE LAGEN

10. — Men gaat op dezelfde wijze te werk als hierboven. Men drage echter zorg de bovenlaag op de onderlaag te plaatsen vóór dat laatstbedoelde verhard is. Elke laag wordt afzonderlijk aangestampt. De eindverrichtingen van het effenmaken en van het afwerken worden natuurlijk alleen gedaan voor de bovenste sleetlaag.

HET BESCHERMEN VAN HET BETON, NA HET VERWERKEN

11. — Het versch geplaatst, aangestampt en glad gemaakt beton moet eerst en vooral tegen het drogen beschermd worden. Men moet het dus beschutten tegen zón en wind.

Zonder die voorzorg droogt de oppervlakte te snel, ze barst en vertoont weldra talrijke kleine scheurtjes die niet diep zijn, maar onfraai.

Het is dan ook noodig bij warm zonneweder boven de bekleding een doek te spannen of ze met stroo of planken te bedekken, tot wanneer de binding is voltrokken (24 u. ongeveer).

Uittreksels uit een Belgische publicatie van 1928

DE ONTWIKKELING VAN HET UITGEWASSEN BETON IN BELGIË EN EUROPA

Tussen 1978 en 1982 werd in België de technologie van het chemisch uitgewassen beton voor wegen ontwikkeld. Dit gebeurde in een samenwerkingsverband tussen de aannemers, de porfierindustrie, het Onderzoekscentrum voor de Cementnijverheid (OCCN), het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) en het Bestuur der Wegen, gesubsidieerd door het Instituut tot Aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw (IWONL). Het OCCN slaagde erin om de bindingsvertrager op basis van suiker op punt te stellen. De firma ROBUCO ontwikkelde een systeem voor het afrollen van een beschermingsfolie in polyethyleen. Eerst werden enkele korte proefvakken aangelegd, gevolgd door grotere projecten met een totaal van 100 000 m² tussen 1980 en 1982.

De resultaten waren positief. Het bleek mogelijk om een homogene verdeling van de stenen aan het oppervlak te krijgen; de effenheid werd niet aangetast; het rolgeluid lag lager dan bij andere oppervlakafwerkingen van betonwegen en was vergelijkbaar met dat van bitumineuze verhardingen met grote stenen aan het oppervlak. Ook de bescherming met een plasticfolie was een belangrijk voordeel omdat dan ook bij minder gunstige weersomstandigheden toch kon gebetonneerd worden. Het succes van de techniek van 'uitgewassen beton' wordt bevestigd door het feit dat die 40 jaar later nog steeds wordt toegepast.



Maar ondanks de verbetering konden de oppervlakken niet echt geluidsarm genoemd worden. Omdat er grote stenen gebruikt werden in de betonsamenstelling, kwamen deze ook aan het oppervlak te liggen. Voor een geluidsarm oppervlak zijn daarentegen kleine steentjes nodig aan het oppervlak. De Oostenrijkse experts hadden dit begrepen en pasten het concept aan naar een tweelaagse uitvoering. In de top laag gebruikten ze dan alleen kleine steentjes met een korrelmaat van maximaal 8 of 11 mm. Onder leiding van Dr. Hermann Sommer, hoofd van het Onderzoeksinstituut van de Oostenrijkse Cementindustrie, werd deze technologie bestudeerd en toegepast vanaf het begin van de jaren 1990. Later werd het concept in diverse Europese landen overgenomen: België, Duitsland, Tsjechië, Polen. In Oostenrijk en Duitsland is tweelaags uitgewassen platenbeton de standaardoplossing voor autosnelwegen in beton.



Het proces van 'chemisch' uitwassen van een betonoppervlak: sproeien van de bindingsvertrager op het verse beton – bescherming d.m.v. een plasticfolie – verwijderen van het bovenste mortellaagje met een borstelwagen



2. HET WAT EN WAAROM VAN EEN TWEELAAGSE BETONVERHARDING

Een tweelaagse betonverharding bestaat uit een onderlaag en een bovenlaag (ook toplaag of deklaag genoemd). De aanleg gebeurt in twee fasen waarbij het verse beton van de bovenlaag gestort wordt op het verse, dus niet verharde beton van de onderlaag. De tijdsperiode tussen het storten van de twee lagen moet beperkt blijven tot 30 minuten à 1 uur om een perfecte vermenging te krijgen tussen beide lagen. Het resultaat na uitharding is één enkele betonverharding waarbij de twee lagen volledig met elkaar verbonden zijn. Een monolithisch eindresultaat is essentieel voor tweelaags beton. De onderlaag is doorgaans de dikste (15 à 23 cm), terwijl de toplaag meestal beperkt is in dikte (4 à 10 cm). Bij correcte aanleg is geen rechte scheidingslijn zichtbaar tussen de onderlaag en de toplaag.

In principe worden verschillende betonsamenstellingen toegepast voor onder- en toplaag. De toplaag bevat hoogwaardige en/of dure materialen zoals slijtvaste of gekleurde stenen en kleurpigmenten. In de onderlaag kunnen dan materialen van lagere kwaliteit gebruikt worden, die mogelijk niet voldoen aan de eisen voor een wegoppervlak, zoals de stroefheidseis. Zo kunnen er bijvoorbeeld secundaire grondstoffen of gerecycleerde betongranulaten toegepast worden in de onderlaag.

In bepaalde gevallen kan dezelfde samenstelling gebruikt worden voor onder- en bovenlaag maar kan de afwerking- en verdichtingswijze verschillen, bijvoorbeeld trillen in de onderlaag en afstrijken van de toplaag.

De voordelen van tweelaagse betonverhardingen situeren zich op het vlak van de kwaliteit van het wegoppervlak, op economisch en op milieuvlak.

Voor de kwaliteit van het oppervlak kunnen volgende kenmerken aangehaald worden:

- de vlakheid, die zorgt voor een goed rijcomfort. Deze is gemakkelijker te realiseren in geval van tweelaags beton omdat een dunnere toplaag dient geëffend te worden, wat gemakkelijker is dan het beton over volledige dikte;
- de stroefheid, die zorgt voor een beperkte remafstand en dus de veiligheid van de weggebruiker. Het gebruik van de juiste stenen, ongevoelig voor polijsting, in de deklaag is hierbij belangrijk;
- het rolgeluid dat ontstaat bij de interactie tussen de banden en het wegdek. De aanwezigheid van kleine steentjes van uniforme grootte, homogeen verspreid over het oppervlak is essentieel;
- esthetische aspecten zoals kleur, textuur, ingewerkte motieven ... Een breed gamma aan mogelijke uitzichten is op die manier beschikbaar;
- de lichte kleur van het oppervlak met bijhorende albedo (lichtweerskaatsing) met als een van de voordelen een koeler oppervlak. Bovendien werkt de reflectie van de zonnestralen de opwarming van de aarde tegen;
- bijzondere eigenschappen zoals het luchtzuiverend effect in geval van fotokatalytische oppervlakken. Dit maakt het mogelijk om stikstofgassen uit de lucht te verwijderen;
- de duurzaamheid en slijtvastheid van het oppervlak. Denk hierbij aan het aangehaalde voorbeeld van de eerste betonverharding te Bellefontaine. De hardere steentjes in de toplaag waren er bedoeld om te weerstaan aan de impactbelasting van het verkeer van die tijd: paarden en koetsen. Vandaag vertaalt duurzaamheid zich onder andere in een hoge weerstand tegen afschilfering onder invloed van vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten.



(© Roosgroep)

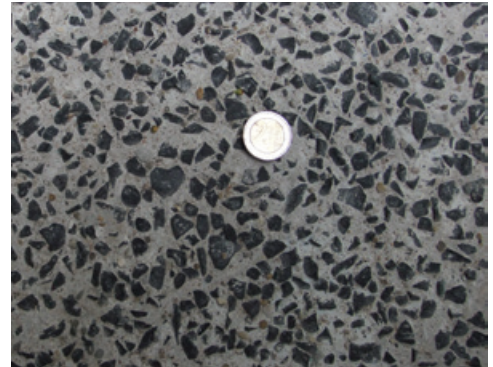
Het economisch voordeel ten opzichte van de eenlaagse uitvoering wordt gehaald uit het feit dat dure bestanddelen alleen in de toplaag en dus slechts over beperkte dikte moeten gebruikt worden en niet over de volledige dikte van de verharding. De onderlaag kan dan weer goedkopere materialen bevatten. De aanleg van tweelaags beton kan misschien wel duurder zijn omdat er twee machines en twee betoncentrales nodig zijn. De goedkopere materialen voor de toplaag kunnen echter in veel gevallen de extra kosten compenseren.

Ten gunste van het milieu en de circulaire economie kunnen recyclagematerialen toegepast worden in de onderlaag, bij voorkeur hoogwaardig betongranulaat dat afkomstig is van opgebroken weginfrastructuur. Zoals al aangestipt is het ook mogelijk bepaalde milieuvriendelijke technieken te gebruiken, bijvoorbeeld de luchtzuiverende oppervlakken.



3. TOEPASSINGEN VOOR ESTHETISCHE BETON- OPPERVLAKKEN EN SPECIALE SAMENSTELLINGEN

Bij de aanleg van straten en openbare ruimten maakt men vaak gebruik van gekleurd en/of uitgewassen beton om een mooie en decoratieve omgeving te creëren. Het grote voordeel is het esthetisch uitzicht in combinatie met een goede weerstand tegen zwaar verkeer. Het uitzicht bij (gekleurd) uitgewassen beton wordt bepaald door de steentjes die zich aan het oppervlak vertonen in combinatie met de zichtbare mortel. De mortel kan gewoon betongrijs zijn of hij kan een bepaalde kleur krijgen door kleurstof of pigment aan het mengsel toe te voegen. Bovendien is het mogelijk gebruik te maken van gekleurde steentjes. De combinatie van steentjes en mortel kan kleurondersteunend of contrasterend werken.



Oppervlakken in uitgewassen beton
Links: kleurondersteunend
Rechts: contrasterend

Bij esthetisch beton kan het gebeuren dat er dure materialen geselecteerd worden. Denk aan de keuze van de steentjes, de kleurstoffen of het gebruik van wit cement. De techniek van tweelaags beton kan een interessante piste zijn om het kostenplaatje haalbaar te maken. De dure grondstoffen moeten dan immers alleen in de dünnere deklaag gebruikt worden. Hieronder volgt een korte voorstelling van enkele projecten waarin de techniek van twee lagen toegepast werd bij de aanleg van esthetisch beton.

PROJECT 1 - ROTONDE IN STERVORM TE SCHERPENHEUVEL

In 1996 werd in Scherpenheuvel een rotonde aangelegd in het aanzicht van de Basiliek. Verwijzend naar de symboliek van het bedevaartsoord werd de rotonde aangelegd in de vorm van een zevenpuntige ster, gelijkaardig aan het stadsplan en de vorm van de Basiliek zelf. Er werd geopteerd voor twee kleuren: zwart en groen. Ook voor de aanliggende bestrating in betonstraatstenen werden deze kleuren gebruikt. Omwille van de moeilijke vorm werd het beton manueel gestort tussen vaste bekistingen en werd het voorzien van een centrale netwapening. Het beton werd in twee lagen aangebracht: een grijze onderlaag en gekleurde toplaag.



Houten bekisting en netwapening



Verdichten van de onderlaag in grijs beton met trilnaalden



Uitspreiden van groenkleurig beton van de toplaag.



Resultaat van het groen uitgewassen oppervlak, vergeleken met een betonstraatsteen met gelijkaardig groen oppervlak

PROJECT 2 – SINT-JANSPLEIN IN ANTWERPEN

In 2000 kreeg het Antwerpse Sint-Jansplein een nieuw jasje aangemeten: een okerkleurig beton (8950 m²) in combinatie met zwart beton (760 m²). Beide gekleurde oppervlakken waren het resultaat van gekleurde fijne steentjes (geel: “Lamonrville” – zwart: “Jasberg”), ondersteund door oker- en zwartkleurige mortel. Het plein werd aangelegd met een glijbekistingsmachine die een onderlaag (18 cm) in klassiek grijs beton en een toplaag (7 cm) in okerkleurig beton aanbracht. De platen werden onderaan voorzien van een wapeningsnet diameter 10 mm x diam. 10 mm x 150 mm x 150 mm.

Enkele kenmerken van de betonsamenstellingen (proeven werden uitgevoerd door OCCN-CRIC):

Onderlaag:

- Kenmerken en ontwerpisen:
 - Grijs beton
 - Minimaal cementgehalte 375 kg/m³
 - Maximale W/C-factor 0,45
 - Zonder luchtbelvormer (luchtgehalte ca. 1 %)
- Behaalde proefresultaten:
 - Druksterkte op kernen na 91 dagen > 80 MPa

Toplagen:

- Kenmerken en ontwerpisen:
 - Geel of zwart beton – kleurstoffen: geel ijzerhydroxide of zwart mangaandioxide
 - D_{max} 8 mm
 - Minimaal cementgehalte 425 kg/m³
 - Maximale W/C-factor 0,45
 - Met luchtbelvormer (luchtgehalte ≥ 5 %)
- Behaalde proefresultaten:
 - Druksterkte op kernen na 91 dagen > 50 MPa
 - Waterabsorptie door onderdompeling op schijfjes < 5,9 %
 - Massaverlies door afschilfering na 30 cycli (vorstdooiproef ISO/DIS 4846.2) < 3,6 g/dm²



Plaatsen van de wapeningsnetten in de onderlaag



Bekisting voor het manueel te storten zwart beton rond de waterslokkers



Betonnieren van onderlaag en toplaag



De 'supersmoother' of langse afstrijkalk werkt oneffenheden weg in het vers aangelegde beton van de toplaag



Op het pas aangelegde beton wordt de oppervlakbindingsvertrager gesproeid



Na ongeveer een dag wordt de plasticfolie verwijderd



Het uitwassen van het oppervlak gebeurt door middel van hogedrukreinigers



Het resultaat van het uitgewassen oppervlak, textuurdiepte ca. 1mm, met fijne gele steentjes en okerleurige mortel



De combinatie van het gele en het zwarte beton

PROJECT 3 - VOORPLEIN VAN HET CASINO IN DINANT

Het plein voor het casino van Dinant werd ook aangelegd in 2000. Het is een combinatie van een bruinachtig uitgewassen beton met een wit uitgewassen beton. Daartussen bevindt zich een lijnvormig element in natuursteen. Voor het wit uitgewassen beton is het procédé van tweelaags beton toegepast met als zichtbaar resultaat de combinatie van kleine witte steentjes en witte mortel.

Het grijs beton voor de onderlaag werd geproduceerd in een betoncentrale en met truckmixers aangevoerd terwijl de bijzondere samenstelling van het witte beton ter plaatse werd aangemaakt. Op die manier is er geen vervuiling van het witte beton tijdens de aanmaak noch tijdens het transport. Dat was mogelijk omdat er relatief kleine hoeveelheden voor de top laag nodig waren. In die top laag zijn witte steentjes gebruikt in combinatie met wit cement en kleurstof (2 % titaandioxide TiO_2). Dit project is een mooie illustratie van het gebruik van een dure top laag en een budgetvriendelijke onderlaag.



PROJECT 4 – PLACE JEAN JAURÈS IN HERSTAL

De aanleg van de Place Jean Jaurès in Herstal dateert van 2011. Het was de bedoeling om de verharding hetzelfde uitzicht te geven als de naastgelegen muurtjes. Die waren in prefab beton met een dicht gepakte structuur in kalksteen. Om relatief veel grote stenen dichtgepakt aan het oppervlak te verkrijgen bij het uitwassen werd een bijzondere techniek toegepast, die vaak in Frankrijk te zien is.

Het gaat om een discontinu betonmengsel dat bijna geen steentjes tussen 4 en 6 mm diameter maar uitsluitend steentjes tussen 6 tot 12 mm bevat. Wanneer een dergelijk beton op een klassieke manier gestort en verdicht wordt door inwendig te trillen, dan bestaat het risico dat de stenen naar beneden zouden zakken. Na het uitwassen ontstaat er dan een heterogeen gevlekt uitzicht. Daarom is het af te raden voor een dergelijke toepassing het beton op een klassieke manier te verdichten.

De oplossing bestaat erin in twee lagen te werken, eventueel met exact dezelfde betonsamenstelling. Het verschil is dat de onderlaag verdicht wordt met de trilnaald maar dat de toplaag, nat in nat gestort, gewoon wordt afgestreken met de rei, zodat de steentjes aan het oppervlak blijven en vlak komen te liggen.

De aanleg van het beton op de Place Jean Jaurès gebeurde tussen vaste bekistingen met gewapende platen. Voor onderlaag en toplaag werd dezelfde betonsamenstelling gebruikt op basis van kalksteen. Het resultaat was een oppervlak met een hoge dichtheid van stenen.



V.l.n.r.: storten en trillen van de onderlaag – afstrijken met de rei zonder verdichten van de toplaag – effenen van het oppervlak met een spaan – verstuiven van de oppervlakbindingsvertrager.
Foto onder: afgewerkt uitgewassen oppervlak.

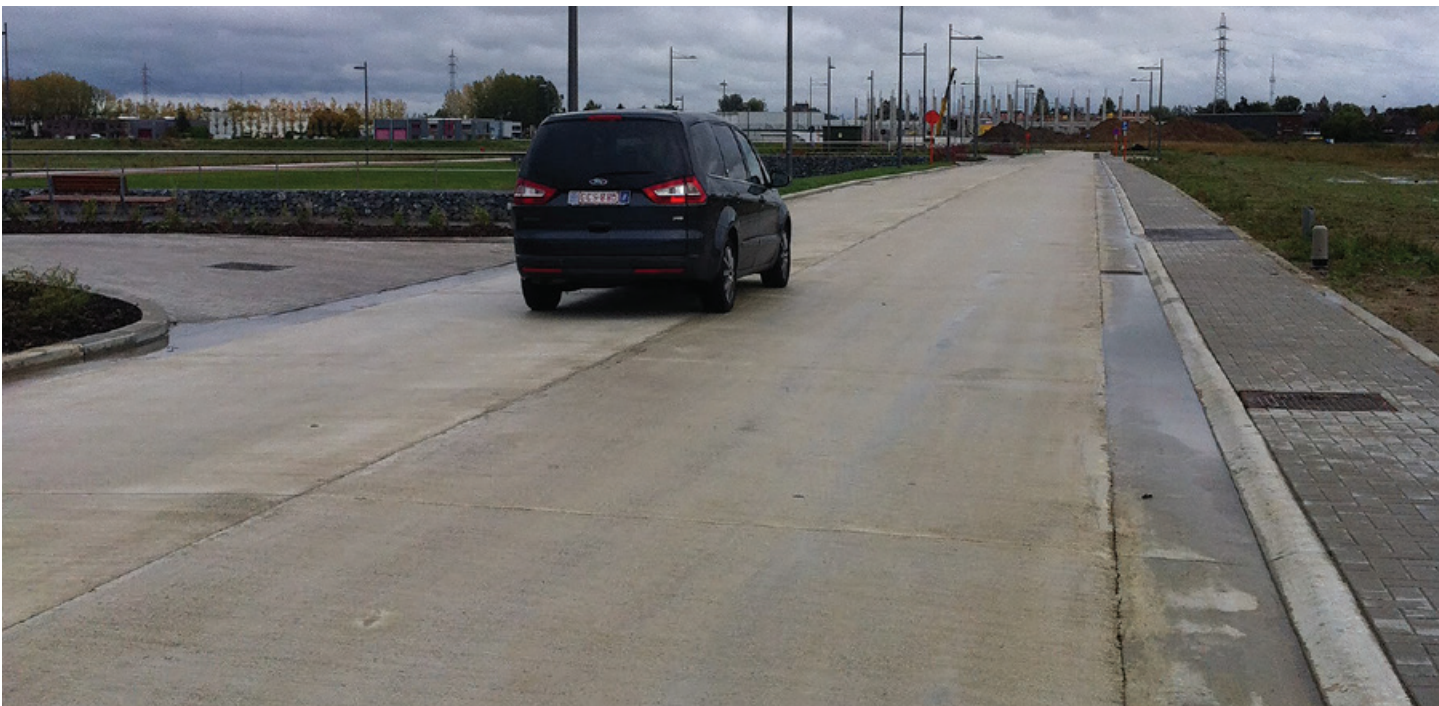
4. BIJZONDERE SAMENSTELLINGEN VOOR DE TOPLAAG

Naast het esthetisch aspect kunnen ook andere functies toegewezen worden aan de toplaag. Dat is onder andere het geval voor betonverhardingen met luchtzuiverend effect waarbij fotokatalytische materialen in het beton van de toplaag verwerkt worden. Het betreft titaandioxide (TiO_2), ditmaal niet onder de vorm van kleurstof, maar als katalysator voor het fotokatalytische proces. Deze wordt onder invloed van het zonlicht geactiveerd en zorgt ervoor dat schadelijke emissieproducten in de lucht, i.c. stikstofoxiden (NO_x : NO en NO_2) worden omgezet naar nitraat (NO_3), dat nadien door de regen wordt weggespoeld.

In België werd dit in 2011 toegepast in twee proefprojecten, opgevolgd door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, waarbij tweelaags beton werd aangelegd op industrieterreinen 'Den Hoek 3' te Wijnegem en 'Duwyckpark' te Lier. In de toplaag (dikte 50 mm) werd een cement met 4 % TiO_2 toegepast. In Wijnegem werd het oppervlak uitgewassen, in Lier werd het gebezemd om meer actief cement aan het oppervlak te krijgen. Ook de onderlaag (dikte 180 mm) werd milieuvriendelijk aangelegd door het gebruik van gerecycleerde betongranulaten a rato van 57 % van de grove granulaten.



Aanleg van de witte toplaag met titaandioxide van het tweelaags beton te Wijnegem



Zicht op de afgewerkte rijweg met gebezemd beton te Lier (© OCW)

5. TOEPASSING VOOR GELUIDSARME WEGDEKKEN

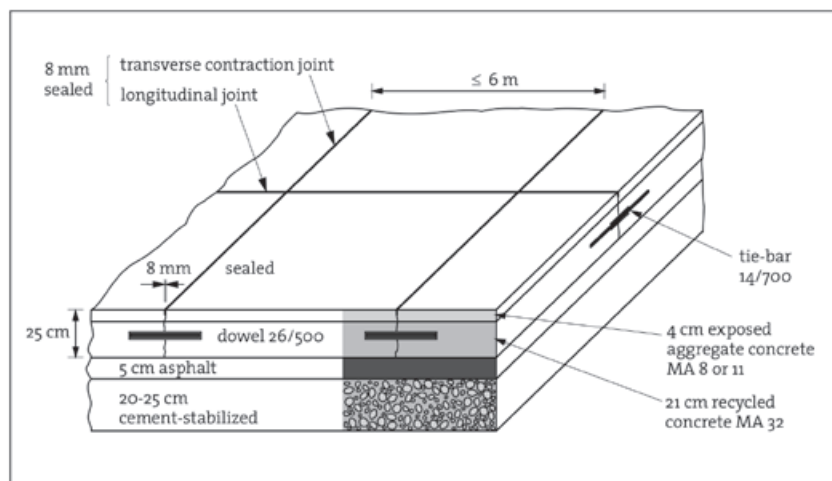
Een van de belangrijke voordelen van een tweelaagse uitvoering van een betonweg is de mogelijkheid om, door een aangepaste samenstelling van de toplaag, de textuur van het oppervlak te optimaliseren op vlak van stroefheid, vlakheid en rolgeluidproductie. Vooral dit laatste, met name de beperking van verkeerslawaaï, heeft ertoe geleid dat tweelaagse betonverhardingen de drie laatste decennia een opmars hebben gekend in Europa. Geluidsarme wegooppervlakken met een dichte (niet poreuze) structuur worden gekenmerkt door de aanwezigheid van (uitsluitend) kleine steentjes aan het oppervlak. Die steentjes moeten dichtgepakt en willekeurig (niet periodiek geordend) maar homogeen verdeeld zijn. Dit is mogelijk door voor de deklaag een betonsamenstelling te gebruiken met uitsluitend kleine stenen ($D_{\max} \leq 10$ mm of zelfs 6,3 mm).

TWEELAAGS PLATENBETON

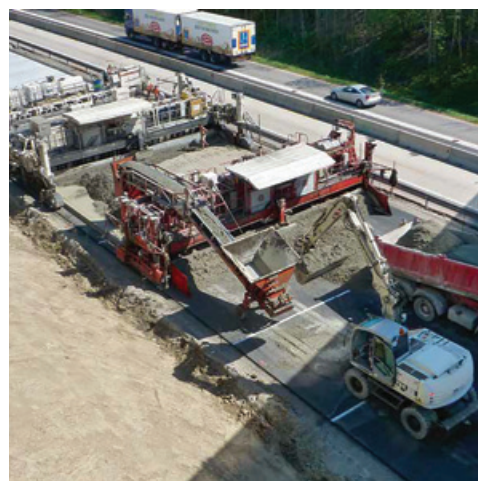
OOSTENRIJK

In 1990 werd Oostenrijk, een land met een lange betontraditie, geconfronteerd met twee uitdagingen: enerzijds de renovatie van een aantal bestaande oude betonnen autosnelwegen en anderzijds de problematiek van het verkeerslawaaï. De oplossing bestond in de techniek van het tweelaags uitgewassen beton. Het concept van uitgewassen beton werd uit België overgenomen maar de deklaag met steentjes tot 8 of 11 mm grootte leverde een drastische vermindering van het rolgeluid op. Bovendien werd het beton van de oude snelwegen hergebruikt in de onderlaag van de nieuwe constructie. Het opgebroken beton werd hiertoe in een breek- en zeefinstallatie verwerkt tot nieuwe steenslag van verschillende fracties. De fractie 4/32 werd gebruikt in het rijk beton van de onderlaag; de fractie 0/4 in de cementgebonden fundering.

De typedoorsnede van een Oostenrijkse autosnelweg, alsook het recyclageconcept zijn hierna weergegeven:

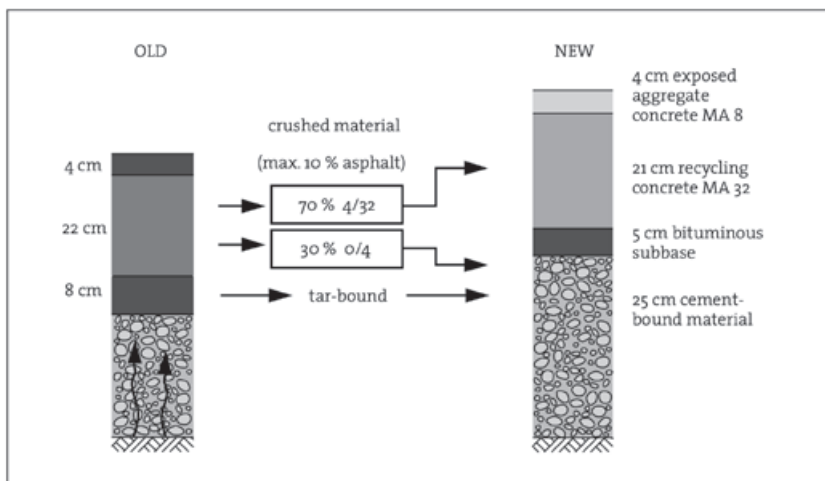


Typedoorsnede van een Oostenrijkse autosnelweg sinds 1990



Oostenrijk: tweelaagse uitvoering
(© Smart Minerals GmbH)

Let ook op de aanwezigheid van de asfaltaag tussen hydraulisch gebonden fundering en rijweg in beton, gelijkaardig aan het hedendaagse Belgische concept voor zwaar belaste wegen in platenbeton of doorgaand gewapend beton. In Oostenrijk werd daar initieel voor gekozen om de weg tijdelijk te laten berijden, zodat eventuele zettingen in bergachtig gebied nog konden plaatsvinden vóór de aanleg van de betonverharding. Later vervulde deze laag ook de rol van bescherming van de fundering en begreep men ook dat ze een belangrijke positieve bijdrage levert in het lange termijngedrag van de weg.



Concept van heropbouw en recyclage van oude autosnelwegen in Oostenrijk

Dikwijls werd ook de oude teerhoudende fundering mee verwerkt – gestabiliseerd en geïmmobiliseerd – in de nieuwe cementgebonden fundering, in sommige gevallen door gebruik te maken van speciale cementen.

De eerste Oostenrijkse ervaringen bleken succesvol op technisch en economisch vlak. Tussen 1990 en 2000 werden ongeveer 240 km rijbaan vernieuwd op die manier.

DUITSLAND

In Duitsland werd al snel het Oostenrijkse voorbeeld gevolgd: de typische oppervlakafwerking met jutedoek werd vervangen door tweelaags uitgewassen beton. Net als in Oostenrijk werd de tweelaagse techniek de standaarduitvoering. Naast geluidsreductie had dit nog een andere reden, namelijk het behoud van kwaliteit bij het mechanisch intrillen van deuvels in het verse beton. Het gebruik van deuvelstoelen is in Duitsland niet toegelaten op autosnelwegen omdat men ervan uitgaat dat bij intrillen van de deuvels de juiste positie beter kan verzekerd worden. Bij de eenlaagse uitvoering werden echter luchtholtes vastgesteld boven de ingetrilde deuvels, welke leidden tot reflectiescheuren aan het oppervlak. Door het nat-in-nat aanbrengen van de top laag worden deze holtes gevuld en de problemen vermeden. Ook eventuele onvlakheden boven de ingetrilde deuvels, in geval van eenlaags beton, kunnen zo vermeden worden.

Zelfs als het oppervlak niet uitgewassen wordt, kan het interessant zijn om tweelaags te werken. Door een minder hoogwaardige betonsamenstelling voor de onderlaag kan er immers bespaard worden op het project.

De tabel hierna geeft een voorbeeld van berekening voor een Duits project. Hierbij wordt wel geen rekening gehouden met de hogere kosten voor de uitvoering, o.a. door de productie van twee betonsamenstellingen en de noodzaak van twee machines.

Autosnelwegproject – 10 km lengte – 2 rijrichtingen – 14,5 m breedte per rijrichting – totale dikte 30 cm – dikte onderlaag 23 cm – dikte topklaag 7 cm

	Eenlaags	Tweelaags
Hoeveelheid beton onderlaag (m ³)	66 700	66 700
Hoeveelheid beton bovenlaag (m ³)	20 300	20 300
Totale hoeveelheid beton (m ³)	87 000	87 000
Prijs per m ³ voor beton onderlaag	€ 85,00	€ 70,00
Prijs per m ³ voor beton topklaag	€ 85,00	€ 85,00
Kosten beton onderlaag	€ 5 669 500,00	€ 4 669 000,00
Kosten beton topklaag	€ 1 725 500,00	€ 1 725 500,00
Totale kosten beton	€ 7 395 000,00	€ 6 394 500,00
Kostenreductie	€ 1 000 500,00	

Vergelijking materiaalkosten tussen een- en tweelaagse uitvoering (Duitsland)

TSJECHIË – POLEN – ...

In andere Oost-Europese landen werden deze ontwikkelingen overgenomen, o.a. in Tsjechië en in Polen. In Polen werden de voorbije jaren al 650 km autosnelwegen en hoofdwegen in beton uitgevoerd en er zijn nog 800 km gepland tegen 2025.

VERENIGDE STATEN

In de U.S. werd tweelaags beton in verschillende staten (Illinois, Iowa, Wisconsin, Michigan ...) toegepast tussen 1950 en 1970 voor de aanleg van gewapend platenbeton. De bedoeling was het manueel plaatsen van de wapeningsnetten tussen de dwarse voegen op de nog niet uitgeharde onderlaag. Er werd dezelfde betonsamenstelling gebruikt voor onder- en bovenlaag. Nadien werd overgeschakeld op ongewapend platenbeton en was het tweelaags beton dus niet meer nodig.

Tijdens 1970 en 2004 werden een 5-tal experimentele wegvakken met tweelaags beton aangelegd, vooral met de bedoeling om een betonsamenstelling van verschillende kwaliteit te gebruiken in de twee lagen.

Enkele kenmerken van de verschillende projecten:

- Gebruik van beton met verschillende sterkte in boven- en onderlaag;
- Gebruik van lokale natuurlijke granulaten van mindere kwaliteit (niet bestand tegen polijsting, hogere thermische uitzettingscoëfficiënt) in de onderlaag;
- Gebruik van een fractie gerecycleerd asfalt in de onderlaag, o.a. afkomstig van een opgebroken composietverharding (beton + asfalt topklaag).

In 2006 bracht een Amerikaanse delegatie een studiebezoek aan Europa (AT, DE, BE, NL) met als thema *'Long-Life Concrete Pavements'*. De bevindingen tijdens dit bezoek zetten de Amerikanen er weer toe aan om verder te gaan met tweelaagse betonverhardingen. Met hulp van Oostenrijkse expertise werd een demonstratieproject opgezet in Kansas, namelijk een tweelaagse verharding met fijn uitgewassen oppervlak.

In 2014 en 2017 volgden nog drie succesvolle studieprojecten in Tennessee, California en Texas.

Een opmerkelijk project, uitgevoerd van 2013 tot 2016, is de verbreding en heraanleg van de tolweg I-90, over 124 km, ten noordwesten van Chicago (Illinois) richting Wisconsin, in tweelaags gedeuveld platenbeton. De totale dikte van de betonverharding bedroeg 33 cm.

Op vlak van milieu werden bijzondere inspanningen gedaan. Zo bevatte de onderlaag tot 50 % gerecycleerd betongranulaat en/of gerecycleerd asfaltgranulaat (FRAP – *Fractionated Recycled Asphalt Pavement*). Ook speciaal is dat de onderlaag geplaatst werd zonder bijkomende verdichting, wat dus mogelijk een kwaliteitsverlies inhoudt. Dit was omwille van het belastingstelsel voor dergelijke werken waar extra betaald moet worden indien een tweede verdichtingsmachine wordt ingezet. Voor de bovenlaag werd wel een klassieke glijbekistingmachine ingezet. De oppervlakafwerking was fijngroeven in langse richting.



U.S. Tolweg I-90: bevoorrading van het beton voor de toplaag via een lopende band en oppervlakafwerking door fijngroeven in langse richting

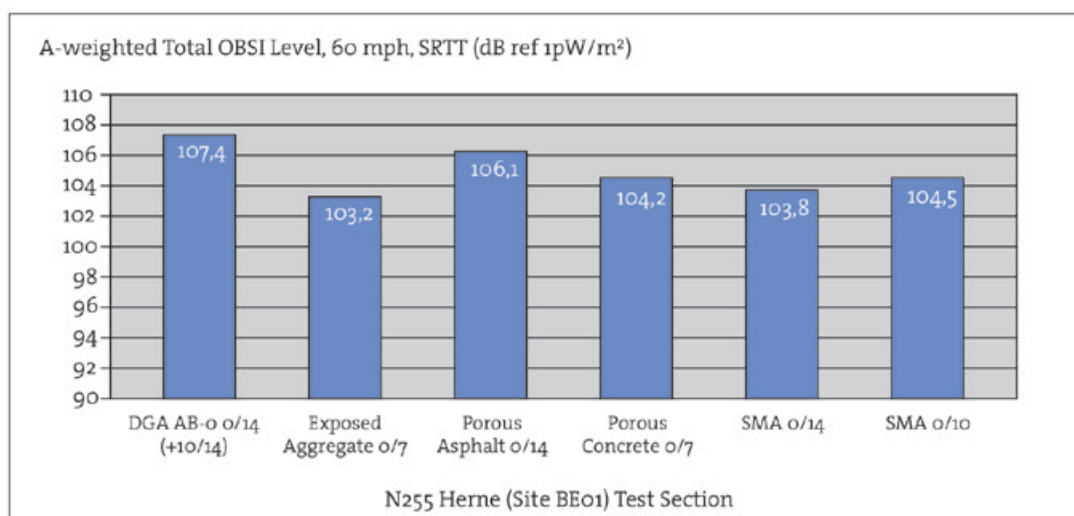


TWEELAAGS DOORGAAND GEWAPEND BETON

Samen met enkele staten van de U.S. behoort België ongetwijfeld tot de koplopers op vlak van doorgaand gewapend beton in de wegenbouw. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de meeste toepassingen van tweelaags doorgaand gewapend beton zich ook in België bevinden. Hierna volgt een overzicht van de verschillende projecten in de periode 1996–2019 met een korte bespreking.

HERNE, N255, 1996

In 1996 werd in Herne op de gewestweg N255 een reeks proefvakken geluidsarme wegdekken aangelegd. Op een 18 cm dikke onderlaag van doorgaand gewapend beton werden verschillende toplagen aangebracht van fijn uitgewassen beton, poreus beton, dicht asfaltbeton, splitmastiekasfalt en zeer open asfalt. Het uitgewassen beton was gebaseerd op de Oostenrijkse ervaring van die tijd. De testsecties werden onderworpen aan tal van metingen en evaluaties, onmiddellijk na aanleg en na drie jaar (1999). Zowel voor het zeer open asfalt als voor het zeer open beton, die aanvankelijk het best scoorden, werd een geluidstoename waargenomen van 2,5 dB(A). Het dicht asfalt en het fijn uitgewassen beton toonden op dat moment de laagste geluidsniveaus. In oktober 2007, dus 11 jaar na aanleg, werd een nieuwe reeks metingen uitgevoerd door een Amerikaans team met een andere meetmethode (OBSI of *On Board Sound Intensity*). De resultaten zijn voorgesteld in de hiernavolgende figuur. Door degradatie van het dicht asfaltbeton had dit nu de hoogste geluidsproductie. De andere oppervlakken volgden de trend van 1999.

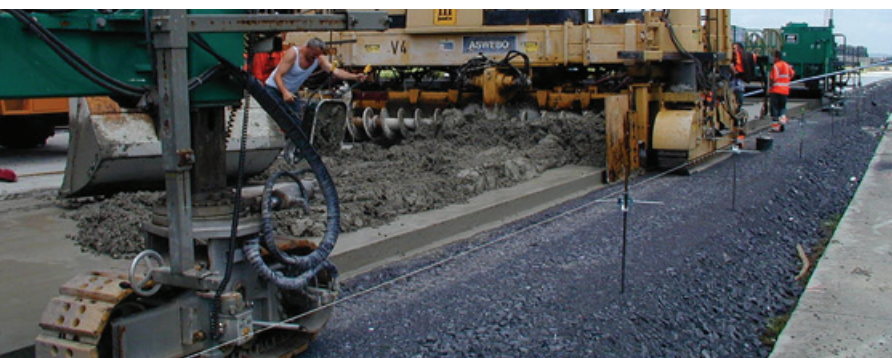


Het wegvak in fijn uitgewassen beton is met een levensduur van ruim 23 jaar dienst nog in uitstekende staat en getuigt zo van de beste keuze voor een stille en duurzame oplossing. In 2010 werden overigens alle proefvakken, met uitzondering van het fijn uitgewassen beton, overlaagd met een bitumineuze toplaag.

ESTAIMPUIS, N511, 2002

Op de N511 in Estaimpuis tussen Dottignies (Moeskroen) en Wattrelos (FR) werd in 2002 een wegvak vernieuwd over een afstand van 1250 m. Hiervan werd gebruik gemaakt om vier proefvakken in tweelaags doorgaand gewapend beton te realiseren. De totale dikte bedroeg 20 cm maar de dikte en de grootste korrelmaat van de toplaag varieerden per proefvak – zie gegevens in onderstaande tabel.

Nr. proefvak	Onderlaag		Toplaag	
	Dikte	D _{max} (mm)	Dikte	D _{max} (mm)
1	15 cm	32	5 cm	7
2	14 cm	32	6 cm	10
3	12 cm	32	8 cm	14
4	12 cm	32	8 cm	20



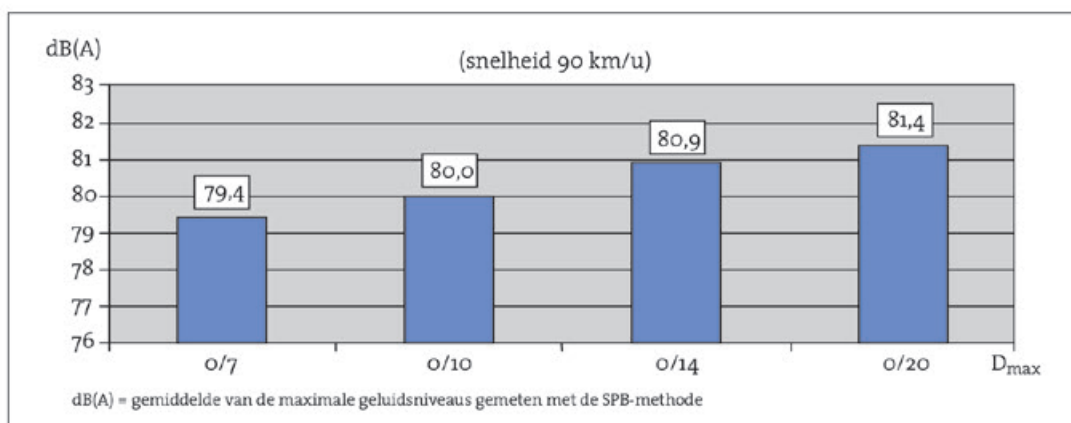
Estaimpuis: aanleg van het tweelaags doorgaand gewapend beton met twee glijbekistingmachines

Op het einde der werken werden metingen uitgevoerd van stroefheid, vlakheid en geluid. Aan de eisen van stroefheid werd gemakkelijk voldaan: de dwarswrijvingscoëfficiënt gemeten met de odoliograaf bevond zich steeds tussen 60 en 70, ruim boven de vereiste waarde van 50. Opvallend waren ook de bijzonder goede resultaten voor de vlakheid.

In onderstaande tabel staan de resultaten van de vlakheidscoëfficiënt, gemeten met de APL (*Analyseur de profil en long*), die ongeveer de helft bedragen van de maximaal toegestane waarden. Tweelaagse betonverhardingen zijn doorgaans zeer vlak omdat de glijbekistingmachine voor de toplaag een kleinere massa beton dient te verdichten en nivelleren.

	Maximale waarde	Proefvak 1 0/7	Proefvak 2 0/10	Proefvak 3 0/14	Proefvak 4 0/20
Gemiddelde VC (2,5 m)	30	15,15	16,20	14,70	17,05
Gemiddelde VC (10 m)	70	33,30	31,40	28,95	41,05

Geluidsmetingen werden uitgevoerd met de SPB-methode (*Statistical Pass-by*) bij snelheden van 70 en 90 km/u. Onderstaand diagram geeft de resultaten voor de verschillende vakken voor 90 km/u. Zoals verwacht neemt het verkeersgeluid af bij afnemende grootste korrelafmeting van het beton van de toplaag, met een winst van 2 dB tussen de grootste (20 mm) en de kleinste (7 mm) korrelmaat.



Invloed van de grootste korrelafmeting D_{max} op het verkeersgeluid

De resultaten van stroefheid en vlakheid tonen aan dat deze weg een hoog niveau van veiligheid en rijcomfort biedt. De goede resultaten op vlak van geluid zijn verbonden aan de keuze van korrelmaat voor de deklaag maar worden zeker ook positief beïnvloed door de vlakheid van het doorgaand gewapend beton.

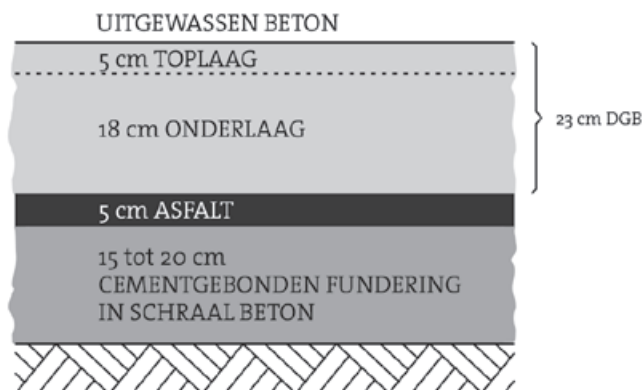
ZWIJNDRECHT, N49/E34, 2007 en 2008

In 2007 en 2008 werd ter hoogte van Zwijndrecht de zogenoemde expresweg Antwerpen-Knokke over een drietal kilometer heraangelegd. Het oude platenbeton werd vervangen door doorgaand gewapend beton met een asfalt tussenlaag en met behoud van de aanwezige fundering in schraal beton. Gestimuleerd door een groeiend milieubewustzijn en zin voor innovatie koos de Vlaamse Overheid voor een proefproject met tweelaags doorgaand gewapend beton en het gebruik van gerecycleerd betongranulaat in de onderlaag. Voor de wapening van het DGB werd er geen verschil gemaakt met het eenlaags beton van 23 cm dikte:

- langswapening: diam. 20 mm alle 18 cm;
- dwarswapening: diam. 16 mm alle 70 cm, onder een hoek van 60°;
- betondekking van de langswapening: 80 mm $\pm$ 10 mm; dit betekent dat de langsstaven zich bovenaan in de onderste betonlaag bevinden.



Het beton van de opgebroken oude betonverharding werd in een mobiele breek- en zeefinstallatie verwerkt tot nieuwe granulaten



Nieuwe opbouw van de N49/E34 te Zwijndrecht

De volgende eisen werden gesteld aan de betonmengsels van toplaag en onderlaag:

- Toplaag:

- Steenslag 4/6,3 met eis op de polijstingsweerstand $PSV \geq 50$, geen recyclage toegestaan;
- Zand voor wegenbeton, geen recyclage toegestaan;
- Cement CEM III/A 42,5 N LA : minimum 425 kg/m^3 ;
- Water-cementfactor $W/C \leq 0,45$;
- Luchtbelvormer verplicht, luchtgehalte van vers beton op de werf $\geq 5 \%$

- Onderlaag:

- Steenslag 4/6,3 – 6,3/20 – 20/32 waarvan tot 60 % gerecycleerd betongranulaat afkomstig van het opgebroken platenbeton, welke te verdelen zijn over de fracties 6,3/20 en 20/32; en 40% natuursteenslag zonder eis op de polijstingsweerstand; (Opmerking: In de tweede fase werd toegelaten om de volledige fracties 6,3/20 en 20/32 in (hoogwaardig) betongranulaat te voorzien, ongeacht het percentage van het zandsteenslagmengsel);
- Zand voor wegenbeton, geen recyclage toegestaan;
- Cement CEM III/A 42,5 N LA : minimum 375 kg/m^3 ;
- Water-cementfactor $W/C \leq 0,45$;
- Luchtbelvormer verplicht, luchtgehalte van vers beton op de werf $\geq 3 \%$

Naar sterkte en duurzaamheid werden volgende eisen gesteld aan het verhard beton (overeenkomstig de bepalingen van de toenmalige versie van SB250, welke ondertussen wijzigingen hebben ondergaan):

- Toplaag:

- Druksterkte: karakteristieke waarde $\geq 50 \text{ MPa}$ op kubussen met zijde 15 cm, bewaard bij $20 (\pm 2)^\circ\text{C}$ onder water of bij 95% R.V. en op een ouderdom van 28 dagen;
- Wateropslorping door onderdompeling: maximum gemiddelde waarde van 6,3 % en maximum individuele waarde van 6,8 %.

- Onderlaag:

- Druksterkte: karakteristieke waarde $\geq 52,5 \text{ MPa}$ op boorkernen ontnomen uit de verharding op een ouderdom van tenminste 90 dagen.

Zowel op gebied van vlakheid, stroefheid en rolgeluid werden uitstekende resultaten behaald.



Na een viertal jaar trad er echter al schade op in het wegvak richting Knokke, namelijk een fragmentatie van het beton in het wielspoor, waarbij ook een concentratie aan dwarse scheuren werd vastgesteld. Onderzoek bracht aan het licht dat er in de zone van de schadegevallen horizontale scheuren aanwezig waren ter hoogte van de langswapening van het DGB. Ook werd duidelijk dat de schade zich voordeed ter hoogte van wijd openstaande primaire scheuren in het DGB (dit zijn de scheuren die als eerste ontstaan, in de eerste weken na aanleg). Dit soort schade werd eerder al vastgesteld in de U.S. maar was nieuw in België.

Hoewel het nog steeds niet duidelijk is welke de voornaamste parameters zijn die de ontwikkeling van horizontale scheuren veroorzaken, werd bij het geval van de N49/E34 aangenomen dat het gebruik van recyclagegranulaten, en hieraan gelinkt een hogere krimp van het wegenbeton, de doorslaggevende factor was. Het DGB werd lokaal hersteld en overlaagd met een bitumineuze laag, waarna het wegdek tot dusver een goed gedrag vertoont.

HERENTALS, A13/E313, 2012

Na de acute winterschade die was opgetreden aan het open asfalt van de autosnelweg E313 tijdens de strenge winter van 2009/2010, werd beslist om een gedeelte van het wegdek, van Herentals tot Grobbendonk in de richting van Antwerpen, te vernieuwen in DGB. Om geluidsredenen werd gekozen voor tweelaags DGB. Rekening houdend met de problemen die zich voordeden op de N49/E34 (zie hierboven) werden enkele aanpassingen doorgevoerd aan de technische bestekbepalingen:

- Voor het mengsel van de onderlaag werden geen gerecycleerde granulaten meer toegelaten maar werden wel de eisen aangepast zodat kalksteen zou kunnen gebruikt worden (aangepaste eisen voor de steenslag: LA₂₅; PSV_{NR} en MDE₂₀ (zie ook verder in dit bulletin voor de actuele eisen in de typebestekken).
- Er werd geen luchtbelvormer toegelaten voor het beton van de onderlaag. De bedoeling hiervan was een betere aanhechting te realiseren tussen beton en langswapening (ook al werd dit verband niet aangetoond door onderzoek).

- De langswapening werd lager geplaatst: de afstand en tolerantie tussen de bovenste beschrijvende van de langswapening en het oppervlak van de tweelaagse verharding diende 95 ± 10 mm te bedragen. De dikte van de bovenlaag was 50 mm en dus bevond de langswapening zich op 45 mm van het oppervlak van de onderlaag. De bedoeling hiervan was om het mogelijk trillen van de wapening te vermijden bij de verdichting van de onderlaag.
- De techniek van de actieve scheuraanzetten ('*active crack control*') werd ingevoerd, namelijk het maken van korte zaagsneden, 40 cm lang, 4 cm diep, met een tussenafstand van 1,20 m aan de rand van elke gestorte betonstrook. Deze scheuraanzetten moeten binnen de 24 u na het storten van het beton aangebracht worden. De bedoeling hiervan was een betere beheersing van het scheurpatroon van DGB. Waarnemingen en onderzoek hebben ondertussen aangetoond dat het een zeer efficiënte techniek is die er inderdaad voor zorgt dat te kleine en te grote scheurafstanden vermeden worden.

De werken op de E313 werden succesvol uitgevoerd, ook hier met prima resultaten van stroefheid, vlakheid en rolgeluid. Tot 7 jaar na aanleg werd geen enkele schade, vergelijkbaar met de N49/E34 vastgesteld. De genomen maatregelen blijken dus effectief gewerkt te hebben.



GEEL - KASTERLEE, N19g, 2013

De nieuwe verbindingsweg tussen Geel en Kasterlee maakte deel uit van het PPP project van de Kempense Noord-Zuidverbinding. Ook hier was de beperking van het verkeerslawaaai een belangrijke eis in de overeenkomst. Dit werd bereikt door de toepassing van tweelaags DGB en/of het aanbrengen van geluidsschermen in de gevoelige zones.



BRUGGE – ZEEBRUGGE, A11, 2014-2018

Ter verbetering van de toegang tot de haven van Zeebrugge werd de A11 (E34) ten zuiden van Westkapelle, verbonden met de N31, ten noorden van Brugge, welke verder de aansluiting maakt met de E40. Zo kon het zware havenverkeer gescheiden worden van het lokaal verkeer en tegelijkertijd de verkeersveiligheid worden verbeterd.

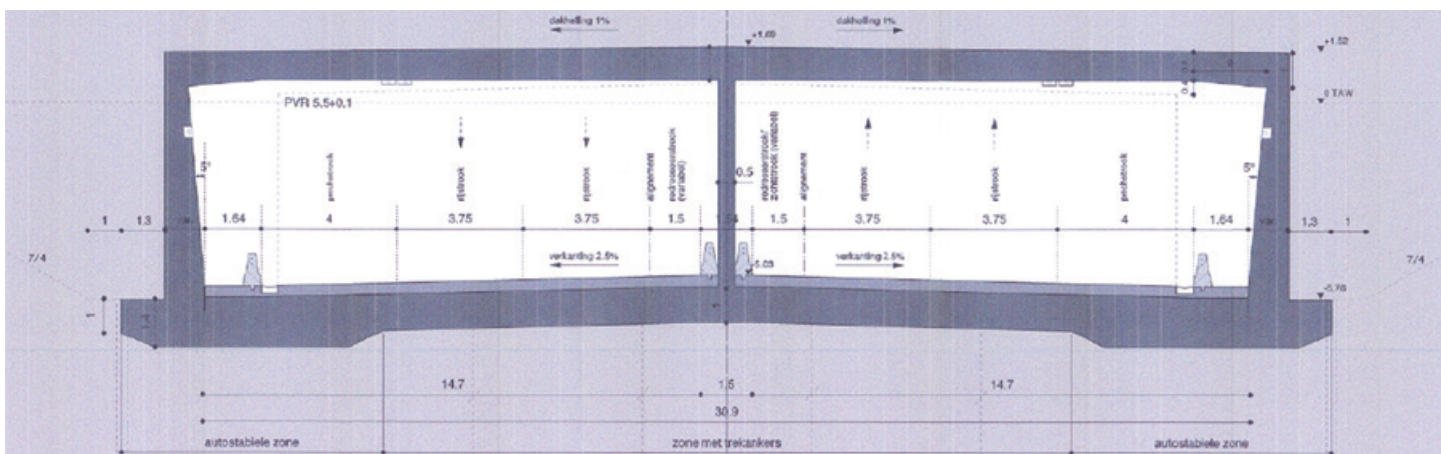
Voor het grootste gedeelte van de wegenis van dit PPP project werd geopteerd voor asfalt. Voor de verschillende tunnelsecties werd echter voor tweelaags DGB gekozen, niet alleen omwille van de hogere brandweerstand maar ook voor de duurzaamheid, het gereduceerde onderhoud en de hogere lichtweerkaatsing.



Aanleg in een open tunnelsectie (© Willemen)

De structuur in de tunnels is als volgt:

- 50 cm toplaag in uitgewassen beton o/6,3 mm;
- 170 mm onderlaag; ligging van de langswapening ca. 50 mm onder het oppervlak van de onderlaag;
- 50 mm tussenlaag in asfalt;
- 50 mm open asfalt als drainagelaag;
- 1000 mm betonnen tunnelvloer;
- 100 mm schraal beton;
- funderingspalen.



(© Willemen)

COUVIN, N5/E320, 2018-2019

De ontsluiting van de gemeente Couvin in het zuiden van de provincie Namen werd gerealiseerd door de aanleg van een nieuwe 14 km lange weg. Deze ringweg is deel van de E320 en verbindt de N5 in Frasnes-les-Couvin met de Franse grens te Brûly-Gué-d'Hossus (A304). De eerste fase van 5,1 km behelsde de eigenlijke ontsluiting van het centrum van Couvin en werd in dienst genomen in oktober 2017. De tweede fase van 8,7 km lang vormde de aansluiting met de Franse grens en werd ingehuldigd in 2019. De verharding is een tweelaags DGB met een onderlaag van 170 mm (0/32) en een bovenlaag van 60 mm (0/6,3). In de eerste fase werden de 2 rijstroken + pechstrook gebetonneerd in twee gangen; in de tweede fase werd er over de volledige breedte van 10 m gebetonneerd.



Uitvoering van de tweede fase van de ontsluitingsweg van Couvin :betonnering op volle breedte met twee glijbekistingmachines (foto's aanleg © Cimbéton)



Zicht op de afgewerkte E420

6. BIJZONDERE ASPECTEN BIJ HET ONTWERP EN DE BETONSAMENSTELLING VAN TWEELAAGS BETON

Dikte en $D_{\max}$ van de deklaag

In principe wordt de dikte van de bovenlaag van een tweelaagse betonverharding minimaal gehouden om het verbruik van dure en/of hoogwaardige grondstoffen te beperken en dus een maximaal economisch of ecologisch voordeel te bereiken. De minimale dikte dient rekening te houden met de maximale afmeting van de grove granulaten in het betonmengsel. De Belgische typebestekken voorzien het volgende:

- SB250: een standaarddikte van 50 mm voor een standaard $D_{\max}$ van 6,3mm;
- CCT Qualiroutes: een minimale dikte van
 - 80 mm in geval van $14 \text{ mm} < D_{\max} \leq 20 \text{ mm}$
 - 70 mm in geval van $10 \text{ mm} < D_{\max} \leq 14 \text{ mm}$
 - 60 mm in geval van $6,3 \text{ mm} < D_{\max} \leq 10 \text{ mm}$
 - 50 mm in geval van $D_{\max} \leq 6,3 \text{ mm}$.

Fijne granulaten (zand)

Voor het zand worden geen afzonderlijke eisen gesteld of afwijkingen toegelaten tussen onder- en bovenlaag, met uitzondering van één bepaling in SB250, versie 4.1: voor de onderlaag van een tweelaagse uitvoering is er namelijk geen eis op de versnelde polijstingscoëfficiënt van het moedergesteente in geval van zand, voortkomend van het breken en zeven van gesteenten (voor deklagen en eenlaagse uitvoering geldt in dat geval $PSV \geq 50$).

In alle Europese landen wordt meestal natuurlijk zand (rivierzand en/of zeezand) gebruikt voor het rijk beton van zowel de onderlaag als de bovenlaag. Recyclagezanden (breker- en zeefzand) zijn immers risicovol op vlak van verwerkbaarheid van het mengsel en duurzaamheid van het verhard beton.

Grove granulaten (steenslag, grind)

Uiteraard worden wel verschillen toegelaten voor de stenen tussen onder- en bovenlaag. Dat is immers meestal de bedoeling van de toepassing van een tweelaagse betonverharding. Onderstaande samenvattende tabel geeft de verschillende eisen weer volgens de Belgische typebestekken:

	SB 250 Uitgave 4.1 (Vlaanderen)	CCT Qualiroutes Uitgave 01/01/2020 (Wallonië)	TB 2015 (Brussel)
Los Angeles Coefficient (LA) NBN EN 12620	LA ₂₅ ⁽¹⁾ LA ₂₀ (B1-B5) ⁽²⁾	LA ₃₀ ⁽¹⁾ LA ₂₅ (réseau I & II) ⁽²⁾	LA ₃₀ ⁽¹⁾ LA ₂₅ ⁽²⁾
Micro-Deval Coefficient (MDE) NBN EN 12620	MDE ₂₀ ⁽¹⁾ MDE ₁₅ (B1-B5) ⁽²⁾	MDE ₂₅ ⁽¹⁾ MDE ₂₀ (réseau I & II) ⁽²⁾	MDE ₂₅ ⁽¹⁾ MDE ₂₀ ⁽²⁾
Versnelde Polijstingscoëfficiënt (PSV) NBN EN 12620	PSV _{NR} ⁽¹⁾ PSV ₅₀ (B1-B5) ⁽²⁾	PSV _{NR} ⁽¹⁾ PSV ₅₀ (réseau I & II) ⁽²⁾	PSV _{NR} ⁽¹⁾ PSV ₅₀ ⁽²⁾
MDE + LA	—	≤ 45 ⁽¹⁾ ≤ 30 (réseau I & II) ⁽²⁾	≤ 45 ⁽¹⁾ ≤ 30 ⁽²⁾

(1) Onderlaag van een tweelaagse betonverharding

(2) Eenlaagse betonverharding of bovenlaag van een tweelaagse betonverharding

In Vlaanderen is het gebruik van hoogwaardig betongranulaat toegelaten in de onderlaag van de tweelaagse uitvoering maar beperkt tot 20 % (volume %) van de grove granulaten.

Cement

- Dosering

De hoeveelheid cement wordt aangepast aan het mortelgehalte in het betonmengsel. De hoeveelheid mortel en dus ook de hoeveelheid cement neemt toe wanneer $D_{\max}$ kleiner is. Dat is dus meestal het geval voor de bovenlaag. Omgekeerd worden in de onderlaag meestal grotere stenen gebruikt en kan de hoeveelheid cement bijgevolg dalen. Het cementgehalte wordt verder bepaald door de verwachte verkeersbelasting (bouwklasse in Vlaanderen en Brussel, *réseau* in Wallonië). In SB250, versie 4.1, hoofdstuk 14, worden volgende minimale hoeveelheden cement opgegeven (zie onderstaande tabel: de gevallen voor de onder- en bovenlaag zijn omcirkeld). Dezelfde waarden zijn van toepassing in *CCT Qualiroutes*.

Toepassing	Maximale korrelmaat			
	31,5 mm	20 mm	14 mm	6,3 mm
Bouwklasse B1-B5	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\geq 425 \text{ kg/m}^3$
Onderlaag bouwklasse B1-B5	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$	n.a.	n.a.	n.a.
Bouwklasse B6-B10, BF	$\geq 350 \text{ kg/m}^3$	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
Onderlaag bouwklasse B6-B10, BF	$\geq 350 \text{ kg/m}^3$	n.a.	n.a.	n.a.
Snelhardend beton	n.a.	$\geq 425 \text{ kg/m}^3$	n.a.	n.a.

- Soort

De Belgische typebestekken eisen eenzelfde cement (zelfde soort en sterkteklasse, telkens met gecertificeerd beperkt alkaligehalte of 'LA') voor de onder- en bovenlaag. Dit heeft voornamelijk als doel om ongeveer eenzelfde gedrag te hebben van beide lagen op vlak van uithardingstijd en krimp. Uiteraard zal dit gedrag nooit volledig gelijk zijn omwille van de verschillende types granulaten en cementdosering van beide mengsels. In het buitenland werden overigens al tweelaagse verhardingen aangelegd met verschillende types cement in onder- en bovenlaag.

Water-cementfactor

Zoals hierboven aangehaald wordt in de deklaag een hoger cementgehalte toegepast omwille van de kleinere $D_{\max}$. Met behoud van de W/C-factor zou dit leiden tot een hoger te doseren watergehalte en bijgevolg een mogelijk verminderde duurzaamheid van het beton (door verlies van het aanmaakwater uit het uithardende beton en de vorming van microporiën). Daarom is het aangewezen om de W/C-factor te verlagen zodat de hoeveelheid aanmaakwater behouden blijft. In SB250, versie 4.1, hoofdstuk 14, tabel 14-5.4-3 worden volgende maximale W/C-factoren opgegeven (zie onderstaande tabel: de gevallen voor de bovenlaag zijn omcirkeld). Dezelfde waarden zijn van toepassing in *CCT Qualiroutes*.

Bouwklasse	Maximale korrelmaat			
	31,5 mm	20 mm	14 mm	6,3 mm
Bouwklasse B1-B5	$\leq 0,45$	$\leq 0,45$	$\leq 0,45$	$\leq 0,42$
Bouwklasse B6-B10, BF	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Snelhardend beton	-	$\leq 0,40$	-	-

Uit deze tabel en die van de minimale cementhoeveelheden volgt inderdaad dat het watergehalte nagenoeg constant wordt gehouden.

Bijvoorbeeld, voor de bouwklasse B1-B5 voor een eenlaagse uitvoering met $D_{\max} = 20\text{ mm}$ is de hoeveelheid water $W = C \times W/C = 400 \times 0,45 = 180$ liter per m^3 , terwijl voor de deklaag geldt:

$W = 425 \times 0,42 = 178,5$ liter per m^3 .

Gebruik van luchtbelvormer

In principe wordt het luchtgehalte aangepast aan de hoeveelheid mortelfractie in het betonmengsel: voor een kleinere $D_{\max}$ is er meer mortel, die gevoeliger is dan de stenen aan afschilfering door vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten. Een hoger luchtgehalte is dan noodzakelijk om de duurzaamheid te verzekeren. Dit principe wordt toegepast voor de deklagen van tweelaagse betonverhardingen.

In SB250, versie 4.1 worden echter geen luchtgehaltenes opgelegd. Het gebruik van een luchtbelvormer is immers facultatief maar de weerstand tegen dooizouten dient te worden aangetoond in de voorstudie van het certificatieproces van het betreffende wegenbeton, alsook tijdens productie. De noodzaak van een luchtbelvormer in de deklaag zal dan blijken uit de te behalen prestaties.

In *CCT Qualiroutes*, versie 2020, geldt voor een deklaag met $D_{\max} \leq 6,3\text{ mm}$:

$5 \leq v \leq 8$ met v = luchtgehalte in volume % van het vers beton.

Ter vergelijking, in geval van eenlaagse uitvoering met $6,3\text{ mm} < D_{\max} \leq 20\text{ mm}$ geldt: $3 \leq v \leq 6$. Er is geen eis voor het luchtgehalte van de onderlaag.

In TB2015 gelden dezelfde eisen voor toplagen als in *CCT Qualiroutes* maar ook voor de onderlaag wordt een luchtgehalte vereist $3 \leq v \leq 6$.

In het buitenland wordt meestal een luchtbelvormer gebruikt in zowel de onder- als bovenlaag, ook met aangepaste luchtgehaltenes in functie van $D_{\max}$. In België wordt daar sinds enkele jaren van afgeweken om volgende redenen:

- Er is minder risico op schade door vorst en contact met dooizouten in de onderlaag in vergelijking met de topklaag;
- Op basis van de voorschriften voor de samenstelling ($D_{\max}$, $C_{\min}$, $W/C_{\max}$) kan aangenomen worden dat het beton van de onderlaag, met grotere stenen en minder mortel, al voldoende duurzaam is zonder toevoeging van lucht;
- Een mogelijk verbeterde aanhechting beton/staal in geval van doorgaand gewapend beton voor een beton zonder luchtbelvormer.

7. AANDACHTSPUNTEN BIJ DE AANLEG VAN TWEELAAGSE BETONVERHARDINGEN

Productie van het beton

Voor tweelaags beton zijn twee betonsamenstellingen nodig die van twee verschillende betoncentrales kunnen komen. Het alternatief is één mobiele centrale op de werf die beide samenstellingen aanmaakt. Het vraagt alleszins een aangepaste logistiek en operationele inzet van de centrale(s). De juiste grondstoffen moeten immers in de juiste dosering worden verwerkt, zonder contaminatie van de twee betonsamenstellingen.

Aanvoer van het beton

De bevoorrading van de onderlaag gebeurt normaal met kipwagens, die in staat zijn grote hoeveelheden beton aan te voeren. De aanvoer van beton voor de toplaag kan per kipwagen, maar het is ook mogelijk truckmixers in te schakelen. Het is uiterst belangrijk de aanvoer van beide betonsamenstellingen nauwkeurig te coördineren. Omwille van de verhoudingen van de diktes van de twee lagen zijn er ongeveer 4 ladingen beton voor de onderlaag nodig voor 1 lading beton voor de toplaag, voor een verharding 25 cm dik. Het moet voor de mensen op de werf duidelijk zijn welke kipwagen welke samenstelling vervoert: de grovere samenstelling voor de onderlaag of de fijne voor de bovenlaag. Dit gebeurt soms met een systeem van gekleurde vlaggen of met aanduidingen aan de voorruit van de vrachtwagen. Ook wanneer een tijdelijke stortbak voor het beton wordt gebruikt, mogen er, eens het beton uitgekipt is om aangelegd te worden, geen vergissingen gebeuren.



De aanduiding 'SUP' duidt op een beton bestemd voor de bovenlaag ('couche SUPérieure')



Duitsland, Würzburg, A7: het beton voor de bovenlaag wordt met een transportband over de eerste glijbekistingmachine tot op de onderlaag gebracht.
(© Klaus Felsch, Heidelberg Cement)

Ruimte- en tijdsbeheer op de werf

Wie wil werken heeft ruimte nodig. In België is die beschikbare ruimte naast wegen meestal beperkt, zeker bij de heraanleg van bestaande wegen. Plaats is echter nodig om o.a. de aanvoer van de verschillende types beton te coördineren.

De toplaag moet binnen de 30 minuten op de onderlaag worden aangebracht. Bij de aanleg van grote wegen is het daarom aangewezen twee glijbekistingsmachines te gebruiken. De gemiddelde voortgangssnelheid is ongeveer 1 meter per minuut en tussen de machines is er dus maximaal een afstand van 30 m. Toch bestaat hier ook een alternatief: in Oostenrijk en Duitsland gebruiken de wegenbouwers vaak een geïntegreerde versie van de twee machines waardoor de twee operaties elkaar automatisch opvolgen (foto pag. 30).

Verdichting en afwerking van de lagen

Het beton voor de onderlaag wordt verdicht met trilnaalden, hetzij die van de glijbekistingmachine bij machinale uitvoering, hetzij manueel bediend. Voor de onderlaag is geen oppervlakafwerking of bescherming tegen uitdroging nodig. Ook de *supersmoother* of langse afstrijkbalk mag niet worden gebruikt voor de onderlaag.

Eventuele deuvels en ankerstaven worden de ingetrild in de onderlaag. Soms worden deuvels ook manueel in voorgevormde sleuven geplaatst.

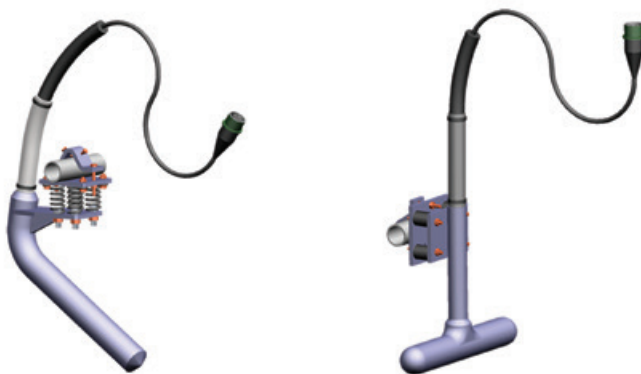


Duitsland, Trier: deuvels en ankerstaven worden ingetrild in de onderlaag
(© Klaus Felsch, Heidelberg Cement)



Lommel Kristalpark: plaatsen van deuvels in sleuven in de onderlaag

De top laag moet ook goed verdicht worden maar het is absoluut te vermijden dat de stenen uit de onderlaag door de top laag naar het oppervlak dringen. Een kleine vermenging tussen beide lagen is toegestaan; dat zorgt voor het monolithisch karakter. Sommige glijbekistingsmachines zijn hiertoe uitgerust met platte T-vormige trilnaalden.



Vergelijking tussen klassieke trilnaald en T-vormige trilnaald voor de top laag
(© Wirtgen)

Bij manuele uitvoering gebeurt de verdichting met een lichte trilbalk of wordt de bovenste laag simpelweg afgestreken met een balk of rij. Een dunne top laag is gemakkelijker uit te spreiden en vlak af te werken dan een dikke betonlaag. Dat komt de vlakheid en dus het rijcomfort ten goede.

8. CONCLUSIES

Tweelaagse betonverhardingen worden alsmaar meer toegepast omwille van de voordelen die ze bieden, zowel economisch als op milieutechnisch vlak. De kosten voor dure materialen in de top laag worden gereduceerd terwijl de onderlaag een groener karakter krijgt door het gebruik van gerecycleerde granulaten en een verminderd cementgehalte.

Ook de verbeterde oppervlakkenmerken zijn een belangrijke troef:

- stroefheid door het gebruik van kwalitatieve granulaten; een verbeterde vlakheid omwille van de dunnere top laag;
- een vermindering van het rolgeluid door een optimale uitgewassen textuur;
- en indien gewenst, een decoratief uitzicht door het gebruik van gekleurde mortel en/of stenen aan het oppervlak.

In de meeste Europese landen wordt tweelaags uitgewassen en gedeuveld platenbeton toegepast voor de aanleg van autosnelwegen in beton. België heeft dan weer een grote knowhow op vlak van tweelaags doorgaand gewapend beton.

In het kader van de EU politiek m.b.t. een klimaatneutrale omgeving tegen 2050 en de noodzaak van een circulaire economie, bieden tweelaagse betonverhardingen heel wat kansen voor de toekomst.



Tweelaagse uitvoering met twee geïntegreerde glijbekistingmachines (© Wirtgen)

BIBLIOGRAFIE

1. BEELDENS A., BOONEN E. , Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. Fotokatalyse: de luchtzuiverende weg. Belgisch Wegencongres, Luik, 2013
2. BEELDENS A., VYNCKIER B., LAMBERT G., BALFROID N. Two case studies of two lift CRCP on Belgian highways: the open tunnel on the E34 and the ring road of Couvin (E420). 13th International Symposium on Concrete Roads, Berlin, Germany, 2018
3. BERNACCHIO A., Wirtgen GmbH. Slipform paving – Two lift concrete pavement construction. First Concrete Roads Congress and Exhibition, Ankara, Turkey, 13-14 November 2019
4. BEROEPSVEREENIGING DER FABRIKANTEN VAN KUNSTMATIG PORTLAND CEMENT IN BELGIË. Beton van kunstmatig Portland cement. Toegangswegen. Voetpaden. Tuinwegen. Brussel, 1928
5. CABLE J., Iowa State University. Reassessing two-lift paving. Tech transfer summary, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa, U.S., September 2004
6. CABLE J.K., FRENTRESS D.P. Two lift Portland cement concrete pavements to meet public needs. Technical Report, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Iowa, U.S., September 2004
7. CHAVET J.K., LEFEBVRE G., MANOUVRIER J., ROEGIES M. Oppervlakbehandeling van cementbetonverhardingen. Chemisch uitwassen. Artikel in tijdschrift De Wegentechniek Nr. 4/1982
8. DUTRON R., DESPA E. La route en béton en Belgique. 15 années d'expérience. Conclusions – Propositions. Bulletin technique N° 7. Premier Congrès national de la Route, Liège, 1930
9. HOOKER K.A. How about a (second) lift ? Article in Concrete Construction, www.concreteconstruction.net, March 2011
10. RENS L., VAN WIJNENDAELE I., Tweelaags DGB met hergebruik van betonpuin in de onderlaag: ervaringen op de E34 te Zwijndrecht. Belgisch Wegencongres, Gent, 2009
11. RENS L., DE KOKER G., GROENEN N., COVEMAERKER F., SCHARLAEKENS S. Comparison of two rehabilitation worksites of motorways: single versus double layered CRCP. 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, Czech Republic, 2014
12. RENS L. Wegen en buitenverhardingen in platenbeton. FEBELCEM, Brussel, 2015
13. SNELL L.M., SNELL B.G., Concrete Construction Resource Unit. Oldest concrete street in the United States. Article in Concrete International Magazine, March 2002
14. SOMMER H., Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie. The Austrian experience with concrete pavements. Jornades sobre pavimentos de hormigon, Alicante, ES, 1999
15. VAN DE CRAEN H., Colas, VAN AUDENHOVE P. , OCCN-CRIC. Sierbetonverharding van het Sint-Jansplein te Antwerpen. Belgisch Wegencongres, Genval, 2001.
16. VERHOEVEN K. Gedrag van doorlopend gewapend beton. OCCN, Brussel, 1992

(foto backcover: © CIMBETON)



I-12

Dit bulletin is een publicatie van
FEBELCEM
Federatie van de Belgische Cementnijverheid
Vorstlaan 68 b11 - 1170 Brussel
tel. 02 645 52 11
www.febelcem.be
info@febelcem.be

Auteur: ir. L. Rens (FEBELCEM)

Foto's: FEBELCEM (tenzij anders vermeld)

Wettelijk depot:
D/2020/0280/05

V. u. :
H. Camerlynck

infobeton.be

