



## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur



## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

	Woord vooraf	4
1.	Inleiding	5
2.	Bestanddelen	6
	2.1 Granulaten	6
	2.1.1 Kleur	6
	2.1.2 Andere kenmerken	8
	2.2 Bindmiddelen	10
	2.2.1 Pigmenteerbare bindmiddelen	10
	2.2.2 Kenmerken van pigmenteerbare bindmiddelen	11
	2.2.3 Keuze van pigmenteerbare bindmiddelen in een asfaltverharding	12
	2.3 Pigmenten	12
	2.3.1 Aard en kleur van pigmenten	12
	2.3.2 Verpakkingen van pigmenten	14
	2.3.3 Pigmentgehalte	15
	2.3.4 Andere kenmerken	15
	2.3.4.1 Korrelverdeling	16
	2.3.4.2 Relatief kleurend vermogen	16
	2.3.4.3 Thermische stabiliteit	16
3.	Mengselontwerp	18
	3.1 Keuze van het mengseltype en eisen	18
	3.2 Mengselontwerp	20
	3.3 Prestatieproeven	24
4.	Bereiding in de asfaltmenginstallatie	27
5.	Verwerking op de bouwplaats	29
	5.1 Plan en methodiek voor de verwerking	29
	5.2 Voorbereiding van de ondergrond en keuze van de kleeflaag	29
	5.3 Netheid van het materieel en regels voor werkverkeer	30
	5.4 Aanvoer op de bouwplaats	31
	5.5 Verdichting	31
	5.6 Naadbehandeling	31
	5.7 Openstelling van de asfaltverharding voor verkeer	32

6.	Bepaling van de kleur	33
6.1	Kleurperceptie	33
6.2	$L^*a^*b^*$ -kleurenruimte	34
6.3	Spectrofotometers	35
6.1.1	Spectrofotometer type $45^\circ/0^\circ$	36
6.1.2	Spectrofotometer type $d/8^\circ$	36
6.1.3	Vergelijking	37
6.4	Meetmethoden	37
6.4.1	Meetmethode voor kernen	37
6.4.2	Meetmethode voor bouwplaatsen	37
6.4.2.1	Meetmethode voor wegen, fiets- en voetpaden	37
6.4.2.2	Meetmethode voor pleinen	38
	Vooruitzichten	39
	Normatieve documenten	39
	Referenties	40

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

### ► Woord vooraf

#### Inhoud van het dossier



Bron: Les Matériaux enrobés du Tournaisis (LMET)

Voor gekleurde asfaltmengsels moeten meestal bijzondere materialen zoals gekleurd steenslag, pigmenten en pigmenteerbare bindmiddelen worden gebruikt. Deze materialen hebben een niet geringe invloed op de mengselprestaties en er moet dus rekening mee worden gehouden om goed presterende, duurzame asfaltmengsels te verkrijgen. Ook moet bijzondere aandacht worden besteed aan de bereiding en het aanbrengen van gekleurd asfalt.

Dit dossier handelt over een aantal specifieke aandachtspunten voor verhardingen van gekleurd asfalt. Het geeft praktische aanbevelingen voor de keuze van de materialen, voor het mengselontwerp en voor de uitvoering van een goed presterende, (mechanisch) duurzame verharding van gekleurd asfalt.

Andere punten – zoals kleurduurzaamheid, waarover het OCW momenteel een studie verricht – worden hier niet behandeld. Enkel het meten van de kleur van een gekleurde asfaltverharding komt in dit dossier eveneens aan bod.

#### Dankbetuiging

Onze dank gaat uit naar het Bureau voor Normalisatie (NBN) voor de financiële steun (overeenkomst CC-CCN PN/NBN-707-757-907) en naar de exploitanten van steengroeven en de producenten van bindmiddelen, pigmenten en asfaltmengsels die ons nuttige informatie voor dit dossier bezorgden. Ook zeggen wij dank aan de technische medewerkers van de betrokken OCW-afdeling en de leden van werkgroep BAC 6 "Gekleurde verhardingen", die de tekst aandachtig hebben nagelezen.

#### Auteurs

Nathalie PIERARD (coördinator – [n.pierard@brrc.be](mailto:n.pierard@brrc.be))  
Pierre-Paul BRICHANT  
Katleen DENOLF  
Alexandra DESTREE  
Joëlle DE VISSCHER  
Ann VANELSTRAETE  
Stefan VANSTEENKISTE

## ► 1. Inleiding

Gekleurde bitumineuze verhardingen worden steeds vaker toegepast voor wegen en openbare ruimten, in het bijzonder in stedelijke gebieden. Het doel is meestal de zichtbaarheid te verbeteren en een begrijpelijk wegbeeld te creëren, om de veiligheid van de weggebruikers te verhogen. Voorts maken zij een harmonieuze inpassing van de verharding in de omgeving mogelijk of helpen zij een openbare ruimte met een eigen karakter te creëren. Ze worden dan ook voornamelijk toegepast voor fietspaden, voor gevaarlijke verkeersknooppunten (kruispunten, rotondes, voetgangersoversteekplaatsen, enz.) of voor de inrichting van grote openbare ruimten.

Er worden vier soorten van gekleurde bitumineuze verhardingen onderscheiden:

- verhardingen van **gekleurd asfalt**. Asfalt is een mengsel van granulaten (zand en steenslag), vulstof en bitumen, dat in een menginstallatie wordt bereid en vervolgens op bouwplaats wordt gespreid en verdicht. Gekleurde asfaltverhardingen kunnen worden verkregen met behulp van een of meer specifieke materialen zoals gekleurde granulaten, pigmenteerbare bindmiddelen en/of pigmenten;
- verhardingen van **gekleurd gietasfalt**. Gietasfalt wordt bij zeer hoge temperatuur bereid en verwerkt. Het bevat meer bindmiddel en vulstof dan klassiek asfalt en hoeft niet te worden verdicht. Gekleurd gietasfalt wordt verkregen door pigmenten toe te voegen en dit al of niet te combineren met gebruik van een pigmenteerbaar bindmiddel;
- **gekleurde slems** en **bestrijkingen**. Slems en bestrijkingen worden in dunne of zeer dunne lagen als oppervlakbehandeling toegepast. Een slem is een ter plaatse bereid en onmiddellijk verwerkt mengsel van bitumenemulsie, granulaten, water, cement en andere additieven. Een gekleurde slem wordt verkregen met behulp van gekleurde granulaten, een emulsie met pigmenteerbaar bindmiddel en een kleine hoeveelheid pigment. Gekleurde bestrijkingen zijn meestal eenlaagse bestrijkingen (uitgevoerd door afstrooien en walsen van één laag steenslag na sproeien van een emulsielaag). In België worden doorgaans gekleurde, niet-voormulde stenen en een bitumenemulsie toegepast. Het is niet nodig een emulsie met pigmenteerbaar bindmiddel te gebruiken, omdat de kleur van de bestrijking wordt verkregen door het mozaïek van de stenen aan het oppervlak.

Zoals eerder gemeld, handelt dit dossier over de specifieke punten voor verhardingen van gekleurd asfalt – van de keuze van de bestanddelen over het mengselontwerp, de bereiding en de verwerking tot het meten van kleur. De andere soorten van gekleurde bitumineuze verhardingen vallen buiten het bestek van dit dossier. Voor de keuze van de soort van gekleurde bitumineuze verharding wordt verwezen naar OCW-publicatie *Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies* (OCW A78/06) [1]. Deze keuze dient immers op dezelfde wijze als voor klassiek asfalt te worden gemaakt.

## Gekleurde asfalmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

### ► 2. Bestanddelen

Gekleurd asfalt onderscheidt zich van klassiek asfalt door de kleur. Asfalt kan worden gekleurd door middel van bijzondere bestanddelen zoals gekleurde granulaten, pigmenten of pigmenteerbare bindmiddelen. Door twee of drie van de voornoemde bijzondere bestanddelen toe te passen, wordt een verharding van de gewenste kleur verkregen.

Hierna worden de kenmerken van deze bijzondere bestanddelen beschreven, om de juiste keuze te kunnen maken.

#### 2.1 Granulaten

Bij het mengselontwerp van gekleurd asfalt worden stenen gekozen:

- met een kleur die de gewenste kleur van de verharding zo dicht mogelijk benadert (§ 2.1.1 *Kleur*);
- die voldoen aan de voorschriften in de gewestelijke standaardbestekken en de bepalingen in NBN EN 13043 (§ 2.1.2 *Andere kenmerken*).

##### 2.1.1 Kleur

De keuze van de kleur van de granulaten voor gekleurd asfalt is zeer belangrijk, om de kleurduurzaamheid en de gunstige evolutie van de tinten in de tijd te waarborgen. Voor gekleurd asfalt kunnen dezelfde granulaten als voor klassiek asfalt worden toegepast (zandsteen, porfier, enz. met meestal een blauwe of grijze kleur). Onder invloed van het weer (regen, zon, enz.) en voertuigverkeer [2, 3] verdwijnt echter geleidelijk de mastiekfilm aan het oppervlak van de stenen, waardoor de korrelvormige materialen komen bloot te liggen en het esthetische aanzien op termijn mogelijk niet meer voldoet. Dit geldt vooral voor asfalmengsels met een steenskelet, zoals *béton bitumineux très mince* (BBTM) en steenmastiekasfalt.

Het is dan ook aan te bevelen granulaten te kiezen die de gewenste kleur van de verharding zo dicht mogelijk benaderen. Als dat niet kan, worden bij voorkeur granulaten met een lichte kleur (beige, wit) gekozen, om een zo neutraal mogelijk effect te bereiken [4].

Naargelang van de gewenste verhardingskleur worden de hiernavolgende granulaten aanbevolen (figuur 1):

- voor een **rode verharding** worden bij voorkeur rode, oranjegele, lichtrode of zelfs bruine granulaten gekozen. Bruine granulaten zijn geschikter voor rood asfalt met pigmenteerbaar bitumen (§ 2.2 *Bindmiddelen*), omdat deze mengsels resulteren in een donkerrode tot bruine kleur;
- voor een **lichtgekleurde verharding (geel, beige, wit)** worden het best granulaten met dezelfde of een gelijksoortige kleur (bruin, oker, wit) als de gewenste asfaltkleur gebruikt;
- voor een **okerkleurige verharding** verdienen beige, oranjebeige of, als de twee voormelde tinten niet beschikbaar zijn, bruine granulaten de voorkeur;
- een **grijze verharding** kan worden verkregen door licht- of donkergrijze of licht- of donkerblauwe granulaten toe te voegen, naargelang van de gewenste grijs tint van de verharding;

- als een **blauwe verharding** gewenst is, dienen blauwe of grijze granulaten te worden toegepast. De keuze van de lichte of donkere variant van deze kleuren hangt van de gewenste blauwtint van de verharding af;
- een **groene verharding** wordt verkregen door groenachtige stenen of blauwe stenen met groene schakeringen toe te passen.

Op te merken valt dat de laatstgenoemde twee kleuren in België weinig toepassing vinden, wegens de hoge huidige kostprijs van blauwe en groene pigmenten.



**Figuur 1** – Voorbeelden van gekleurde granulaten, geschikt voor de vervaardiging van gekleurde bitumineuze verhardingen

Uit economisch en milieutechnisch oogpunt dient rekening te worden gehouden met de plaatselijk beschikbare materialen. In België is de bodem rijk aan rotsgesteente [5,6] en kunnen granulaten van diverse oorsprong worden ontgind. We onderscheiden:

- (gebroken) materiaal uit steengroeven van diverse aard:
  - porfier (ook microdioriet genoemd);
  - zandsteen;
  - kalksteen;
  - silex;
  - kwartsiet;
  - kwarts;

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

- (aangeslibd) materiaal van siliceuze of kalkhoudende siliceuze aard. Aangeslibd of alluviaal materiaal wordt ontgind uit:
  - rivieren of oude rivierarmen, voornamelijk in de provincie Limburg (maasgrind);
  - de zeebodem (zee- of mariene granulaten).

Granulaten komen in een gevarieerd kleurengamma voor. Op grond van een (kwalitatieve) visuele indeling [7] worden de volgende kleuren onderscheiden: zwart, grijs (donkergrijs, blauwachtig grijs, roodbruin, roodachtig grijs), blauw, wit, groen, okerbruin en wit (gemengd)<sup>1</sup>, rood en geel.

De winplaatsen van afzettingsgesteenten (zand- en kalksteen) waaruit granulaten worden geproduceerd, kunnen kleurheterogeniteit vertonen, die van de ene formatie tot de andere kan verschillen. Dit geldt typisch in grotere mate voor zand- dan voor kalksteen. Winplaatsen van stollingsgesteenten (porfier) zijn dan weer betrekkelijk homogeen wat kleur betreft.

Momenteel bevat enkel het Waalse standaardbestek *CCT Qualiroutes* (versie 2013) voorschriften voor de chromaticiteit ( $a^*$ ,  $b^*$ ) en de helderheid ( $L^*$ ), waaraan granulaten voor gekleurd asfalt moeten voldoen [8] (§ 6. *Bepaling van de kleur*).

### 2.1.2 Andere kenmerken

Gekleurde granulaten voor gekleurd asfalt moeten niet alleen de gewenste kleurkenmerken vertonen, ze moeten ook in de eerste plaats aan de eisen in de gewestelijke standaardbestekken voldoen en bijgevolg in overeenstemming zijn met de voornoemde NBN EN 13043 en een CE-markering dragen. Het betreft met name de eisen voor:

- **geometrische kenmerken:** korrelmaat, korrelverdeling, vlakheidsindex, gehalte aan fijne bestanddelen, enz.;
- **fysische kenmerken:** weerstand tegen verbrijzeling, slijtvastheid, polijstweerstand, enz.;
- **chemische kenmerken:** chemische en mineralogische samenstelling, enz.

De voornoemde kenmerken zijn dezelfde als voor klassiek asfalt en zijn noodzakelijk om de prestaties van het asfaltmengsel te waarborgen, vooral op het vlak van duurzaamheid en van veiligheid voor de weggebruikers. De esthetische kwaliteit van gekleurd asfalt (keuze van de juiste kleur van het granulaat – § 2.1.1 *Kleur*) en de fysisch-chemische en/of geometrische kenmerken van gekleurd korrelvormig materiaal zijn echter niet altijd gemakkelijk verenigbaar [9], vooral als de asfaltverharding zware verkeersbelastingen of tangentiële krachten ondergaat.

De grootste twee problemen die zich momenteel aandienen, zijn:

1. **de moeilijkheid om in België granulaten met een egaal lichte (gele, beige of witte)<sup>2</sup> of roze/rode kleur te vinden** die voldoen aan de fysische en/of geometrische eisen in de gewestelijke standaardbestekken. Die eisen kunnen zijn:

- **een minimaal polijstgetal voor bepaalde verkeersklassen** (PSV<sub>50</sub>, wat betekent dat het polijstgetal gelijk aan of groter dan 50 moet zijn). Deze eis is moeilijk haalbaar voor granu-

<sup>1</sup> Deze tint komt het vaakst voor bij maas- en zeegrind.

<sup>2</sup> Maas- en zeegranulaten komen wel in die kleur voor, maar in mengvorm.



laten met een lichte kleur (geel, beige, wit) zoals zandsteenhoudende kalksteen of leisteenhoudende zandsteen, evenals voor granulaten met een roze/rode kleur zoals marmer;

- **de gebruikelijke korrelklassen voor de bereiding van asfaltmengsels.** De meeste granulaten met een lichte, roze/rode kleur zijn niet beschikbaar in de korrelklassen die de standaardbestekken eisen. Ze worden immers vaak voor decoratieve toepassingen (bijvoorbeeld privépaden) geproduceerd, die buiten het toepassingsgebied van NBN EN 13043 vallen. Zo kunnen bepaalde soorten van granulaten beschikbaar zijn in de respectieve korrelklassen 5/15 of 4/8, maar niet in de korrelklasse 4/6,3 die SB 250 (versie 2.2) eist.

Als oplossing zouden conforme granulaten met een lichte of rode kleur uit het buitenland kunnen worden ingevoerd. De geometrische en fysische kenmerken (en de bijbehorende toleranties) voldoen echter niet noodzakelijk aan de Belgische voorschriften. Wat de geometrische kenmerken in het bijzonder betreft, valt op te merken:

- dat voor korrelklassen soms een andere codering (d/D) wordt gehanteerd. Naast de basisreeks zeven heeft elk land immers voor een zevenset van serie 1 of serie 2 geselecteerd. Naargelang van de gekozen serie wordt dan bijvoorbeeld van korrelklasse 6,3/10 (serie 2) of 8/11 (serie 1) gesproken. België heeft voor de basisreeks plus serie 2 gekozen, maar Duitsland en Nederland bijvoorbeeld voor de basisreeks plus serie 1;
- dat steenslag voor bitumineuze mengsels in België moet overeenstemmen met categorie f2 (gehalte aan fijne bestanddelen kleiner dan of gelijk aan 2 %). In ons land is het namelijk gebruikelijk de granulaten te wassen, wat bijvoorbeeld in Frankrijk niet het geval is. Het maximale gehalte aan fijne bestanddelen in ingevoerde gekleurde granulaten dient dan ook te worden geverifieerd;

2. de mogelijk **mindere adhesie tussen bindmiddel en gekleurde granulaten** waarvan de chemische kenmerken een hoog gehalte aan ijzeroxide<sup>3</sup> of bepaalde kiezelhoudende mineralen<sup>4</sup> aantonen.

Bij de bereiding van gekleurd asfalt met granulaten met een uitgesproken kleur (dit wil zeggen met een hoog gehalte aan ijzeroxide of bepaalde kiezelhoudende mineralen) is het aan te bevelen vooraf de affiniteit tussen granulaat en bitumen te bepalen volgens § 7 *Onthulling in kokend water* in NBN EN 12697-11. Als de gemeten affiniteit problematisch is, dient een geschikte vulstof te worden gekozen of een adhesieverbeteraar te worden toegevoegd.

---

<sup>3</sup> Rood zandsteen of rood porfier uit Frankrijk zijn voorbeelden van granulaten met een hoog ijzeroxidegehalte.

<sup>4</sup> Deze mineralen zijn bijvoorbeeld kwarts, veldspaat en epidoot. Ze komen voor in granulaten zoals kwartsiet, porfier, enz.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

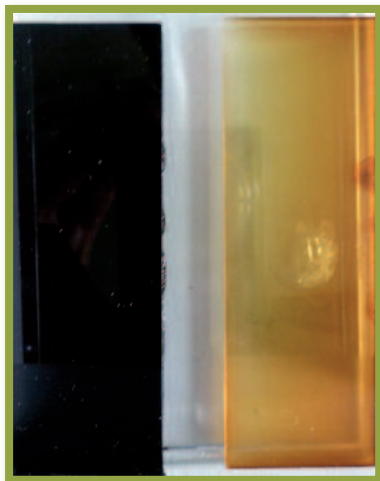
### 2.2 Bindmiddelen

#### 2.2.1 Pigmenteerbare bindmiddelen

Bij de bereiding van een gekleurd asfaltmengsel zal de producent veelal gebruik dienen te maken van een ander type bindmiddel dan "klassiek" zwart bitumen om het beoogde resultaat qua kleur optimaal te realiseren. Pigmenteerbare bindmiddelen zijn in dit verband een must.

Pigmenteerbare bindmiddelen kunnen worden onderverdeeld in een drietal verschillende families:

- pigmenteerbaar bitumen;
- kleurloze synthetische bindmiddelen (al of niet polymeergemodificeerd);
- vegetale (bio)bindmiddelen.



**Figuur 2** – Illustratie van een "klassiek" bitumen (links) en een pigmenteerbaar bindmiddel (rechts) (plaatjes die door Shell ter beschikking van het OCW zijn gesteld)

Pigmenteerbaar bitumen is een bitumineus bindmiddel dat arm is aan asfalteneen: ongeveer 5 %, in plaats van 15 % voor "klassiek" bitumen. Het wordt uit specifieke *crudes* die reeds arm zijn aan asfalteneen verkregen door een bijkomende stap in het bitumenproductieproces, die "de-asfalteneen" wordt genoemd. Asfalteneen, die de onoplosbare bitumenfractie in warm n-heptaan vormen, zijn zeer geoxideerde bestanddelen met een moleculaire massa tussen  $\pm 1\ 000 - 10\ 000\ \text{gmol}^{-1}$ . Zij absorberen in aanzienlijke mate zichtbaar licht, waardoor de "zwarte" kleur van bitumen ontstaat. Het residuale gehalte aan asfalteneen beperkt echter in de praktijk het toepassingsgebied van pigmenteerbaar bitumen tot donkerrode asfaltverhardingen, waarvoor bovendien een hoog gehalte aan pigment nodig is (in casu rood ijzeroxide). De intrinsieke bruine kleur van pigmenteerbaar bitumen (figuur 2) verhindert een optimaal kleureffect indien andere dan roodbruine verhardingen worden beoogd.

Kleurloze synthetische bindmiddelen op basis van petroleumderivaten bevatten geen asfalteneen en lenen zich daarvoor, met behulp van diverse pigmenten (§ 2.3 *Pigmenten*), tot het verkrijgen van een brede waaier aan gekleurde verhardingen.

Aan kleurloze bindmiddelen kunnen al dan niet extra polymeren zijn toegevoegd, om de prestaties ervan in een asfaltmengsel te verhogen. In dit laatste geval spreekt men over een kleurloos polymeergemodificeerd synthetisch bindmiddel.

Vegetale bindmiddelen worden grotendeels verkegen uit natuurlijke hernieuwbare bronnen zoals transparante plantaardige harsen en/of vegetale oliën, bijvoorbeeld koolzaad- of zonnebloemolie, hout, biomassa, enz. Op te merken valt dat vegetale bindmiddelen in België weinig worden toegepast in vergelijking met pigmenteerbaar bitumen of kleurloze synthetische bindmiddelen, wegens hun kostprijs of intrinsieke kenmerken (§ 2.2.2 *Kenmerken van pigmenteerbare bindmiddelen*).

Om gekleurde verhardingen met een optimaal kleureffect te realiseren (bijvoorbeeld met een hoge helderheid of waarbij de natuurlijke kleur van de granulaten maximaal tot uiting wordt gebracht), is het aan te bevelen gebruik te maken van kleurloze synthetische of vegetale bindmiddelen.

Het OCW beschikt over een lijst van pigmenteerbare bindmiddelen die door producenten/leveranciers in België op de markt worden aangeboden. Deze niet-exhaustieve lijst dient enkel als leidraad voor aannemers bij de keuze van een pigmenteerbaar bindmiddel.

### 2.2.2 Kenmerken van pigmenteerbare bindmiddelen

Pigmenteerbare bindmiddelen zijn relatief nieuwe materialen, waarmee in de praktijk slechts beperkte ervaring bestaat. Het is dan ook aan te bevelen steeds oog te hebben voor de specifieke kenmerken en/of de prestaties van deze bindmiddelen. Een aantal aandachtspunten is onderstaand aangegeven:

- de reologische kenmerken die verband houden met de prestaties bij zowel hoge als lage temperatuur. Het betreft in het bijzonder de bepaling van de complexe afschuifmodulus  $G^*$  en de fasehoek  $\delta$  van de bindmiddelen bij verschillende temperaturen aan de hand van DSR-metingen volgens NBN EN 14770 en de bepaling van de kritische temperaturen aan de hand van de BBR-proef volgens NBN EN 14771 waarbij  $S(60s) = 300$  MPa en  $m(60s) = 0,3$ . Recent onderzoek heeft aangetoond dat erg lage  $G^*$ -waarden bij 50 °C en 1,6 Hz (bijvoorbeeld in het geval van vegetale bindmiddelen) kunnen worden gerelateerd aan het risico op blijvende vervorming, terwijl hoge kritische temperaturen van bindmiddelen tot uiting kwamen in TSRST-proeven volgens NBN EN 12697-46 (gevoeligheid voor lagetemperatuurscheurvorming) [10];
- vegetale bindmiddelen kenmerken zich vaak door een lagere viscositeit dan "klassiek" wegenbitumen, waardoor de asfaltproductie bij een verlaagde temperatuur (tot 50 °C lager dan de gebruikelijke 160 °C) kan plaatsvinden. Een nadeel echter is de mogelijk aanzienlijke evolutie in de tijd (*curing time*) van de bindmiddeleigenschappen (bijvoorbeeld stijfheidstoename gedurende een periode van 60 dagen [11]). Bovendien kunnen vegetale bindmiddelen na verloop van tijd een hogere brosheid vertonen dan klassieke bitumina, waardoor het risico op scheurvorming toeneemt;
- pigmenteerbare bindmiddelen worden niet alleen in bulk aangeleverd zoals conventionele bitumina, maar ook verpakt in kleine zakken met smeltbare folie of in vaten. Het is echter belangrijk de richtlijnen van de leverancier met betrekking tot de productietemperatuur van het gekleurde asfalt steeds in acht te nemen. Verpakkingen in smeltbare zakken hebben immers een temperatuur van 160-180 °C nodig, om afdoende versmelting van de folie te bewerkstelligen. Anderzijds dienen maximale mengtemperaturen te worden gerespecteerd om de prestaties van het pigmenteerbare bindmiddel en bijgevolg de duurzaamheid van het gekleurde asfaltmengsel te kunnen garanderen;
- ten slotte is het in de context van veilig omgaan met of gebruik van pigmenteerbare bindmiddelen steeds raadzaam kennis te nemen van alle inlichtingen die de producent/leverancier de gebruiker door middel van een productkaart en veiligheidsinformatiebladen (MSDS-fiches) ter beschikking stelt.

De standaardbestekken in Vlaanderen en het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest bevatten voorschriften voor zowel pigmenteerbaar bitumen als kleurloze (al of niet polymeergemodificeerde)

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

bindmiddelen (SB 250 versie 2.2, en TB 2011). In Wallonië zijn enkel voor kleurloze (al of niet polymeregemodificeerde) bindmiddelen specificaties van kracht (sinds 1 oktober 2013 zijn pigmenteerbare bitumineuze bindmiddelen immers niet meer in *CCT Qualiroutes* opgenomen). Op Europees niveau (CEN TC336 WG1) werd in 2011 beslist voorlopig geen productnorm voor pigmenteerbare bindmiddelen op te stellen. Niettemin is het aangewezen om niet alleen voor de eisen in de standaardbestekken aandacht te hebben, maar ook voor het prestatiegedrag bij hoge en lage temperatuur (reologische kenmerken).

### 2.2.3 Keuze van pigmenteerbare bindmiddelen in een asfaltverharding

De geschikte keuze van pigmenteerbaar bindmiddel naargelang van het beoogde toepassingsgebied hangt in grote mate van de reologische eigenschappen van het bindmiddel af (zie eveneens hoofdstuk 9 van OCW-handleiding A78/06 [1]). Hierbij worden pigmenteerbare bitumineuze bindmiddelen aanbevolen voor gekleurde verhardingen van fietspaden, voetgangerszones, sportterreinen en plaatselijke wegen met weinig verkeer, terwijl kleurloze synthetische bindmiddelen eveneens kunnen worden aangewend bij stedelijke wegen met druk maar licht verkeer. Kleurloze synthetische bindmiddelen waaraan polymeren werden toegevoegd, zijn daarenboven ook geschikt voor stedelijke wegen met niet te druk zwaar verkeer. De vegetale bindmiddelen die vandaag beschikbaar zijn, vertonen vaak een erg lage viscositeit en worden daarom bij voorkeur toegepast bij wegen met weinig en licht verkeer of in stedelijke omgevingen zoals voetgangerszones.

## 2.3 Pigmenten

Voor een goede kleurduurzaamheid en een gunstige evolutie van de tinten in de tijd zijn de aard (§ 2.3.1 *Aard en kleur van pigmenten*), de vorm en verpakking (§ 2.3.2 *Verpakkingen van pigmenten*), de dosering (§ 2.3.3 *Pigmentgehalte*) en de kenmerken van pigmenten (§ 2.3.4 *Andere kenmerken*) zeer belangrijk. Er zijn tal van pigmenten op de markt, maar slechts een klein aantal voldoet voor gekleurd asfalt.

### 2.3.1 Aard en kleur van pigmenten

We onderscheiden organische en anorganische pigmenten. Deze laatste worden ook minerale pigmenten genoemd. In vergelijking met organische pigmenten zijn de meeste anorganische pigmenten stabiel [12]:

- bij de bereidings- en verwerkingstemperaturen van asfalt;
- bij de inwerking van chemische agentia (zuren, basen);
- onder invloed van licht (ultraviolette straling);
- onder invloed van weersomstandigheden.

De beschikbare anorganische pigmenten kunnen van natuurlijke of synthetische oorsprong zijn. In vergelijking met natuurlijke anorganische pigmenten zijn synthetische anorganische pigmenten zuiver van kleur, met een goed kleurend vermogen en constante kenmerken (§ 2.3.3 *Pigmentgehalte*). Bij natuurlijke anorganische pigmenten is vooral het kleurend vermogen minder uitgesproken.

Om deze belangrijke redenen is het dan ook aan te bevelen voor gekleurd asfalt synthetische minerale pigmenten toe te passen [13]. Ze zijn beschikbaar in een breed kleurengamma (tabel 1) en kunnen afzonderlijk of als mengsels worden toegepast voor de bereiding van gekleurd asfalt in allerlei duurzame tinten. Ze moeten voldoen aan de eisen van NBN EN 12878. Producenten steunen op deze Europese norm voor de productiecontrole om de overeenkomstigheid van hun product te beoordelen (§ 6. *Bepaling van de kleur*).

Kleur	Chemische formule	Benaming	Courante gebruiksnaam
Rood	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Hematiet	Rood ijzeroxide
Bruin <sup>5</sup>	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Maghemiet	Bruin ijzeroxide
Geel	$\alpha\text{-FeOOH}$	Goethiet	Geel ijzeroxide
Zwart	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Magnetiet	Zwart ijzeroxide
Wit	$\text{TiO}_2$	Titaanoxide in anataasvorm Titaanoxide in rutielvorm	Titaandioxide
Blauw	$\text{CoO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	Kobaltaluminaat	Kobaltblauw
Groen	$\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$	Chromoxide	Groen chromoxide

Tabel 1 – Beschikbaar kleurengamma [14] voor minerale pigmenten<sup>6</sup>

Tabel 1 geeft een overzicht van de voornaamste zeven minerale pigmenten voor gekleurd asfalt (figuur 3):

- rode, gele, bruine en zwarte pigmenten op basis van ijzeroxide;
- witte pigmenten zoals titaandioxide. Ze worden gebruikt om de kleur van asfaltmengsels te stabiliseren [15, 16] of te verhelderen, of om verhardingen met een beige of witte kleur te realiseren. Titaandioxide bestaat in twee kristallijne vormen [17], die op industriële schaal worden geproduceerd: een rutiel- en een anataasvorm<sup>7</sup>. Voor gekleurd asfalt:
  - is de stabielere rutielvorm<sup>8</sup> aan te bevelen. Deze vorm is beter bestand tegen weersinvloeden en bezit een groter kleurend en dekkend vermogen;



Figuur 3 – Voorbeelden van minerale pigmenten (in poedervorm) die geschikt zijn voor de vervaardiging van gekleurd asfalt

<sup>5</sup> Er bestaan ook "bruine" pigmenten, die in feite een mengsel zijn van  $\alpha\text{-FeOOH}$  en/of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  met  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

<sup>6</sup> Er bestaan ook pigmentmengsels met bijvoorbeeld een beige, grijze of andere kleur.

<sup>7</sup> De rutielvorm wordt verkregen door het materiaal in anataasvorm (in normale omstandigheden) te verwarmen tot boven 700 °C.

<sup>8</sup> Visueel is de rutielvorm geelachtiger dan de anataasvorm.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

- is de anataasvorm af te raden. Door de fotokatalytische eigenschappen van die vorm kan bij inwerking van licht (ultraviolette straling) de afbraak van het bindmiddel worden geactiveerd;
- blauw pigment. Dit is een van de duurste kleurstoffen op de markt. Bij toepassing van blauw pigment is een patina van gemiddeld drie maanden nodig om de gewenste eindkleur te bereiken. Van zeer donker tot haast zwart wordt de kleur geleidelijk lichter;
- groen pigment. Deze kleur valt zeer goed op, maar is redelijk duur.

### 2.3.2 Verpakkingen van pigmenten

Pigmenten worden in de volgende verpakkingen op de markt gebracht:

- **bulkpoeder.** Uit gezondheids- en veiligheidsoverwegingen voor de gebruikers (stofvorming bij handmatige toevoer van pigment aan de asfaltmenginstallatie) wordt bulkpoeder weinig toegepast;
- **poeder in smeltbare zakken.** De zakken, meestal van polyethyleen met een smeltemperatuur van 130 °C tot 140 °C, worden als zodanig aan de asfaltmenginstallatie toegevoerd. In deze vorm kan het pigment gemakkelijker en nauwkeuriger worden gedoseerd en er is minder stofvorming. De verenigbaarheid tussen de minimale smeltemperatuur van de zakken en de productietemperatuur van het gekleurde asfalt dient te worden nagegaan;
- **pigmentpasta.** Na dispersie van het pigment in een met het bindmiddel verenigbare omgeving wordt het mengsel in een smeltbare zak overgebracht. In België zou deze vorm niet worden toegepast;
- **met polymeer omhulde korrels** (bijvoorbeeld het copolymeer ethyleenvinylacetaat – EVA), in bulk of in smeltbare zakken (figuur 4). Deze vorm maakt een nauwkeurigere dosering en een lager pigmentgehalte (wegens groter kleurend vermogen dan poeder – § 2.3.4.2 *Relatief kleurend vermogen*) mogelijk en vereist minder reinigingswerk na de productie. Korrels zijn echter duurder dan poeder in bulk of in smeltbare zakken. Voor een optimale dispersie in het mengsel dient een minimale mengtemperatuur te worden bereikt. Voor de bereiding van gekleurd asfalt zijn dan ook bepaalde aanpassingen noodzakelijk (§ 4. *Bereiding in de asfaltmenginstallatie*).



**Figuur 4** – Voorbeelden van minerale pigmenten (in de vorm van met polymeer omhulde korrels) die geschikt zijn voor de vervaardiging van gekleurd asfalt

Bij het opstellen van dit dossier is pigmentpoeder in smeltbare zakken de meest gebruikelijke vorm in België.

### 2.3.3 Pigmentgehalte

De pigmentgehalten hangen van de gewenste asfaltkleur, de kleur van het granulaat (§ 2.1.1 *Kleur*), de aard van het bindmiddel (§ 2.2 *Bindmiddelen*) en de verpakkingswijze (§ 2.3.2 *Verpakkingen van pigmenten*) af. De hierna vermelde percentages worden dan ook enkel als indicatie gegeven.

- Voor poeder in smeltbare zakken hangen de pigmentgehalten doorgaans van het toegepaste bindmiddel af.
  - Bij toepassing van klassiek zwart of pigmenteerbaar bitumen kan enkel rood pigment worden toegevoegd. Het aanbevolen gehalte aan rood ijzeroxide bedraagt gewoonlijk 3 tot 4 %.
  - Bij toepassing van lichtgekleurde bindmiddelen bedraagt het pigmentgehalte doorgaans 1 tot 2 %. Voor een lichtere kleur dient ten minste 0,5 % titaandioxide (wit pigment in rutielvorm) te worden toegevoegd. Wanneer men de natuurlijke kleur van de granulaten wenst te behouden, is het aan te bevelen 1 % titaandioxide (wit pigment in rutielvorm) toe te voegen, om de natuurlijke kleur nog beter tot haar recht te laten komen.
- Met polymeer omhulde pigmentkorrels hebben een groter kleurend vermogen, zodat voor de kleuring van asfalt een lager pigmentgehalte volstaat.

De aard en de dosering van het toegevoegde pigment hebben ook een invloed op het verstijvend vermogen van de mastiek (§ 3.2 *Mengselontwerp*).

### 2.3.4 Andere kenmerken

De kenmerken van het toegepaste pigment zijn zeer belangrijk voor de kwaliteit van het afgeleverde product. Ze moeten voldoen aan de eisen in de gewestelijke standaardbestekken en in NBN EN 12878. Bepaalde pigmentkenmerken zoals korrelverdeling, relatief kleurend vermogen en thermische stabiliteit zijn van essentieel belang en bepalend voor de uiteindelijke kenmerken van de gekleurde asfaltverharding.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

### 2.3.4.1 Korrelverdeling

De uiteindelijke asfaltkleur hangt van de kwaliteit van de pigmentdispersie in het asfaltmengsel af. Hoe homogener de dispersie, des te geslaagder de kleurintensiteit en -gelijkmatigheid van de verharding. Het dispersievermogen hangt voornamelijk van de maalfijnheid van het pigment en bijgevolg van de korrelverdeling af. Een korrelverdelingsanalyse kan worden verricht volgens de methode in ISO 787-7.

- Voor ijzeroxide (rood, geel, bruin, zwart) worden in NBN EN ISO 1248 drie graderingen volgens de zeefrest gespecificeerd (tabel 2).

Kenmerk	Gradering 1	Gradering 2	Gradering 3
Zeefrest (45 µm), in massapercenten	<i>Rood, geel, bruin, zwart</i>		
	≤ 0,01	> 0,01 en ≤ 0,1	> 0,1 en ≤ 1

*Tabel 2 – Gradering van ijzeroxidepigmenten (rood, geel, bruin, zwart)*

- Volgens NBN EN ISO 591-1 mag de zeefrest van titaandioxide ten hoogste 0,1 % bedragen voor de verschillende klassen van de twee kristallijne vormen.

### 2.3.4.2 Relatief kleurend vermogen

Het relatief kleurend vermogen van pigmenten kan worden geanalyseerd met de methode in NBN EN 12878. Hoewel het kleurend vermogen moeilijk met het blote oog te onderscheiden is, kan er wel degelijk een verschil zijn – met kleurverschillen in gekleurd asfalt als gevolg. Het relatief kleurend vermogen, dat voornamelijk van de aard en de korrelverdeling van het pigment afhangt, is zeer belangrijk. Het bepaalt de kleurintensiteit en -duurzaamheid en het vereiste pigmentgehalte. Hoe fijner de pigmentdeeltjes, des te groter het specifieke oppervlak. Er is dan minder pigment nodig om de gewenste kleur te bereiken.

### 2.3.4.3 Thermische stabiliteit

De thermische stabiliteit is een ander belangrijk kenmerk voor de bereiding en verwerking van gekleurd asfalt, vooral van asfalt met een grijze, beige of okerkleur waarbij gele of zwarte pigmenten dienen te worden toegepast.

Vanaf 180 °C kan de stabiliteit van gele en zwarte ijzeroxidepigmenten niet meer worden gegarandeerd. Ze transformeren onomkeerbaar in rood ijzeroxide [18]. Daardoor wijzigt de kleur van het asfalt. Het is dan ook aan te bevelen zeer waakzaam te zijn wanneer de bereidingstemperatuur 180 °C nadert of overstijgt, of bij direct contact tijdens de bereiding tussen het pigment en bij meer dan 180 °C verwarmde granulaten. Er bestaan gele pigmenten met chroom, cadmium of benzidine die tegen deze hoge temperatuur bestand zijn. De eerste twee bevatten echter schadelijke elementen voor de gezondheid en het derde zou kankerverwekkend zijn.



Bij verhoogde temperatuur doet zich bij bepaalde pigmenten zoals geel ijzeroxide bovendien een omkeerbare kleuromslag voor. Het verdient aanbeveling het uiteindelijke resultaat pas te beoordelen nadat de verharding tot de omgevingstemperatuur is afgekoeld (bijvoorbeeld de dag na de verwerking).

Andere pigmenten zoals rood ijzeroxide, groen chroomoxide of een pigmentmengsel (mangaan- of zinkferriet) bezitten een goede stabiliteit bij bereidingstemperaturen boven 180 °C.

Het OCW beschikt over een lijst van pigmenten voor de productie van gekleurd asfalt die door producenten/leveranciers in België op de markt worden aangeboden. Deze niet-exhaustieve lijst dient enkel als leidraad voor aannemers bij de keuze van pigmenten.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

### ▶ 3. Mengselontwerp

#### 3.1 Keuze van het mengseltype en eisen

Voor gekleurde toplagen gelden dezelfde aanbevelingen als voor niet-gekleurde toplagen (OCW A78/06) [1], met als enige nuance dat de esthetische kenmerken en de verwerkbaarheid zwaarder doorwegen in het keuzeproces.

Het mooiste resultaat wordt verkregen met mengsels die een fijne oppervlakttextuur vertonen. Dit geldt voor gesloten mengsels met een zandskelet en een kleine maximale korrelmaat, gewoonlijk 6,3 mm en hoogstens 10 mm. De korrelmaat beperkt bovendien de laagdikte, wat gezien de relatief hoge kostprijs van gekleurde mengsels ook een belangrijke beslissingsfactor is. Een mengsel dat zich gemakkelijk laat verwerken, ziet er egalier uit in zones waar men noodgedwongen moet overgaan van machinale naar manuele verwerking. Bij gekleurde toplagen is dat uiterst belangrijk, omdat deze overgangen meer opvallen.

Om de bovengenoemde redenen worden in België de meeste gekleurde toplagen voor wegen met weinig en licht verkeer in asfaltbeton (AB) uitgevoerd. Deze mengsels bieden het voordeel van een gemakkelijke verwerkbaarheid en verdichtbaarheid en een gelijkmatige oppervlakttextuur, die de kleur goed tot haar recht laat komen.

Voor wegen met zwaarder verkeer maakt men in Wallonië soms gebruik van het type *béton bitumineux très mince* (BBTM). Het standaardbestek CCT *Qualiroutes* specificeert twee families, die zich onderscheiden door het mastiekgehalte en de aard van het bitumen: de eerste is rijk aan mastiek en maakt gebruik van gewoon wegenbitumen (BBTM6A1 en BBTM10C1), de andere is vrij arm aan mastiek en bevat verplicht polymeerbitumen (BBTM6B2 en BBTM10D2). Steenmastiëkasfalt (SMA) wordt in de praktijk weinig of niet als gekleurde toplaag toegepast. Bij de keuze voor BBTM of SMA als gekleurde toplaag gelden de volgende overwegingen:

- deze mengsels hebben een steenskelet en zijn daardoor niet aangewezen voor toepassingen die manueel werk vereisen;
- de kleur wordt in grote mate bepaald door de kleur van de stenen, vooral na het afslijten van de mastieffilm. Dit laat minder vrijheid qua kleurkeuze;
- de kostprijs zal relatief hoog zijn, als gevolg van het hogere bindmiddelgehalte in combinatie met de hoge kostprijs van de bindmiddelen en de hogere dosering van de pigmenten. Aangezien de kleur van de mastiek bepalend is voor de kleur van het mengsel, moet men immers de hoeveelheid pigment proportioneel aanpassen aan de hoeveelheid vulstof in de mastiek om een soortgelijke kleurintensiteit te bereiken.

Door middel van een vooronderzoek aan de hand van de hierna opgesomde prestatieproeven kan worden gecontroleerd of een mengsel voldoet aan de eisen van de standaardbestekken:

- de gyratorproef (NBN EN 12697-32) maakt het mogelijk de holle ruimte van het mengsel te beoordelen, die moet voldoen aan de gestelde eisen. Voor gekleurde mengsels zal men veeleer streven naar een gemakkelijk te verdichten mengsel met een holle ruimte die de ondergrens van de eisen benadert;
- de watergevoeligheidsproef (NBN EN 12697-12) meet de indirecte treksterkte van kernen die geconditioneerd zijn in water en van niet-geconditioneerde kernen. De eisen voor watergevoeligheid zijn gebaseerd op de verhouding van beide treksterkten. Voor toplagen geldt ongeacht de wegcategorie een strenge eis van minimaal 80 %, op een paar uitzonderingen na:
  - voor AB-4 (C, D) en AB-5 (D) volgens SB 250, versie 2.2: minimaal 70 %;
  - voor BBTM volgens CCT Qualiroutes, versie 2012: minimaal 75 %.
- een wielspoorproef (NBN EN 12697-22) is enkel vereist voor wegen met zwaar verkeer (B1-B5 in Vlaanderen en Brussel, *Réseau I* en *II* in Wallonië). Tabel 3 geeft een overzicht van de eisen naargelang van de wegcategorie en toont de mengseltypen die als gekleurde toplaag in aanmerking komen.

Wegcategorie	Standaardbestek	Maximale spoordiepte PLD (%) na 30 000 cycli bij 50 °C	Mengsels voor gekleurde toplagen
B1-B2	SB 250, v2.2; TB 2011	5,0 %	SMA
<i>Réseau I</i> (T > 6000)	CCT Qualiroutes, v2012	5,0% 7,5 %	SMA, BBTM10 BBTM6,3
B3	SB 250, v2.2; TB 2011	7,5 %	SMA
<i>Réseau I</i> (2000 ≤ T ≤ 6000)	CCT Qualiroutes, v2012	7,5 %	SMA, BBTM
B4-B5	SB 250, v2.2; TB 2011	10,0 %	AB-4, SMA
<i>Réseau I</i> (T < 2000) en <i>II</i>	CCT Qualiroutes, v2012	10,0 %	AC-surf4, SMA, BBTM
B6-B7 en andere	SB 250, v2.2; TB 2011	Geen eisen	AB-4, AB-5
<i>Réseau III</i>	CCT Qualiroutes, v2012	Geen eisen	AC-surf4, SMA, BBTM

**Tabel 3** – Overzicht van de eisen voor spoorvorming in België en de mogelijke keuzen voor gekleurde toplagen

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

Omdat een gekleurde toplaag bestand moet zijn tegen dezelfde belastingscondities als een niet-gekleurde toplaag voor eenzelfde wegcategorie, spreekt het vanzelf dat de proefcondities in de wielspoorproef dezelfde zijn. Bij lichte kleuren zullen de temperaturen in de toplaag op warme zomerdagen echter minder hoog oplopen dan in een zwarte toplaag. Metingen in situ op de ring van Parijs hebben aangetoond dat dit verschil ongeveer 5 °C kan bedragen, afhankelijk van de kleur [19]. Bijgevolg kunnen de proefresultaten voor gekleurde asfaltmengsels als conservatief worden beschouwd wanneer men de beproevingstemperatuur van 50 °C aanhoudt.

Naast watergevoeligheid en spoorvorming zijn nog andere kenmerken belangrijk voor de duurzaamheid van een gekleurde toplaag:

- weerstand tegen rafeling: gekleurde toplagen worden vaak op kruispunten toegepast, om de verkeerssituatie te verduidelijken. Daardoor worden zij blootgesteld aan grote schuifkrachten door remmen, versnellen en draaien van voertuigen. Deze krachten verhogen het risico op rafeling;
- weerstand tegen lagetemperatuurscheurvorming: in strenge winters zijn toplagen onderhevig aan de laagste temperaturen. Als zij een bindmiddel bevatten dat zich bij lage temperatuur bros gedraagt, treden er scheuren in het asfalt op;
- weerstand tegen statische indeuking: op pleinen en parkings treden vaak statische puntlasten op, die in warme periodes aanleiding kunnen geven tot indeuking. Ook al is de grootte van de indeuking beperkt, de impact op esthetisch vlak is meestal heel groot.

Voor deze kenmerken bestaan er op dit ogenblik nog geen gestandaardiseerde proeven. De opzet en validatie van prestatieproeven en het zoeken naar gepaste eisen vormen één van de kerntaken van het OCW in het kader van het NBN-gesubsidieerde project.

### 3.2 Mengselontwerp

De gebruikelijkste aanpak voor mengselontwerp is uit te gaan van een bekende samenstelling van een niet-gekleurde toplaag, waarin het bindmiddel vervangen wordt door een pigmenteerbaar of kleurloos bindmiddel en zo nodig de granulaten door kleurondersteunende granulaten. Als aanvoervulstof gaat de voorkeur (wegens de invloed op de kleur van de verharding) naar een vulstof met een lichte kleur, zoals witte kalksteenvulstof, waardoor de kleuropigmenten beter tot uiting komen. Toevoeging van teruggewonnen vulstof is af te raden, gezien de mogelijke impact op de kleur en mogelijke roetvorming tijdens de productie ingeval een stookoliebrander wordt gebruikt. Een deel van de aanvoervulstof wordt vervangen door pigment, dat door de fijne poedervorm bij eerste benadering als een vulstof wordt beschouwd. Voor de juiste dosering van het pigment wordt verwezen naar § 2.3.3 *Pigmentgehalte*.

Het is echter belangrijk te benadrukken dat een pigment geen vulstof is. De fysische kenmerken van kleuropigmenten verschillen zodanig van die van een klassieke aanvoervulstof, dat vervanging van een deel van de aanvoervulstof door kleuropigment implicaties heeft voor de volumetrische samenstelling en voor de stijfheid van de mastiek van het mengsel.

Uitgaande van de kenmerken van het pigment (dichtheid, korrelverdeling en holle ruimte volgens Rigden) en in voorkomend geval ook van de kleurondersteunende granulaten, kan de impact ervan worden doorgerekend met behulp van de OCW-software voor theoretisch

mengselontwerp PradoWin (OCW A69/97) [20]. PradoWin is niet geconcipeerd voor de invoer van meer dan één aanvoervulstof. Voor een mengsel met pigment is dit op te lossen door de kenmerken te bepalen van een vulstof die samengesteld is uit de aanvoervulstof en de pigmenten in de correcte verhouding, en deze kenmerken in te voeren als kenmerken van een "samengestelde vulstof".

Tabel 4 toont als voorbeeld een samenstelling van asfaltbeton (mengseltype AB-4D) met 6,5 % kalksteenvulstof (in % ten opzichte van de massa van het droge mengsel). De rechterkolom toont de samenstelling van een afgeleid gekleurd mengsel, waarin de kalksteenvulstof vervangen is door een gelijke totale massa aan geel pigment, wit pigment en witte kalksteenvulstof. Om dit gekleurde mengsel in PradoWin in te voeren, maakt men gebruik van de theoretische kenmerken van een vulstof die samengesteld is uit witte kalksteenvulstof, geel pigment en wit pigment, in de massaverhouding 4,0/0,5/2,0. Tabel 5 (blz. 22) toont de korrelverdeling, de dichtheid en de holle ruimte.

De invloed van de vervanging van de aanvoervulstof door pigmenten in gelijke massadelen op de volumetrische samenstelling wordt verder geïllustreerd aan de hand van bovenstaand voorbeeld. Tabel 6 (blz. 22) toont de met PradoWin bepaalde korrelverdelingen. In massadelen is er slechts weinig verschil met het referentiemengsel. Er is enkel een lichte toename van de doorval bij 63 µm, aangezien de pigmenten voor 100 % door een zeef van die maat gaan. In volumedelen daalt de doorval door de fijnere zeven duidelijk, als gevolg van de hoge dichtheid van de pigmenten in vergelijking met de dichtheid van kalksteenvulstof.

Bestanddeel	Dichtheid (g/cm <sup>3</sup> )	Samenstelling droog mengsel in massapercenten (m-%)	
		Referentiemengsel	Gekleurd mengsel
Porfier 2/6,3	2,67	60,0	60,0
Porfier 0/2	2,66	20,1	20,1
Fijn zand 0/1	2,63	13,4	13,4
Kalksteenvulstof	2,73	6,5	/
Witte kalksteenvulstof	2,74	/	4,0
Geel pigment	4,09	/	0,5
Wit pigment	4,30	/	2,0

**Tabel 4** – Referentiemengsel type AB-4D en afgeleid gekleurd mengsel

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

	Witte kalksteen- vulstof	Wit pigment	Geel pigment	"Samengestelde vulstof"
<b>m-% in mengsel</b>	4,0%	2,0%	0,5%	
<b>m-% in samengestelde vulstof</b>	61,5%	30,8%	7,7%	
<b>Doorval (in m-%)</b>	<b>2 mm</b>	100	100	100
	<b>0,125 mm</b>	100	100	100
	<b>0,063 mm</b>	93	100	95,7
<b>Dichtheid (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,74	4,30	4,09	3,18
<b>Holle ruimte Rigden (%)</b>	35	52	78	43,5*

Tabel 5 – Kenmerken van de "samengestelde vulstof"

\* De holle ruimte van de "samengestelde vulstof" is berekend als het gewogen gemiddelde, wat theoretisch niet correct is maar toch een redelijke schatting geeft.

Maaswijdte (mm)	Doorval in massadelen (m-%)		Doorval in volumedelen (v-%)	
	Referentiemengsel	Gekleurd mengsel	Referentiemengsel	Gekleurd mengsel
<b>10</b>	100	100	100	100
<b>6,3</b>	98	98	98	98
<b>4</b>	72,5	72,5	72,5	72,3
<b>2</b>	43,3	43,3	43,4	42,9
<b>0,5</b>	27,7	27,6	27,6	26,9
<b>0,25</b>	23	23	22,9	22,2
<b>0,063</b>	7,3	7,5	7,1	6,5

Tabel 6 – Theoretische korrelverdelingen (berekend met PradoWinsoftware)

De pigmenten hebben niet enkel een invloed op de korrelverdeling, maar ook op de mastiekstijfheid. Dit wordt geïllustreerd door tabel 7, waarin voor een aantal kleurpigmenten de gemeten waarde van "Delta Ring & Kogel" is weergegeven. Dit is de verhoging van de ring-en-kogelverwerkingstemperatuur die het gevolg is van de toevoeging van een vulstof aan een bitumen, en wordt gebruikt als maat voor het verstijvend vermogen van de vulstof. Voor deze metingen moest worden afgeweken van de standaardprocedure (NBN 13179-1). De verhouding vulstof/bindmiddel (f/b), zoals voorgeschreven in de norm, kon niet worden gerespecteerd wegens het extreem hoge verstijvende effect. Een tweede afwijking betrof het gebruik van een kleurloos synthetisch bindmiddel voor de proeven in plaats van een standaardwegenbitumen. De resultaten tonen echter duidelijk dat een zeer geringe toevoeging van pigment, in de volumeverhouding 10/90, een verstijvend effect van dezelfde orde van grootte heeft als toevoeging van een kalksteenvulstof in de volumeverhouding 35/65. De witte kalksteenvulstof vertoont in dit onderzoek kenmerken equivalent met gewone kalksteenvulstof. In deze tabel is ook op te merken dat de voor de pigmenten gemeten "delta R&K" een verband vertoont met de holle ruimte, naar analogie van klassieke vulstoffen.

	<b>Volumeverhouding vulstof/bindmiddel (f/b)</b>	<b>Holle ruimte volgens Rigden (%)</b>	<b>Delta R&amp;K (°C)</b>
<b>Geel pigment</b>	0,11	78	13,8
<b>Wit pigment</b>	0,11	52	8,2
<b>Rood pigment</b>	0,11	62	10,1
<b>Kalksteenvulstof</b>	0,54	35	12,2
<b>Witte kalksteenvulstof</b>	0,54	35	13,6

*Tabel 7 – Verstijvend vermogen van kleurpigmenten, in vergelijking met kalksteenvulstof*

Vervanging in massadelen van de gewone aanvoervulstof door pigment geeft dus aanleiding tot enerzijds een vermindering van de fijne bestanddelen in volumepercenten van het droge mengsel en anderzijds een verhoging van het verstijvend vermogen van de fijne bestanddelen in het mengsel, door het sterk verstijvend vermogen van het pigment. De twee variaties hebben een tegengesteld effect op de mastiekstijfheid. Ze zullen elkaar dus gedeeltelijk compenseren, waardoor aangenomen mag worden dat de impact op de mastiekstijfheid min of meer beperkt blijft. Vervanging van aanvoervulstof door pigment in massadelen is dus een goed uitgangspunt voor het mengselontwerp, dat nadien nog kan worden bijgesteld.

Als het mengsel kleurondersteunende granulaten bevat, kan men ook van een bekende samenstelling van een niet-gekleurd mengsel uitgaan. De massapercentages van de verschillende bestanddelen van het droge granulaat zullen dan zodanig worden bijgesteld, dat de korrelverdeling in volumedelen ongeveer dezelfde blijft.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

### 3.3 Prestatieproeven

De prestatieproeven maken het mogelijk de prestaties te toetsen aan de eisen van de standaardbestekken. Voor gekleurde toplagen is er een aanzienlijke invloed van het bindmiddel, het pigment en de kleurondersteunende granulaten op de prestaties. Dat blijkt uit verschillende proeven die het OCW heeft uitgevoerd.

De **watergevoeligheid**, zoals bepaald volgens de beproevingsmethode beschreven in NBN EN 12697-12, wordt in grote mate beïnvloed door de keuze van het bindmiddel. Tabel 8 toont de resultaten van de watergevoeligheidsproef voor vijf mengsels, waarvan vier gekleurde. Het betreft de mengsels waarvan de granulaatsamenstelling is weergegeven in tabel 4. Het bindmiddelgehalte is hetzelfde voor alle mengsels (5,9 %). De bindmiddelen zijn geselecteerd uit verschillende typen: een pigmenteerbaar bitumen, een vegetaal bindmiddel, een synthetisch en een synthetisch gemodificeerd bindmiddel. Deze bindmiddelen behoren niet noodzakelijk tot dezelfde penetratieklasse. Tabel 8 toont de resultaten voor de gekozen bindmiddelen. De invloed van het bindmiddel blijkt groot te zijn en sommige bindmiddelen leiden tot een hogere watergevoeligheid van het mengsel: de laatste twee mengsels voldoen nog net aan de eis in Vlaanderen voor dit type mengsel (> 70 %), maar niet aan de strengere eis die in Wallonië en Brussel geldt (> 80 %).

De aanwezigheid van pigment zou volgens bepaalde studies een invloed hebben op de hechting tussen bindmiddel en granulaat en dus ook op de watergevoeligheid van het mengsel. Sommige kleurondersteunende granulaten vertonen ook minder goede adhesie met bepaalde bindmiddelen. Wanneer de adhesie tussen granulaat en bindmiddel niet voldoet, valt het gebruik van een adhesieverbeteraar te overwegen. Wegens deze verschillende invloedsfactoren en de grote impact van watergevoeligheid op de duurzaamheid is het, ongeacht de wegcategorie, sterk aan te bevelen steeds een watergevoeligheidsproef uit te voeren.

	Type bindmiddel	Niet-geconditioneerde kernen		Geconditioneerde kernen		ITS Ratio*** (%)
		ITS** (MPa)	Holle ruimte (%)	ITS** (MPa)	Holle ruimte (%)	
<b>Referentie (zwart)</b>	B50/70	1,55	7,7	1,56	7,6	101
<b>Gekleurd</b>	synthetisch, 70/100	1,39	7,3	1,31	7,1	94
<b>Gekleurd</b>	synthetisch en gemodificeerd, 50/70	1,30	7,7	1,28	7,6	98
<b>Gekleurd</b>	pigmenteerbaar, 50/70	1,98	8,7	1,38	8,5	70
<b>Gekleurd</b>	vegetaal, 100/150*	2,10	7,5	1,57	7,3	74

Tabel 8 – Invloed van het bindmiddel op de watergevoeligheid

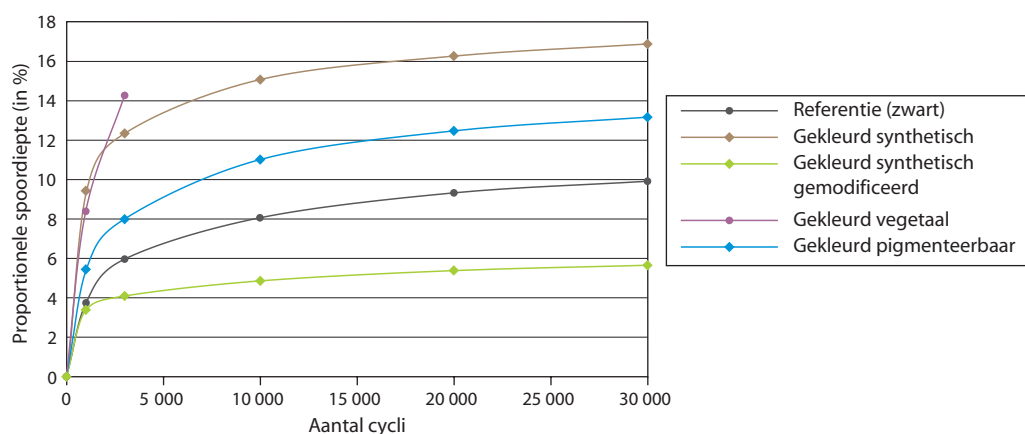
\* volgens de productkaart.

\*\* ITS: Indirect Tensile Strength (indirecte treksterkte)

\*\*\* ITS Ratio:  $\frac{ITS \text{ (in water geconditioneerde kernen)}}{ITS \text{ (niet-geconditioneerde kernen)}}$



De **wielspoorproef** (NBN EN 12697-22) is enkel vereist voor wegen met zwaar verkeer. Zoals geïllustreerd door de meetresultaten in figuur 5, wordt de gevoeligheid voor spoorvorming ook sterk door het bindmiddel bepaald. De grafiek toont de resultaten in de wielspoorproef bij 50 °C voor de vijf voornoemde mengsels, waarvan vier gekleurde. Het gebruikte vegetale bindmiddel vertoont weinig weerstand tegen spoorvorming. Dit resultaat is deels te verklaren door de langzamere rijping die doorgaans met dit type van bindmiddel optreedt en ook door de betrekkelijk lage verwekingstemperatuur van het bindmiddel (42 °C). De resultaten voor spoorvorming hangen immers ook van de klasse van het bestudeerde bindmiddel af. Het pigmenteerbare bitumen van klasse 50/70 presteert minder goed dan het zwarte referentiemengsel, wat te verklaren is door het lagere asfaltenengehalte. Het synthetische polymeergemodificeerde bindmiddel (klasse 50/70) biedt dan weer een goede oplossing bij zwaarder verkeer.



**Figuur 5** – Invloed van het bindmiddel op de spoordiepte in de wielspoorproef (bij 50 °C)

Ook de pigmenten hebben een invloed op de spoorvormingsweerstand, via hun effect op de mastiekstijfheid. Het gebruik van kleurondersteunende granulaten kan eveneens de spoorgevoeligheid beïnvloeden, door de hoekigheid van de granulaten of door verschillen in de korrelverdeling van het granulaat. Men kan dus opnieuw besluiten dat er meerdere factoren zijn die het resultaat in de wielspoorproef kunnen beïnvloeden.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

Voorgaande discussie bewijst het belang van laboratoriumproeven om de kenmerken en prestaties van het mengsel te bepalen in de fase van het mengselontwerp. Daarbij is het essentieel de mengsels met de werkelijke bestanddelen te bereiden. Wijziging van een of meer bestanddelen (onder meer de klasse van het bindmiddel) kan immers de resultaten significant beïnvloeden.

### Praktische werkwijze voor mengselontwerp

- **Bepaling van de kenmerken van de bestanddelen die nodig zijn voor het theoretische mengselontwerp** (zie OCW A69/97) [20].

Voor de pigmenten dienen de dichtheid, de holle ruimte volgens Rigden en de korrelverdeling te worden bepaald, hetzij via de technische fiches, hetzij via proeven (§ 2. Bestanddelen).

- **Theoretisch mengselontwerp** (bijvoorbeeld met behulp van PradoWin).

Zo mogelijk wordt uitgegaan van een bekende samenstelling, waarin een deel van de aanvoervulstof vervangen wordt door pigment in gelijke massadelen en in voorkomend geval de granulaten door kleurondersteunende granulaten. De vervanging door pigment in gelijke massadelen leidt tot een wijziging in de volumetrische korrelverdeling en een verlaging van de verhouding vulstof/bindmiddel in volumedelen, maar de impact daarvan op de mastiekstijfheid wordt deels gecompenseerd door het sterk verstijvend effect van kleurpigment. Zo nodig wordt de samenstelling bijgestuurd met het oog op de gewenste prestaties.

- **Bepaling en optimalisatie van de holle ruimte met de gyatorproef.**

Gezien het belang van een gelijkmatige oppervlaktetextuur en een goede verwerkbaarheid zal gewoonlijk worden gestreefd naar een lage holle ruimte, weliswaar conform de specificaties in de standaardbestekken. Dit kan worden bereikt door het bindmiddelgehalte te verhogen, door het aandeel rond zand te vergroten, door de korrelverdeling bij te sturen of door meerdere aanpassingen te combineren.

- **Uitvoering van prestatieproeven.**

Wegens de mogelijke problematiek van hechting met sommige kleurondersteunende aggregaten en de invloed van de aard van het bindmiddel en het pigment hierop, is een watergevoeligheidsproef aangewezen voor alle toepassingen, ongeacht de verkeersbelasting. Voor wegen met zwaarder verkeer is de spoorvormingsproef essentieel, zoals trouwens voorgeschreven in de standaardbestekken.

Op te merken valt dit weliswaar de beste manier van werken is om de gewenste mechanische prestaties van het gekleurde asfaltmengsel te halen, maar bijvoorbeeld geen garantie biedt voor behoud van de kleur in de tijd.

#### ► 4. Bereiding in de asfaltmenginstallatie

Voor de bereiding van gekleurd asfalt zijn aanpassingen in de asfaltmenginstallatie wenselijk, evenals een grondige reiniging van alle onderdelen die gemeenschappelijk zijn met de productie van zwarte asfaltmengsels.

Het best kan in een eigen opslagtank en aanvoercircuit voor het pigmenteerbare bindmiddel worden voorzien, om verontreiniging met zwarte bitumenresten en beïnvloeding van de uiteindelijke asfaltkleur tegen te gaan. Als dat niet mogelijk is, verdient het aanbeveling het pigmenteerbare bindmiddel direct uit een vrachtwagen in de menger te brengen.

Voorts dienen zowel de menger voor de bereiding van klassiek asfalt als de silo voor de opslag van gekleurd asfalt te worden gereinigd. Het is aan te bevelen enkele batches van droge en zeer warme granulaten (zonder bindmiddel) te mengen. Hierdoor wordt zowel de menger als de opslagsilo schoongemaakt, evenals de verbindingen tussen beide. Een andere oplossing kan zijn de eerste batch gekleurd asfalt niet voor een gekleurde top laag te gebruiken. Bij de bereiding van asfaltmengsels met steenslagkleur of lichtgekleurde asfaltmengsels waarbij een witte vulstof wordt gebruikt, is het zeer belangrijk het circuit voor de vulstofaanvoer schoon te maken; zo niet zal de kleur van het asfalt eronder lijden.

Bovendien wordt bij voorkeur voorzien in een aparte opslagsilo, die uitsluitend voor een bepaalde asfaltkleur wordt gebruikt. Omdat dit in de praktijk moeilijk haalbaar is, is het aan te bevelen de opslagsilo na elke batchbereiding leeg te maken of slechts voor ten hoogste twee derde te vullen; het bovenste deel van de silo is immers moeilijk te reinigen, waardoor zwarte bitumenresten van vorige batches het gekleurde asfaltmengsel kunnen verontreinigen.

Voor de duur van de werkzaamheden op een bepaalde bouwplaats worden in de asfaltmenginstallatie het best geen andere mengsels bereid. Als dat niet mogelijk is, dient de installatie grondig te worden gereinigd voordat opnieuw met de bereiding van gekleurd asfalt wordt gestart.

Bijzondere aandacht dient te worden besteed aan:

- de bereidingstemperatuur. Ze dient zo te worden gekozen dat:
  - de **minimale temperatuur** wordt overschreden, zodat de verpakking van het bindmiddel - bijvoorbeeld bij gebruik van zakken - gegarandeerd smelt;
  - de **maximale gebruikstemperatuur van het bindmiddel** niet wordt overschreden, om afbraak van het bindmiddel tegen te gaan;
  - de **minimale temperatuur** wordt overschreden, zodat, **naargelang van de pigmentvorm of -verpakking**, de zakken met pigmentpoeder smelten of de met polymeren omhulde pigmenten zich optimaal in het asfaltmengsel verdelen;
  - de **aanbevolen maximale temperatuur voor temperatuurgevoelige pigmenten** niet wordt overschreden (§ 2.3.4.3 *Thermische stabiliteit*), om kleuromslag tegen te gaan;
- de **volgorde van toevoer van de verschillende bestanddelen** en de **mengtijd**. De mengtijd is afhankelijk van de vorm waarin het pigment wordt toegevoegd. Hierbij dienen de aanbeve-

---

<sup>9</sup> In acht te nemen mengtijd: 20 s.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

lingen van de leverancier te worden gevolgd. In vergelijking met klassiek asfalt<sup>9</sup> wordt de mengtijd voor gekleurd asfalt doorgaans verlengd met 5 tot 10 s indien pigmentpoeder in smeltbare zakken wordt aangewend. Indien met polymeren omhuld pigment wordt gebruikt, wordt de mengtijd doorgaans met 15 tot 45 s verlengd, om een volledige versmelting en homogene verdeling te verkrijgen. Dit stemt overeen met een totale mengtijd van 30 tot 60 s, afhankelijk van de uitrusting van de asfaltmenginstallatie;

- de **netheid van de bevoorradingsvrachtwagens**. Als zij schoongemaakt moeten worden, dient dat met een biologisch oplosmiddel te gebeuren.

Bij toepassing van pigment met polymeeromhulling is een automatische doseerinrichting noodzakelijk, om nauwkeurige, betrouwbare en naspeurbare pigmenttoevoer aan de menger te waarborgen.

## ► 5. Verwerking op de bouwplaats

De kwaliteit van de verwerking op de bouwplaats bepaalt niet alleen het initiële voorkomen, maar ook de toekomstige evolutie en de duurzaamheid van de asfaltverharding. De volgende aspecten verdienen dan ook bijzondere aandacht:

- plan en methodiek voor de verwerking;
- voorbereiding van de ondergrond en keuze van de kleeflaag;
- netheid van het verwerkingsmateriaal en regels voor het werkverkeer;
- aanvoer op de bouwplaats;
- verdichting;
- naadbehandeling;
- openstelling voor verkeer.

Hierna worden enkel de specifieke aandachtspunten voor de esthetische aspecten van gekleurd asfalt beschreven. Tenzij anders is vermeld, zijn ook de gebruikelijke aanbevelingen voor de verwerking van klassieke asfaltmengsels van toepassing.

### 5.1 Plan en methodiek voor de verwerking

Rekening houdend met de vorm van het te behandelen oppervlak en de aanwezige obstakels dient vooraf te worden bestudeerd:

- hoe het aantal naden en de totale naadlengte zoveel mogelijk te beperken. Het is aan te bevelen een asfalspreidmachine met een optimale werkbreedte in te zetten;
- hoe handmatige verwerking zoveel mogelijk te beperken. Het is aan te bevelen in een asfalspreidmachine met kleine werkbreedte te voorzien.

Voor een optimale technische en esthetische kwaliteit kan het nuttig zijn (als de vorm van het te behandelen oppervlak het verantwoordt) vooraf een werkplan met de ligging van de naden en de chronologie van de verwerking op te stellen.

Voor de verwerking van gekleurde asfaltstroken in een bestaande verharding verdient het aanbeveling vooraf een aangepaste methodiek (volgorde van verwerking, verwerking over een grotere lengte en vervolgens bijsnijden tot beoogde afmetingen, enz.) uit te werken.

### 5.2 Vorbereiding van de ondergrond en keuze van de kleeflaag

Net zoals bij klassiek asfalt dient de ondergrond **vrij van vuil en droog** te zijn.

Als kleeflaag mag een kationische bitumenemulsie worden aangebracht, aangezien zij achteraf met gekleurd asfalt overlaagd wordt. Wel wordt een **anti-adhesieve emulsie** aanbevolen, omdat het risico op bevuiling van het gekleurde asfalt dan kleiner is.

Om losrukken van de kleeflaag (met de gebrekkige hechting die dat meebrengt) en bevuiling het gekleurde asfalt tegen te gaan, wordt voorts nog aanbevolen:

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

- te wachten tot de bitumenemulsie gebroken en gerijpt is voordat werkverkeer toegelaten en het gekleurde asfalt aangebracht wordt;
- na te gaan of de temperatuur van de laag waarop de kleeflaag wordt aangebracht lager is dan de verwerkingstemperatuur van het residuale bindmiddel (zie productkaart van de emulsie), voordat werkverkeer wordt toegelaten;
- het aantal werkgangen op de kleeflaag zoveel mogelijk te beperken.



**Figuur 6** – Bevuilding van en losrukken van de kleeflaag door werkverkeer

Ondanks deze voorzorgen blijft het moeilijk bevuilding helemaal te voorkomen. Een oplossing zou kunnen zijn emulsies met een pigmenteerbaar bindmiddel te gebruiken, maar die zijn vooralsnog weinig voorhanden en zeer duur; bovendien vergen zij een sproei-machine die geheel voor hen wordt gereserveerd. Daarom worden ze in België zeer zelden toegepast.

### 5.3 Netheid van het materieel en regels voor werkverkeer

Om vlekken op de gekleurde asfaltverharding tegen te gaan, dienen de volgende regels in acht te worden genomen:

- het materieel (asfaltspreidmachine, verdichtingsmachine, kruitwagen, handtrekker, bezem, enz.) is vrij van vuil;
- de werkschoenen van het personeel op de bouwplaats zijn vrij van vuil. Bevuilde zolen kunnen met een ontvettingsmiddel worden schoongemaakt (figuur 7). Profielloze schoenen zijn aan te bevelen;



**Figuur 7** – Schoonmaken van profielloze werkschoenen



**Figuur 8** – Bescherming van pas aangebracht asfalt met houten loopplanken



**Figuur 9** – Bescherming van zones waar geen asfalt wordt aangebracht

- pas aangebracht asfalt wordt met loopplanken beschermd als de laag moet worden betreden voordat ze is afgekoeld (figuur 8);
- putdeksels, enz. worden met een geschikt middel beschermd (geen diesel gebruiken en niet op de deksels stappen, om schoenafdrukken op gekleurd asfalt tegen te gaan!) (figuur 9).

#### 5.4 Aanvoer op de bouwplaats

De vrachtwagens die het asfalt aanvoeren, zijn met zeilen afgedekt. Deze dekzeilen zijn nieuw of van bitumenresten ontdaan. De laadbak van de vrachtwagens is eveneens bitumenvrij. Voor het schoonmaken kan een biologisch oplosmiddel worden gebruikt.

#### 5.5 Verdichting

De dikte van gekleurd asfalt is meestal beperkt. Verdichting met een bandenwals is daarom af te raden. Als toch met een bandenwals wordt verdicht, dient deze na de trilwals te volgen.

Verdichtingsmachines dienen volledig schoongemaakt te zijn (geen diesel gebruiken bij de reiniging). De rollen van trilwalsen mogen geen roestvlekken vertonen.

Tijdens de verdichting dient aandacht te worden besteed aan de volgende punten:

- vóór het verdichten wordt niet over een vuile of stofferige ondergrond gereden;
- de verdichtingstemperatuur wordt geverifieerd en nauwgezet nageleefd.

#### 5.6 Naadbehandeling



**Figuur 10** – Verwarmen van asfaltranden met een verwarmingsbalk

Voor een betere homogeniteit van de gekleurde asfaltlaag is het ten zeerste aan te bevelen het asfalt “heet tegen heet” te verwerken (gestaffelde aanbrenging met twee of meer asfaltspreidmachines). Als alternatief kan een verwarmingsbalk worden gebruikt (figuur 10). De verwarmings­temperatuur moet dan goed in de hand worden gehouden, om het bindmiddel van het verwarmde asfalt niet te beschadigen of te verbranden.

Als “heet tegen heet” verwerken niet mogelijk is, is het zeer belangrijk de naden af te dichten. Dit komt de duurzaamheid van de verharding ten goede en voorkomt waterinfiltratie.

Om het visuele effect van de naden zoveel mogelijk te beperken, moet de kleur van de naadafdichting de asfaltkleur zo dicht mogelijk benaderen. Het is dan ook aan te bevelen de kleur vooraf te toetsen. Een mogelijkheid bestaat erin een emulsie met pigmenteerbaar bindmiddel te gebruiken en af te strooien met zand 0/2 van geschikte kleur. Wel moet er rekening mee worden gehouden dat de kleur van de asfaltverharding in de tijd zal evolueren.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

Gezien hun zwarte kleur en de geringe dikte van de toplaag zijn voorgevormde bitumineuze voegbanden a priori geen geschikt naadafdichtingsmiddel voor gekleurd asfalt.

Het aantal naden en de totale naadlengte moeten zo klein mogelijk worden gehouden. Daarom wordt de methodiek voor de asfaltverwerking het best vooraf bestudeerd (*\$ 5.1 Plan en methodiek voor de verwerking*).

### 5.7 Openstelling van de asfaltverharding voor verkeer

De wachttijd voor de openstelling van een gekleurde asfaltverharding is meestal ongeveer dezelfde als bij een klassieke asfaltverharding. Uitzondering op deze regel zijn asfaltmengsels met een vegetaal bindmiddel, die enkele dagen moeten kunnen "rijpen" voordat zij voor verkeer worden opengesteld. Een en ander hangt ook van de aard van het verkeer (voetgangers of motorvoertuigen) af.

Het is belangrijk geen verkeer toe te staan voordat het asfalt volledig is afgekoeld, om te vermijden dat deeltjes aan de banden kleven en het gekleurde asfalt bevuilen. De wachttijd hangt van de omgevingstemperatuur en de windsnelheid af.

Tijdens het afkoelingsproces kan een lichte kleurwijziging in het asfalt optreden (figuur 11).



**Figuur 11** – Tijdens het afkoelingsproces kan een kleurwijziging in het asfalt optreden (links: kleur bij 50 °C; rechts: kleur bij 35 °C)



## ► 6. Bepaling van de kleur

### 6.1 Kleurperceptie

Kleurperceptie is afhankelijk van onder meer de hiernavolgende factoren.

#### - **De waarnemer**

Het waarnemen van kleur is een subjectieve interpretatie van bepaalde prikkels en dus erg persoonsgebonden. Een gekleurde asfaltverharding die voor de ene persoon bruin is, kan voor iemand anders bordeaux zijn.

#### - **De toestand van het object**

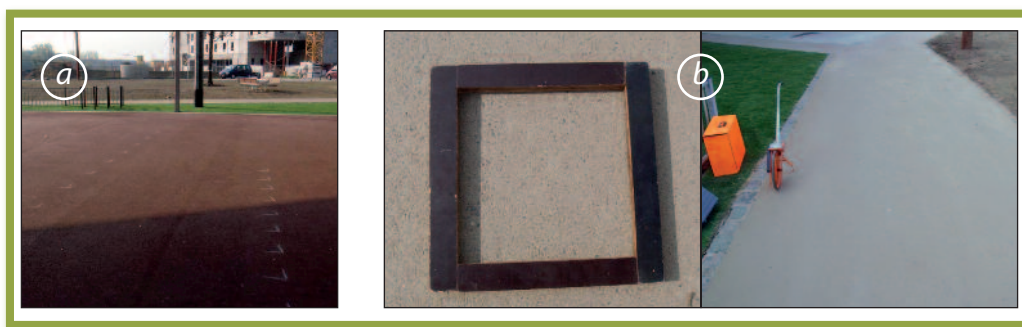
Een nat wegdek heeft niet dezelfde kleur als een droog wegdek (figuur 12), een vuil wegdek kan lichter of donkerder lijken dan zijn nette variant, enz.

#### - **De lichtbron**

De kleur van een wegdek is onder andere erg afhankelijk van de weersomstandigheden. Zo kan een wegdek in de zon rood lijken en in de schaduw donkerbruin (figuur 13a). Figuur 13b geeft twee foto's van eenzelfde wegdek weer: in volle zon lijkt dit wegdek beige te zijn (foto links), terwijl ditzelfde wegdek in de schaduw grijs lijkt (foto rechts).



*Figuur 12 – Invloed van de toestand van het wegdek op de perceptie van de kleur*



*Figuur 13 – Invloed van de lichtbron op de perceptie van de kleur*

#### - **De positie van de waarnemer**

De afstand tussen het object en de waarnemer en de hoek waaronder de waarnemer naar het object kijkt, kunnen een kleurwaarneming beïnvloeden. Vandaar dat het belangrijk is deze parameters constant te houden.

## Gekleurde asfaltmengsels

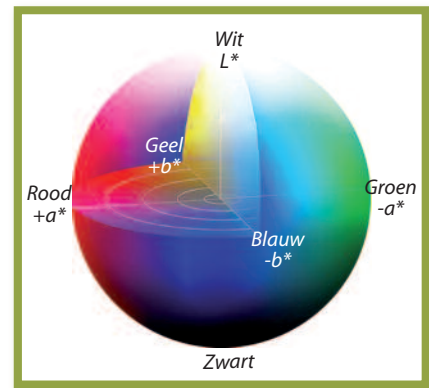
Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

Verder is het niet evident om over kleur te communiceren. Zo is het bijvoorbeeld moeilijk om in woorden te beschrijven wat men met een bordeaux wegdek bedoelt. Men kan aangeven dat het om een donkerrood wegdek gaat, maar uiteindelijk is het moeilijk deze kleur exact te beschrijven. Vandaar dat de bestekken voor wegenbouw in eerste instantie RAL-codes hanteerden om de kleur van gekleurde asfaltverhardingen te definiëren. RAL-codes zijn echter ontwikkeld om de kleur van homogene oppervlakken zoals coatings en verven vast te leggen. Bij gekleurde asfaltverhardingen leidt dat vaak tot discussies, gezien het inherent heterogene en getextureerde oppervlak van asfalt. Dit alles maakt het voor een klant niet evident om aan te geven welke kleur hij voor zijn bitumineuze verharding wenst, en voor een aannemer niet gemakkelijk om te begrijpen welke kleur er gevraagd wordt.

Om een oplossing voor de hierboven beschreven problematiek te bieden, wordt hierna een objectievere methode om kleur te meten voorgesteld. Deze methode maakt gebruik van een spectrofotometer die kleur kan uitdrukken aan de hand van de kleurcoördinaten  $L^*$ ,  $a^*$  en  $b^*$ .

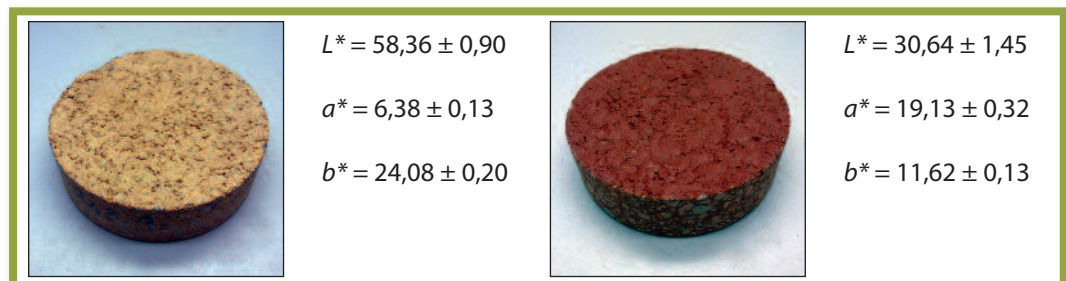
### 6.2 $L^*a^*b^*$ -kleurenruimte

De  $L^*a^*b^*$ -kleurenruimte wordt afgebeeld op figuur 14.  $L^*$ ,  $a^*$  en  $b^*$  zijn dimensieloze grootheden en worden kleurcoördinaten genoemd. De helderheid van de kleur wordt weergegeven door  $L^*$  en varieert tussen 0 (donker) en 100 (licht). De chroma of kleur wordt bepaald door  $a^*$  en  $b^*$ :  $+a^*$  is de rode en  $-a^*$  is de groene richting,  $+b^*$  is de gele en  $-b^*$  is de blauwe richting. Er zijn geen grenzen vastgelegd voor  $a^*$  en  $b^*$ , maar algemeen kan worden aangenomen dat ze variëren tussen -100 en +100. Het centrum van de bol op figuur 14 is kleurloos. Naarmate de absolute waarde van  $a^*$  en  $b^*$  toeneemt, zal de verzadiging van de kleur toenemen.



Figuur 14 – De  $L^*a^*b^*$ -kleurenruimte

Figuur 15 geeft twee kernen weer, met hun respectieve kleurcoördinaten. Visueel zien we dat de linkse kern helderder en gelser is dan de rechtse kern, wat ook weerspiegeld wordt in de kleurcoördinaten:  $L^*$  en  $b^*$  voor de beige kern zijn groter dan voor de rode kern. We zien ook dat de rechtse kern roder is dan de linkse, wat weergegeven wordt in een hogere  $a^*$ -waarde.



Figuur 15 – Twee asfaltkernen met hun respectieve kleurcoördinaten

Een grootte die vaak wordt gebruikt om kleurverschillen uit te drukken, is  $\Delta E$ . Zij wordt als volgt gedefinieerd:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Deze  $\Delta E$  geeft de afstand tussen twee punten in de  $L^*a^*b^*$ -kleurenruimte weer. Het grote nadeel van deze kleurverschilformule is dat eenzelfde  $\Delta E$  niet steeds eenzelfde visueel kleurverschil impliceert. Vandaar dat in het OCW kleurverschillen voor iedere kleurcoördinaat afzonderlijk worden uitgedrukt (dit wil zeggen  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  en  $\Delta b^*$ ).

### 6.3 Spectrofotometers

Er zijn verschillende toestellen op de markt om kleur te meten. Algemeen kunnen we deze kleurmeters opdelen in twee groepen: colorimeters en spectrofotometers. Omdat spectrofotometers een betere precisie en meer mogelijkheden hebben dan colorimeters, wordt een spectrofotometer aanbevolen (figuur 16).

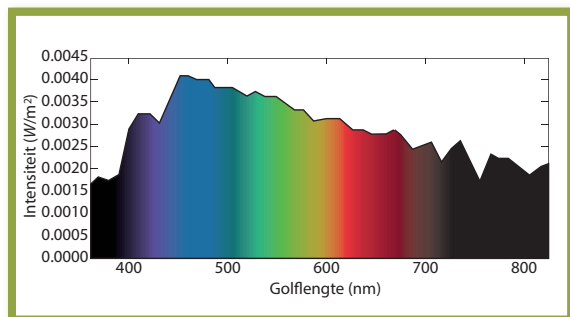


Figuur 16 – Spectrofotometer

Het werkingsprincipe van een spectrofotometer is eenvoudig:

- het toestel wordt op een object geplaatst;
- bij een druk op een knop wordt het object belicht door een ingebouwde lichtbron;
- de gereflecteerde straling wordt door het toestel geanalyseerd;
- dit resulteert in bepaalde  $L^*$ ,  $a^*$ - en  $b^*$ -kleurcoördinaten, die verschijnen op het display van het toestel.

Een spectrofotometer heeft verschillende mogelijke instellingen: zo kunnen het type illuminant en het gezichtsveld worden gekozen. Er werd voor de D65-illuminant gekozen, omdat deze overeenstemt met Europees daglicht. De spectraalcurve van deze illuminant staat afgebeeld op figuur 17.



Figuur 17 – Spectrale verdeling van de D65-illuminant

Verder biedt een spectrofotometer de mogelijkheid om het gezichtsveld of de *viewing angle* van de waarnemer te specificeren. Hiervoor zijn er twee mogelijkheden, namelijk een  $2^\circ$ - en een  $10^\circ$ -*viewing angle* (figuur 18 - blz.36). Omdat de *viewing angle* van  $10^\circ$  een betere correlatie geeft met de visuele waarneming, werd voor dit bredere gezichtsveld gekozen.

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

Er bestaan twee soorten draagbare spectrofotometers: enerzijds die met een  $45^\circ/0^\circ$ -geometrie en anderzijds die met een  $d/8^\circ$ - of spheregeometrie. Beide werden gebruikt en vergeleken. De diameter van de opening van het meetvenster van de in het OCW bestudeerde kleurmeters bedraagt 11 mm.

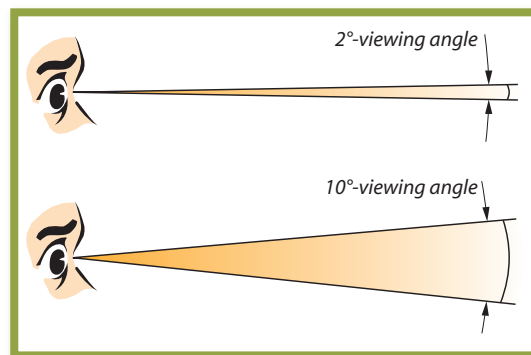
### 6.3.1 Spectrofotometer type $45^\circ/0^\circ$

De eerste hoek,  $45^\circ$ , verwijst naar de hoek waaronder het licht op het object invalt. De tweede hoek,  $0^\circ$ , verwijst naar de hoek waaronder de gereflecteerde straling geanalyseerd wordt. Beide hoeken worden gezien ten opzichte van de normaal op het oppervlak. De  $45^\circ/0^\circ$ -spectrofotometer die in dit onderzoek wordt gebruikt, beschikt over een circulaire belichting. Dit wil zeggen dat de belichting van het object onafhankelijk is van de richting van het object. De werking van deze spectrofotometer is schetsmatig weergegeven op figuur 19.

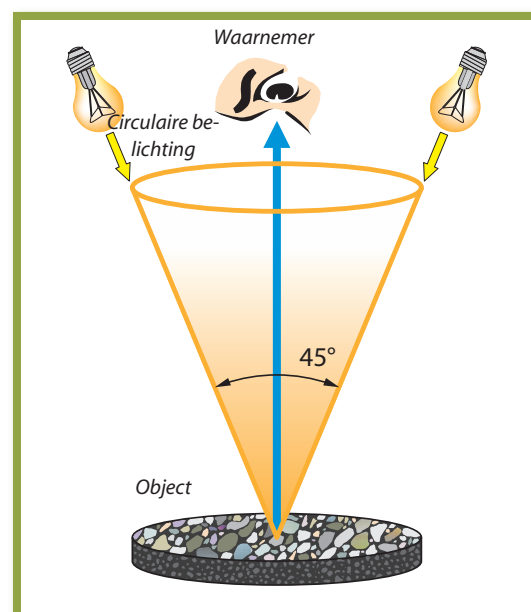
Spectrofotometers van het type  $45^\circ/0^\circ$  zien kleur op dezelfde manier als het menselijk oog. Aangezien het object belicht wordt onder een hoek van  $45^\circ$ , zal de textuur van het oppervlak een invloed hebben op de kleurmeting. De kleur van twee stalen met eenzelfde pigmentatie en een verschillende textuur wordt door deze spectrofotometer als verschillend gezien. Dit is ook zo voor het menselijk oog.

### 6.3.2 Spectrofotometer type $d/8^\circ$

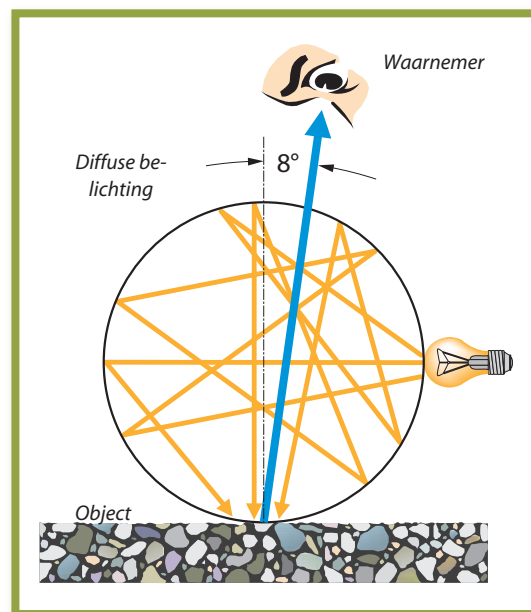
Deze spectrofotometer zal het object op een diffuse manier belichten. De door het object gereflecteerde straling wordt geanalyseerd onder een hoek van  $8^\circ$  met de normaal op het oppervlak. Om een diffuse belichting te verkrijgen, wordt gebruikgemaakt van een holle bol (*bol van Ulbricht*) die van binnen een witte coating heeft en die het invallende licht in alle richtingen verstrooit (figuur 20). Door de diffuse belichting van het oppervlak zal de invloed van de textuur van het oppervlak op de



Figuur 18 –  $2^\circ$ - en  $10^\circ$ -viewing angle



Figuur 19 – De  $45^\circ/0^\circ$ -geometrie



Figuur 20 – De  $d/8^\circ$ -geometrie

meting verwaarloosbaar zijn. Schaduweffecten zullen bij deze geometrie geen rol spelen. Twee stalen met eenzelfde pigmentatie en een verschillende textuur zullen door deze kleurmeter als gelijk worden gezien.

### 6.3.3 Vergelijking

In een eerste fase werden met beide spectrofotometers ( $45^{\circ}/0^{\circ}$ - en  $d/8^{\circ}$ -geometrie) kleurmetingen op kernen en op bouwplaatsen uitgevoerd. Door de heterogene en grove textuur van het asfalt en de beperkte diameter van het meetvenster (11 mm) konden de metingen met de twee spectrofotometers binnen de precisie van de proef meestal niet worden onderscheiden. Het OCW koos uiteindelijk voor de spectrofotometer met  $45^{\circ}/0^{\circ}$ -geometrie [21].

## 6.4 Meetmethoden

De verschillende meetmethoden die hierna worden beschreven, zijn geen contractuele proeven. Het zijn methoden die het OCW heeft ontwikkeld in het kader van een NBN-project rond gekleurd asfalt, dat eind 2014 afloopt. Deze methoden worden momenteel gevalideerd en kunnen dus nog wijzigingen ondergaan.

### 6.4.1 Meetmethode voor kernen

Vooraleer een kern gemeten wordt, dient eventuele bevuiling te worden verwijderd met een harde borstel. De kern wordt vervolgens in vier kwadranten verdeeld en per kwadrant wordt één meting uitgevoerd. De gemiddelde  $L^*$ -,  $a^*$ - en  $b^*$ -waarden van deze vier metingen worden als de kleurcoördinaten van de kern beschouwd [21].

### 6.4.2 Meetmethode voor bouwplaatsen

Om de kleur van een asfaltverharding te meten, is het belangrijk dat het te meten oppervlak droog en vrij van vuil is. Meestal zal een reiniging op de meetlocatie met een harde borstel volstaan, maar in sommige gevallen van ernstige bevuiling dient het oppervlak nat te worden gereinigd. De meting dient wel op een droog oppervlak te gebeuren.

#### 6.4.2.1 Meetmethode voor wegen, fiets- en voetpaden

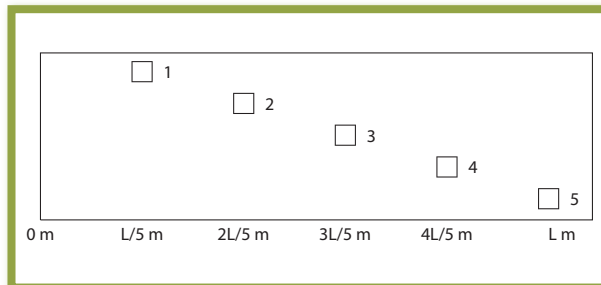
Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen kleine (lengte < 50 m) en grotere bouwplaatsen (lengte  $\geq$  50 m):

- voor kleine wegen, fiets- en voetpaden (lengte < 50 m) wordt de lengte van het vak gemeten (L). Er wordt in vijf vierkante oppervlakken van 20 cm bij 20 cm gemeten, verspreid over de gehele breedte van de weg en met verschillende lengtecoördinaten zoals afgebeeld op figuur 21 (blz. 38);
- voor grotere wegen, fiets- en voetpaden (lengte  $\geq$  50 m) wordt iedere 10 m in een vierkant oppervlak van 20 cm bij 20 cm gemeten, zoals afgebeeld op figuur 22 (blz. 38).

Per vierkant worden vier kleurmetingen uitgevoerd: één in ieder hoekpunt van het vierkant. Een houten frame van 20 cm bij 20 cm is hierbij een handig hulpmiddel (figuur 23 - blz. 38). Een meting wordt gedefinieerd als het gemiddelde voor deze vier meetpunten. De kleurcoördinaten van de hele bouwplaats worden verkregen door het gemiddelde van alle metingen te nemen [21].

## Gekleurde asfaltmengsels

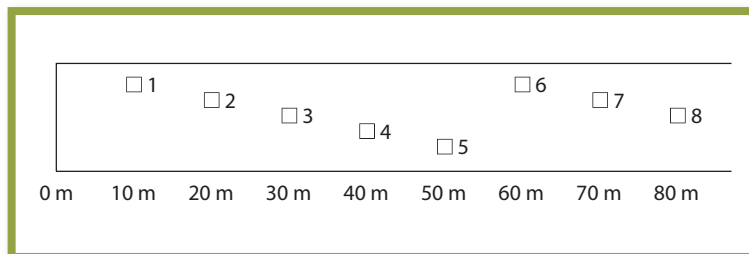
Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur



Figuur 21 – Schema voor kleine wegen, fiets- en voetpaden



Figuur 23 – Vierkant oppervlak van 20 cm bij 20 cm

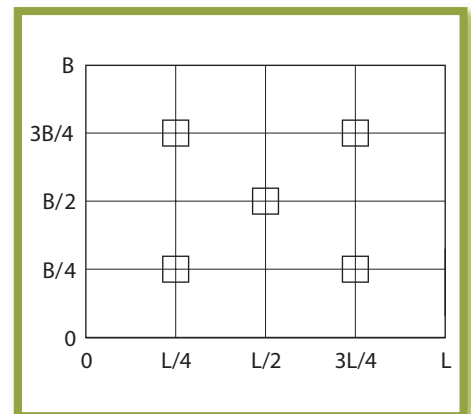


Figuur 22 – Schema voor grotere wegen, fiets- en voetpaden

### 6.4.2.2 Meetmethode voor pleinen

Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen kleine (oppervlakte  $< 2\ 500\ \text{m}^2$ ) en grote pleinen (oppervlakte  $\geq 2\ 500\ \text{m}^2$ ):

- voor kleine pleinen (oppervlakte  $< 2\ 500\ \text{m}^2$ ) wordt in vijf vierkante oppervlakken van 20 cm bij 20 cm gemeten, verspreid over het plein zoals afgebeeld op figuur 24;
- voor grote pleinen (oppervlakte  $\geq 2\ 500\ \text{m}^2$ ) wordt de totale oppervlakte van het plein,  $S$ , bepaald en gedeeld door  $2\ 500\ \text{m}^2$ . Vervolgens wordt de gevonden waarde,  $x$ , afgerond tot een natuurlijk getal,  $n$ , dat het aantal delen voorstelt waarin het plein dient te worden verdeeld. De delen worden zo gekozen dat de oppervlakte van ieder deel ongeveer gelijk is. Per deel wordt in vijf vierkante oppervlakken van 20 cm bij 20 cm gemeten, verspreid over het deel zoals afgebeeld op figuur 24.



Figuur 24 – Schema van de beproevingsmethode voor pleinen

Per vierkant worden vier meetpunten genomen, idem als beschreven in § 6.4.2.1 Meetmethode voor wegen, fiets- en voetpaden.

## ► Vooruitzichten

In dit dossier hebben wij een stand van zaken voor gekleurde asfaltmengsels opgemaakt en concrete aanbevelingen gegeven voor de materiaalkeuze, het mengselontwerp en de uitvoering van een duurzame, goed presterende gekleurde asfaltverharding, waarbij vooral de aspecten met betrekking tot mechanische prestaties werden belicht. Andere aspecten, zoals beoordeling van de kleurduurzaamheid en vastleggen van kleurklassen, werden vooralsnog buiten beschouwing gelaten. Het OCW werkt hieraan, in het kader van een NBN-project (overeenkomst CC-CCN PN/NBN-707-757-907).

Overigens is onlangs in het OCW een nieuwe werkgroep "Gekleurde verhardingen" opgericht, met als hoofddoel een objectieve werkwijze op te stellen om de kleur en kleurduurzaamheid van gekleurde asfaltverhardingen te bepalen. Wij zullen niet nalaten u daarover in de toekomst te berichten.

---

## ► Normatieve documenten

- NBN EN 12697-11** Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 11: Bepaling van de affiniteit van toeslagmateriaal voor bitumen
- NBN EN 12697-12** Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 12: Bepaling van de watergevoeligheid van bitumineuze proefstukken
- NBN EN 12697-22** Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 22: Wielspoorproef
- NBN EN 12697-32** Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 32: Verdichting van bitumineuze mengsels in het laboratorium met een trillingsverdichter
- NBN EN 12697-46** Bitumineuze mengsels – Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 46: Scheurvorming en eigenschappen bij lage temperatuur bepaald met eenassige trekproeven
- NBN EN 12878** Pigmenten voor het kleuren van bouwmaterialen op basis van cement en/of kalk: Specificaties en beproevingsmethoden (+ AC:2006)
- NBN EN 13043** Toeslagmaterialen voor asfalt en oppervlakbehandeling voor wegen, vliegvelden en andere verkeersgebieden
- NBN EN 13179-1** Beproevingen voor minerale vulstof in bitumineuze mengsels – Deel 1: Delta ring- en kogelproef
- NBN EN 14770** Bitumen en bitumineuze bindmiddelen – Bepaling van de complexe afschuifmodulus en fasehoek – Dynamische afschuifreometer (DSR)
- NBN EN 14771** Bitumen en bitumineuze bindmiddelen – Bepaling van de buigkruipstijfheid – Buigbalkreometer (BBR)
- NBN EN ISO 591-1** Titaandioxidepigment voor verven – Deel 1: Specificaties en beproevingsmethoden
- NBN EN ISO 787-7** Algemene beproevingsmethoden voor pigmenten en vulstoffen – Deel 7: Bepaling van de zeefrest – Methode met water – Handmatige methode
- NBN EN ISO 1248** IJzeroxidepigmenten: specificaties en beproevingsmethoden (ISO 1248:2006 inclusief Technisch Corrigendum 1:2007) (+ AC:2009)

## Gekleurde asfaltmengsels

Praktische aanbevelingen voor de materiaalkeuze, het ontwerp en de verwerking – Objectieve bepaling van de kleur

### ► Referenties

- [1] *Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies - A78/06*  
Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, 2006
- [2] *Les produits colorés à base de bitume ou de résines pour revêtements de voirie urbaine*  
Revue générale des routes et des aérodromes, n° 730, p. 42, 1995
- [3] *Enrobés spéciaux à usages divers*  
Revue générale des routes et des aérodromes, supplément au n° 581, pp. 6-8, 1981
- [4] Y. Brosseaud, M. Saint-Jacques  
*Les revêtements bitumineux colorés en France – Bilan d'utilisation*  
Revue générale des routes et des aérodromes, n° 809, pp. 66-73, 2002
- [5] Pierres et marbres de Wallonie, <http://www.pierresetmarbres.be>
- [6] Verbond van ontginningsbedrijven in België, <http://www.fediex.be>
- [7] *Classificatie van gesteenten*  
Technische voorschriften PTV 844, versie 1.0, 2005-09-08
- [8] Cahier des charges type Qualiroutes, Chapitre C *Matériaux et produits de construction*
- [9] D. Sicard, F. Bonvalot, G. Bonnet  
*Le choix des revêtements colorés à base de bitume ou de résine pour la voirie urbaine – Recommandations*  
Laboratoire régional de l'Ouest Parisien, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 2007
- [10] N. Piérard, K. Denolf, A. Destrée, J. De Visscher, S. Vansteenkiste, A. Vanelstraete  
*Développement des essais de performance pour les revêtements bitumineux colorés et détermination de leurs performances*  
Rapport annuel pour la période du 1<sup>er</sup> octobre 2011 au 30 septembre 2012  
Convention CC CCN/PN/NBN-757, décembre 2012
- [11] M. Ballié, Th. Delcroix  
*Liant innovant d'origine végétale pour enrobés routiers et revêtements de voiries*  
Routes-Roads 2008, n° 336/337, pp. 178-191
- [12] *Coloration des enrobés à chaud – Notice technique*  
Bayer Inc., Division Produits Minéraux, Oxydes de fer, France, 1994
- [13] A.M. Serres, H. Legillon, B. Faure  
*Couleur et clarté des surfaces routières*  
Revue générale des routes et des aérodromes, n° 709, p. 27-28, 1993
- [14] Handboek Betontechnologie, Hoofdstuk II.5.2 *Pigmenten*  
Belgische Betongroepering, uitgave 2006
- [15] C. Pane, M. Lecomte  
*Les liants clairs et leur rôle dans la construction routière*  
Shell bitumen, septembre 2008
- [16] C. Ployaert, P. Van Audenhove  
*Naar een optimale samenstelling van wegenbeton*  
FEBELCEM, 2010
- [17] R. Azouani  
*Elaboration de nouveaux nanomatériaux photocatalytiques actifs sous rayonnements ultraviolets*  
Thèse de doctorat de l'Université de Paris 13, 2009
- [18] G. Buxbaum, G. Pfaff  
*Industrial inorganic pigments*  
Third completely revised and extended edition, Wiley-VCH, 2005
- [19] M. Saint-Jacques, Y. Brosseaud  
*Coloured bituminous wearing courses in France – Overview of uses*  
10<sup>th</sup> International Conference on Asphalt Pavements, August 12-17, 2006, Quebec City, Canada 2006.  
Vol. 3, pp. 233-42
- [20] *Handleiding voor de formulering van bitumineuze mengsels - A69/97*  
Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, 1997
- [21] K. Denolf, N. Piérard, A. Vanelstaete  
*Ontwikkeling van een proefmethode om op een objectieve manier de kleur van gekleurde bitumineuze verhardingen te bepalen*  
Belgisch Wegencongres, 11-13 september 2013, Luik