



## Handleiding

*voor industriële  
buitenverhardingen in beton*



**Aanbevelingen**

Deze handleiding is opgesteld door de werkgroep "Industriële buitenverhardingen in beton".

Samenstelling van deze werkgroep:

Voorzitter: Luc Rens (FEBELCEM)  
Secretaris : Anne Beeldens (OCW)

Leden:

- Patrick Bijmens (Eurodal bvba)
- Romain Buys (Robuco)
- Luc Christiaens (Fedbeton)
- Wim Delporte (Delporte En Zonen n.v.)
- Walter Demey (Drion Glijbouw n.v.)
- Olivier De Myttenaere (OCW)
- John De Pauw (Eerdeken Jos n.v. Industrievloeren)
- Koen De Rycke (Gebroeders De Rycke n.v.)
- Eli Desmedt (Vlawebo)
- Peter De Vylder (Konkrix n.v.)
- Manu Diependaele (Kpmd gcv)
- Jos Eerdeken (Eerdeken Jos n.v. Industrievloeren)
- Michael Heijlen (Westerlund Antwerp)
- Anne Hoekstra (Bekaert n.v.)
- Erik Kerkhofs (Konkrea bvba )
- Benoit Parmentier (WTCB)
- Sergio Perez (OCW)
- Olivier Pilate (Sagrex)
- Johny Renckens<sup>†</sup> (Glansbeton Industrievloeren bvba)
- Steven Schaerlaekens (Holcim Beton België n.v.)
- Dirk Stove (Grontmij Vlaanderen)
- Antoine Van Alphen (Konkrea bvba )
- Carl Van Geem (OCW)
- Remy Van Rossem (Evonik Degussa Antwerpen n.v.)
- Marc Vansteenbrugge (Bekaert n.v.)

Belangrijk:

Hoewel de aanbevelingen in deze handleiding met de grootst mogelijke zorg zijn opgesteld, zijn onvolkomenheden nooit uit te sluiten. Het OCW en de personen die aan deze publicatie hebben meegewerkt kunnen geenszins aansprakelijk worden gesteld voor de verstrekte informatie, die louter als documentatie en zeker niet voor contractueel gebruik is bedoeld.

Deze publicatie is ook uitgegeven als WTCB publicatie

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Brussel

Handleiding  
voor industriële buitenverhardingen  
in beton

A 82/11

Uitgegeven door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw  
Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Woluwedal 42 – 1200 Brussel

Alle rechten voorbehouden



# Inhoud

<b>Inleiding</b>	1
<b>1 Toepassingsgebied en terminologie</b>	5
1.1 Toepassingsgebied	5
1.2 Types betonverhardingen	5
1.2.1 Ongewapend platenbeton	5
1.2.2 Gewapend platenbeton	6
1.2.3 Staalvezelbeton	6
1.2.4 Doorgaand gewapend beton	7
1.2.5 Walsbeton	7
1.3 De verschillende lagen van de structuur	7
1.3.1 De ondergrond	8
1.3.2 De onderfundering	10
1.3.3 De fundering	11
1.3.4 De tussenlaag, nivelleerlaag of membraan	12
1.3.5 De betonverharding	13
<b>2 Dimensionering</b>	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Types belastingen	15
2.2.1 Statische belastingen	16
2.2.2 Dynamische belastingen	16
2.3 Indeling in belastingsklassen	17
2.3.1 Belastingsklasse 4	17
2.3.2 Belastingsklasse 3	17
2.3.3 Belastingsklasse 2	17
2.3.4 Belastingsklasse 1	17
2.4 Invloedsfactoren	18
2.4.1 Ondergrond	18
2.4.2 (Onder)fundering	18
2.4.3 Betonsterkte en gebruik luchtbelvormer	18
2.4.4 Deuvels	18
2.4.5 Staalvezels	18
2.4.6 Geometrie	19
2.5 Voorbeelden van berekende structuren	19
2.5.1 Belastingsklassen 4 en 3	19
2.5.2 Belastingsklassen 2 en 1	21

<b>3</b>	<b>Ontwerp en uitvoering</b>	<b>23</b>
3.1	Algemeen	23
3.2	Betonsamenstelling	23
3.2.1	Inleiding	23
3.2.2	Samenstellende bestanddelen	23
3.2.2.1	Granulaten (stenen en zand)	23
3.2.2.1.1	Indeling	23
3.2.2.1.2	Eisen gesteld aan de stenen	24
3.2.2.1.3	Eisen gesteld aan het zand	25
3.2.2.2	Cement	26
3.2.2.3	Aanmaakwater	26
3.2.2.4	Hulpstoffen	26
3.2.2.4.1	Plastificeerders	27
3.2.2.4.2	Superplastificeerders	27
3.2.2.4.3	Luchtbelvormers	27
3.2.2.4.4	Bindingsvertragers en -versnellers	28
3.3	Mogelijke types betonsamenstelling voor buitenverhardingen	28
3.3.1	Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B1-B5 zonder luchtbelvormer	29
3.3.2	Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B1-B5 met luchtbelvormer	29
3.3.3	Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B6-B10 zonder luchtbelvormer	29
3.3.4	Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B6-B10 met luchtbelvormer	29
3.3.5	BENOR-beton, omgevingsklasse EE4, zonder luchtbelvormer	29
3.3.6	BENOR-beton, omgevingsklasse EE4, met luchtbelvormer	29
3.3.7	BENOR-beton, omgevingsklasse EE3, zonder luchtbelvormer	30
3.3.8	Aanvullende eisen	30
3.4	Voegen en wapening	30
3.4.1	Functie van de voegen	30
3.4.2	Voegafstanden	30
3.4.3	Types voegen	31
3.4.3.1	Dwarse krimpbuigvoegen	31
3.4.3.2	Dwarse werkvoegen	31
3.4.3.3	Langse buigvoegen en langse werkvoegen	32
3.4.3.4	Uitzetvoegen en isolatievoegen	32
3.4.4	Principe van lastoverdracht	33
3.4.5	Deuvels	34
3.4.6	Ankerstaven	34
3.4.7	Andere voegsystemen	35
3.4.8	Voegvullingsmaterialen	35
3.4.9	Opmaak voegenplan en uitvoeringsdetails	36
3.4.10	Functie van wapeningsstaal	38
3.4.11	Netwapening of afzonderlijke wapeningsstaven	38
3.4.12	Staalvezelwapening	39
3.5	Verwerkingsmethodes en bijhorende consistentieclassen van het beton	40
3.5.1	Verwerking met de glijbekistingmachine	40
3.5.2	Verwerking tussen vaste bekistingen met trilbalk en trilnaalden	40
3.5.3	Verwerking tussen vaste bekistingen zonder bijkomende verdichting	41
3.6	Oppervlakafwerking	42
3.6.1	Eisen van oppervlakkenmerken	42
3.6.2	Bezemen in dwarsrichting of langsrichting	42
3.6.3	Afwerking met de «helikopter»	42

3.6.4	Polijsten van het verharde beton	43
3.6.5	Groeven in dwarsrichting	43
3.6.6	Chemisch uitwassen	43
3.6.7	Dunne slijtlaag	44
3.7	Nabehandeling van het verse beton	44
3.7.1	Inleiding	44
3.7.2	Nabehandelingsproduct	44
3.7.3	Plastiekfolie	45
3.7.4	Vochtig houden van het oppervlak	45
3.7.5	Invloed kunststofvezels	46
3.8	Betonneren bij warm en/of droog weer	46
3.9	Betonneren bij koud weer	46
3.10	Integraal ontwerp	47
3.10.1	Keuze terrein en indeling van de verharding	47
3.10.2	Afwatering	48
3.11	Aanbevelingen voor de betonsamenstelling en verwerking voor de verschillende belastingsklassen	49
3.11.1	Belastingsklasse 4	49
3.11.2	Belastingsklasse 3	50
3.11.3	Belastingsklasse 2 (2a en 2b)	50
3.11.4	Belastingsklasse 1	50
<b>4.</b>	<b>Speciale toepassingen</b>	<b>53</b>
4.1	Grote gewapende betonplaten	53
4.2	Toppings	53
4.3	Inwerken van sporen (rails) in de verharding	53
4.4	Vloeistofdichte betonverhardingen	54
4.5	Gekleurde betonverhardingen	55
4.6	Krimparm beton	55
<b>5.</b>	<b>Controle en evaluatie</b>	<b>57</b>
5.1	Vóór en tijdens de uitvoering	57
5.2	Bij de oplevering	58
<b>6.</b>	<b>Schade, onderhoud en herstellingen</b>	<b>63</b>
6.1	Inleiding	63
6.2	Oorzaken van schade	63
6.3	Schadebeelden	64
6.3.1	Zettingen	64
6.3.2	Scheuren (Dwarsscheuren – Langsscheuren – Hoekscheuren)	64
6.3.3	Uitbrokkelen van voegranden	66
6.3.4	Openstaan van voegen	67
6.3.5	Oppervlakproblemen (Afschilfering, putjes, roestvlekken, polijsting, aantasting)	67
6.3.6	Alkali-silicareactie	68

6.4	Onderhoud en herstellingen	69
6.4.1	Onderhoud van de voegen	69
6.4.2	Stabiliseren of oppersen van platen door injectie	69
6.4.3	Afdichten van scheuren	70
6.4.4	Herstelling van af- en uitbrokkelingen	70
6.4.5	Vervanging van platen over hun hele dikte	71
6.4.6	Snelle herstellingen d.m.v. gebruik van snelhardend beton	72
6.4.7	Preventieve oppervlakbehandeling tegen afschilfering	73
6.4.8	Herstelling van oppervlaktextuur	73
6.4.8.1	Oppervlakbehandeling door afslijpen met diamantschijven (microgroeven)	73
6.4.8.2	Oppervlakbehandeling door frezen	74
6.4.8.3	Oppervlakbehandeling door hameren	74
6.4.8.4	Oppervlakbehandeling door gritstralen	74
6.4.8.5	Oppervlakbehandeling door polijsten met diamantschijven	74
6.4.8.6	Oppervlakbehandeling door waterstraal onder hoge druk (hydroscarificatie, hydrojet, enz.)	74
6.4.8.7	Aanbrengen van een slijtvaste deklaag (topping) op een bestaand betonoppervlak	75
<b>7.</b>	<b>Aspecten van duurzaam bouwen</b>	<b>77</b>
7.1	Inleiding	77
7.2	Mileuaspecten	77
7.3	Economische aspecten	78
7.4	Sociaal-maatschappelijke aspecten	78
<b>Literatuur</b>		
	Documenten	79
	Normen	81
	Websites	81
<b>Lijst van de figuren</b>		<b>83</b>
<b>Lijst van de tabellen</b>		<b>85</b>



## Inleiding

Jaarlijks worden rond bedrijfsgebouwen en commerciële centra miljoenen m<sup>2</sup> verharding aangelegd bestemd voor rijwegen, parkings, opslagplaatsen of andere industriële functies. België staat gekend als logistiek knooppunt met talrijke Europese, nationale en lokale verdeelpunten die elk hun specifieke behoeften hebben op vlak van gebouwen en terreinen. Met de mondialisering van de economie neemt bovendien het verkeer van containers en stukgoederen via havens en binnenvaart alsmaar toe. Al deze logistieke activiteiten vereisen los- en laad-, opslag- en verdeelinfrastructuur waarvan de verhardingen een belangrijk onderdeel vormen.

In ons land worden heel wat bedrijfsverhardingen in beton aangelegd. Dit is onder andere te verklaren door de rijke traditie van gebruik van beton in de wegenbouw in België die maakt dat er heel wat kennis, ervaring en materieel voorhanden is, die zowel voor de openbare als de private markt beschikbaar zijn. Dit heeft ook met zich meegebracht dat heel wat aannemers zich zijn gaan specialiseren op de markt van industriële binnenvloeren en buitenverhardingen.

Een ander criterium dat vaak tot de keuze voor beton leidt, is de beschikbaarheid van de infrastructuur. Eenmaal een verharding is aangelegd, wenst de logistieke operator er gedurende vele jaren gebruik te kunnen van maken zonder enige onderbreking voor onderhoud, herstelling of renovatie. Hij rekent namelijk op de bedrijfszekerheid van alle schakels in zijn proces. Gezien de enorme kosten – verliezen – die een onderbreking van de economische activiteit met zich kan meebrengen, is een hogere initiële investering in een kwaliteitsvolle en duurzame verharding meer dan gerechtvaardigd. Het belang van de industriële buitenverhardingen mag daarom niet onderschat worden.

Omgekeerd, wanneer de aanleg van de verharding slechts als bijkomstig wordt aanzien ten opzichte van de gebouwen, weze het een fabriek, een winkelcentrum of wat dan ook en wanneer bijgevolg de financiële en/of technische inspanningen ervoor verwaarloosd worden, zullen zowel de eindgebruiker als de ontwerper en aannemer bedrogen uitkomen. Ondergedimensioneerde, slecht aangelegde en afgewerkte verhardingen leiden immers snel tot schade of tot niet-functionele verhardingen; met andere woorden, ze kunnen niet meer gebruikt worden waartoe ze bestemd waren.

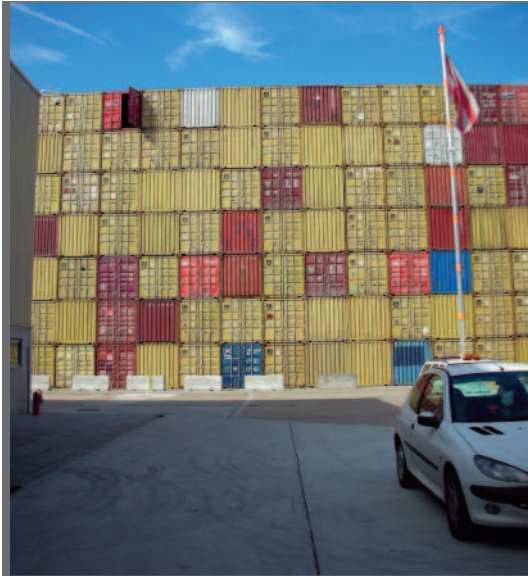
Uiteraard spelen ook de klassiek gekende voordelen van beton mee in de keuze: de vormvastheid of totale weerstand tegen spoorvorming, de goede spreiding van de lasten, de bestandheid tegen puntlasten, stoten, slijtage en koolwaterstoffen en in sommige gevallen de vloeistofdichtheid.

Op het vlak van gebruiksomstandigheden wordt de ontwerper geconfronteerd met een hele waaier, gaande van parkings en rijwegen voor personenwagens over terreinen met verkeer van vrachtwagen en vorkheftrucks tot de zwaarst belaste haventerreinen met aslasten buiten alle categorie en ingebouwde treinsporen. Voor elke toepassing dient een geschikte dikte van de betonverharding, opbouw van de structuur en betonsamenstelling gekozen te worden om op economisch verantwoorde wijze de gewenste prestaties over de vooropgestelde levensduur te behalen.

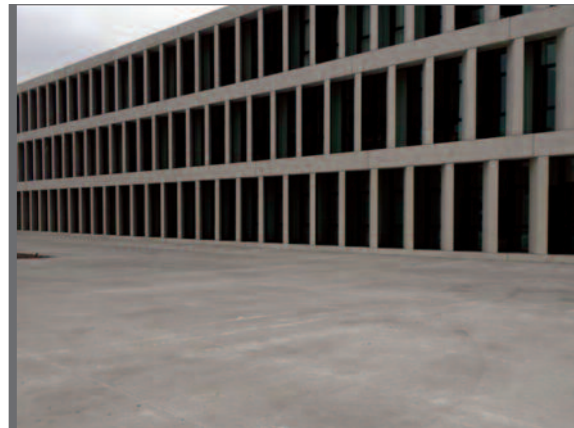
Qua uitvoering worden ook zowat alle mogelijke technieken en materieel aangewend: glijbekisting, vaste bekisting, trilbalken, trilnaalden, betonpompen, helikopters, laserscreeds, netwapening, staal- en kunststofvezels, metalen profielen, enz. Ook naar opbouw toe is een grote variatie mogelijk van een betonplaat die rechtstreeks op het natuurlijk terrein wordt aangelegd tot een complete opbouw analoog aan die van de autosnelwegen.

Het is duidelijk dat er voor de ontwerper en uitvoerder heel wat keuzes mogelijk zijn. Helaas wordt er niet altijd de juiste keuze gemaakt in overeenstemming met het beoogde gebruiksdoel. De regel waartegen meestal gezondigd wordt is:

INDUSTRIËLE BUITENVERHARDING ≠ INDUSTRIËLE BINNENVLOER



Containerterminal



Plein voor Groeninge ziekenhuis te Kortrijk in platenbeton  
(Baumschlager & Eberle architecten)



Lommel: industriepark Balendijk



Heist-op-den-Berg: parking voor personenwagens

Vooraf de meteorologische invloeden maken hier het enorme verschil. De voornaamste factoren zijn de verschillende uithardingscondities van het verse beton, de verschillen in krimp en uitzetting ten gevolge van de dagelijkse en de seizoensgebonden temperatuursvariëaties en de invloed van vorst en het gebruik van dooizouten. Karakteristiek aan de winters in onze regio zijn de vele en snel opeenvolgende vorst- en dooicycli, welke de buitenverhardingen zwaar kunnen beschadigen. Dit heeft tot gevolg dat de eisen die aan beton buiten worden gesteld veel hoger liggen dan die aan het beton voor binnen de gebouwen.

Waar er voor de klassieke wegebouw enerzijds en voor de betonvloeren binnen de gebouwen anderzijds heel wat publicaties, richtlijnen en aanbevelingen voorhanden zijn bestaat er geen recente handleiding voor het ontwerp en de aanleg van industriële buitenverhardingen in ter plaatse gestort beton. Deze handleiding heeft tot doel deze leemte op te vullen en wil aan ontwerpers, uitvoerders, beheerders en eigenaars van betonnen industrieverhardingen de nodige inzichten en technische bagage meegeven om de juiste beslissingen te nemen. Of, wanneer een afwijkende keuze wordt genomen, moeten de verschillende actoren in staat zijn om het risico ervan te kunnen voorzien.

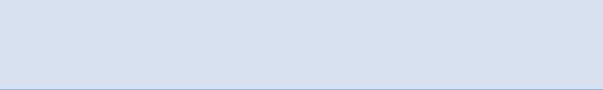
Deze handleiding is echter geen contractueel document op zich. Wel bevat het een reeks beschouwingen en aanbevelingen die tot doel hebben de algemene kwaliteit van de betonnen buitenverhardingen op een hoger peil te tillen, net zoals dat het geval was voor de binnenvloeren na de publicatie van de betreffende *Technische Voorlichting 204* door het WTCB.

Deze handleiding beschouwt voornamelijk de functionele kenmerken en is niet geschikt voor de beoordeling van esthetische verhardingen waar bijvoorbeeld een bijzonder belang kan worden gehecht aan de oppervlakafwerking, de kleurschakeringen, de voegpatronen, enz. Meer informatie hierover kan teruggevonden worden in de publicatie *Verhardingen in gekleurd uitgewassen beton* van FEBELCEM.

Door de talrijke parameters die de prestaties van het gerealiseerde werk beïnvloeden zal er altijd aanleiding mogelijk zijn tot discussie indien het gedrag van de verharding niet beantwoordt aan de verwachtingen. Niettemin moet deze handleiding de ambitie hebben om, door een beter inzicht in de mogelijke technieken, te vermijden dat er conflicten ontstaan tussen de verschillende partijen.

Een buitenverharding wordt aan andere belastingen onderworpen dan een binnenvloer, in het bijzonder de weersinvloeden. Dit brengt essentiële verschillen met zich mee op vlak van ontwerp, betonsamenstelling en uitvoering. Eén zelfde concept kan daarom **niet** toegepast worden binnen en buiten een bedrijfsgebouw.

Deze handleiding is geen contractueel document. De passende technische bepalingen, afhankelijk van de toepassing, van de gewenste afwerking en van de garantie op een kwalitatieve, scheurvrije verharding, dienen te worden overgenomen in de bestekteksten.



# Hoofdstuk 1

## Toepassingsgebied en terminologie

### 1.1 Toepassingsgebied

Het onderwerp van deze handleiding zijn de industriële buitenverhardingen aangelegd in ter plaatse gestort beton. De functie van deze verhardingen varieert van terreinen, rijwegen en parkings voor licht verkeer (< 3,5 ton), autobussen of vrachtwagens (aslasten tot 13 ton) tot stapelplaatsen, overslagterreinen, containerterminals en industrie- of haventerreinen waar regelmatig zware stukgoederen (tot meer dan 100 ton) verhandeld worden.

Betonnen industievloeren binnen de gebouwen vallen dus buiten het opzet van deze publicatie en hiervoor wordt verwezen naar andere richtlijnen en publicaties terzake zoals:

- WTCB, Technische Voorlichting 204, *Cementgebonden bedrijfsvloeren* (juni 1997);
- FEBELCEM, Dossier Cement, bulletin nr. 23 *Cementgebonden bedrijfsvloeren – Ontwerp-Dimensionering* (november 2000);
- FEBELCEM, Dossier Cement, bulletin nr. 24 *Cementgebonden bedrijfsvloeren – Uitvoering* (december 2000);

Bedrijfsverhardingen in betonstraatstenen zijn evenmin opgenomen in deze handleiding. Hiervoor bestaan ook andere documenten zoals:

- OCW, *Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen*, OCW Aanbevelingen A 80/09, 2009;
- FEBELCEM, *Bedrijfsverhardingen van beton*, 1990.

Voor de wegen en verhardingen beheerd door de publieke overheden (gemeenten, provincies, gewesten, enz.) zijn dan weer de typebestekken voor de wegenbouw van kracht:

- Brussel: Typebestek 2011;
- Vlaanderen: Standaardbestek 250 voor de Wegenbouw;
- Wallonië: CCT Qualiroutes;

alsook diverse omzendbrieven, dienstorders en aanvullende richtlijnen.

Wel wordt er in deze handleiding beroep gedaan op de drie typebestekken om een aantal bepalingen, o.a. op het vlak van betonsamenstelling, vast te leggen. Om de duidelijkheid en leesbaarheid te bewaren wordt in de Nederlandstalige versie van deze handleiding verwezen naar het Vlaamse Standaardbestek 250 (versie 2.2) en in de Franstalige versie naar het Waalse typebestek CCT Qualiroutes.

### 1.2 Types betonverhardingen

#### 1.2.1 Ongewapend platenbeton

Monolietverhardingen van ongewapend beton bestaan uit een opeenvolging van platen waarvan de lengte beperkt is tot ongeveer 25 maal de dikte, in de praktijk meestal 4 à 5 m. Dit type verharding wordt gekenmerkt door de langs- en dwarsvoegen die ertoe dienen een spontane wilde scheurvorming te vermijden. Zonder voegen zou die scheurvorming immers optreden door de krimpspanningen in het verhardende beton. De voegen worden gezaagd binnen een tijdsspanne van ongeveer 6 tot 24 uur na het betonneren.

Het platenbeton kan volledig vrij zijn van staal maar kan ook voorzien worden van deussels en/of ankerstaven.



**Figuur 1.1** *Gedeuveld ongewapend platenbeton*

Deuvels zijn gladde metalen staven, die aangebracht worden in de dwarsvoegen en dienen voor een lastoverdracht van de ene plaat naar de andere. In de langsvoe-gen kunnen ankerstaven aangebracht worden die de stroken solidair met elkaar verbinden, zo het afglijden verhinderen en ook een beperkte lastoverdracht verze-keren.

Verhardingen in platenbeton worden sinds het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw toegepast in België en worden ook nu nog frequent aangelegd voor alle categorieën van wegen, vliegvelden, bedrijfsverhardingen, enz.

## 1.2.2 Gewapend platenbeton



**Figuur 1.2** *Gewapend platenbeton*

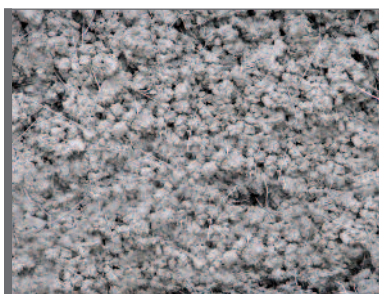
Betonverhardingen kunnen worden voorzien van een enkele of een dubbele netwapening. Het wapeningsnet kan zich onderaan bevinden en helpt dan mee bij het opnemen van buigtrekspanningen onderaan in de betonplaat. Dit kan nuttig zijn bij een zettingsgevoelige ondergrond. Wanneer het net meer naar de bovenkant wordt geplaatst, verhindert het vooral een eventuele scheurvorming aan het oppervlak door krimp. Wanneer het net in het midden van de plaat wordt geplaatst worden de verschillende functies in beperktere mate gecombineerd. Bovendien draagt het in enige mate bij tot lastoverdracht tussen de platen.

Dit type wapening wordt vaak toegepast voor industriële verhardingen en veel minder in de klassieke wegebouw.

Het gebruik van gewapend platenbeton laat ook toe om

de voegafstand te vergroten, wat een belangrijk voordeel kan zijn voor industriële buitenverhardingen. Voor zwaar belaste verhardingen kan het wapeningsnet gecombineerd worden met deuvels en/of ankerstaven. In dat geval dienen de deuvels en/of de ankerstaven met het wapeningsnet te overlappen.

## 1.2.3 Staalvezelbeton (zie ook § 2.4.5 en § 3.4.12)



**Figuur 1.3** *Staalvezelbeton*

De wapeningsnetten kunnen ook vervangen worden door of gecombineerd worden met staalvezels, welke ingemengd worden in de betonspecie. De meeste toepassingen hiervan vinden we in industrievloeren binnen maar vaak ook buiten de gebouwen. Het voordeel van staalvezels is dat ze het beton schokbestendiger en taaier maken. Dit betekent dat na het ontstaan van een scheur de structuur niet onmiddellijk bezwijkt maar nog in staat is om spanningen op te nemen. Men spreekt dan van een nascheurgedrag. In de praktijk betekent dit ook dat eventuele kleine scheuren in een betonverharding gesloten blijven door de werking van de staalvezels. Het gebruik van staalvezels laat, precies zoals wapeningsnetten, toe om de voegafstand enigszins te vergroten of de dikte in enige mate te verminderen. Zowel het gehalte als de vorm en de afmetingen van de vezels spelen hierbij een rol. Combinaties van staalvezels met deuvels en ankerstaven zijn eveneens mogelijk.

### 1.2.4 Doorgaand gewapend beton



**Figuur 1.4** Verharding in doorgaand gewapend beton

Bij verhardingen in doorgaand gewapend beton zijn er geen dwarse krimpbuigvoegen aanwezig. Ze zijn vervangen door een reeks van gelijkmatig verdeelde fijne scheuren in de dwarsrichting. Dit is overigens het enige type van betonverharding waar scheuren toegelaten zijn. Deze scheuren zijn bij het overrijden niet zichtbaar of voelbaar waardoor het rijcomfort aanzienlijk wordt verbeterd en het onderhoud aan dwarsvoegen vervalt. Om tot dat geordend scheurpatroon te komen – het merendeel van de dwarsscheuren heeft dan een onderlinge tussenafstand van 0,8 tot 3,0 m – wordt de verharding voorzien van een stalen langswapening met een totale doorsnede van 0,60 à 0,75 % van de dwarsdoorsnede van de beschouwde rijweg. Dit percentage is zo bepaald dat de langsstaven de trekspanningen kunnen opnemen bij scheurvorming en zo de scheur gesloten houden. Het gebruikte staal heeft een hoge elasticiteitsgrens en een goede aanhechting met het beton, twee factoren die mede de afstand tussen de scheuren beïnvloeden.

Doorgaand gewapend beton is de aangewezen keuze voor de aanleg van zwaar belaste rijwegen zoals autosnelwegen en primaire wegen. Ook op enkele vliegvelden in Wallonië werd het al toegepast. Voor bedrijfsverhardingen is het eerder de uitzondering. Het zal daarom niet verder behandeld worden in deze handleiding.

### 1.2.5 Walsbeton



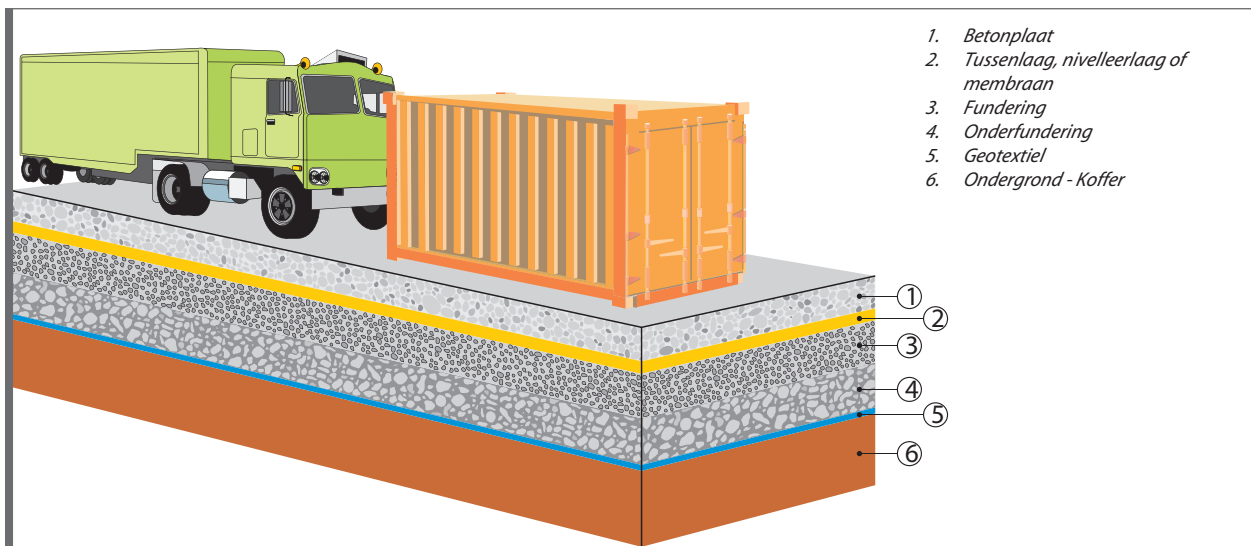
**Figuur 1.5** Verharding in walsbeton

Walsbeton is een aardvochtig beton met een maximum korrelafmeting beperkt tot 20 mm en een cementgehalte tussen 200 en 250 kg/m<sup>3</sup>, zodat ook hogere druksterktes kunnen bekomen worden. Het wordt zowel toegepast als wegverharding, dikwijls voor bos- en landbouwwegen, als in funderingen. Het grote voordeel van walsbeton is dat het verdicht wordt door statisch en trillend walsen en zo onmiddellijk overrijdbaar is. Net zoals voor platenbeton dienen voegen te worden aangebracht, hetzij in het verse beton (kerven), hetzij in het verharde walsbeton (zagen).

Hoewel walsbeton perfect toepasbaar is als industriële buitenverharding, wordt het in België maar zeer zelden toegepast. De redenen hiervoor zijn onder andere dat het weinig gekend is, dat er een ruime beschikbaarheid is aan ervaring, centrales en machines voor het ter plaatse storten van klassiek wegenbeton, dat walsbeton meer nadeel ondervindt van vorst- en doocycli en omdat de prijs/kwaliteitsverhouding ongunstiger is dan het meer gebruikte en goed ingeburgerde wegenbeton. Walsbeton wordt verder niet behandeld in deze handleiding.

## 1.3 De verschillende lagen van de structuur

De gelaagde structurele opbouw van een buitenverharding in beton ziet er in de meest volledige vorm hetzelfde uit als een wegverharding (Figuur 1.6, blz. 8).



**Figuur 1.6** Gelaagde opbouw van een buitenverharding

### 1.3.1 De ondergrond

Door de hoge stijfheid van beton, gekenmerkt door een hoge elasticiteitsmodulus van 30 000 à 40 000 N/mm<sup>2</sup>, worden de lasten over een veel groter oppervlak gespreid dan bij flexibele verhardingen. Hierdoor worden de spanningen in de ondergelegen lagen en dus ook in de ondergrond beperkt. Belangrijk is wel om een uniforme draagkracht van de grond te hebben om differentiële zettingen of verzakkingen te vermijden. Die uniformiteit wordt beïnvloed door het soort materiaal van de ondergrond, de dichtheid ervan en zeker door het watergehalte.

De bepaling van de bodemkarakteristieken aan de hand van een voorafgaand bodemonderzoek is hoe dan ook aan te raden, zeker in het geval van zwaar belaste oppervlakken of wanneer het industrieterrein wordt aangelegd in zones met weinig draagkrachtige grond (veengronden, klei, opgespoten fijne zand). Niet alleen het materiaal aan het oppervlak maar ook de dieper gelegen lagen dienen onderzocht te worden.

De eis die in België gehanteerd wordt voor de verdichting van een baankoffer is een minimale samendrukbaarheidsmodulus  $M_1$  van 17 MPa gemeten met de plaatproef (plaatoppervlakte van 200 cm<sup>2</sup>) op voorwaarde dat hier nog een fundering geplaatst wordt. Indien de verharding rechtstreeks op de ondergrond geplaatst wordt, wat alleen is toegelaten voor de laagste belastingen (belastingsklasse 4 – zie verder), dient de samendrukbaarheidsmodulus  $M_1$  minimaal gelijk te zijn aan 35 MPa.

#### Plaatproef



De plaatproef bestaat erin een cirkelvormige stijve stalen plaat met diameter 15,96 cm of 30,90 cm (oppervlak 200 cm<sup>2</sup> of 750 cm<sup>2</sup>), te kiezen in functie van de korrelverdeling van de beproefde grond (steenslag of grond), in contact te brengen met het te testen oppervlak. Een welbepaalde belasting wordt op de plaat aangebracht, waarbij het tegengewicht verzorgd wordt door een vrachtwagen, kraan, bulldozer, enz. en vervolgens wordt de zetting opgemeten, zodra deze gestabiliseerd is.

De zetting wordt geregistreerd in functie van de opgelegde belasting. De helling van de bekomen curve is een maat voor het draagvermogen van de beproefde grond.

$$M_E = \frac{D \Delta p}{\Delta s}$$

$\Delta p$  : verschil in belasting tussen 2 trappen (MN/m<sup>2</sup>)  
 $\Delta s$  : zettingsverschil (cm)  
 $D$  : diameter van de plaat (cm)

Deze proef is ook terug te vinden in de proefmethode 50.01, MN 40/78 (OCW-publicatie)



Een andere snelle en goedkope testmethode is die met de lichte slagsonde van het OCW. Die geeft in functie van de indringing per slag in de bodem een waarde van de CBR. De formule voor de bepaling van de draagkracht is wel slechts geldig voor fijnkorrelige grondsoorten, zijnde een leem tot fijne zandgrond < 0,2 mm. CBR staat voor *California Bearing Ratio* en drukt het draagvermogen uit ten opzichte van een referentiegrond en varieert meestal tussen 2 % (zwakke ondergrond) tot 15 % (zeer goed draagvermogen).

Andere parameters die ook gebruikt worden om het draagvermogen van een grond uit te drukken en die in bepaalde dimensioneringsmethodes worden toegepast zijn:

- de reactiemodulus of constante van Westergaard  $k$  (te bepalen door een plaatproef uit te voeren met een plaat met diameter 75 cm);
- de vervormingsmodulus of dynamische elasticiteitsmodulus  $E_s$  ( $\approx 10$  CBR).

Tabel 1.1 geeft een overzicht van benaderende gemiddelde waarden van deze karakteristieken voor verschillende grondsoorten.

Grondsoort	Reactiemodulus $k$ van de grond (Westergaard) (N/mm <sup>3</sup> )	Vervormingsmodulus $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
Veen	0,016	25
Klei	0,023	40
Leem	0,036	75
Zand	0,045	100
Zand-grind	0,061	150

Wanneer de ondergrond onvoldoende draagkrachtig blijkt te zijn is het mogelijk om het draagvermogen te verbeteren door:

- verdichting;
- behandeling van de aanwezige grond;
- vervanging van de aanwezige grond.

De resultaten van een verdichting zijn sterk afhankelijk van de gebruikte middelen, van de grondsoort en van het vochtgehalte van de te verdichten grond.

**Tabel 1.1** Gemiddelde waarden van de reactiemodulus (Westergaard) en de vervormingsmodulus voor verschillende grondsoorten (gebaseerd op VENCON 2.0)

Als de grond in zijn natuurlijke toestand niet verdichtbaar is, kan behandeling van de grond een oplossing brengen. Onder grondbehandeling kunnen worden verstaan het verbeteren van de grond of het stabiliseren van de grond.

Grondverbetering wordt toegepast op gronden met hoge plasticiteit (leem, klei) teneinde hun geotechnische eigenschappen te verbeteren. Dan hebben we het over hun geschiktheid tot verwerking en verdichting en over hun draagkracht en weerstand tot indringing wat zich vertaalt in een betere berijdbaarheid voor werfverkeer.

Grondstabilisatie beoogt de opwaardering van de mechanische karakteristieken van de koffer. Dit betekent dat deze lagen duurzaam en water- en vorstbestendig zijn en geschikt als onderfundering.

Voor grondverbetering volstaan meestal lage dosissen aan bindmiddel (1 à 2 %, meestal kalk om plastische gronden te verbeteren); stabilisatie vereist percentages van 3 à 6 % cement of een combinatie van cement met andere bindmiddelen zoals kalk en vliegassen of een hydraulisch bindmiddel voor de wegenbouw. Voor meer informatie wordt verwezen naar de OCW-Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen nr. A81/10 en de bijhorende praktijkgidsen.

Vervanging van de aanwezige ondergrond door aangevoerd ophogingsmateriaal wordt slechts toegepast als de andere technieken om technische, economische en/of milieuhygiënische redenen onbruikbaar zijn. Gronden die te veel organisch materiaal bevatten kunnen bijvoorbeeld moeilijk of niet op economische wijze behandeld worden met kalk of cement.

### 1.3.2 De onderfundering

De onderfundering, tussen baanbed en fundering gelegen, heeft tot doel:

- de wegstructuur te vrijwaren van vorst;
- het water dat infiltreert in de structuur af te voeren naar de waterdoorlatende ondergrond of, bij minder doorlatende grond, in een drainagesysteem onder de structuur, dat het water afvoert tot buiten de verharding;
- eventueel de fundering te beschermen tegen opstijgende fijne deeltjes (klei). Hiertoe kan ook een geotextiel worden voorzien tussen koffer en onderfundering of tussen onderfundering en fundering.

Meestal bestaat de onderfundering uit een mengsel van zand en steenslag met maximale korrelafmeting tot 56 mm.

Naast deze ongebonden types onderfundering is het tevens mogelijk om de grond ter plaatse te stabiliseren, zoals in vorige paragraaf werd beschreven (onderfundering type III volgens SB250).

De eis die in België gehanteerd wordt voor het draagvermogen van de onderfundering is een minimale samen-drukbaarheidsmodulus M1 van 35 MPa gemeten met de plaatproef (plaatoppervlakte van 200 cm<sup>2</sup>).

Voor industriële buitenverhardingen in beton wordt vaak, uit economische overwegingen, de onderfundering niet voorzien. Het is enigszins aanneembaar om niet volledig rekening te houden met de theoretische vorst-in-dringingsdiepte door de isolerende functie van de betonplaat op de grond en fundering.

De vorstindringingsdiepte  $Z$ , in cm, is per definitie gelijk aan:

$$Z = 5 \times \sqrt{J}$$

$J = \text{vorstindex}$

De vorstindex is het aantal graden-dagen tussen het maximum en minimum van de cumulatieve kromme van de graden-dagen, die de vorstintensiteit en -duur kenmerkt en per winterperiode is berekend. In principe wordt de tien-jaarlijkse vorstindex gehanteerd; dit is de grootste vorstindex die in een perio-de van tien jaar voorkomt.

De waarde van  $J$  wordt in tabel 1.2 weer-gegeven voor verschillende weer-stations over de periode 1995-2005. Uit deze cijfers konden de overeenkomstige waarden voor de vorstindringings-diepte,  $Z$ , worden berekend.

De dikte van de vorstvrije structuur (in cm) is afhankelijk van de vorst-indringingsdiepte:

$$D_{\text{vorstvrij}} = a \times Z$$

Weerstation	Provincie	Tienjaarlijkse vorstindex (°C.dagen)	Z (cm)
Middelkerke	West-Vlaanderen	147	61
Moerbeke	Oost-Vlaanderen	133	58
Geel	Antwerpen	157	63
Gorseem	Limburg	154	62
Ukkel	Brussel	135	58
Bevekom	Waals Brabant	167	65
La Hestre	Henegouwen	143	60
Thirimont	Henegouwen	196	70
Ciney	Namen	210	72
Rochefort	Namen	348	93
Luik	Luik	124	56
Thimister	Luik	182	67
Hockay	Luik	212	73
Mont-Rigi	Luik	290	85
Stavelot	Luik	270	82
Nadrin	Luxemburg	340	92
Libramont	Luxemburg	223	75
Aarlen	Luxemburg	254	80

**Tabel 1.2** Vorstindex en vorstindringingsdiepte  $Z$  voor verschillende locaties

De waarde van  $a$  wordt gelijk genomen aan 0,8 als het freatische vlak dieper ligt dan 1,4 m onder het bovenvlak van de verharding. In het andere geval wordt  $a$  gelijk genomen aan 1,0.

### 1.3.3 De fundering

De belangrijkste rol van de fundering bestaat erin de belasting op de verharding te spreiden en gelijkmatig over te dragen naar de onderliggende lagen (onderfundering en ondergrond). Ze vormt een onvervormbaar en effen draagvlak waarop de verharding, eventueel na aanbrengen van een tussenlaag, kan worden aangebracht. Om de belasting zo gelijkmatig mogelijk te spreiden dient de fundering bij voorkeur een constante dikte te hebben.

Men onderscheidt:

- de ongebonden steenslagfunderingen met continue of discontinue korrelverdeling;
- de gebonden funderingen:
  - met toevoegsel (cement of  $\text{CaCl}_2$ ) behandelde steenslagfundering;
  - (teerhoudend) asfaltgranulaatcement;
  - ternair mengsel;
  - zandcement;
  - schraal beton;
  - drainerend schraal beton;
  - walsbeton.

Tabel 1.3 geeft correctiefactoren om de dikte van een ongebonden of cementgebonden fundering te bepalen met als referentie het walsbeton (gebaseerd op gegevens van de Amerikaanse PCA – *Portland Cement Association*).

Type fundering	Gemiddelde correctiefactor om de dikte te bepalen
Walsbeton (200 kg cement/m <sup>3</sup> )	1
Schraal beton	1,10
Cementgebonden steenslag	1,20
Zandcement	1,30
Niet-gebonden steenslag	1,65

Bron: Portland Cement Association

**Tabel 1.3** Correctiefactor voor een equivalente dikte

Gebonden funderingen zijn stijver en hebben het voordeel een plaat effect te creëren waardoor ze de lasten beter spreiden naar de onderliggende structuur toe. Dit is vooral belangrijk bij heterogene en/of geroerde ondergrond, bijvoorbeeld ter plaatse van sleuven voor rioleringen of leidingen. De meest toegepaste funderingen zijn de ongebonden continue steenslagfundering, de cementgebonden steenslagfundering en het schraal beton. Voor de specificaties van samenstelling en uitvoering wordt verwezen naar de Belgische typebestekken. Tabel 1.4 geeft richtwaarden m.b.t. het cementgehalte en de mechanische kenmerken van de verschillende types fundering.

	Cementgehalte (kg/m <sup>3</sup> )	Druksterkte na 90 dagen (N/mm <sup>2</sup> )	Trekweerstand (N/mm <sup>2</sup> )	Elasticiteitsmodulus (N/mm <sup>2</sup> )
Niet-gebonden steenslag	-	-	-	500
Zandcement	100 à 180	4 à 6	0,8	5 000
Cementgebonden steenslag	50 à 80	5 à 10	1	8 000 à 10 000
Schraal beton	90 à 130	> 10	1,5	15 000 à 25 000
Walsbeton	200 à 250	> 20 of 30	2 à 3	30 000 à 35 000

Bron: Bulletin 33 – FEBELCEM

**Tabel 1.4** Richtwaarden voor cementgehalte en mechanische kenmerken



**Figuur 1.7** *Fundering als effen draagvlak voor verharding na plaatsing uitzetvoegen*



**Figuur 1.8** *Gedeuveld platenbeton op tussenlaag in asfalt (Kristalpark Lommel)*

Belangrijk voor alle types fundering is de verdichting bij een optimaal watergehalte. Bij cementgebonden funderingen is tevens het tijdstip van verdichting belangrijk (zo snel mogelijk na aanmaak, verwerking en plaatsing van het mengsel) alsook de bescherming tegen uitdroging van het oppervlak.

De eis die in België gehanteerd wordt voor het draagvermogen van de ongebonden of gebonden fundering is een minimale samendrukbaarheidsmodulus  $M1$  van 110 MPa gemeten met de plaatproef (plaatoppervlakte van 200 cm<sup>2</sup>). Voor zwaar belaste industrieverhardingen dient aan deze eis ook voldaan te zijn. Voor lage belastingen (belastingsklasse 4 – zie verder) kan een  $M1$  van 35 MPa op het oppervlak van de fundering volstaan. De dimensioneringsberekening van de betonplaat dient dan wel hiermee rekening te houden en aangepast te worden. In het geval van een gebonden fundering dient de plaatproef zo snel mogelijk na de verdichting (binnen de 14 uur volgens SB250 versie 2.2) uitgevoerd te worden.

Er dient ook gewaakt te worden over de effenheid van het funderingsoppervlak. Oneffenheden in het draagvlak van de betonplaat, bijvoorbeeld door spoorvorming bij aanvoer van het beton, geven dikteverschillen in de bovenliggende betonverharding, waardoor ongewenste scheurvorming kan ontstaan.

Het weglaten van de fundering onder een buitenverharding in beton is geen verstandige of economische keuze. Het is slechts in uitzonderlijke gevallen te overwegen wanneer een goede draagkrachtige en waterdoorlatende ondergrond aanwezig is en de ontwerpbelasting laag is. In andere gevallen zal het leiden tot differentiële zettingen, verzakkingen en vroegtijdige schade aan de betonplaten.

### 1.3.4 De tussenlaag, nivelleerlaag of membraan

Om de betonverharding op uniforme dikte volgens het gewenste langs- en dwarsprofiel te kunnen aanleggen, dient de bovenzijde van de fundering dit profiel perfect te volgen. Om latere uitspoeling en holtes onder de verharding te vermijden is het ten stelligste verboden om de fundering uit te vlakken met een laag zand. Wat wel kan is een gedeelte van de fundering afschrappen en een dunne laag fijne steenslag (0/10), al dan niet gebonden, aanbrengen en verdichten.

Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van een tussenlaag in asfalt. Deze heeft meestal de samenstelling voor een onderlaag in asfalt (AB-3B in SB 250) of een aangepaste samenstelling om een soepelere laag te bekomen (ABT-B1 in SB 250). De dikte bedraagt meestal 4 tot 6 cm. Het is tevens een efficiënte maatregel tegen het pompeffect en dus tegen trapvorming ter hoogte van de voegen. De fundering wordt zo immers beschermd tegen erosie of uitspoeling. Bovendien zorgt een asfaltlaag ook voor een goede aanhechting tussen de verschillende lagen, wat gunstig is voor het gedrag onder belasting en dus ook een rol speelt in de dimensionering. Deze asfaltlaag vormt ook een effen en makkelijk toegankelijk werkvlak voor het bevestigen van de deuveldstoelen, voegplaten en -systemen en voor het aanbrengen van de verharding. Dit type van tussenlaag behoort in België sedert tientallen jaren tot de standaardstructuur voor autosnelwegen in beton. Ook voor zwaar belaste industrieterreinen bestaan succesvolle realisaties.

Om te verhinderen dat water uit het verse beton wordt geabsorbeerd door een ongebonden fundering, wordt dikwijls een plasticfolie geplaatst tussen fundering en betonverharding. Deze folie vormt een glijvlak waarop de betonverharding ingevolge krimp en thermische invloeden zich gemakkelijk gaat bewegen. Het voordeel hiervan is dat het beton quasi wrijvingloos kan krimpen of uitzetten waardoor er minder spanningen ontstaan die kunnen leiden tot scheurvorming. Een belangrijk nadeel is echter dat de eerst werkende krimpvoegen ver kunnen gaan openstaan terwijl andere voegen niet doorscheuren en dus niet als krimpvoeg functioneren wat leidt tot verminderde lastoverdracht en verlies van voegvullingsmateriaal in de openstaande voegen. Ook kunnen grote verplaatsingen van de betonverharding aan de uiteinden zich voordoen.

Een beter alternatief voor het plaatsen van de plasticfolie is het vochtig houden van de ongebonden fundering door het matig verstuiven van water. Het gebruik van een kwalitatieve betonsamenstelling laat toe om de spanningen ingevolge de wrijving en dus verhinderde beweging op te vangen zonder scheurvorming. Bovendien wordt door het weglaten van de plasticfolie het risico op curling (opkrullen van de plaat hoeken) verminderd. In geval van gebonden funderingen is het vooral bij droog en warm weer aan te raden het oppervlak licht te bevochtigen.

Voor bepaalde toepassingen dient absoluut te worden uitgesloten dat water of (schadelijke) vloeistoffen doorheen de verharding infiltreren naar de ondergrond toe. De enige absolute zekerheid kan bekomen worden door de plaatsing van een vloeistofdicht membraan (HDPE (chemisch resistent), EPDM, butyl, bentonietmatten, enz.) zonder of met gelaste naden onder de verharding. Eventueel kan dit membraan ook onder de fundering aangebracht worden. De vloeistof dient te worden opgevangen, afgevoerd en zonodig behandeld.

### 1.3.5 De betonverharding

De betonplaat zorgt voor het belangrijkste aandeel van het draagvermogen van de verhardingstructuur. De belangrijkste eigenschappen die van een betonverharding verwacht worden zijn:

- een voldoende buigtreksterkte om de te verwachten lasten tijdens de levensduur te kunnen dragen en verdelen;
- een duurzaam oppervlak dat weerstaat aan alle externe invloeden waaraan het is blootgesteld (wringkrachten van wielen, puntlasten, afslijting, vorst-dooicycli, dooizouten, enz.);
- een aangepaste oppervlakafwerking om een veilige operationele werking toe te laten (vlakheid, vrij van gaten, scheuren en spoorvorming, stroefheid, waterafvoer).

Deze eigenschappen zullen verder in detail behandeld worden.

Voor beton dat gespecificeerd wordt volgens de normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001, wordt de sterkteklasse uitgedrukt onder de vorm «Cxx/yy» waarbij:

- xx =  $f_{ck,cyl}$  = de karakteristieke druksterkte na 28 dagen uitharding gemeten op cilinders met een diameter van 150 mm en een hoogte van 300 mm bewaard onder genormaliseerde omstandigheden;
- yy =  $f_{ck,cub}$  = de karakteristieke druksterkte na 28 dagen uitharding gemeten op kubussen met zijde 150 mm bewaard onder genormaliseerde omstandigheden.

In dimensioneringsberekeningen heeft men echter waarden nodig van de treksterkte of buigtreksterkte van het beton. De eurocode NBN EN 1992-1-1:2005 en de Belgische aanvullingen hierop NBN EN 1992-1-1 ANB:2010 geven formules die de relatie weergeven tussen een aantal mechanische kenmerken van beton zoals de karakteristieke en gemiddelde druksterkte op cilinders, karakteristieke druksterkte op kubussen, karakteristieke en gemiddelde treksterkte en de buigtreksterkte:

$$f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + 8 \text{ (MPa)}$$

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck,cyl}^{(2/3)} \text{ voor sterkteklassen } < C50/60$$

$$f_{ctm,fl} = (1,6 - h/1000) f_{ctm} \text{ voor } h \leq 600 \text{ mm}$$

- $f_{cm,cyl}$  = gemiddelde 28-daagse druksterkte (N/mm<sup>2</sup>) op cilinders;
- $f_{ctm}$  = gemiddelde 28-daagse treksterkte (N/mm<sup>2</sup>);
- $f_{ctm,fl}$  = gemiddelde 28-daagse buigtreksterkte (N/mm<sup>2</sup>);
- h = hoogte (dikte) betonplaat (mm).

	<b>C30/37</b>	<b>C35/45</b>
$f_{ck, cyl}$	30	35
$f_{ck, cub}$	37	45
$f_{cm, cyl}$	38	43
$f_{ctm}$	2,9	3,2
$f_{ctm, fl}$ voor $h = 200$ mm	4,1	4,5

Nevenstaande tabel geeft de waarden in MPa of N/mm<sup>2</sup> voor de sterkteklassen die in deze handleiding zullen gebruikt worden.

Voor wegenbeton dat wordt voorgeschreven volgens het Standaardbestek 250 voor de wegenbouw (versie 2.2), wordt de sterkte van het beton uitgedrukt als:

$W_{m, min}$  = de minimale gemiddelde druksterkte na 90 dagen uitharding gemeten op kernen, ontnomen uit de betonverharding, met een grondoppervlak van 100 cm<sup>2</sup> en een hoogte van 10 cm.

Tevens kan verwezen worden naar de OCW-publicatie A73/02 *Handleiding voor de toepassing van luchtbelvormers in weg beton. Toepassing, mengselontwerp en keuring* waarin gemiddelde waarden van proefresultaten vermeld staan voor druksterkte, buigtreksterkte, slijttreksterkte en elasticiteitsmodulus voor verschillende types beton voor de wegenbouw.

Industriële buitenverhardingen in beton worden bijna altijd in platenbeton uitgevoerd, hetzij ongewapend, hetzij gewapend met netten of staalvezels.

Een grondonderzoek is aangewezen om de draagkracht te bepalen. Terwijl de onderfundering de structuur vrijwaart voor vorst, vormt de fundering de ruggengraat.

Op het bovenzijde van een ongebonden of cementgebonden steenslagfundering moet het draagvermogen (samendrukbaarheidsmodulus gemeten met de plaatproef) 110 MPa bedragen. Voor licht belaste verhardingen kan dit tot 35 MPa beperkt blijven. Het is ten stelligste verboden om de fundering uit te vlakken met een laag zand. Voor schraal beton of walsbeton wordt de sterkte bepaald door drukweerstandspoeven op ontnomen kernen.

Een plasticfolie onder de betonplaat zorgt voor een glijvlak waardoor voegen te ver kunnen gaan openstaan. Beter is het om de fundering te bevochtigen vóór het betonneren.

Voor zwaarbelaste verhardingen vormt een asfaltlaag tussen fundering en betonplaat een uitstekende bescherming tegen erosie van de fundering en verhindert ze de trapvorming ter hoogte van de voegen.

De druksterkte van beton wordt uitgedrukt volgens de Belgische normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001 of volgens de typebestekken van de verschillende gewesten. In berekeningen wordt meestal de buigtreksterkte gebruikt.

# Hoofdstuk 2

## Dimensionering

### 2.1 Inleiding

Onder dimensionering verstaan we de bepaling van de dikte van de betonverharding en eventuele onderliggende lagen (fundering, onderfundering) van de structuur in functie van de aanwezige ondergrond, de te verwachten statische en/of dynamische belastingen en de eigenschappen van de gebruikte materialen (betonsterkte, materiaal van de fundering, wapeningstype en -gehalte, enz.). Het doel is een structuur te ontwerpen die gedurende de vooropgestelde (ontwerp)levensduur de beoogde functie van bedrijfsverharding kan vervullen. Gezien de relatief belangrijke investeringskost van een betonverharding rekent men gauw op een levensduur van 25, 30 of 40 jaar. Voor zeer zwaar belaste verhardingen kan dit evenwel minder zijn en wordt de ontwerp levensduur vaak beperkt tot 15 jaar. Voor kortere levensduren is beton doorgaans niet de meest economische oplossing. Om die redenen wordt er in deze handleiding ook een minimale dikte opgelegd van 18 cm voor industriële buitenverhardingen in beton.

Tijdens de levensduur is een minimum aan onderhoud uit te voeren en kunnen ook herstellingen nodig zijn. Een groot structureel onderhoud is echter uit te sluiten.

Er bestaan diverse dimensioneringsmethodes die elk hun eigen toepassingsdomein, hun theoretische achtergrond en vertrekhypothese hebben. Sommige zijn analytisch en berekenen de schade uitgaande van de berekende spanningen. Andere bepalen de spanningen via benaderende rekenmodellen zoals de eindige elementenmethode. Daarnaast zijn er nog de empirische methodes die gebaseerd zijn op grootschalige waarnemingen van bestaande verhardingen. Vaak zijn het ook gecombineerde methoden waarbij een theoretische berekening wordt bijgestuurd aan de hand van praktijkervaring.

Als schadecriterium wordt gewoonlijk de scheurvorming in de betonplaat gehanteerd. Het gaat dan om scheuren die te wijten zijn aan een statische of dynamische overbelasting of een dynamische vermoeiingsbelasting door het verkeer. In het dimensioneringsmodel dient ook vervat te zitten vanaf welk percentage aan beschadigd oppervlak men het einde van de levensduur definieert. Voor belangrijke verkeerswegen is dit 5 % of zelfs minder. Voor een bedrijfsverharding kan dat bijvoorbeeld 10 of 15 % zijn. Wanneer de vlakheid en het rijcomfort erg belangrijk zijn, bijvoorbeeld wanneer lichte vorkheftrucks op het terrein opereren, zal dit percentage lager liggen.

Er zijn echter nog tal van andere schadeoorzaken, die helaas meestal leiden tot vroegere schade dan voorzien was. Dit kan te maken hebben met krimpbewegingen in het beton, verzakkingen van de ondergrond, slechte drainage, pompeffect en trapvorming ter hoogte van de voegen, afschilfering door vorstschade enz. Om deze problemen te voorkomen is het van belang de regels der kunst te volgen, zowel in ontwerp- als in uitvoeringsfase. De gepaste aanbevelingen hieromtrent staan geformuleerd in hoofdstuk 3 Ontwerp en uitvoering en het belang ervan is minstens even groot als dat van een goede dimensionering.

In de meeste gevallen zal de dimensionering gebeuren op basis van de meest nadelige belasting of combinatie van belastingen en wordt de volledige buitenverharding volgens dat ontwerp uitgevoerd. Dit heeft het voordeel van een universeel bruikbaar platform waarvan de logistieke functies tijdens de dienstlevensduur kunnen aangepast worden zonder belangrijke aanpassingen van de structuur. Wanneer er een duidelijk onderscheid is tussen verschillende zones, bijvoorbeeld de rijwegen enerzijds en de stapelzones voor containers anderzijds, is het mogelijk om hiervoor verschillende ontwerpberekeningen te maken. Dit kan een besparing betekenen bij aanleg maar beperkt de soepelheid van gebruik in de toekomst.

### 2.2 Types belastingen

Industrieverhardingen kunnen zeer uiteenlopend van aard zijn en variëren van gewone toegangswegen of bedrijfsparkings tot haventerreinen waar containers en zware stukgoederen verhandeld en opgeslagen worden. Een eerste onderscheid dat kan gemaakt worden is dat tussen de statische en de dynamische belastingen.



**Figuur 2.1** Lijnbelasting van houten steunlatten onder metalen platen



**Figuur 2.2** Vorkheftruck



**Figuur 2.3** Straddle carrier



**Figuur 2.4** Reachstacker

## 2.2.1 Statische belastingen

Deze kunnen verder onderverdeeld worden in lasten verdeeld over een oppervlakte, lijnlasten en puntlasten. Inzoverre er een goede spreiding van de last mogelijk is en geconcentreerde belastingen vermeden worden zullen de contactdrukken laag blijven ( $< 1 \text{ N/mm}^2$  of  $1 \text{ MN/m}^2$ ) en zullen deze niet maatgevend zijn voor de dimensionering van de betonverharding.

De steunvoeten van containers zijn ontworpen om deze contactdrukken beperkt te houden. Wanneer echter vier stapels van geladen containers, elk vijf hoog gestapeld, tegen elkaar worden opgesteld, is er een risico van overbelasting in de zone van de vier centrale steunvoeten, wat kan leiden tot lokale doorponsing van het oppervlak.

Bij lijn- en puntlasten dient bij de positionering rekening te worden gehouden met het voegenpatroon van de betonverharding. De invloed van geconcentreerde lasten is immers zeer ongunstig indien ze zich te dicht bij voegen, plaatranden of -hoeken bevinden.

Contactdrukken dienen best beperkt te blijven tot maximum  $7 \text{ N/mm}^2$  door het gebruik van voetplaten of verdeelbalken onder de steunpunten.

## 2.2.2 Dynamische belastingen

De meest gekende dynamische belasting is de verkeersbelasting die verder kan opgesplitst worden in:

- licht verkeer ( $< 3,5$  ton) dat niet bepalend is in de dimensionering;
- vrachtverkeer ( $> 3,5$  ton), in België gekenmerkt door een maximale asbelasting van  $130 \text{ kN}$  en een bandenspanning (contactdruk) van  $0,7 \text{ N/mm}^2$ ;
- vorkheftrucks, variërende van licht tot heel zwaar. Voor de zware heftrucks op harde banden kan de contactspanning oplopen tot  $1 \text{ N/mm}^2$  in geval van vier frontwielen en tot  $5 \text{ N/mm}^2$  in geval van twee wielen op de vooras;
- havenuitrusting voor de behandeling van containers zoals straddle carriers, portaalkranen en reachstackers. Deze laatste worden gekenmerkt door een bandenspanning voor de frontwielen van  $1 \text{ N/mm}^2$ ;
- havenuitrusting voor de behandeling van stukgoederen zoals trekkers met opleggers met kleine harde kunststof wiel-tjes waarvan de contactspanningen kunnen oplopen tot  $10 \text{ N/mm}^2$  of stalen wiel-tjes of steunvoeten met contactdrukken tot zelfs  $100 \text{ N/mm}^2$ .



**Figuur 2.5** Havenuitrusting voor behandelen van stukgoederen



Belangrijk voor de dimensionering is te kunnen beschikken over de karakteristieken van deze verschillende types voertuigen voor verschillende belastingsconfiguraties (asbelastingen, aantal wielen op voor- en achteras, bandenspanning of contactoppervlak).

Een andere vorm van dynamische belasting is de schok- of impactbelasting die zich o.a. voordoet bij het neerplaatsen op de verharding van zware stukgoederen of het loskoppelen en neerplaatsen van zwaar geladen aanhangwagens op kleine steunvlakken. Hiermee kan in de dimensioneringsberekening rekening worden gehouden door een hogere dynamische belastingscoëfficiënt te gebruiken (1,5 in plaats van 1,2).

## 2.3 Indeling in belastingsklassen

Ter vereenvoudiging van het vraagstuk van de dimensionering worden in deze handleiding de belastingen onderverdeeld in vier klassen waarvan de eerste twee eerder klassieke bedrijfsterreinen en logistieke platforms behelzen en de laatste twee overeenstemmen met zwaar belaste industrieterreinen en de haven- en overslagterreinen. De statische en dynamische belastingen worden samen beschouwd in deze belastingsklassen. Desgevallend dienen afzonderlijke dimensioneringsberekeningen te worden uitgevoerd waarbij de grootst berekende dikte uiteraard maatgevend zal zijn.

### 2.3.1 Belastingsklasse 4

Normaal belaste toegangswegen, parkings en terreinen voor personenwagens en vrachtwagens met een maximum van 100 vrachtwagens per dag.

Heftrucks beperkt tot 60 kN (20 à 30 kN hefvermogen).  
Statische belasting beperkt tot 50 kN/m<sup>2</sup>.

### 2.3.2 Belastingsklasse 3

Intens belaste toegangswegen, parkings en terreinen voor personenwagens en vrachtwagens met een maximum van 300 vrachtwagens per dag.

Heftrucks beperkt tot 100 kN (2 wielen per as, 30 tot 40 kN hefvermogen).  
Statische belasting hoger dan 50 kN/m<sup>2</sup>.

### 2.3.3 Belastingsklasse 2

Extra zwaar belaste terreinen:

#### *Belastingsklasse 2a*

Waar de hoogste belasting wordt bepaald door heftrucks met een hefvermogen tot 100 kN.

#### *Belastingsklasse 2b*

Waar de hoogste belasting wordt bepaald door de behandeling van containers met reachstackers met een maximale belasting op de vooras tot 1 100 kN en een bandenspanning van 1 N/mm<sup>2</sup>.  
Maximale stapeling van vijf geladen containers op elkaar.



**Figuur 2.6** Oprit parking personenwagens



**Figuur 2.7** Loskade voor vrachtwagens



**Figuur 2.8** Containerterminal



**Figuur 2.9** Behandeling van zware stukgoederen

### 2.3.4 Belastingklasse 1

Extra zwaar belaste terreinen waar de hoogste belasting wordt bepaald door de behandeling en opslag van zware stukgoederen. Het gebruik van trekker/opleggercombinaties met stalen wielen of steunvoeten is hier meestal bepalend door de zeer hoog oplopende contactdrukken (tot tientallen N/mm<sup>2</sup>).

## 2.4 Invloedsfactoren

Verskillende ontwerpfactoren spelen een rol in de berekening van de dikte van de betonplaat, de ene al meer dan de andere. Een negatieve invloed heeft tot gevolg dat de betonverharding dikker dient te worden aangelegd waardoor het soms economisch gunstiger is om die factor te verbeteren. Een positieve invloed kan toelaten om de dikte te verminderen. De minimale dikte van 18 cm dient echter altijd gerespecteerd te worden.

### 2.4.1 Ondergrond

Naarmate de ondergrond minder draagkrachtig is, zal de betonplaat dikker moeten voorzien worden. Daarom is het belangrijk om te voldoen aan de eerder vermelde minimumeisen. Zo nodig dient de ondergrond verbeterd te worden. Naarmate de totale structuur dikker en stijver is (bijvoorbeeld: 20 cm ongebonden onderfundering, 20 cm schraal beton, 5 cm asfalt, 21 cm beton) zal de aard van de ondergrond nog nauwelijks invloed hebben op het resultaat van de berekening.

### 2.4.2 (Onder)fundering

Een dikkere en stijvere (onder)fundering zal als resultaat een lagere benodigde dikte voor de betonverharding opleveren. Uit de rekenvoorbeelden in § 2.5.1 blijkt dat voor belastingklasse 4 een verhoging van de dikte van de ongebonden fundering van 20 naar 25 cm een diktevermindering van het beton toelaat van 0,5 cm. Tevens blijkt dat het vervangen van 20 cm ongebonden door 20 cm cementgestabiliseerde steenslag een diktevermindering van het beton toelaat van 1,5 cm.

### 2.4.3 Betonsterkte en gebruik luchtbelvormer (zie ook § 3.3)

Een hogere betonsterkte zal als resultaat een lagere benodigde dikte voor de betonverharding opleveren en omgekeerd. Uit de rekenvoorbeelden in § 2.5.1 blijkt dat voor een klassieke verkeersbelasting (belastingklassen 3 en 4) een verhoging van betonsterkteklasse, bijvoorbeeld C35/45 in plaats van C30/37, overeenstemt met ongeveer een vermindering in betondikte van ca. 1,5 cm.

Het gebruik van een luchtbelvormer doet de druksterkte (en ook de buigtreksterkte) afnemen. Uit de rekenvoorbeelden in § 2.5.1 blijkt dat de overeenstemmende toename van de betondikte om eenzelfde levensduur te behouden ca. 1,5 cm bedraagt.

### 2.4.4 Deuvels (zie ook § 3.4.5)

Het al dan niet gebruiken van deuvels heeft een significante invloed op de dimensionering, dit omwille van het principe van de lastoverdracht. Uit de rekenvoorbeelden in § 2.5.1 blijkt dat het gebruik van deuvels toelaat om de betondikte te verminderen met ca. 2,5 cm.

### 2.4.5 Staalvezels (zie ook § 1.2.3 en § 3.4.12)

Het gebruik van staalvezels heeft een invloed op het nascheurgedrag van beton en in mindere mate ook op de waarde van de buigtreksterkte. Op basis van het gehalte en het type staalvezel kan via dimensioneringsberekeningen een diktevermindering bekomen worden.

Bovendien is staalvezelbeton beter bestand tegen impact- en doorponsbelasting. Ze zijn daarom noodzakelijk in de belastingklasse 1 en ook in de andere belastingklassen wanneer men schade ter hoogte van de steunen van gestapelde containers wil vermijden.

## 2.4.6 Geometrie

De lengte en breedte van de betonplaten zijn factoren die meespelen in de dimensioneringsberekening. Bij smalere rijwegbreedten worden de langsvoeegen en plaatranden immers meer belast en ontstaan er hogere spanningen dan in het midden van de plaat. Te lange en te brede platen zijn bovendien gevoeliger voor vervormingen onder temperatuursinvloeden, o.a. het oprullen van plaathoeken.

## 2.5 Voorbeelden van berekende structuren

### 2.5.1 Belastingklassen 4 en 3

Onderstaande tabellen geven een overzicht van de resultaten van berekeningen voor de belastingklassen 4 en 3. De berekeningen werden uitgevoerd met het Nederlandse dimensioneringsprogramma voor wegen VENCON 2.0 waarbij werd rekening gehouden met o.a. volgende voorwaarden:

- spectrum van het wegverkeer: volgens een zwaar belaste autosnelweg;
- verhoging van de berekende dikte naar ontwerpdikte: 5 mm in geval van een ongebonden fundering, 2 mm in geval van een tussenlaag in asfalt;
- het beschouwde verkeersvolume, respectievelijk 100 en 300 zware voertuigen per dag wordt geteld in beide richtingen; indien de weg naar en van het bedrijfsterrein dezelfde is gaat het dus over respectievelijk 50 en 150 zware voertuigen die heen en weer rijden;
- ondergrond = leem;
- levensduur van 30 jaar;
- betonkwaliteit: voor de sterkte van het beton wordt in VENCON alleen gewerkt met de genormaliseerde sterkteklassen Cxx/yy. Voor het wegenbeton volgens SB 250 werd een sterkteklasse gekozen die hier ongeveer mee overeenstemt, ook al is er geen aangetoonde correlatie tussen beide. Het gaat bovendien om andere types beton zoals verder beschreven wordt in § 3.3.

Van de berekende dikte wordt de afgeronde ontwerpdikte afgeleid, rekening houdend met de eis dat de minimum dikte steeds 18,0 cm dient te bedragen.

Dwarsprofiel van de weg	Deuvels / ankerstaven	Fundering	Betonkwaliteit	Berekende dikte (mm)	Afgeronde ontwerpdikte (cm)
1 x 3,5 m	ja	200 mm betonpuin-granulaat	C35/45 of wegenbeton W <sub>m</sub> , min = 60 of 62,5 MPa	194	19,5
	neen			220	22,0
	ja		C30/37 of wegenbeton W <sub>m</sub> , min = 52,5 MPa	209	21,0
	neen			237	24,0
2 x 3,0 m	ja	200 mm betonpuin-granulaat	C35/45 of wegenbeton W <sub>m</sub> , min = 60 of 62,5 MPa	185	18,5
	neen			209	21,0
	ja		C30/37 of wegenbeton W <sub>m</sub> , min = 52,5 MPa	199	20,0
	neen			225	22,5

**Tabel 2.1** Belastingklasse 4 — Tot 100 zware voertuigen per dag

Dwarsprofiel van de weg	Deuvels / ankerstaven	Fundering	Betonkwaliteit	Berekende dikte (mm)	Afgeronde ontwerpdikte (cm)
1 x 3,5 m	ja	250 mm betonpuin-granulaat	C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	191	19,0
	neen			217	21,5
	ja		C30/37 of wegenbeton Wm, min = 52,5 MPa	206	20,5
	neen			234	23,5
2 x 3,0 m	ja	250 mm betonpuin-granulaat	C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	182	18,0
	neen			206	20,5
	ja		C30/37 of wegenbeton Wm, min = 52,5 MPa	196	19,5
	neen			222	22,0

Dwarsprofiel van de weg	Deuvels / ankerstaven	Fundering	Betonkwaliteit	Berekende dikte (mm)	Afgeronde ontwerpdikte (cm)
1 x 3,5 m	ja	200 mm cementge-bonden steenslag (type Ia)	C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	182	18,0
	neen			207	20,5
	ja		C30/37 of wegenbeton Wm, min = 52,5 MPa	197	19,5
	neen			224	22,5
2 x 3,0 m	ja	200 mm cementge-bonden steenslag (type Ia)	C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	172	18,0
	neen			195	19,5
	ja		C30/37 of wegenbeton Wm, min = 52,5 MPa	186	18,5
	neen			210	21,0

**Tabel 2.1** Belastingsklasse 4 — Tot 100 zware voertuigen per dag (vervolg)

Dwarsprofiel van de weg	Deuvels / ankerstaven	Fundering	Betonkwaliteit	Berekende dikte (mm)	Afgeronde ontwerpdikte (cm)
1 x 3,5 m	ja	300 mm betonpuin-granulaat	Wegenbeton Wm, min = 70 MPa	182	18,0
	neen			211	21,0
	ja		C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	199	20,0
	neen			229	23,0
2 x 3,0 m	ja	300 mm betonpuin-granulaat	Wegenbeton Wm, min = 70 MPa	174	18,0
	neen			199	20,0
	ja		C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	189	19,0
	neen			216	21,5

Dwarsprofiel van de weg	Deuvels / ankerstaven	Fundering	Betonkwaliteit	Berekende dikte (mm)	Afgeronde ontwerpdikte (cm)
1 x 3,5 m	ja	200 mm schraal beton + 50 mm asfalt	Wegenbeton Wm, min = 70 MPa	170	18,0
	neen			197	20,0
	ja		C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	186	18,5
	neen			215	21,5
2 x 3,0 m	ja	200 mm schraal beton + 50 mm asfalt	Wegenbeton Wm, min = 70 MPa	161	18,0
	neen			186	18,5
	ja		C35/45 of wegenbeton Wm, min = 60 of 62,5 MPa	176	18,0
	neen			202	20,0

**Tabel 2.2** Belastingsklasse 3 — Tot 300 zware voertuigen per dag

### 2.5.2 Belastingsklassen 2 en 1

Voor deze zware belastingsklassen is het altijd aangewezen een dimensioneringsberekening te laten uitvoeren door een expert. Een juiste inschatting van de te verwachten belasting (aantal assen, aantal en positie van de banden, bandenspanning, lastverdeling op de assen), de frequentie ervan en de gewenste levensduur zijn belangrijke parameters voor de diktebepaling van dergelijke betonverhardingen.

Verder dient aandacht te worden geschonken aan de dynamische belastingen en de impactbelastingen.

Meestal wordt er gerekend met volgende factoren:

- veiligheidsfactor voor de belasting : 1,2;
- veiligheidsfactor beton : 1,5 (op de gemiddelde buigtreksterkte);
- dynamische coëfficiënt : 1,2 tot 1,5.

Voor industriële buitenverhardingen wordt meestal een levensduur van 15 tot 30 jaar aangenomen tijdens dewelke de verharding in dienst blijft zonder groot structureel onderhoud.

De minimale dikte voor een buitenverharding bedraagt 18 cm.

Op basis van de statische en dynamische belastingen, waaronder de verkeersbelasting van voertuigen met een massa groter dan 3,5 ton, kunnen we de industriële verhardingen indelen in vier belastingsklassen, gaande van klasse 4 (minst belast) tot klasse 1 (zeer zwaar belaste terreinen).

Een lagere sterkteklasse van het gebruikte beton of het gebruik van luchtbelvormers dient gecompenseerd te worden door een extra betondikte van ca. 1,5 cm.

Het gebruik van deuvels laat toe om de betondikte met ca. 2,5 cm te verminderen.

Het gebruik van staalvezels laat toe om de dikte te verminderen afhankelijk van het type en de hoeveelheid staalvezels.

Voor de dimensionering voor de zwaarste belastingsklassen (1 en 2) dient beroep te worden gedaan op deskundige ingenieurs die de invloed van de verschillende parameters op gepaste wijze kunnen evalueren.

# Hoofdstuk 3

## Ontwerp en uitvoering

### 3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zullen de verschillende keuzes besproken worden die bij ontwerp en uitvoering aan bod komen. Dit zijn o.a.: de betonsamenstelling, de voegen en wapeningen, de manier van verwerken, de nabehandeling, de oppervlakafwerking.

Op basis van deze verschillende factoren worden op het einde van dit hoofdstuk aanbevelingen gedaan voor de keuze van betonsamenstelling en verwerkingsmethode voor de verschillende belastingsklassen en wordt een evaluatie gemaakt van het risico op schade (scheuren en afschilfering).

### 3.2 Betonsamenstelling

#### 3.2.1 Inleiding

De kwaliteit van een beton wordt in eerste instantie bepaald door de kwaliteit en optimale verhouding van de samenstellende bestanddelen. Harde granulaten, bestand tegen afslijting, goed betonzand, kwaliteitsvol cement met een aangepaste sterkteklasse en zuiver aanmaakwater in een goede verhouding leiden tot een duurzame betonverharding. Hulpstoffen zoals (super)plastificeerders zorgen voor een betere verwerkbaarheid van het beton zonder in te boeten aan duurzaamheid en de toepassing van een luchtbelvormer leidt tot een verhoogde weerstand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten.

Om tot een goed resultaat te komen is naast een goede uitvoering de homogeniteit van het beton en dus ook van de samenstellende bestanddelen zeer belangrijk. Het gebruik van gecertificeerde producten (BENOR, COPRO) biedt in dit opzicht tal van voordelen.

#### 3.2.2 Samenstellende bestanddelen

##### 3.2.2.1 Granulaten (stenen en zand)

###### 3.2.2.1.1 Indeling

Onder granulaten wordt bij beton het geheel van inerte, natuurlijke of kunstmatige materialen gezien, welke het betonskelet vormen. Afhankelijk van hun korreldiameter worden granulaten ingedeeld in grove granulaten, granaatmengsels, zand of filler.

Naar oorsprong wordt een onderscheid gemaakt tussen natuurlijke of kunstmatige granulaten.

Natuurlijke granulaten zijn granulaten die rechtstreeks in de natuur gevonden worden, zoals in grind- of zandafzettingen, of die gewonnen worden uit natuurlijke gesteenten, door het breken van massieve rots (kalksteen of stollingsgesteenten zoals bijvoorbeeld porfier).

Kunstmatige granulaten zijn granulaten van minerale oorsprong die voortkomen uit een industrieel proces door middel van bijvoorbeeld een thermische wijziging. Een voorbeeld hiervan zijn de staalslakken.

Gerecycleerde granulaten worden tot op heden niet in betonverhardingen gebruikt. Gerecycleerde betonpuin-granulaten, indien van goede en uniforme kwaliteit (zie eisen in typebestekken), kunnen wel toegepast worden in de onderlaag van een tweelaagse betonverharding. Het vervangingspercentage van de grove granulaten varieert van 60 tot zelfs 100 %.

De natuur, de vorm en de eigenschappen variëren in functie van de afzetting of het moedergesteente en van de productietechniek. Deze intrinsieke eigenschappen van het moedergesteente vormen een belangrijk criterium in de keuze van type granulaat in functie van de toepassing.

De indeling van de granulaten gebeurt op basis van het kaliber  $d/D$ ,  $d$  zijnde de minimale korrelmaat en  $D$  de maximale korrelmaat. Voor de toepassing in beton gebeurt de indeling volgens NBN EN 12620.

Type	Afmetingen	Eigenschappen
Vulstoffen	0/D	$D < 2$ mm met minstens 85 % doorval op de zeef van 0,125 mm en 70 % doorval op de zeef van 0,063 mm
Zand	0/D	$d = 0$ mm en $D \leq 4$ mm
Granulaatmengsel	0/D	$d = 0$ mm en $D \geq 6,3$ mm en $\leq 45$ mm
Grove granulaten	$d/D$	$d \geq 2$ mm en $D \geq 4$ mm

**Tabel 3.1** Indeling van granulaten op basis van korrelafmetingen

Om te komen tot kwalitatieve betonsamenstellingen wordt aangeraden om te werken met zand en grove granulaten. Granulaatmengsels hebben vaak het nadeel een grote en veranderlijke hoeveelheid zand te bevatten, wat nadelige effecten heeft op de verwerkbaarheid en de nodige hoeveelheid water.

### 3.2.2.1.2 Eisen gesteld aan de stenen

In beton voor buitenverhardingen is de toegelaten maximale diameter van de granulaten 31,5 mm. In sommige gevallen wordt deze maximale diameter beperkt tot 20 mm of 14 mm. Dat is onder andere in het geval van uitgewassen beton met de bedoeling een geluidsarm wegdek te bekomen of voor beton dat manueel verwerkt wordt of dient verpompt te worden.

De mechanische en fysische eisen gesteld aan granulaten voor toepassing in verhardingen zijn strenger dan deze gesteld aan de granulaten voor beton voor kunstwerken. De eisen zijn in de norm NBN EN 12620:2008 opgedeeld in verschillende categorieën, de belangrijkste eigenschappen zijn weergegeven in tabel 3.2 met de bijhorende aanbevelingen voor het geval van industriële buitenverhardingen.

De granulaten dienen afkomstig te zijn van een hard gesteente dat een goede duurzaamheid vertoont. Dit wordt gekenmerkt door de weerstand tegen verbrijzeling (Los Angeles Coëfficiënt, LA), de weerstand tegen afslijting of schuurweerstand (Micro-Deval Coëfficiënt in aanwezigheid van water, MDW) en in het geval van verhardingen met veel vrachtwagenverkeer de weerstand tegen polijsting (Polished Stone Value PSV).

Een overzicht van deze eigenschappen in functie van het moedergesteente is weergegeven in tabel 3.3. Merk op dat de weerstand tegen afslijting en vergruizing toeneemt naarmate de LA en de MDW waarden kleiner zijn. De weerstand tegen polijsting daarentegen neemt toe bij toenemende waarde van de PSV.

Een andere belangrijke eigenschap is de weerstand tegen vorst. Dit kan vooral bij zandsteen een probleem vormen gezien hier de zandbanken kunnen doorkruist worden met aders van leisteen of andere soorten steen die minder bestand zijn tegen vorst.

Het respecteren van de korrelvorm en van het gehalte aan fijn materiaal is een zeer belangrijke voorwaarde om te komen tot een duurzaam beton. Deze eigenschappen bepalen immers in belangrijke mate de verwerkbaarheid van het beton. Een te hoog gehalte aan fijn materiaal zal leiden tot een verhoging van het watergehalte. De vorm van het granulaat dient zo nauw mogelijk bij een kubus aan te sluiten. Dit wordt bekomen met «herbroken» granulaat. Het gebruik van ronde en gladde granulaten zal leiden tot een lagere sterkte, het gebruik van te platte granulaten zal leiden tot een slechtere verdichting van het beton, met een lagere duurzaamheid tot gevolg.

Het best kunnen verscheidene korrelmaten worden gecombineerd, om de gradering van het steenskelet continu te houden. Zo geeft de toepassing van verscheidene afzonderlijke korrelmaten (4/6,3; 6,3/14; 14/20) in een beton-



Eigenschap	Voorschrift	Categorie volgens norm NBN EN 12620:2002	Opmerking
Gehalte aan fijne deeltjes (% in massa)	$\leq 1,5$ $\leq 4$	$f_{1,5}$ $f_4$	$D > 8 \text{ mm}$ $D \leq 8 \text{ mm}$
Weerstand tegen verbrijzeling (Los Angeles coëfficiënt)	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>	Bijkomende eis: som van beide (LA + MDW) $\leq 45$
Schuurweerstand (Micro-Deval coëfficiënt)	$\leq 25$	MDW <sub>25</sub>	
Versnelde polijstingscoëfficiënt (PSV)	$\geq 50$ $\geq 40$	PSV <sub>50</sub> PSV <sub>opgegeven</sub>	Intense en zware verkeersbelasting
Afplattingscoëfficiënt (FI)	$\leq 20$ $\leq 25$ $\leq 30$	FI <sub>20</sub> FI <sub>25</sub> FI <sub>30</sub>	$D > 16 \text{ mm}$ $8 < D \leq 16 \text{ mm}$ $D \leq 8 \text{ mm}$
Gehalte ronde stenen	Minimum 50 % gebroken, maximum 30 % gerold	C50/30	-
Gehalte aan chloorionen (%)	$\leq 0,03$	Opgegeven waarde	Voor stenen van mariene oorsprong
Gehalte aan schelpdelen	$\leq 10$	SC <sub>10</sub>	Voor stenen van mariene oorsprong
Vorst-dooiweerstand	$\leq 1$	F <sub>1</sub>	-
Reële volumieke massa en waterabsorptiecoëfficiënt	-	Opgegeven waarde	-

**Tabel 3.2** Klassen voor granulaten volgens eigenschappen

Type granulaat	Los Angeles coëfficiënt	Micro-Deval coëfficiënt	Versnelde polijstingscoëfficiënt
Porfier	11 tot 13	4 tot 8	50 tot 54
Zandsteen	13 tot 17	11 tot 24	55 tot 58
Kalksteen	20 tot 30	9 tot 17	37 tot 44
Gebroken grind	17 tot 26	4 tot 10	55 tot 57

**Tabel 3.3** Overzicht van eigenschappen in functie van moedergesteente

mengsel een constantere korrelgrootteverdeling dan één samengestelde korrelmaat 4/20, die meer variatie vertoont doordat zij meer aan ontmenging onderhevig is.

### 3.2.2.1.3 Eisen gesteld aan het zand

De keuze van het zand is primordiaal om een duurzaam beton te bekomen. Het zand beïnvloedt rechtstreeks de verwerkbaarheid, de duurzaamheid en de weerstand van het beton. Het meest geschikte zand voor wegebeton is het grove rivierzand 0/2 tot 0/4 met een fijnheidsmodulus groter dan 2,4 (categorie CF volgens NBN EN 12620). De belangrijkste eigenschappen voor het zand, eveneens weergegeven in de norm NBN EN 12620 zijn de korrelverdeling en het gehalte aan fijne deeltjes ( $< 63 \mu\text{m}$ ). Dit laatste dient lager te zijn dan 3 %.

In het algemeen kan gesteld worden dat een beton voor buitenverhardingen slechts een klein gehalte aan zand bevat. Een overmaat aan zand zal de nodige hoeveelheid water doen toenemen en mogelijk leiden tot een minder dicht en minder duurzaam beton.

### 3.2.2.2 Cement

De meest toegepaste cementsoorten voor beton voor buitenverhardingen zijn de cementen uit de sterkteklasse 42,5 (N of R). De keuze wordt gelaten tussen een portlandcement CEM I of een cement met maximum 65 % hoogovenslak, CEM III/A. In uitzonderlijke gevallen wordt ook cement van de sterkteklasse 52,5 gebruikt, zo bijvoorbeeld wanneer een zeer snelle uitharding bij lagere temperaturen vereist is.

Het gebruik van cementen van de sterkteklasse 32,5 dient vermeden te worden. Zij hebben het nadeel een veel langere uithardingstijd te hebben en leiden tot een beton dat veel gevoeliger is voor plastische krimp. Deze cementen kunnen toegepast worden in het geval van hoge buitentemperaturen.

Door gebruik te maken van een cement met een begrensd alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  en  $\text{K}_2\text{O}$ ) gehalte, de zogenaamde LA-cementen volgens NBN B12-109, wordt het risico op schade ten gevolge van een alkali-silicareactie beperkt.

### 3.2.2.3 Aanmaakwater

Water is onmisbaar om betonspecie aan te maken; bij overmaat wordt het echter de grootste vijand ervan: een teveel aan water vergroot het gevaar voor scheurvorming in het beton en vermindert de sterkte en duurzaamheid ervan.

Aanmaakwater moet geschikt zijn. Het mag geen stoffen bevatten die de binding en verharding van het beton kunnen beïnvloeden of de wapening kunnen aantasten. Sporen van olie, zuur, alkaliën, diverse zouten, organische stoffen, klei, suikers, vetten, enz. moeten beperkt worden om geen invloed te hebben op de verharding en eigenschappen van het beton.

Leidingwater wordt als geschikt voor het bereiden van beton beschouwd, zonder dat een voorafgaande analyse nodig is.

Diverse redenen kunnen de betonfabrikant ertoe bewegen water van andere herkomst – waterweg, vijver, put, recycling, enz. – te gebruiken. Bij twijfel of dit water geschikt is voor het aanmaken van beton moeten keuringsproeven plaatsvinden. Zie in dit verband de norm NBN EN 1008: *Aanmaakwater voor beton*.

### 3.2.2.4 Hulpstoffen

Er zijn op de markt vele soorten van hulpstoffen voorhanden om de kenmerken van beton te beïnvloeden. Norm NBN EN 934-2 omschrijft de verschillende soorten van hulpstoffen voor beton. Zij ligt ten grondslag aan de CE-markering van deze hulpstoffen. Voor verhardingen worden voornamelijk de volgende toegepast:

- plastificeerders (of waterbeperkende vloeimiddelen);
- superplastificeerders (of sterk waterbeperkende vloeimiddelen);
- luchtbelvormers;
- bindingsvertragers;
- bindingsversnellers.

Hulpstoffen worden toegepast om bepaalde eigenschappen van het beton te verbeteren. Zij kunnen in geen geval gebruikt worden om een gebrekkige betonsamenstelling te corrigeren.

Hulpstoffen beïnvloeden de binding en verharding van cement. Een combinatie van cement en hulpstof kan zich onvoorspelbaar gedragen. Er moet steeds worden nagegaan of de hulpstof en het cement waarmee een betonspecie zal worden bereid, met elkaar te verenigen zijn. Vooraleer met een betonproductie begonnen wordt, moeten daarom steeds in gelijksoortige omstandigheden als op de bouwplaats proeven worden verricht, waaruit blijkt of de hulpstof doeltreffend is.

Als overwogen wordt verscheidene hulpstoffen tegelijk te gebruiken, moet het soms verrassende effect van een dergelijke combinatie in het beton op voorhand nauwlettend worden nagegaan in het laboratorium.

#### 3.2.2.4.1 Plastificeerders

Plastificeerders worden toegepast om een voldoende verwerkbaarheid te bekomen. Zij hebben als voornaamste functie het watergehalte te verminderen bij een gelijke verwerkbaarheid. Deze vermindering van watergehalte, tot minstens 10 l/m<sup>3</sup> beton, leidt tot een betere verdichting, een hogere sterkte en een verhoogde duurzaamheid. Plastificeerders zijn op basis van lignosulfaten, organische zuren, melamine-sulfonaten, naftaleen sulfonaten of afgeleiden van melamines of naftaleen.

#### 3.2.2.4.2 Superplastificeerders

Superplastificeerders kunnen worden gebruikt om bij gelijkblijvend watergehalte de verwerkbaarheid van betonspecie sterk op te drijven; dit maakt de specie vloeibaar en dus gemakkelijk te verwerken met beperkte verdichtingsmiddelen.

Zoals de naam het aangeeft, hebben superplastificeerders hetzelfde effect als plastificeerders, maar veel krachtiger. Zij worden meestal pas bij de aankomst van de truckmixer op het werk aan de betonspecie toegevoegd. Het spectaculaire vloeibaarmakende effect van superplastificeerders kan snel verdwijnen. Hoe lang zij werkzaam blijven, hangt van de temperatuur af: hoe hoger de temperatuur, hoe korter de werkingstijd. Zij kunnen een vertragend effect hebben op de bindingstijd. Steeds dient de compatibiliteit tussen de verschillende hulpstoffen nagegaan te worden.

De meest toegepaste superplastificeerders zijn deze op basis van afgeleiden van melamines of naftaleen, evenals de polyacrylaten en polycarboxylaten. De laatste zijn nieuwe moleculen ontwikkeld in de chemische industrie die tot een sterke verbetering van de performantie van superplastificeerders geleid hebben (sterke verhoging van de verwerkbaarheid, behoud van deze verwerkbaarheid over een langere periode, enz.). De samenwerking met het gebruikte type cement dient zeker gecontroleerd te worden.

Superplastificeerders bieden ook de mogelijkheid de W/C-factor van beton drastisch te verlagen en toch een normale verwerkbaarheid te behouden; de sterkte van het beton neemt hierdoor snel toe. Op die manier kan bijvoorbeeld bij reparaties aan verhardingen de duur van de afsluiting voor het verkeer tot 36 of zelfs tot 24 uren worden beperkt (bij een water/cement factor kleiner dan 0,40).

#### 3.2.2.4.3 Luchtbelvormers

Luchtbelvormers hebben tot doel heel kleine stabiele microbelletjes in het beton in te brengen die op een homogene manier in de massa verspreid zijn en na verharding aanwezig blijven.

Uitgehard beton bevat steeds een zekere hoeveelheid lucht, die hetzij tijdens het mengen van het beton ingesloten wordt of afkomstig is van de verdamping van het niet gebonden water tijdens de uitharding. Deze lucht (ongeveer 15 l/m<sup>3</sup>, hetzij 1,5 volume%) is willekeurig verspreid in het beton. De luchtbelvormer maakt het mogelijk om een extra hoeveelheid lucht in het beton te brengen en deze op een uniforme manier te verdelen. Dit leidt tot een verhoogde weerstand tegen vorstdooi-cycli en tegen de inwerking van dooizouten.

De aanwezigheid van luchtbelvormer verhoogt de verwerkbaarheid van het beton. Daarentegen neemt de mechanische sterkte van het verharde beton af naarmate het luchtbelgehalte toeneemt; bij sommige samenstellingen is gebleken dat het beton per extra percent luchtbelgehalte tot 5 MPa druksterkte kan verliezen.

Tal van factoren kunnen de doelmatigheid van luchtbelvormers beïnvloeden: de soort van luchtbelvormer, de toepassing van andere hulpstoffen in het beton, het cement (verenigbaarheid met de hulpstof), de aanwezigheid van vliegias in het beton, het watergehalte van het beton, de W/C-factor, de korrelgrootteverdeling van de «mortel»-fractie van het beton, de menging van de specie, de wijze van verwerken, de temperatuur, enz. Bij beton met luchtbelvormer is dus een vooronderzoek aan te bevelen om zeker te zijn van de doelmatigheid van de luchtbelvormer in de werkelijke gebruiksomstandigheden.

#### 3.2.2.4.4 Bindingsvertragers en -versnellers

Hier worden uitsluitend de hulpstoffen bedoeld die in de betonmassa worden verwerkt en niet de bindingsvertragers die aan het betonoppervlak worden toegepast om een uitgewassen beton te bekomen. Bindingsvertragers en -versnellers worden soms toegepast in bijzondere omstandigheden. Bij zeer warm weer kan aan de betonspecie een bindingsvertrager worden toegevoegd, om ze langer verwerkbaar te houden. Bij koud weer daarentegen kan een bindingsversneller de specie doen opstijven en zal de sneller vrijkomende bindingswarmte helpen om het aan sterkte winnend vers beton in de eerste uren na verwerking tegen lichte vorst te beschermen. Bindingsversnellers op basis van chloriden zijn niet toegelaten voor gewapend beton.

Om een duurzame verharding te bekomen is het belangrijk te werken met een goede betonsamenstelling, opgebouwd uit kwaliteitsvolle en gecertificeerde bestanddelen. Het zand en de stenen moeten aan specifieke eisen voldoen.

Cement is meestal van de klasse 42,5 en LA.

Luchtbelvormers verhogen de weerstand van het beton tegen vorst-dooicycli in de aanwezigheid van doozouten. Ze verminderen wel de sterkte van het beton wat een invloed heeft op de dimensionering.

Om de dosering en verenigbaarheid van de hulpstoffen na te gaan is de aanmaak van een proefmengsel noodzakelijk.

### 3.3 Mogelijke types betonsamenstelling voor buitenverhardingen

De onderstaande types betonsamenstelling werden geselecteerd als mogelijk voor de realisatie van een buitenverharding.

Deze zijn op basis van:

- *de Belgische typebestekken voor de wegenbouw* (Standaardbestek 250 in Vlaanderen, CCT Qualiroutes in Wallonië, TB2010 in Brussel). Deze specificaties zijn hoofdzakelijk gericht op samenstelling enerzijds en op prestaties van het verwerkte en verharde beton anderzijds. De druksterkte wordt gemeten op boorkernen ontnomen uit de verharding, op een ouderdom van 90 dagen. Deze betontypes zijn voorgeschreven op samenstelling en kunnen dus niet BENOR gecertificeerd worden.
- *de betonnormen* (NBN EN 206 en NBN B15-001). Deze betontypes voldoen volledig aan de minimaal gestelde eisen opgelegd door de normen in functie van de omgevingsklassen maar dienen zo nodig aangepast voor de verwerking met wegenbouwmaterieel via de bijkomende specificaties. Idealiter wordt met een goede korrelverdeling gewerkt om de verwerkbaarheid te bekomen zonder de W/C factor te verhogen. Om de nodige verwerkbaarheid te bekomen is ook een minimum hoeveelheid water in het beton noodzakelijk (ca. 180 l/m<sup>3</sup>). Dit kan betekenen dat, rekening houdend met de vereiste lage water-cementfactor, een grotere hoeveelheid cement dient gedoseerd te worden (ca. 20 kg/m<sup>3</sup> extra ten opzichte van de minimale hoeveelheid weergegeven in de norm). Deze betontypes kunnen BENOR gecertificeerd worden.

Er is dus een wezenlijk verschil in de manier van voorschrijven en controleren van deze samenstellingen. Daarom is het belangrijk om, eenmaal de keuze gemaakt, goed het onderscheid te behouden tussen beide en geen mengeling van voorschriften te maken van het beton volgens de typebestekken en het beton volgens de normen. Er bestaan geen eenduidige en zeker geen contractueel geldende correlaties tussen de eigenschappen van beide types van beton.

In § 3.11 worden aanbevelingen gedaan voor betonsamenstellingen in functie van de verschillende belastingsklassen. Beton met lagere kwaliteit dan de vooropgestelde types wordt niet toegelaten voor industriële buitenverhardingen.

### 3.3.1 Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B1-B5 zonder luchtbelvormer

- minimum 400 kg cement/m<sup>3</sup>
- W/C ≤ 0,45
- eisen qua cement (CEM I of CEM III/A, klasse 42,5, verplicht LA)
- eisen qua granulaten (20 mm < D ≤ 31,5 mm, vorstbestandheid, fijne deeltjes, PSV, Los Angeles, Micro Deval)
- eisen qua zand (grof rivierzand, fijne deeltjes)
- minimale gemiddelde druksterkte 70 MPa op boorkernen na 90 dagen

### 3.3.2 Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B1-B5 met luchtbelvormer

- minimum 400 kg cement/m<sup>3</sup>
- W/C ≤ 0,45
- eisen qua cement (CEM I of CEM III/A, klasse 42,5, verplicht LA)
- eisen qua granulaten (D ≤ 31,5 mm, vorstbestandheid, fijne deeltjes, PSV, Los Angeles, Micro Deval)
- luchtbelvormer (LBV) verplicht indien  $D_{\max} \leq 20$  mm
- eisen qua zand (grof rivierzand, fijne deeltjes)
- minimale gemiddelde druksterkte 62,5 MPa op boorkernen na 90 dagen
- minimaal luchtgehalte, gemeten op vers beton 3 %

### 3.3.3 Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B6-B10 zonder luchtbelvormer

- minimum 350 kg cement/m<sup>3</sup>
- W/C ≤ 50
- eisen qua cement (CEM I of CEM III/A, klasse 42,5, verplicht LA)
- eisen qua granulaten (20 mm < D ≤ 31,5 mm, vorstbestandheid, fijne deeltjes, PSV, Los Angeles, Micro Deval)
- eisen qua zand (grof rivierzand, fijne deeltjes)
- minimale gemiddelde druksterkte 60 MPa op boorkernen na 90 dagen

### 3.3.4 Wegenbeton volgens SB250 voor bouwklassen B6-B10 met luchtbelvormer

- minimum 375 kg cement/m<sup>3</sup>
- W/C ≤ 50
- eisen qua cement (CEM I of CEM III/A, klasse 42,5, verplicht LA)
- eisen qua granulaten (D ≤ 31,5 mm, vorstbestandheid, fijne deeltjes, PSV, Los Angeles, Micro Deval)
- luchtbelvormer (LBV) verplicht indien  $D_{\max} \leq 20$  mm
- eisen qua zand (grof rivierzand, fijne deeltjes)
- minimale gemiddelde druksterkte 52,5 MPa op boorkernen na 90 dagen
- minimaal luchtgehalte, gemeten op vers beton 3 %

### 3.3.5 BENOR-beton, omgevingsklasse EE4, zonder luchtbelvormer

Specificatie volgens NBN B15-001:

- C35/45 (minimale karakteristieke druksterkte 45 MPa op kubussen na 28 dagen)
- gewapend of ongewapend beton
- EE4 (vorst en dooizouten)
- consistentieklasse S1 tot S4 in functie van verwerkingsmethode
- D ≤ 31,5 mm

Dit houdt in:

- minimum 340 kg cement/m<sup>3</sup>
- W/C ≤ 0,45

### 3.3.6 BENOR-beton, omgevingsklasse EE4, met luchtbelvormer

Specificatie volgens NBN B15-001:

- C30/37 (minimale karakteristieke druksterkte 37 MPa op kubussen na 28 dagen)
- gewapend of ongewapend beton

- EE4 (vorst en doozouten)
- consistentieklasse S1 tot S4 in functie van verwerkingsmethode
- $D \leq 31,5$  mm
- met luchtbelvormer

Dit houdt in:

- minimum 340 kg cement/m<sup>3</sup>
- $W/C \leq 0,45$
- minimaal luchtgehalte, gemeten op vers beton 4 %

### 3.3.7 BENOR-beton, omgevingsklasse EE3, zonder luchtbelvormer

Specificatie volgens NBN B15-001:

- C30/37 (minimale karakteristieke druksterkte 37 MPa op kubussen na 28 dagen)
- gewapend of ongewapend beton
- EE3 (vorst, contact met regen)
- consistentieklasse S1 tot S4 in functie van verwerkingsmethode
- $D \leq 31,5$  mm

Dit houdt in:

- minimum 320 kg cement/m<sup>3</sup>
- $W/C \leq 0,50$

### 3.3.8 Aanvullende eisen

In bepaalde gevallen kan de ontwerper of de uitvoerder specifieke wensen hebben op vlak van te gebruiken materialen of eigenschappen van het beton, die aangepaste voorschriften qua betonsamenstelling vereisen. Dit kan o.a. te maken hebben met de keuze van het soort zand, de korrelverdeling van zand en/of stenen, het type cement, het cementgehalte, de hulpstoffen, eisen voor de waterabsorptie, enz. In dat geval dienen aanvullende eisen geformuleerd bij de voormelde vastgelegde betontypes overeenkomstig § 6.2.3 van de normen NBN EN 206-1 en NBN B15-001.

In functie van toepassing en belasting is er de keuze tussen verschillende betonsamenstellingen, hetzij BENOR gecertificeerd beton volgens de Belgische normen, hetzij wegebeton volgens een van de Belgische typebestekken.

De minimale sterkteklasse die beschouwd wordt voor buitenverhardingen is C30/37.

## 3.4 Voegen en wapening

### 3.4.1 Functie van de voegen

De voegen zijn noodzakelijk om te vermijden dat de verharding willekeurig gaat scheuren onder invloed van krimp en uitzetting, temperatuurgradiënt, verkeer en eventuele bewegingen van de bodem. De scheuren worden dus met opzet gelokaliseerd ter hoogte van de voegen en op die manier volledig onder controle gehouden.

### 3.4.2 Voegafstanden

Enmaal door dimensioneringsberekeningen of aan de hand van standaardtabellen de dikte van de verharding is vastgelegd, kunnen volgende vuistregels gehanteerd worden:

verhouding  $L/B \leq 1,5$   
 $L \leq 25 \times D$   
 $L \leq 5,00$  m

$L$  = lengte van de plaat;  
 $B$  = breedte van de plaat;  
 $D$  = dikte van de plaat;

De eerste regel bepaalt dat de platen een redelijk vierkante vorm dienen te hebben. Lange smalle platen gedragen zich immers als een balk en het risico op doorbuiging wordt groter. De tweede regel legt een verband tussen de plaatlengte en de dikte van de betonverharding en de derde regel beperkt de lengte voor ongewapende betonverhardingen tot 5,00 m. Dit komt ook tot uiting in de volgende tabel die de aanbevolen voegafstand geeft in functie van de plaatdikte voor ongewapende betonverhardingen.

Deze aanbevolen maximale voegafstanden houden rekening met het gevaar voor oprullen of schotelen van de platen en reduceren het gevaar op scheurvorming in de platen over de levensduur van de verharding.

Plaatdikte	Voegafstand
18 cm	4,50 m
20 tot 25 cm	5,00 m

**Tabel 3.4** Aanbevolen voegafstand in functie van de plaatdikte voor ongewapende betonverhardingen

### 3.4.3 Types voegen

#### 3.4.3.1 Dwarse krimpbuigvoegen

Zoals de benaming aangeeft is de bedoeling van een krimpbuigvoeg de gevolgen te beperken van én de krimp (hygrometrische en thermische contractie) én de buiging te wijten aan de temperatuursgradiënt.

Om wilde scheuren te vermijden worden de dwarse voegen aangebracht door een scheuraanzet te creëren op de gewenste plaatsen, namelijk met een tussenafstand, bepaald in vorige paragraaf. Die scheuraanzet kan aangebracht worden in het verse of in het verharde beton. In het verse beton gebeurt dit door het inbrengen van een plastic strip met behulp van een daartoe bestemd trilapparaat. Deze techniek wordt in België nog nauwelijks toegepast en is volgens de typebestekken uitsluitend toegelaten voor landbouwwegen. De meest courante techniek is het aanbrengen van een zaagsnede in het verharde beton. Overeenkomstig de Belgische voorschriften bedraagt de diepte van deze snede minstens 1/3 van de dikte van de betonplaat; de breedte van de eerste zaagsnede bedraagt meestal 3 à 4 mm. Het ideale tijdstip voor het zagen van de voegen ligt meestal tussen de 6 en 12 uur na storten van het beton. Uiteraard moet er eerst gewacht worden tot het beton voldoende is uitgehard om het te kunnen betreden. Ook moet het beton voldoende sterkte hebben om te voorkomen dat tijdens het zagen steentjes worden uitgerukt langsheen de voegrand. Deze sterkte bedraagt ongeveer 10 MPa (drukweerstand). Anderzijds moet het zagen gebeuren alvorens de trek- of buigspanningen in het beton aanleiding geven tot ongewenste willekeurige scheurvorming. Het bepalen van het optimale tijdstip is specialistenwerk daar er een invloed is van verschillende factoren zoals de samenstelling van het beton, de hardheid van de stenen, het type cement, de weersgesteldheid, het soort van zaagblad, enz.

Nadien worden de voegen verbreed met een sponning met breedte 8 à 10 mm in functie van het type voegvullingsproduct. De verdere afwerking van de voeg bestaat uit het eventueel afschuinen van de voegranden (volgens Standaardbestek 250 verplicht voor wegen van bouwklasse B1-B5, niet noodzakelijk voor industriële buitenverhardingen); het aanbrengen van een voegkoord, voegvernis en uiteindelijk het voegvullingsproduct. Dit product is hetzij een warm verwerkte bitumineuze massa, een koud aangebracht product of een voorgevormd rubberprofiel.

Er kan gekozen worden om de voegen niet te vullen maar dit kan leiden tot:

- afschilferen en afbrokkelen van de randen van de voeg, veroorzaakt door de aanwezigheid van harde elementen die in de voeg kunnen komen;
- infiltratie van water in de voeg met risico op pompeffect en uitspoelen of erosie van de onderliggende laag (fundering, ondergrond).

#### 3.4.3.2 Dwarse werkvoegen

Dwarse werkvoegen ontstaan ter hoogte van onderbrekingen van het betonneren, bij het einde van de dagproductie of bij een onderbreking van meer dan 2 uur. Men spreekt ook van respectievelijk einddagvoegen en her-nemingsvoegen. Het contactoppervlak tussen oud en nieuw beton dient vlak en loodrecht op het draagvlak te zijn. Het verse beton kan tegen het verharde beton aangestort worden zonder noodzaak voor een voegprofiel. Een zaagsnede mag niet aangebracht worden om te vermijden dat naast de voeg gezaagd zou worden. Door de krimp zal zich hier immers vanzelf een voeg vormen. Om randafbrokkeling te vermijden is het raadzaam om een sponning te frezen en een voegvulling te voorzien.



**Figuur 3.1** Dwarse en langse krimp/buigvoegen



**Figuur 3.2** Uitzetvoeg/isolatievoeg



**Figuur 3.3** Uitgezaagde uitsparing voor plaatsing uitzetvoeg

### 3.4.3.3 Langse buigvoegen en langse werkvoegen

In de langse richting worden voegen aangebracht om de betonverharding toe te laten te scharnieren volgens de lengteas en om de spanningen ingevolge de thermische gradiënt te beperken. Wanneer een verharding die in een enkele gang van de machine werd aangelegd, in twee stroken wordt verdeeld door middel van een zaagsnede, dan spreekt men van een langse buigvoeg. Wanneer het twee tegen elkaar aan gestorte stroken betreft, is het een langse werkvoeg.

De diepte van de zaagsnede dient, net als voor de dwarse krimpvoegen, minstens 1/3 van de betondikte te bedragen.

Net zoals bij een dwarse werkvoeg wordt bij een langse werkvoeg het nieuwe beton tegen het oude gestort zonder zaagsnede. Ook in dit geval is het raadzaam een sponning te zagen en voegvulling te voorzien om randafbrokkeling te voorkomen.

### 3.4.3.4 Uitzetvoegen en isolatievoegen

Uitzetvoegen worden gekenmerkt door de aanwezigheid van een samendrukbare voegplank waardoor de horizontale beweging van de betonverharding wordt toegelaten. Tot ongeveer 1970 werd een uitzetvoeg voorzien voor elke betonplaat; de lengte van de platen bedroeg toen meestal tussen de 8 en de 15 m. Deze voegen waren tegelijkertijd krimp- en buigvoegen. Met het beperken van de plaatlengte werden ook de voegen aangepast tot de hierboven toegelichte krimpbuigvoegen. Hierdoor werd niet alleen het comfort aanzienlijk verbeterd maar werd ook de belangrijkste oorzaak van de onderhoudskosten aan betonwegen weggenomen. Er worden voortaan dan ook zo weinig mogelijk uitzetvoegen geplaatst. Niettemin blijven ze in bepaalde gevallen noodzakelijk om de drukkrachten op te vangen en schade aan aanliggende constructies te vermijden:

- bij de aansluiting met kunstwerken;
- bij de aansluiting met andere verhardingen, bijvoorbeeld ter hoogte van kruispunten of bij de overgang naar een ander type verharding. De uitzetvoeg ligt dan best tussen de voorlaatste en de laatste betonplaat;
- rondom vaste punten zoals inspectieputten of wanneer de betonverharding tot tegen de gebouwen wordt aangelegd. In die gevallen spreekt men soms ook van isolatievoeg.



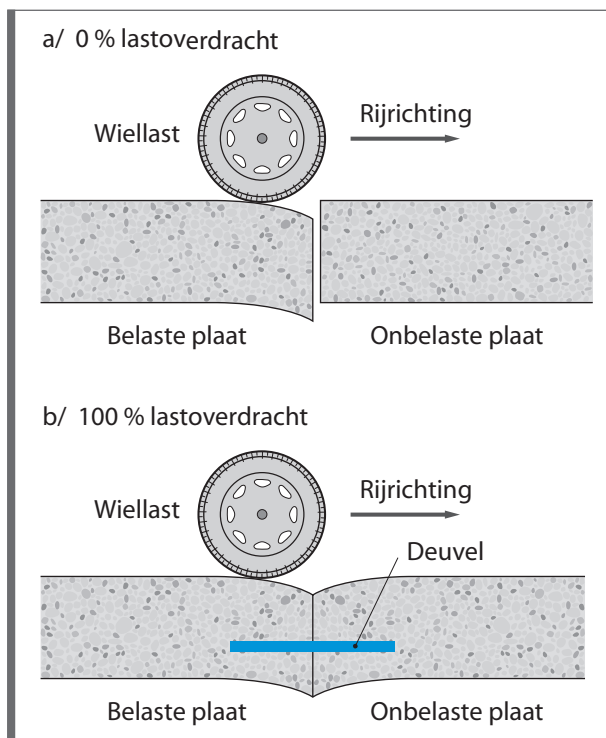
Bovendien zijn ze in bepaalde gevallen wenselijk zoals aan een van de uiteinden van een herstelde strook in platenbeton wanneer de aanlegtemperatuur laag is ( $< 15^{\circ}\text{C}$ ).

Op vlak van uitvoering is het belangrijk dat de voegplaat loodrecht staat op het oppervlak van de rijbaan. De scheve positie van de voegplaat is een van de belangrijkste redenen van het uitknikken of de opstuiking van betonplaten. Het is geen sinecure om de voegplaat mooi recht op te stellen en te behouden tijdens het betonneren. Een eenvoudigere oplossing is om de uitzetvoeg te laten samenvallen met een werkvoeg, dus bij een onderbreking van het betonneren. De voegplaat kan dan tegen het verticaal afgewerkte vlak geplaatst worden. Om deuvels te kunnen voorzien worden gaten geboord doorheen de voegplaat in de aanwezige verharding. De deuvels worden vervolgens verankerd in de boorgaten. Wanneer deuvels niet nodig zijn, bijvoorbeeld in het geval van weinig zwaar verkeer, kan de uitsparing voor de voegplaat gezaagd worden uit de bestaande verharding d.m.v. een dubbele zaagsnede over volledige dikte.

Een ander aandachtspunt betreft de afmetingen van de voegplaat. Die moet even lang zijn als de plaat breed is. Zoniet kunnen de geconcentreerde drukkrachten aan de uiteinden aanleiding geven tot afscheuren. Ook bovenaan de voegplaat mag geen betonbrug ontstaan omdat anders schollen kunnen afspringen ter hoogte van de voeg.

Voor de voegplaat wordt gebruik gemaakt van rotvrije materialen die samendrukbaar en elastisch zijn. Na samendrukking moeten ze dus ook tot hun oorspronkelijke dikte kunnen terugkomen. Dit is het geval voor geperste houtvezelplaat, geperste kurk of hard polyethyleenschuim. Geëxpandeerd polystyreen is hiervoor niet geschikt.

#### 3.4.4 Principe van lastoverdracht



**Figuur 3.4** Principe van lastoverdracht

Indien er voldoende lastoverdracht is van de ene plaat naar de volgende wordende spanningen ter hoogte van de voegen gereduceerd. Dit betekent dat, wanneer een wiel last de voeg nadert, de onbelaste plaat meewerkt met de belaste plaat en dus ook mee doorbuigt. Dit is duidelijk in figuur 3.4. Hieruit volgt ook het begrip «doeltreffendheid van de lastoverdracht» (Eng.: *load transfer efficiency*).

Lastoverdracht wordt bekomen door de volgende fenomenen en maatregelen:

- het ineengrijpen van de granulaten in het beton ter hoogte van de voeg onder de zaagsnede (Eng.: *aggregate interlock*);
- de aanwezigheid van een hydraulisch gebonden fundering, die minder doorbuiging toelaat onder de voeg dan een ongebonden fundering;
- het voorzien van deuvels in de dwarse voegen; deuvels zijn gladde ronde metalen staven die de werking van de voeg toelaten.

Samen met het verhogen van de lastoverdracht wordt met deze maatregelen ook trapvorming in de voegen vermeden. Trapvorming ontstaat meestal door het pompeffect waarbij water opgesloten zit tussen de betonverharding en de fundering. Door zware verkeersbelasting wordt de fundering geërodeerd en worden fijne deeltjes ervan naar boven gestuwd. Na verloop van tijd ontstaat een holte onder de voeg en zal zich een trap vormen, doorgaans van hoog naar laag in de rijrichting. Bovendien verhoogt het risico op barsten van de platen, afbreken van hoeken en afbrokkelen van de voegranden.

keersbelasting wordt de fundering geërodeerd en worden fijne deeltjes ervan naar boven gestuwd. Na verloop van tijd ontstaat een holte onder de voeg en zal zich een trap vormen, doorgaans van hoog naar laag in de rijrichting. Bovendien verhoogt het risico op barsten van de platen, afbreken van hoeken en afbrokkelen van de voegranden.

### 3.4.5 Deuvels

Deuvels zijn noodzakelijk voor zwaar belaste rijwegen omwille van de lastoverdracht en ter voorkoming van trapvorming aan de voegen. In België gebruikt men gladde gecoate stalen staven diam. 25 mm, lengte 600 mm, die op halve dikte van de platen en evenwijdig met de richting van de strook worden aangebracht met een tussenafstand van 300 mm en een afstand tot de rand van de strook tussen 150 en 300 mm. Een minimum plaatdikte van 18 cm is hiervoor vereist. De dwarse voeg dient in het midden van de deuvels aangebracht te worden. De plaatsing van de deuvels gebeurt op metalen stoelen of door machinaal intrillen in het verse beton. Er moet op gelet worden dat de deuvels op hun juiste positie geplaatst worden. Daarom worden de metalen stoelen stevig met krammen vastgezet op de hydraulisch gebonden fundering of op de tussenlaag in asfalt. In geval van een ongebonden fundering kan er betonspecie met de kraan worden aangebracht op de volgende rij deuvels zodat ze bij het passeren van de glijbekistingmachine niet meer van hun plaats geduwd worden. Machinale intrilapparaten werken doorgaans voldoende nauwkeurig. Wel dient een merkteken aangebracht te worden ter hoogte van het midden van de deuvels waar later de zaagsnede moet komen.



**Figuur 3.5** Vastzetten van deuvelstoelen in fundering voor aanbrennen deuvels in dwarse krimpvoeg

Voor deuvels bestaat er een aparte norm NBN EN 13877-3 *Concrete Pavements – Part 3: Specifications for dowels to be used in concrete pavements*. Hierin wordt een minimale treksterkte van 250 MPa vereist en moet ook de duurzaamheid verklaard worden door de fabrikant. De deuvels die op de Belgische markt gebruikt worden zijn meestal met een bitumenemulsie omhuld of voorzien van een epoxycoating. Wanneer de deuvels met de machine ingetrild worden is epoxy interessanter dan bitumen omdat de deuvels minder aan elkaar kleven en zo de werking van het intrilapparaat niet verstoren.

Voor de belastingsklassen 1 en 2 waar de betondiktes variëren van 25 tot 35 cm wordt aanbevolen om ook de diameter van de deuvels te laten toenemen van de gebruikelijke 25 mm tot 30 mm.

### 3.4.6 Ankerstaven

Een langse voeg kan voorzien worden van ankerstaven, geribde stalen staven met diameter 12 of 16 mm en lengte 600 tot 1 000 mm. Die moeten verhinderen dat de stroken van elkaar wegglijden en de voeg zou komen open te staan. Bovendien zorgen de ankerstaven voor lastoverdracht voor verkeer dat van rijstrook verandert. Ankerstaven worden aangebracht op halve dikte van de platen, dwars op de richting van de strook met een tussenafstand van 750 mm en een afstand tot de dwarsvoeg tussen 750 en 1 000 mm. In een langse buigvoeg worden ze op metalen stoelen geplaatst of machinaal ingetrild in het verse beton. In een langse werkvoeg worden ze verankerd in boorgaten. Een andere manier van lastoverdracht in een langse werkvoeg is een hol- en dolverbinding, die al dan niet met ankerstaven kan gecombineerd worden. Sommige glijbekistingmachines hebben een voorziening om de ankerstaven, geplooid op 90°, tijdens het betonneren aan te brengen, eventueel voorafgegaan door het aanbrengen van een metalen strip in het holle gedeelte. Voor het betonneren van de volgende strook worden ze rechtgeplooid.

In NBN EN 13877-1 *Concrete Pavements – Part 1: Materials* zijn de ankerstaven vermeld met een diameter van 10, 12, 16 of 20 mm en een lengte van 800 mm. Om de levensduur te verlengen ziet men dat in verscheidene landen, o.a. Nederland en Oostenrijk, het centrale gedeelte van de ankerstaven gecoat wordt met een roestwerende beschermingslaag.

Voor industriële buitenverhardingen zijn ankerstaven vooral aangewezen in gevallen waar risico op afglijden van de betonverharding bestaat:

- de buitenste gelegen betonstroken van een verharding;
- bochten met kleine kromtestralen;
- terrein in helling gelegen.

### 3.4.7 Andere voegsystemen

Naast de klassieke uitvoering van krimp- of uitzetvoegen zijn een aantal geprefabriceerde systemen op de markt beschikbaar. Ze hebben een rechte of geprofileerde (omegavormig) doorsnede en worden met doken in het beton gestort. Het langsprofiel is meestal rechtlijnig, in sommige gevallen sinusoidaal.

Hoewel ze vaak als uitzetvoegen beschreven worden, zijn het meestal profielen die als krimpvoeg functioneren en, gezien de mogelijkheid om het beton er tegen aan te storten, ook als werkvoegen gebruikt kunnen worden. Slechts wanneer een samendrukbaar materiaal als «voegplaat» kan ingebracht worden, kan er sprake zijn van een uitzet- of dilatatievoeg.



**Figuur 3.6** Voegsysteme als uitzetvoeg

Enkele belangrijke beoordelingselementen van dergelijke profielen zijn:



**Figuur 3.7** Geprefabriceerd voegsysteme (recht profiel)

- het beton moet goed kunnen verdicht worden in de nabijheid van het voegprofiel;
- het beton moet met een constante dikte kunnen aangelegd worden tot tegen het voegprofiel. Discontinuïteiten kunnen leiden tot scheurvorming;
- in geval van omegaprofielen is een minimale betondekking van 6 cm nodig boven en onder het profiel, alsmede ankerbeugels van minimaal 8 mm aan beide zijden. Drie stuks per lopende meter worden voorzien;
- het profiel moet zorgen voor een goede lastoverdracht. Sommige commerciële profielen werden hierop getest;
- de stijfheid van de flenzen dient verzekerd te worden door een minimale staaldikte van 5 mm;
- de profielen kunnen voorzien zijn van een metalen voegrandbescherming;
- de systemen mogen nooit volledig verankerd worden in de ondergrond teneinde de werking van de voeg toe te laten;
- de profielen zijn niet geschikt voor verwerking met de glijbekistingmachine. Ze worden meestal gebruikt bij verhardingen die manueel of met gepompt beton worden aangelegd.

Ook hier geldt dat niet alle systemen die geschikt zijn voor binnenvloeren dit ook zijn voor buitenverhardingen.

### 3.4.8 Voegvullingsmaterialen

Voegvullingsmaterialen kunnen ingedeeld worden in drie grote categorieën:

1. de **warm gegoten voegvullingsproducten**; die het meest toegepast worden. Zij bestaan hoofdzakelijk uit bitumen waaraan polymeren en diverse hulpstoffen zijn toegevoegd;
2. de **koud gegoten of verspoten voegvullingsproducten**, eventueel na vermenging van componenten. Dit zijn elastische mastieken op basis van polyurethaan, polysulfide of siliconen. Deze producten hebben een hogere kostprijs, doch kunnen wegens hun betere technische kenmerken zuiniger toegepast worden (voegsectie). Ze hebben tevens een veel langere levensduur (2 à 3 maal);
3. de **voorgevormde kunstrubberprofielen**.



**Figuur 3.8** Warm gegoten voegvullingsmateriaal



**Figuur 3.9** Een component koud gegoten voegvullingsmateriaal



**Figuur 3.10** Voorgevormd voegvullingsprofiel

Het hoofdkenmerk op grond waarvan een onderscheid tussen deze drie categorieën kan worden gemaakt is de plastische en/of elastische vervormingscapaciteit die in de gebruiksomstandigheden van de weg en gedurende een aanvaardbare levensduur (bijvoorbeeld 5-10-20 jaar) kan worden herhaald, zonder dat het product breekt of van de voegwanden loskomt.

De volgende toelaatbare vervormingen worden in normale gebruiksomstandigheden aangenomen (uitgedrukt in % ten opzichte van de nominale openingsbreedte van de sponning bij uitgehard beton in een omgevingstemperatuur rond 15 à 20 °C):

- voor de warm gegoten producten op basis van bitumen: een rek of samendrukking van 20 %;
- voor de koud gegoten producten op basis van polysulfide, polyurethaan of siliconen: een rek of samendrukking van 30 %;
- voor de rubber profielen: een samendrukking van 50 %. Voor de keuze van de profielafmetingen geldt de volgende regel: de oorspronkelijke breedte B van het profiel moet zodanig zijn, dat het profiel bij maximale voegopening (winter) tot een breedte van 0,80 B en bij minimale voegopening (zomer) tot een breedte van 0,50 B wordt samengedrukt. In de praktijk blijft dit procédé dus voorbehouden voor nieuwe wegdekken en meestal enkel voor langse buigingsvoegen, waarbij en de duurzaamheid (beperkte werking), en het economische voordeel (beperkte afmeting) deze keuze stimuleren. Anderzijds is de toepassing van voorgevormde profielen in langse constructievoegen niet aanbevolen gezien de onregelmatigheid en breedteafwijkingen van deze voegen. Voor gezaagde langs- en dwarsvoegen met een perfecte egale sponning vormt het profiel een duurzame, eenvoudige en economische oplossing.

### 3.4.9 Opmaak voegenplan en uitvoeringsdetails

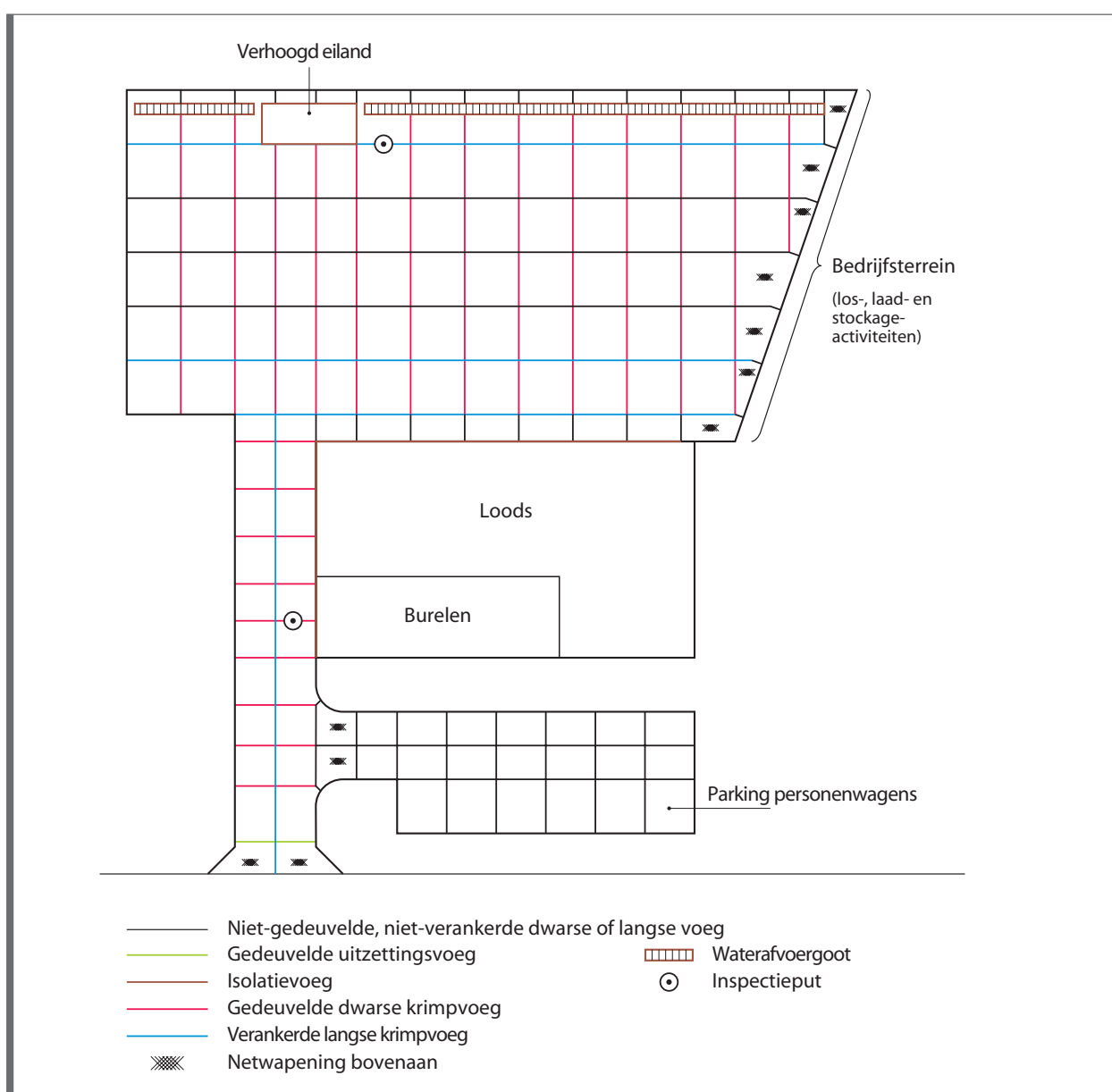
Hoewel het in de praktijk vaak aan de aannemer wordt overgelaten, maakt de opmaak van het voegenplan, met de aanduiding van de positie en het type van de voegen en eventuele wapening, deel uit van het ontwerp. Door het vooraf te bestuderen kan er immers geanticipeerd worden op eventuele moeilijkheden in de uitvoering. Wel is het zo dat door de keuze van de manier van verwerking en van de betonneerfasen door de aannemer het voegenpatroon kan beïnvloed worden.

Enkele regels bij het opmaken van het voegenplan:

- kies een hoofdrichting die als langse richting van het verkeer beschouwd wordt en bepalend is voor de plaatsing van deuken en ankerstaven. Voor een gewone weg is dit evident. Ter hoogte van een kruispunt zal de drukst bereiden weg als hoofdrichting beschouwd worden;
- voorzie eerst de voegen ter hoogte van singuliere punten (inspectieputten, onderbrekingen, aansluitingen, bochten, enz.);
- vermijd altijd scherpe hoeken. Voorzie een netwapening bovenaan als dat niet mogelijk is;
- voorzie netwapening in de platen met onregelmatige vorm;
- plaats nooit deuken in voegen van eenzelfde plaat die niet evenwijdig zijn;
- houd rekening met bestaande voegen om sympathiescheuren te vermijden of voorzie de nodige maatregelen (tussenplaatsing van bitumenmembraan in de langse voeg ter hoogte van de oude bestaande dwarsvoeg waar langs gebetonneerd wordt);
- houd rekening met de verwachte of opgelegde fasen van betonneren tijdens uitvoering.



**Figuur 3.11** Zaagsneden ter hoogte van singuliere punten



**Figuur 3.12** Voegenplan

Een voegenplan dient in de ontwerpfase al bestudeerd te worden rekening houdend met de uitvoeringsmethode. Scherpe hoeken moeten worden vermeden en de maximum voegafstand voor ongewapend beton bedraagt 4,5 à 5,0 m.

Het afdichten van de voegen met voegvullingsmassa verhindert het afbrokkelen van de randen, de infiltratie van water in de structuur en bijgevolg ook het pompeffect en de trapvorming.

Deuvels zorgen voor een goede lastoverdracht tussen de platen, verhinderen ook de trapvorming ter hoogte van de voegen en hebben een gunstige invloed in de dimensionering (kleinere betondikte).

Ankerstaven verhinderen het afglijden van de buitenste betonstroken van een verharding. Ook in bochten en op hellende terreinen houden ze de voegen in de verharding gesloten.

Geprefabriceerde voegsystemen worden meestal als werkvoeg gebruikt. Alleen als ze voorzien zijn van samendrukbaar materiaal, doen ze dienst als uitzetvoeg. Niet alle systemen die voor binnenvloeren geschikt zijn, kunnen buiten toegepast worden.

### 3.4.10 Functie van wapeningsstaal

Wapeningsstaal in platenbeton, meestal onder de vorm van gelaste wapeningsnetten en eventuele bijlegwapeningen, wordt voornamelijk toegepast omwille van de volgende redenen:

- structurele wapening van het beton; het staal neemt dan het belangrijkste deel van de buigtrekspanningen op;
- krimpwapening om te verhinderen dat er scheuren optreden te wijten aan de verschillende krimpverschijnselen van jong en verhard beton.

Indien men weet waarom men wapeningsnetten plaatst, weet men ook op welke hoogte in de betondoorsnede ze best gepositioneerd worden. Verkeers- en stockagebelasting doet trekspanningen ontstaan in het onderste gedeelte; de netten moeten dan ook in dat onderste gedeelte, onder de neutrale vezel, geplaatst worden. Wanneer een goede onderbouw (baankoffer, onderfundering en fundering) voorzien wordt, is de extra wapening niet nodig. Het beton ontwikkelt immers zelf voldoende buigtreksterkte om aan deze belastingen te kunnen weerstaan.

Krimpwapening wordt bovenaan in de doorsnede geplaatst omdat krimpscheuren aan de bovenzijde van de verharding ontstaan waar de temperatuurschommelingen en vochtvariaties het grootste zijn.

Wanneer het net in het midden van de verharding geplaatst wordt, zal het wel enig nut hebben als krimpwapening maar minder als structurele wapening.

### 3.4.11 Netwapening of afzonderlijke wapeningsstaven

De meest toegepaste netten zijn diameter 8, 10 of 12 mm met vierkante mazen van 150 mm zijde.

Krimpwapening die in het bovenste derde van de betondoorsnede geplaatst wordt, moet ter hoogte van de krimpvoegen hetzij onderbroken, hetzij mee doorgezaagd worden, zodat de voegwerking – het openen van de voeg bij krimp – kan plaatsvinden. Indien nodig moet daarvoor de zaagdiepte aangepast worden.

Wapening die in de onderste helft van de betondoorsnede geplaatst wordt, moet niet onderbroken of doorgezaagd worden. De krimpscheur zal door de scheuraanzet bovenaan doorlopen over de wapening tot de onderzijde van de betonplaat. Wel is het zo dat deze voegen zich niet evenveel kunnen openen als bij ongewapend beton. Daarom is het aangeraden om ongeveer om de vijf voegen of ongeveer alle 30 m de wapening onderaan niet te laten doorlopen.



**Figuur 3.13** Combinatie van wapeningsnet en deuvels



**Figuur 3.14** Gedeuveld platenbeton met staalvezelbeton

Wanneer netten in combinatie met deuvels geplaatst worden, is het belangrijk dat de netten overlappen met de deuvels. Ze kunnen onderbroken worden of ze kunnen doorlopen over de voeg maar in het laatste geval moeten ze dan, zoals hiervoor beschreven, mee doorgezaagd worden.

### 3.4.12 Staalvezelwapening (zie ook § 1.2.3 en § 2.4.5)

Soms worden de staalnetten vervangen door staalvezels. De meeste toepassingen hiervan vinden we in industrievloeren binnen maar soms ook buiten de gebouwen.

De doseringen worden bepaald aan de hand van een stabiliteitsberekening en variëren meestal tussen de  $20 \text{ kg/m}^3$  en  $40 \text{ kg/m}^3$ . De staalvezels dienen verplicht CE gecertificeerd te zijn volgens attestingsniveau 1 overeenkomstig NBN EN 14889-1:2006.

In de klassieke toepassingen gaat het meestal over (verzinkte) staalvezels van ca. 60 mm lengte en een diameter van 0,75 tot 1 mm. De taaifactor  $R_{e3}$ , overeenkomstig NBN B15-239 moet  $\geq 50\%$ .

Voor het bepalen van de dosering spelen o.a. de vorm en afmetingen van de staalvezels een rol. Om het BENOR-keurmerk van het beton te behouden dienen de staalvezels minstens drager te zijn van een Technische Goedkeuring (ATG keurmerk) en dienen de staalvezels toegevoegd te worden in de productie-eenheid.

Op het vlak van ontwerp van platenbeton kunnen de platen met staalvezelbeton wat langer gemaakt worden dan met ongewapend beton. Het is evenwel aangeraden om de lengte nog te beperken tot 7 à 8 m. In Nederland zijn er al wel enkele experimenten waar wegsecties tot 100 m lang voegloos werden uitgevoerd met staalvezelbeton. Het betrof dan wel samenstellingen op basis van  $40$  à  $50 \text{ kg/m}^3$  van een mengsel van verschillende types vezels.

Structurele netwapening wordt onderaan geplaatst zodat ze buigtrekspanningen kan opnemen. Deze wordt om de 5 voegen onderbroken om te grote krimpspanningen te voorkomen. Krimpwapening wordt bovenaan geplaatst en wordt mee doorgezaagd in elke voeg om een beperkte voegwerking toe te laten. Netwapening kan gecombineerd worden met deuvels en/of ankerstaven.

Bij het gebruik van staalvezels is de dosering afhankelijk van de vorm en afmetingen van de vezels. Meestal wordt tussen de 20 en  $40 \text{ kg}$  staalvezel per  $\text{m}^3$  toegepast.

Platen, gewapend met netten of staalvezels, kunnen in langere plaatlengtes uitgevoerd worden, afhankelijk van de hoeveelheid wapening.

### 3.5 Verwerkingsmethodes en bijhorende consistentieklassen van het beton

Om een compact en daardoor duurzaam beton te bekomen is het noodzakelijk dit goed te verdichten. Dit kan door een interne verdichting met trilnaalden, manueel bediend of gemonteerd op een afwerkingsmachine, of door een oppervlakverdichting met een trilbalk.

#### 3.5.1 Verwerking met de glijbekistingmachine

Betonneermachines met glijdende bekistingen worden meestal ingezet in de wegenbouw daar ze voldoen aan alle eisen van kwaliteit op vlak van verdichting en afwerking en aan het nagestreefde hoge tempo van uitvoering. Door de combinatie van een reeks van trilnaalden, die in sommige gevallen afzonderlijk kunnen gecontroleerd en gestuurd worden, met een trilbalk wordt een optimale verdichting bekomen. De krachtige verdichting is nodig voor het verwerken van het stugge, aardvochtige betonmengsel van consistentieklasse S1. Deze consistentieklasse is nodig om na de snelle ontlasting mooie rechte kanten van de verharding te bekomen die niet inzakken.

Manuele correcties achter de machine zijn nog mogelijk alsook het afstrijken met een breed strijkspan dat met dubbele scharnier aan een steel is bevestigd.



**Figuur 3.15** Aanleg tweelaags beton met glijbekistingmachine

Meestal zijn de glijbekistingmachines uitgerust met een mechanisch bediende afstrijkbalk die zowel in dwarse als in langse zin wordt voortbewogen en als doel heeft de laatste lokale onvlakheden weg te werken. In het Engels wordt dit een *supersmoother* genoemd. In analogie met een helikopterafwerking (zie § 3.6.3) kan deze afstrijkbalk ook een roterende beweging hebben. Dan kan men spreken van een *helismoother*.

Glijbekistingmachines zijn vooral aangewezen voor het betonneren van lange (vanaf ca. 50 m) rechtlijnige stroken met een breedte tot ca. 10 m.

#### 3.5.2 Verwerking tussen vaste bekistingen met trilbalk en trilnaalden

In geval van manuele verwerking tussen vaste bekistingen dient het gebruik van trilnaalden en trilbalk gecombineerd te worden.

Het best is om eerst met trilnaalden te verdichten langs de randen om vervolgens een zware dubbele trilbalk in te zetten.

Indien het ganse oppervlak met trilnaalden wordt verdicht, is minstens 1 trilnaald per 2 m aanlegbreedte noodzakelijk. Het is dan aangewezen om nog met een lichte trilbalk te passeren om een betere vlakheid te bekomen.

Ook in deze beide gevallen zijn de manuele correcties en het afstrijken nog mogelijk.





**Figuur 3.16** Verwerking tussen vaste bekisting met verdichting door trilbalk en trilnaalden

Ook de «laserscreed», een oppervlaktetrilbalk waarvan de hoogte met laser wordt gestuurd en die meestal voor binnenvloeren wordt gebruikt, wordt soms ook voor buitenverhardingen aangewend. De graad van verdichting is evenwel niet gelijkwaardig aan die van de dubbele trilbalk.

De verwerking tussen vaste bekistingen kan zowel toegepast worden voor beton met consistentieklasse S2-S3, aangevoerd met kipwagens of truckmixers, als voor pompbeton van de consistentieklasse S4 (zie volgende paragraaf voor de bespreking van dit beton).

De manuele verdichting tussen vaste bekistingen wordt gebruikt voor korte rechtlijnige stukken en voor kleinere en moeilijkere werken zoals aansluitingen, kruispunten, bochten of rotondes met kleine kromtestraal of waar er onvoldoende ruimte beschikbaar is om een glijbekisting-machine in te zetten.

### 3.5.3 Verwerking tussen vaste bekistingen zonder bijkomende verdichting



**Figuur 3.17** Aanbrengen van beton tussen vaste bekisting zonder bijkomende verdichting

In dit geval wordt meestal gebruik gemaakt van gepompt beton. De consistentieklasse bedraagt minstens S4. De afwerking met helikopter zorgt niet voor een bijkomende verdichting en gebeurt bovendien in een te late fase. Hierdoor zullen niet alle luchtinsluitels uit het beton kunnen verwijderd worden. Het vloeibaar beton van consistentieklasse S4 wordt bovendien gekenmerkt door hogere zand- en watergehaltes en is daarom gevoeliger voor segregatie en *bleeding* (uitzweetwater) wat in veel gevallen resulteert in minder duurzame oppervlakken (probleem afschilfering).

Het gebeurt ook dat omwille van de hoge gehalten aan superplastificeerder een vertragend neveneffect optreedt in de uitharding van het beton, met mogelijke problemen van verdere afwerking of bepaling van het juiste tijdstip van het zagen van de voegen. Specifiek voorafgaand overleg met de betoncentrale kan het risico op dergelijke fenomenen beperken.

Deze manier van verwerking wordt dikwijls toegepast wanneer in grote vlakken gewerkt wordt in plaats van met lineaire stroken, vooral omwille van de hogere rendementen en lagere uitvoeringskosten.

Wegen en lange rechte stroken worden best met de glijbekistingmachine aangelegd omwille van de zeer goede verdichting, vlakke afwerking en hoge rendementen.

Kleinere stukken worden manueel geplaatst tussen vaste bekistingen en verdicht met trilbalk, trilnaalden of «laserscreed».

Pompbeton wordt gekenmerkt door hogere zand- en watergehaltes en is daarom gevoeliger voor segregatie en *bleeding*. Daar het bovendien meestal niet extra verdicht wordt zal een minder duurzaam betonoppervlak bekomen worden met risico op scheurvorming en afschilfering.

## 3.6 Oppervlakafwerking

### 3.6.1 Eisen van oppervlakkenmerken

De belangrijkste eisen die van tel zijn voor industrieverhardingen zijn de vlakheid en de stroefheid. Algemeen rijcomfort aan hogere snelheden, maatregelen tegen aquaplaning en de rolgeluidproductie zijn typische eisen voor autowegen maar spelen in dit kader geen belangrijke rol.

Voor de stroefheid zijn in de meeste gevallen de eisen minder streng dan voor wegen en zijn meer polijstbare granulaten toegelaten in het mengsel. Op industriële verhardingen is er immers minder intens verkeer en is de snelheid dikwijls beperkt.

### 3.6.2 Bezemen in dwarsrichting of langsricting



**Figuur 3.18** Dwars gebezemde textuur

Deze textuur wordt bekomen door hetzij een handmatige borstel of bezemstreek, hetzij een mechanische installatie op of achter de glijbekistingmachine die de stijve bezemharen met lichte druk over het oppervlak laat glijden in dwarse of langse richting.

Dit is ontegensprekelijk wereldwijd de meest toegepaste textuur voor alle types van betonverhardingen. Dit is verklaarbaar omdat het een simpele en goedkope techniek betreft die een goed compromis biedt voor effenheid, verkeersgeluid, stroefheid en zeker aanvaardbaar is voor plaatsen waar de snelheid beperkt is. Het is daarom ook de meest aangewezen oppervlakafwerking voor industriële buitenverhardingen in beton. De textuur is des te duurzamer naarmate de betonmortel van zeer goede kwaliteit is (zand – cement – water – bescherming).

### 3.6.3 Afwerking met de «helikopter»

Andere benamingen voor deze manier van afwerking zijn «mechanisch troffelen of spanen», «vlinderen», «talocheren» of «polieren». Soms spreekt men ook van «halfpolieren» wanneer de verharding niet glanzend en glad wordt afgewerkt maar nog een zekere ruwheid en stroefheid aan het oppervlak behoudt. De afwerking houdt in dat het betonoppervlak met een roterende beweging wordt afgestreeken. Dit afstrijken begint zodra het beton zodanig verhard is dat het zonder overdreven vervorming kan betreden worden. Door de eerste afstrijkbeweging wordt een hoeveelheid cementpasta naar het oppervlak gedrukt. Bij het uitstrijken van deze pasta worden alle gaatjes in het oppervlak gedicht. Vervolgens wordt het afstrijken met tussenpozen verdergezet tot het oppervlak effen is en de gewenste afwerkingsgraad is bekomen. Wanneer de bewerking lang wordt doorgezet spreekt men



**Figuur 3.19** Manuele helikopterafwerking

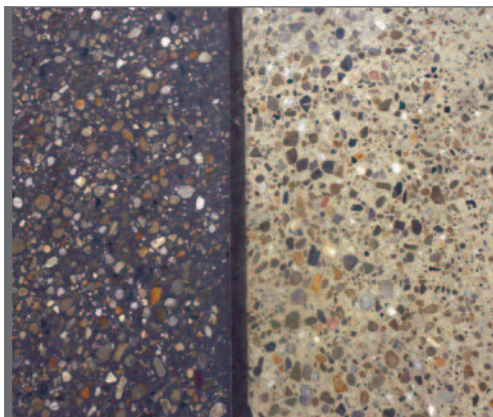


**Figuur 3.20** Machinale helikopterafwerking

van «glanspolieren». Dit is niet geschikt voor buitenverhardingen, niet alleen omwille van het glad oppervlak in geval van regenweer maar vooral omwille van de te beperkte duurzaamheid van een dergelijk oppervlak in buitenomgeving.

Hoe langer gewacht wordt met de aanvang van deze bewerkingen, hoe meer het verhardingsproces wordt verstoord.

Het toevoegen van water aan het oppervlak om het oppervlak gemakkelijker te kunnen afwerken of om het beton nog te kunnen bezemen na afwerking met de helikopter, is uit den boze. Op die manier wordt immers de water-cementfactor aan het oppervlak verhoogd en is het oppervlak niet meer vorstbestendig.



**Figuur 3.21** Gepolijste textuur (Atomiumplein, Brussel)

### 3.6.4 Polijsten van het verharde beton

Door van het verharde beton enkel millimeters af te polijsten worden de stenen uit het beton zichtbaar gemaakt aan het oppervlak. Deze bewerking kan later eventueel nog herhaald worden in geval van oppervlakschade of vervuiling. Er moet uiteraard wel rekening worden gehouden met de diktevermindering. Ook voor dit type afwerking moet worden vermeden om het oppervlak te glanzend te maken en moet enige stroefheid behouden blijven in verband met de veiligheid van voetgangers op de verharding, vooral bij nat weer.

### 3.6.5 Groeven in dwarsrichting

Wordt bekomen door een hark van staal of kunststof dwars over de breedte van de verharding te trekken. De pennen van de hark staan 20 tot 50 mm uit elkaar en de groeven zijn 2 tot 3 mm diep.



**Figuur 3.22** Dwars gegroefde textuur

Dit type van textuur werd massaal toegepast op betonnen autosnelwegen sinds de jaren 1960 omwille van de uitstekende stroefheidseigenschappen in combinatie met een goede zijdelingse waterafvoer langsheen de fijne dwarse afvoerkanaaltjes. Een combinatie van een goede betonsamenstelling (in het bijzonder de fijne en grove granulaten) en van de tussenafstand en diepte van de groeven levert een zeer duurzame oppervlakttextuur op. De techniek wordt nog zeer zelden gebruikt op de auto-wegen, dit omwille van de slechte akoestische eigenschappen, en ook op industrieterreinen wordt het nauwelijks toegepast. Een mogelijke toepassing is op vlakken met grote helling om aldaar toch een goede stroefheid te bekomen.

### 3.6.6 Chemisch uitwassen

Dit wordt gerealiseerd door een oppervlakbindingsvertrager toe te passen op de betonverharding onmiddellijk na het storten van het beton, gevolgd ca. 24 uur later door het wegwassen en/of –borstelen van de cementmelk aan het oppervlak om de granulaten bloot te leggen. Door aangepaste betonsamenstellingen met een hoog aandeel aan fijne steentjes kan een goede macrottextuur bekomen worden voor de combinatie van de eisen van stroefheid en geluid. Deze techniek is aangewezen voor autosnelwegen en andere types wegen in beton maar wordt zelden aangewend op industrieterreinen.



**Figuur 3.23** Fijn uitgewassen textuur

### 3.6.7 Dunne slijtlaag

Het instrooien van een «dunne» droge slijtlaag (mengsel cement en harde materialen zoals kwarts of carborundum met korrelgrootte 0,5/1 en eventuele kleurpigmenten) is een methode die heel courant wordt toegepast voor binnenvloeren. Voor buitenverhardingen wordt hij soms gebruikt om staalvezels aan het oppervlak te verbergen. Nochtans wordt deze techniek ten stelligste afgeraden voor buitenverhardingen. Voor een beton met luchtbelvormer bestaat er groot gevaar voor delaminatie en de techniek biedt sowieso nauwelijks enige meerwaarde voor bedrijfsverhardingen.

De toppings of «dikke» duurzame slijtlagen van 6 à 15 mm dik en nat in nat in het verse beton geplaatst, worden besproken in hoofdstuk 4 *Speciale toepassingen*.

Een gebezemde afwerking biedt voor industriële buitenverhardingen in beton een goede oplossing qua effenheid en stroefheid.

Oppervlakken, afgewerkt met de helikopter, zijn meestal minder duurzaam. Na het polieren moet voldoende stroefheid behouden blijven. Glanspolieren is daarom zeker niet toegelaten in een buitenomgeving.

Het is niet toegelaten het oppervlak af te werken met een ingestrooide slijtlaag.

## 3.7 Nabehandeling van het verse beton

### 3.7.1 Inleiding



**Figuur 3.24** Windbarsten

Onder invloed van wind en/of bezonning zal een onbeschermde bouwelement van vers gestort beton uitdrogen door de verdamping van aanmaakwater uit het beton. Door de grote verhouding oppervlak/volume zijn verhardingen hier erg gevoelig aan. Hierdoor ontstaat plastische krimp aan de bovenkant en kunnen plastische krimp scheuren of zogenaamde windbarsten ontstaan. Ook de sterkte van het beton zelf en de duurzaamheid van het oppervlak, namelijk de weerstand tegen afschilfering, kunnen hierdoor in het gedrang komen.

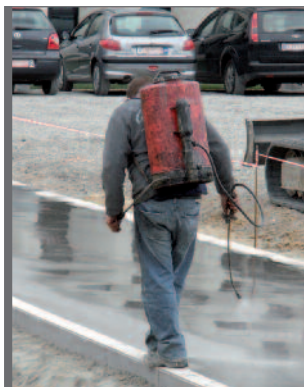
Om deze nadelige gevolgen van uitdroging en krimp te vermijden, is het noodzakelijk om het beton te beschermen tijdens de hydratatie en in de plastische fase. In normale omgevingsomstandigheden dient de bescherming minimaal gedurende 72 uur (3 dagen) te worden aangehouden.

In geval van ongunstige omstandigheden zou deze termijn moeten verlengd worden tot 4 à 8 dagen. Aangezien er meestal een nabehandelsproduct wordt gebruikt wordt dit opgelost door een dubbele dosis of een extra nabehandeling te voorzien. Zie ook § 3.8.

### 3.7.2 Nabehandelingsproduct

De meest courante beschermingsmethode is het verstuiwen van een nabehandelsproduct of *curing compound*. Dit gebeurt in principe onmiddellijk na het storten en na de oppervlakafwerking, eventueel na verdamping van het uitzweetwater, zodat het beton al in de plastische fase beschermd is.

De doeltreffendheid van een nabehandelsproduct kan worden gemeten door een proefmethode beschreven in PTV501. Hierin wordt een efficiëntie van 75 % vereist na 72 uur. Het voorleggen van een testrapport door de leverancier van de producten is nodig om zich te vergewissen van de kwaliteit van het product. Tevens bestaat er een ontwerp van Europese Technische Specificatie: prCEN/TS 14754-1 *Curing Compounds – Test methods – Part 1*:



**Figuur 3.25**

*Nabehandlingsproduct, handmatig aangebracht*

*Determination of water retention efficiency of common curing compounds.* Hierin wordt echter geen minimumwaarde voor de efficiëntie opgelegd.

De toe te passen hoeveelheid bedraagt gewoonlijk 150 à 200 g/m<sup>2</sup>. Het product dient (wit) gepigmenteerd te zijn zodat visueel duidelijk is welke oppervlakken al dan niet behandeld werden. Er bestaat ook de mogelijkheid om ook aluminiumschilfers toe te passen.

Zoals eerder aangehaald is het gebruik van een nabehandlingsproduct praktisch niet mogelijk wanneer in grote oppervlakken gebetonneerd wordt wegens de moeilijke bereikbaarheid. Bovendien is er een probleem bij verhardingen die met de helikopter worden afgewerkt omdat het beton niet mag behandeld worden tussen het ogenblik van het storten en het afwerken. Deze periode kan 4 à 6 uur of zelfs langer duren wat dus een reëel gevaar oplevert voor verdamping en uitdroging in de plastische fase, zeker bij ongunstige weersomstandigheden. In dat geval kan er niet gegarandeerd worden dat het beton vrij blijft van plastische

scheuren en is er ook een verhoogd risico op krimpscheuren over volledige dikte van de verharding. Het blijft in dat geval wel een absolute noodzaak om na het vlianderen alsnog de nodige bescherming aan te brengen gedurende 72 uur.



**Figuur 3.26** *Bescherming beton door plasticfolie*

### 3.7.3 Plasticfolie

Een bijzonder efficiënte manier van bescherming is het afdekken met een plasticfolie. Deze methode van werken is realiseerbaar wanneer het beton aangelegd wordt in smalle stroken of kleinere oppervlakken. Dit laat toe om in het geval van een gepolierde afwerking het beton te beschermen tussen het ogenblik van storten en het afwerken met de helikopter. Deze methode wordt ook toegepast bij uitgewassen beton, waarbij de plasticfolie onmiddellijk na het verstuiwen van de oppervlakbindingsvertrager geplaatst wordt.

Deze methode van werken is realiseerbaar voor lijnvormige stroken of kleine oppervlakken. Voor grote oppervlakken, grillige vormen of tegen gebouwen aan kunnen er zich praktische problemen voordoen om de folie ter plaatse te houden. De stroken folie dienen elkaar te overlappen en dienen goed te worden geballast om te vermijden dat de wind de folie oplicht. De folie is van polyethyleen met een dikte van minimaal 50 µm.



**Figuur 3.27** *Toevoegen van combinatie staalvezels en kunststofvezels in vers betonmengsel*

### 3.7.4 Vochtig houden van het oppervlak

Na de plastische fase kan het oppervlak vochtig worden gehouden door regelmatig met water te besproeien of door een laag vochtig zand of vochtige doeken aan te brengen. Let wel: het oppervlak moet volledig en constant vochtig worden gehouden; een eenmalige besproeiing van het verse beton levert geen enkele bescherming op. Bij een hellend oppervlak is besproeien evenmin aangewezen.

Indien goed uitgevoerd zijn dit efficiënte werkwijzen maar ze worden zelden toegepast omdat ze vrij omslachtig zijn.

### 3.7.5 Invloed kunststofvezels

Kunststof microvezels van ca. 10 mm lengte, vervaardigd uit polypropyleen en andere polymeren, kunnen een positieve invloed hebben op de beperking van plastische krimp. Ze laten echter niet toe om de hierboven beschreven methodes van nabehandeling achterwege te laten. De eventuele verminderde verwerkbaarheid van het beton door het gebruik van de vezels mag nooit gecompenseerd worden door het toevoegen van water aan het mengsel.

## 3.8 Betonneren bij warm en/of droog weer

Warm en/of droog weer kan twee nadelige gevolgen hebben:

- snellere uitdroging van het beton, met krimpvervormingen als gevolg (scheurvorming door plastische krimp) en het vormen van een stoflaag;
- thermische vervormingen als gevolg van temperatuurschommelingen in de betonmassa.

Deze fenomenen worden nog versterkt door hogere windsnelheden.

Bij luchttemperaturen boven 25 °C onder thermometerhut, bij een luchtvochtigheid onder 50 % of bij windsnelheden boven 10 m/s (36 km/u) worden bijzondere voorzorgen genomen om het verse beton te beschermen tegen uitdroging en opwarming door de zon. Dat kan door:

- het verse beton een extra nabehandeling te geven (*curing compound*);
- het beton vochtig te houden.

Andere mogelijke maatregelen zijn:

- bevochtigen van de fundering net voor het storten van het beton;
- gebruik van een bindingsvertrager in het beton om de verwerkingstermijn te verlengen;
- verschuiven van de werkuren.

Een afwerking met helikopter waarbij het beton onbeschermd blijft tussen ogenblik van storten en van afstrijken is zeer sterk afgeraden bij hogervermelde weersomstandigheden omwille van het groot risico op scheuren.

## 3.9 Betonneren bij koud weer



**Figuur 3.28** Isolerende plaat op beton

Bij koud weer wordt de bindings- en verhardingstijd van het beton door de vertraagde hydratatie van het cement langer. Indien niet uitgehard beton befrist, wordt onherstelbare schade toegebracht aan de verharding.

Betonverwerking is slechts toegestaan als de luchttemperatuur, gemeten om 8 u 's morgens op 1,5 m boven de grond onder thermometerhut, minstens +1 °C bedraagt, en de temperatuur 's nachts niet onder -3 °C is gezakt.

Indien de omstandigheden het vereisen kan de betonverwerking toch worden verdergezet maar dienen extra maatregelen genomen te worden om vorstschade te voorkomen zoals:

- tijdens de warmste uren van de dag betonneren;
- gebruik van cement van een hogere sterkteklasse (52,5 in plaats van 42,5);
- gebruik van hogere cementdosering zonder de hoeveelheid water te verhogen. Mogelijk dient een superplastificeerder te worden toegevoegd om de nodige verwerkbaarheid te behouden;
- het gebruik van een bindings- en/of verhardingsversneller. Een bindingsversneller is een hulpstof die de verwerkingstijd verkort. Een verhardingsversneller is een hulpstof die de ontwikkeling van de initiële weerstand

van het beton versnelt en wordt doorgaans gebruikt om het beton vorstvrij te maken, t.t.z. om het een druksterkte te verschaffen van  $5 \text{ N/mm}^2$  vóór dat de vorst optreedt. Deze waarde wordt beschouwd als de te overschrijden drempelwaarde;

- verwarming van het aanmaakwater. De temperatuur van het verse beton moet minimaal  $+7^\circ\text{C}$  bedragen en mag niet hoger worden dan  $40^\circ\text{C}$ ;
- aanbrengen van isolerende platen op het oppervlak.

Bij koud weer dient het oppervlak van de verharding op een doeltreffende manier tegen vorst beschermd te worden zodat de temperatuur tot 72 uren na de verwerking van het beton niet onder  $+5^\circ\text{C}$  daalt. Dit kan best door een isolerende afdekking. Een plasticfolie beschermt slechts tegen lichte nachtvorst; andere materialen zijn een niet-geweven geotextiel of platen van isolerend materiaal (PU, PE), telkens voorzien van ballast.

Het beschermen van het verse beton tegen uitdroging is een essentieel element in de uitvoering. Een plasticfolie is het meest efficiënt; het gebruik van een nabehandelingsproduct is de meest courante oplossing.

Kunststofvezels kunnen mogelijk helpen bij de vermindering van de plastische krimp maar ze kunnen de nabehandeling niet vervangen.

Wanneer gebetonneerd wordt bij warm of koud weer dienen de nodige maatregelen genomen te worden. In geval van een hittegolf of bij vriesweer worden de risico's te groot om verder te betonneren.

### 3.10 Integraal ontwerp

#### 3.10.1 Keuze terrein en indeling van de verharding

Meestal is het terrein waarop de buitenverharding zal worden aangelegd vooraf vast bepaald door de gebouwen en aanliggende wegen. Indien er een keuzemogelijkheid bestaat dient rekening te worden gehouden met:

- de draagkracht van de grond:
  - Is het de natuurlijke ondergrond of opgespoten terrein?
  - Welke zijn de grondkarakteristieken?
  - Zijn er ondergrondse oorzaken van zettingen mogelijk?
- de waterhuishouding van het terrein:
  - Hoe is de grondwaterstand?
  - Zijn er waterlopen in de omgeving?
  - Is er een natuurlijke afvoermogelijkheid voor hemelwater?
- de topografie van het terrein:
  - Welke hellingen zijn toegelaten?
  - Hoe kunnen afgravingen en ophogingen geminimaliseerd worden of elkaar compenseren?

Bij de indeling van het terrein en de wijze waarop de verharding zal gebruikt worden zijn er doorgaans meer keuzes mogelijk bij ontwerper of bouwheer. Deze keuzes kunnen een groot belang hebben voor het lange termijn-gedrag van de verharding. Zo moet er onder andere nagedacht worden over waar welke belastingen op de betonverharding zullen toegepast worden en waar waterafvoersystemen en nutsleidingen dienen ingeplant te worden. Het komt er immers op aan om zwakke punten in de verharding te vermijden op die plaatsen waar de belasting zwaar of intens is. De aanbevelingen zijn:

- Vermijden dat de randen van de verharding belast worden.
- Geen waterafvoergoten en inspectieputten inplanten in zones die bereden worden door zwaar verkeer. De putten zijn immers bedoeld voor controle- en onderhoudswerkzaamheden en hun ligging mag de operationaliteit van de verharding niet in het gedrang brengen.

- Vermijden dat nutsleidingen – waterleiding, elektriciteit, gas, telecommunicatie – onder de betonverharding komen te liggen. In het ontwerp dienen wachtbuizen voorzien te worden. Een alternatief is om de leidingen maximaal in dezelfde stroken beton te groeperen, gelegen in zones die niet kritiek zijn qua gebruiksbelasting, bijvoorbeeld tegen gebouwen aan.

Al deze elementen dienen zo vroeg mogelijk in de ontwerpfase mee in rekening te worden gebracht zodat kan nagedacht worden over een oordeelkundige inplanting en de uitvoering gedetailleerd voorbereid kan worden.

### 3.10.2 Afwatering

De in deze handleiding behandelde buitenverhardingen worden beschouwd als structuren die het water niet doorlaten naar de ondergrond toe. Water dat zich ophoopt in de structuur kan het draagvermogen verminderen, kan leiden tot inwendige vorstschade en tot erosie van onderliggende lagen door het pompeffect aan de randen en voegen van de betonplaten. Het hemelwater dat op de buitenverharding terecht komt, moet daarom zo snel mogelijk worden afgevoerd via afvoerstelsels naar een opvangbekken, een bezinkingszone of een regenwaterriolering.

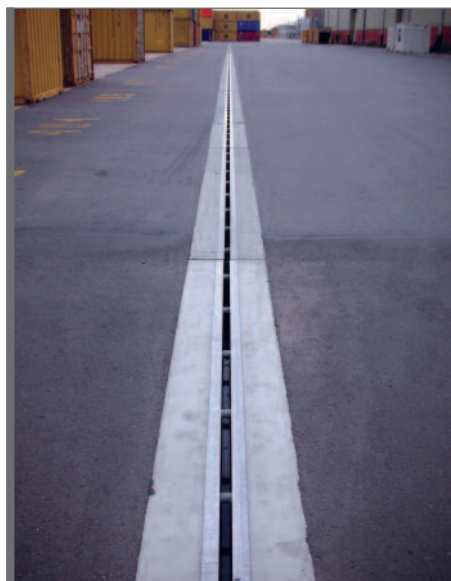
Voor een degelijke afwatering is een helling van minimaal 1 % noodzakelijk. Indien er geen beperkingen zijn qua vlakheid van de verharding voor het stapelen van goederen of containers, wordt een helling van 2 of 2,5 % aanbevolen.

De volgende systemen worden vaak gebruikt voor het afvoeren van oppervlaktewater:

- watergreppel;
- afvoergoot in polymeerbeton;
- verholen goot, geprefabriceerd of ter plaatse gestort;
- sleuf in de betonverharding met afvoer naar onderliggende buis in de fundering.



**Figuur 3.29** Afvoergoot in polymeerbeton



**Figuur 3.30** Verholen goot

Door een oordeelkundige keuze en indeling van het terrein kan latere schade voorkomen worden. Watergreppels en afvoergoten zijn, samen met een goede afwateringshelling, belangrijk voor de afvoer van oppervlaktewater. Wel moet men trachten ze in te planten buiten de belaste zones.



### 3.11 Aanbevelingen voor de betonsamenstelling en verwerking voor de verschillende belastingsklassen.

Per belastingsklasse wordt een tabel opgesteld met de toegelaten betonsamenstellingen en bijhorende consistentieklassen, methodes van verwerking, oppervlakafwerking (en nabehandeling). Desgevallend wordt in de laatste kolom aanvullende commentaar vermeld betreffende de combinatie.

Gebruikte afkortingen:

- LBV : luchtbelvormer;
- GBM : glijbekistingmachine;
- TB : vaste bekistingen en trilbalk;
- TN : vaste bekistingen en trilnaalden;
- ZV : vaste bekistingen zonder verdichting;
- H : helikopterafwerking;
- B : bezemen.

#### 3.11.1 Belastingsklasse 4

Betonspecificatie (zie § 3.3)	Consistentie en verwerking	Oppervlakafwerking	Commentaar
C30/37 – EE3 – zonder LBV	S3 – TB S4 – ZV	H (*) H (*)	Niet bestand tegen dooizouten, groot gevaar voor afschilfering en afbrokkeling aan voegranden
C35/45 – EE4 – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN S3 – TB S4 – ZV	B B H (*) H (*)	
C30/37 – EE4 – met LBV	S2 – TB + TN S3 – TB S4 – ZV	B H (*) H (*)	
SB250 – B6 - B10 – gem. 60 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	Matige weerstand tegen vorst en dooizouten
SB250 – B6 - B10 – gem. 52,5 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	

**Tabel 3.5** *Belastingsklasse 4*

(\*) Wanneer in stroken of kleine vlakken gewerkt wordt, dient een bescherming met plasticfolie te worden nagestreefd tussen het storten van het beton en het ogenblik van de oppervlakafwerking met helikopter. Zo niet bestaat het risico op vochtverlies aan het oppervlak en plastische scheurvorming. Dit risico is des te groter naarmate de buitentemperatuur hoger is, de windsnelheid hoger is, de luchtvochtigheid lager is. Als die bescherming niet mogelijk is, dienen kunststofvezels te worden toegevoegd aan het beton. In extreme omstandigheden – zie paragraaf over betonneren bij warm en/of droog weer (§ 3.8) en koud weer (§ 3.9) – is het zeer sterk afgeraden om te betonneren.

### 3.11.2 Belastingsklasse 3

Betonspecificatie (zie § 3.3)	Consistentie en verwerking	Oppervlakafwerking	Commentaar
C35/45 – EE4 – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN S3 – TB S4 – ZV	B B H (*) H (*)	
C30/37 – EE4 – met LBV	S2 – TB + TN S3 – TB S4 – ZV	B H (*) H (*)	
SB250 – B6 - B10 – gem. 60 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	Matige weerstand tegen vorst en dooizouten
SB250 – B6 - B10 – gem. 52,5 MPa – met LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	
SB250 – B1 - B5 – gem. 70 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	
SB250 – B1 - B5 – gem. 62,5 MPa – met LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	

(\*) Zie opmerking onder tabel 3.5.

**Tabel 3.6** Belastingsklasse 3

### 3.11.3 Belastingsklasse 2 (2a en 2b)

Betonspecificatie (zie § 3.3)	Consistentie en verwerking	Oppervlakafwerking	Commentaar	Commentaar
C35/45 – EE4 – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN S3 – TB S4 – ZV	B B H (*) H (*)		Met toevoeging van staalvezels indien men doorponsschade ter hoogte van de steunen van containers wil vermijden
SB250 – B6 - B10 – gem. 60 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	Matige weerstand tegen vorst en dooizouten	
SB250 – B1 - B5 – gem. 70 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B		
SB250 – B1 - B5 – gem. 62,5 MPa – met LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B		

(\*) Zie opmerking onder tabel 3.5.

**Tabel 3.7** Belastingsklasse 2 (2a en 2b)

### 3.11.4 Belastingsklasse 1

Betonspecificatie (zie § 3.3)	Consistentie en verwerking	Oppervlakafwerking	Commentaar
SB250 – B1 - B5 – gem. 70 MPa – zonder LBV	S1 – GBM S2 – TB + TN	B B	Gedeuveld, met toevoeging van staalvezels en /of eventuele wapeningsnetten

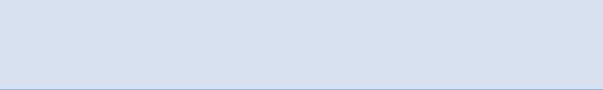
**Tabel 3.8** Belastingsklasse 1

Niet elke betonsamenstelling is bestand tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten. Dit is het geval voor beton gespecificeerd voor de omgevingsklasse EE3 volgens de Belgische normen van sterkteklasse C30/37 zonder luchtbelvormer en voor beton volgens Standaardbestek 250 voor bouwklassen B6-B10 zonder luchtbelvormer.

Voor oppervlakken afgewerkt met de helikopter stelt zich het probleem dat ze niet beschermd zijn tegen uitdroging tussen het ogenblik van storten en het ogenblik van polieren. Het toevoegen van kunststofvezels kan enig soelaas brengen maar in geval van ongunstige weersomstandigheden zijn (plastische) krimpscheuren vaak niet te vermijden.

Voor de zwaar belaste oppervlakken (belastingsklassen 2 en 1) moet er gebruik gemaakt worden van een beton met minimum sterkteklasse C35/45 of wegebeton met een minimale gemiddelde druksterkte op kernen na 90 dagen van 60 of 70 MPa.

Bij de stapeling van containers en bij de verhandeling van zware stukgoederen kan doorpons- of impactschade vermeden worden door het toevoegen van staalvezels in het beton.



# Hoofdstuk 4

## Speciale toepassingen

### 4.1 Grote gewapende betonplaten

Een andere manier van verwerken dan de hiervoor beschreven methoden is het storten van afzonderlijke grote vlakken die onderling gescheiden worden door uitzetvoegen. Om grote vlakken, bijvoorbeeld 20 m x 20 m, te kunnen realiseren dient de krimpwerking in dat vlak opgenomen te worden door wapening die bovenaan geplaatst wordt. Het wapeningspercentage in beide richtingen dient minstens 0,60 % te bedragen.

Zo werden al voegloze vlakken gerealiseerd met een beton voorzien van een dubbel wapeningsnet, bovenaan  $\varnothing 10 \text{ mm} \times \varnothing 10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  en onderaan  $\varnothing 10 \text{ mm} \times \varnothing 10 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ .

Ook door gebruik te maken van mengsels van verschillende types staalvezels met een totaal gehalte van  $40 \text{ kg/m}^3$ , gecombineerd met polypropyleenvezels naar rata van  $0,6 \text{ kg/m}^3$  werden reeds voegloze verhardingen tot ca. 100 m lengte succesvol uitgevoerd.

### 4.2 Toppings



Slijtlagen van 6 tot 15 mm dik worden «nat in nat» geplaatst in het verse beton van de buitenverharding zodat een perfecte aanhechting wordt bekomen. Dit wordt regelmatig toegepast op plaatsen waar een zeer slijtvaste verharding wordt vereist zoals bij het stapelen en verplaatsen van stukgoederen waarbij het oppervlak erg onderhevig is aan schuren. Voor de indeling in klassen van slijtvastheid: zie § 5.2. Dit type afwerking is tevens vloeistofdicht vanaf een dikte van 10 mm, zie § 4.4.

De mortels voor deze natte slijtlagen zijn genormeerd volgens NBN EN 13813 *Dekvloeren en dekvloermortels, eigenschappen en eisen*.

**Figuur 4.1** Slijtlaag, «nat in nat» geplaatst

### 4.3 Inwerken van sporen (rails) in de verharding

De integratie van spoorstaven in een betonverharding levert vaak problemen op omwille van:

- de smalle lange stroken beton die ontstaan tussen de sporen;
- de verhinderde werking van het beton door o.a. de verbindingen tussen de sporen;
- de trillingen teweeggebracht door het spoorverkeer;
- de moeilijkere verdichting van het beton tegen de rails aan;
- de trillingsdempende technieken die toegepast worden zoals de inkapseling van de rails in rubberen omhulsels;
- de scherpe hoeken die ontstaan tussen de staven bij spoorwissels.

De volgende maatregelen kunnen genomen worden om problemen te voorkomen:

- aanpassen van de plaatlengtes tot maximaal 2 m;
- voorzien van wapening: wapeningsnetten boven en onderaan eventueel aangevuld met staalvezelwapening en extra bijlegwapening rondom singuliere punten;



**Figuur 4.2** Inwerken rails in beton

- gebruik van hoogwaardige betonsamenstellingen, eventueel snelhardend beton;
- gebruik van passtukken, bijvoorbeeld in staal, voor het vullen van de scherpe hoeken tussen rails;
- extra manuele verdichting ter hoogte van de langse randen;
- toepassen van andere technieken zoals de «embedded rails» waarbij de spoorstaven door middel van een mengsel van polyurethaan en kurk worden vastgezet in uitsparingen in het beton. De doorgaande gewapende betonnen onderstructuur kan dan met de glijbekistingmachine worden gerealiseerd.

#### 4.4 Vloeistofdichte betonverhardingen



**Figuur 4.3** Vloeistofdichte verharding

De vloeistofdichtheid van beton is functie van diverse technologische parameters zoals het type en de hoeveelheid cement, de water-cementfactor, het eventuele gebruik van een vloeistofdichtingsmiddel in de massa, enz.

Een degelijk beton voor buitenverhardingen met een water-cementfactor  $\leq 0,45$  kan alleszins als intrinsiek vloeistofdicht beschouwd worden. De gemiddelde waterabsorptie dient beneden de 6 % te liggen volgens SB250 of klasse WAI(0,45) volgens NBN B15-001 bijlage O.

De vloeistofdichtheid van de verharding is echter vooral functie van de aanwezigheid van scheuren en van de dikte. Scheurvorming moet dus absoluut vermeden worden, onder andere door een optimale nabehandeling (*curing compound* met doeltreffende werking of afdekken met plasticfolie) en een doordachte keuze en detaillering van de voegen. De dikte dient minimaal 20 cm te bedragen.

den, onder andere door een optimale nabehandeling (*curing compound* met doeltreffende werking of afdekken met plasticfolie) en een doordachte keuze en detaillering van de voegen. De dikte dient minimaal 20 cm te bedragen.

Het gebruik van staalvezels ( $30 \text{ kg/m}^3$ ) of het voorzien van een krimpwapeningsnet ( $\varnothing 10 \text{ mm} \times \varnothing 10 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ ) geplaatst op 5 cm van de bovenzijde biedt een extra garantie op het gesloten houden van eventuele scheuren.

Uiteraard vormen de voegen de zwakste punten in het systeem en dienen deze vakkundig gezaagd en gevuld te worden met een koolwaterstofbestendige voegvulling.

Om de voegen uit te sluiten kan overgegaan worden tot een gewapende betonplaat met wapeningsgehaltenes van minimaal 0,70 % in beide richtingen, gelegen op ca. 1/3 dikte van de bovenzijde.

Om een totale vloeistofdichtheid te bekomen dient een ondoorlaatbare en koolwaterstofbestendige folie te worden geplaatst onder de structuur (bijvoorbeeld gelaste EPDM-folie of bentonietmatten) met een afvoer naar een koolwaterstofafscheider. Deze folie wordt best onder de fundering geplaatst.

Het is tevens mogelijk het oppervlak te behandelen met een impregneermiddel of hydrofoberingsproduct. Dit werkt waterafstotend en draagt aldus bij tot de vloeistofdichtheid. Deze impregnering kan pas worden toegepast na een viertal weken en na borstelen van het oppervlak opdat de film van de *curing compound* verwijderd zou zijn. De impregnering dient aangebracht te worden bij droog weer. Er worden kort na elkaar twee lagen verneveld. Deze behandeling verhoogt tevens de weerstand tegen afschilfering door vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten (zie § 6.4.7).

## 4.5 Gekleurde betonverhardingen



**Figuur 4.4** Gekleurd uitgewassen beton

anorganische kleurstoffen en zij kunnen zelfs bij het zeer lage gebruikspercentage dat wordt aanbevolen (maximaal 1 %) tot aanzienlijk verlies van vorstbestendigheid van het beton leiden. Daarom wordt aanbevolen uitsluitend met pigmenten van anorganische oorsprong te werken.

Kleurstofgehalten worden uitgedrukt in massa-% ten opzichte van de massa bindmiddel. De toegepaste hoeveelheden bedragen doorgaans 3 tot 5 % naar gelang van de gewenste kleur en kleurintensiteit. Doseringen boven 5 % kunnen de sterkte en duurzaamheid van het beton aanzienlijk verminderen, omwille van het hoge watergehalte dat de fijne kleurpigmenten vereisen. Voor kleurstoffen onder vloeibare vorm dienen de toegepaste gehalten verhoogd te worden met ca. 2 % om hetzelfde effect te bekomen als de poedervormige.

De werking van pigmenten wordt in hoofdzaak door de kleur van de fijne bestanddelen in het beton beïnvloed; hoe helderder deze kleur, hoe groter het effect van de pigmenten.

De voornaamste anorganische kleurstoffen zijn:

- grijs tot zwart: magnetisch ijzeroxide ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – magnetiet);
- rood: ijzeroxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – hematiet);
- wit: titaandioxide ( $\text{TiO}_2$ );
- geel tot bruin: gehydrateerd ijzeroxide;
- groen: chroomoxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ );
- blauw: oxide op kobaltbasis.

## 4.6 Krimparm beton

Door gebruik te maken van speciaal ontwikkelde hulpstoffen (superplastificeerders en andere) is het mogelijk geworden om krimparme betonsamenstellingen te bekomen met maximale hydratatie, hoge begin- en eindsterkte en minimale scheurontwikkeling. Hiermee is het mogelijk om voegloze oppervlakken te realiseren met zijden van ca. 20 m lengte. De meeste ervaringen werden tot dusver opgedaan voor industrievloeren binnen in bedrijfshallen.

Om functionele redenen wordt soms een kleuring van het beton voorgeschreven. We beschouwen uitsluitend het kleuren van beton in de massa door toevoeging van kleurpigmenten in het betonmengsel. Deze pigmenten komen voor onder poedervorm of in vloeibare vorm. (Inkleuren van het oppervlak van de verharding door het instrooien van een mengsel van kleurstof en bindmiddel wordt overigens niet toegelaten voor buitenverhardingen, zie ook § 3.6.7).

Er bestaan twee soorten kleurstoffen: organische en anorganische.

Met organische kleurstoffen moet zeer omzichtig worden omgesprongen. De kleuring is minder stabiel dan met

Voegloze plaatoppervlakken tot ca. 20 m x 20 m zijn mogelijk door hoge wapeningsgehaltenes (> 0,60 % van de betondoorsnede) of door het gebruik van krimparm beton op basis van speciale hulpstoffen.

Zeer slijtvaste en vloeistofdichte toppings kunnen «nat in nat» in het verse beton van de onderlaag aangebracht worden in een dikte tussen 6 en 15 mm.

De aanleg van spoorwegrails in een door zwaar verkeer belaste betonverharding vraagt bijzondere maatregelen. De smalle stroken tussen en naast de sporen moeten zeker gewapend worden en de voegafstand dient beperkt te blijven tot 2 m.

Een goed wegenbeton (hoog cementgehalte, lage water-cementfactor) kan als vloeistofdicht beschouwd worden. De verharding mag geen scheuren vertonen en de voegen moeten correct afgedicht te worden. Net- of vezelwapening draagt bij tot de vloeistofdichtheid maar een 100 % waarborg kan slechts geleverd worden indien een waterdicht membraan onder de verharding wordt geplaatst.

Indien gewenst kunnen industriële verhardingen gekleurd worden door toevoeging van anorganische kleurstoffen naar rata van 3 à 5 % van de cementmassa.



# Hoofdstuk 5

## Controle en evaluatie

### 5.1 Vóór en tijdens de uitvoering

Alvorens de betonneringswerken aan te vatten, dient het platform, hetzij de verdichte baankoffer, hetzij de fundering, gecontroleerd te worden op gebied van zuiverheid, draagvermogen, vlakheid, helling en niveau overeenkomstig de bestekseisen en bouwplannen. Indien de betonwerken in onderaanneming worden uitgevoerd, valt dit niet onder de verantwoordelijkheid van de plaatser maar wel onder die van de hoofdaannemer of desgevallend de onderaannemer die de grondwerken uitvoert. De plaatser mag pas overgaan tot het storten van het beton wanneer hij over de nodige garanties beschikt over de zuiverheid, het draagvermogen, de vlakheid, de helling en de peilen van de koffer of fundering.

De evaluatie van het draagvermogen van de ondergrond, gekenmerkt door de reactiemodulus  $k$  van Westergaard ( $\text{N/mm}^3$ ) gebeurt door middel van de plaatproef met een plaat met diameter 75 cm.

De evaluatie van het draagvermogen van de ongebonden (onder)fundering, gekenmerkt door de samendrukbare modulus  $M1$  ( $\text{N/mm}^2$ ) gebeurt door middel van de plaatproef met een plaat met oppervlakte  $750 \text{ cm}^2$  (zand) of  $200 \text{ cm}^2$  (steenslag tot  $D = 40 \text{ mm}$ ).

Zie § 1.3.3 voor de te behalen waarden.

De vlakheid van het platform kan worden gecontroleerd met de lat van 3 m of 2 m.

Wanneer tussen vaste bekistingen wordt gewerkt, dient vóór aanvang van het betonneren een controle te worden uitgevoerd op de hoogtepeilen van de bekisting, zodat na afwerking de gewenste betondikte bereikt zal worden.

Met een glijbekistingmachine moet tijdens het betonneren op regelmatige tijdstippen de dikte van de gestorte betonlaag worden gemeten met een peilstift. Indien nodig dient de machine te worden bijgesteld.

Regelmatige consistentiemetingen op de werf laten toe het beton te beoordelen op zijn geschiktheid tot verwerking met de aangewende verwerkingsmiddelen. De meest toegepaste methode is de bepaling van de zetmaat (*slump*) met de Abramskegel volgens NBN EN 12 350-2. Voor stugge betonmengsels, die met de glijbekistingmachine worden verwerkt, kan ook de Vebe-tijd worden gemeten volgens NBN EN 12 350-3.



**Figuur 5.1** Proeven op verse beton op de werf

Voor een beton met luchtbelvormer dient het luchtbelgehalte op de werf te worden gemeten met een aërometer volgens NBN EN 12 350-7. Zo nodig dient de dosering luchtbelvormer aangepast te worden in de betoncentrale.

Voor belangrijke werken is het ook aanbevolen om een analyse uit te voeren van het verse beton. Door droging op een gasstel kan de korrelverdeling van het inert skelet bepaald worden alsook het watergehalte en de vochtige volumieke massa van het verse beton.

## 5.2 Bij de oplevering

Indien verwezen wordt naar de typebestekken (SB250, CCT Qualiroutes, TB2011), kunnen ook de controlemethodes en eventueel de bijhorende contractuele maatregelen (minwaarde, herstelling, weigering) overgenomen worden.

Het profiel en de helling van het oppervlak worden gecontroleerd door topografische opmetingen. De toleranties in min of in meer op de peilen van een willekeurig profiel dienen vastgelegd in het bestek. In functie van de verwerkingsmethode kan er verwezen worden naar het SB250 of naar TV 204.

Voor de toleranties in min of in meer op de (dwars)helling kan worden rekening gehouden met het gebruik van de verharding.

Tolerantie in min en in meer op de (dwars)helling	Toepassing
0,5 %	Normale rijwegen, parkings, platforms voor de opslag en behandeling van stukgoederen, enz.
0,2 %	Strengste klasse, alleen voor belangrijke rijwegen en voor platforms bestemd voor het gebruik van heftrucks of het stapelen van containers

**Tabel 5.1** Tolerantie op de dwarshelling

De controles, weergegeven in de typebestekken, voorzien dat kernen worden geboord uit het verharde beton waarop de controlemetingen van dikte, druksterkte en wateropslorping worden uitgevoerd. Deze kernen hebben een doorsnede van 100 cm<sup>2</sup> (diameter 113 mm) en een hoogte van 10 cm. De beproeving op de druksterkte gebeurt op een ouderdom van 90 dagen, die op de wateropslorping na minstens 60 dagen op de bovenste schijf van 5 cm.

Wanneer men geen kernen uit de verharding wenst te ontnemen, is het ook mogelijk om proefplaten aan te maken op de werf (40 cm x 30 cm x 15 cm) door verdichting op een triltafel. Uit deze platen kunnen dan later de kernen geboord worden voor het uitvoeren van de proeven. In dat geval worden wel niet de verwerking en nabehandeling van het werk zelf gecontroleerd.

Het typebestek of bijzonder bestek kan aangeven op welke wijze de gaafheid (scheuren, afschilfering) van de verharding wordt gecontroleerd. Daarbij moet worden rekening gehouden met de verwerkingsmethode en de bijhorende risico's, zoals uiteengezet in hoofdstuk 3 *Ontwerp en uitvoering*.

Voor verhardingen aangelegd volgens de regels van goed vakmanschap (betonsamenstelling, verdichting, nabehandeling, enz.) zijn geen scheuren, afgebrokkelde randen, gaten, afdrukken of afgebroken hoeken toegelaten.

Het bestek dient te speciëren wat er desgevallend dient te gebeuren (uitfreen en opvoegen van de scheur, herstellingen met gemodificeerde mortel, uitbreken en vervangen platen, enz.).

Voor met de helikopter afgewerkte oppervlakken, welke niet tegen uitdroging beschermd zijn tussen storten en afwerken, is het gevaar voor plastische scheurvorming (microscheurtjes of «craquelé», windbarsten) of zelfs krimpscheuren niet uit te sluiten. Dit risico wordt nog verhoogd in geval van gepompt beton dat doorgaans meer onderhevig is aan krimp.

Voor het criterium van vlakheid zijn de eisen voor buitenverhardingen in principe minder streng dan die voor binnenverhardingen. Oneffenheden zijn vooral een probleem voor het rijcomfort van heftrucks en voor de stabiliteit van gestapelde containers. Volgende eisen kunnen gehanteerd worden:

Toepassing	Oneffenheden met de lat (rij, rei) van 3 m	Oneffenheden met de lat (rij, rei) van 2 m
Normale rijwegen, parkings, platforms voor de opslag en behandeling van stukgoederen, enz.	10 mm	9 mm
Voor belangrijke rijwegen en platforms voor het gebruik van heftrucks of het stapelen van containers die handmatig worden aangelegd (helikopter, trilbalk, enz.)	6 mm	5 mm
Strengste klasse, alleen voor belangrijke rijwegen en voor platforms bestemd voor het gebruik van heftrucks of het stapelen van containers die worden aangelegd met glijbekistingmachine	4 mm	3 mm

**Tabel 5.2** Eisen gesteld aan oneffenheden

Tevens kunnen volgende eisen gehanteerd worden:

**Uitzakking van de boorden:** het gemiddelde van de uitzakkingen, bepaald door 3 metingen aan de zijkant van de plaat waartegen beton gestort wordt of waartegen lijnvormige elementen komen, is niet groter dan 4 mm. Deze uitzakking wordt gemeten op 1 cm van de boord. Voor de zijkant waartegen geen aanliggende strook of lijnvormige elementen aangelegd wordt, dient het gemiddelde van 3 metingen kleiner te zijn dan 10 mm. Deze uitzakking wordt gemeten op 10 cm van de boord van de plaat. De rei wordt haaks op de boord van de plaat gelegd zodanig dat een uiteinde samenvalt met deze boord.



**Figuur 5.2** Opmeten van oneffenheden met de lat van 3 m

Wanneer een minimale helling van 2 % wordt gehanteerd mogen er **geen waterplassen dieper dan de opgelegde tolerantie op de vlakheid** zijn bij regen, behoudens in de overgangszones.

Het **hoogteverschil** tussen het afgewerkte betonoppervlak en:

- eventuele straatgoten of watergreppels is begrepen tussen 0 en +6 mm;
- naast elkaar liggende betonstroken en aansluitingen is begrepen tussen -3 mm en +3 mm.

Op andere plaatsen bedraagt de tolerantie  $\pm 6$  mm.

De **stroefheid** is in de meeste gevallen geen belangrijk criterium voor industriële buitenverhardingen, dit in tegenstelling tot de wegen waar de stroefheid mede bepalend is voor de remafstand en dus voor de veiligheid. Stroefheidsmetingen zoals uitgevoerd op de wegen (SCRIM, odoliograaf, griptester) worden daarom niet uitgevoerd. Voor een gebezemd of uitgewassen oppervlak mag men bovendien aannemen dat aan de eisen van de typebestekken wordt voldaan. Indien niet-polijstbare granulaten werden toegepast, zal die stroefheid ook behouden blijven in de tijd.



**Figuur 5.3** Opmeten van stroefheid met odoliograaf

Een andere manier om de stroefheid te meten is met de SRT-slinger (*Skid Resistance Tester*) van het Britse Transport Research Laboratory (TRL). Deze methode wordt onder andere toegepast om het gevaar voor uitglijden van voetgangers te beoordelen alsook om de stroefheid en dus veiligheid van bestratingen en wegmarkeringen te evalueren. Met betrekking tot het gevaar voor uitglijden wordt in de proef een hard rubber, dat een schoenzool simuleert, gebruikt en worden vaak volgende waarden gehanteerd.

Resultaat SRT (Four S rubber – simulated standard shoe sole)	Beoordeling weerstand tegen uitglijden
≥65	Uitstekend
35 - 64	Voldoende veilig
25 - 34	Beperkt
< 25	Onvoldoende / gevaarlijk

**Tabel 5.3** Evaluatie van de resultaten van de SRT metingen



**Figuur 5.4** Opmeten van stroefheid met SRT-slinger

Voor rijwegen wordt een zacht rubber, beschreven in de Europese prenorm NBN ENV 12633, gebruikt en worden soms de waarden van SRT 40 (voor snelheden tot 50 km/u) en SRT 50 (voor snelheden tot 90 km/u) gehanteerd. Behoudens de glansgepolierde betonvloeren, welke niet toegelaten zijn voor buitenverhardingen, wordt de waarde SRT 40 gemakkelijk behaald voor de eerder beschreven oppervlakafwerkingen van beton (bezemen, halfpolieren, uitwassen).

Een andere eis, die van belang is voor vele industrieverhardingen, is de slijtvastheid. Hiervoor bestaan verschillende meetmethodes waaronder die van Böhme (NBN EN 13892-3). In volgende tabel worden klassen van slijtweerstand gedefinieerd die kunnen gehanteerd worden in functie van het toepassingsdomein en in functie van het belang dat gehecht wordt aan de afslijting van het betonoppervlak.

Klassen van slijtweerstand volgens de test van Böhme (NBN EN 13892-3)	Volume afgeslepen materiaal in $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	Toepassingsdomein voor buitenverhardingen
A15	15	Verkeer van personenwagens
A12	12	Verkeer van personenwagens en vrachtwagens, vorkheftrucks tot 40 kN hefvermogen met luchtbanden
A9	9	Intens vrachtwagenverkeer, vorkheftrucks tot 100 kN hefvermogen met luchtbanden of volle rubberbanden met contactdrukken tot $2 \text{ N/mm}^2$
A6	6	Zware industriële activiteiten, zware vorkheftrucks met lucht- of volle rubberbanden, volle harde wielen met contactdrukken tot $4 \text{ N/mm}^2$
A3	3	Strengste klassen, van toepassing voor extreme slijtbelastingen zoals het verslepen van metalen stukken of containers en waar de afslijting een belangrijk criterium is.
A1,5	1,5	

**Tabel 5.4** Klassen van slijtweerstand

De klassen A15 tot A6 zijn haalbaar voor de betonnen buitenverhardingen. De prestaties zijn afhankelijk van de sterkteklasse van het beton, het cementgehalte, het zand en de grove granulaten. Voor de klasse A6 zal minstens een beton C35/45 nodig zijn met rivierzand en harde stenen (porfier, gebroken grind, basalt, enz.). Met de slijtveste deklagen (toppings), waarin zeer slijtveste materialen zoals korund gebruikt worden, kunnen de klassen A6 tot A1,5 gerealiseerd worden.

Zoals eerder aangehaald worden in deze handleiding geen esthetische aspecten behandeld. Bij de beoordeling van het uitzicht moet worden rekening gehouden dat beton samengesteld is uit natuurlijke materialen. Daarom is het mogelijk dat er zich kleurverschillen voordoen aan het oppervlak. Door het gebruik van het nabehandlingsproduct (*curing compound*) kan er zich initieel ook vlekvorming voordoen, die met de tijd zal verdwijnen. Bij het gebruik van vezels in het beton (staal- of kunststofvezels) is het altijd mogelijk dat er vezels aan het oppervlak zichtbaar zijn. Wanneer men dit absoluut niet wenst kan een vezelbeton gecombineerd worden met een slijtlaag «nat in nat» (zie § 4.2).

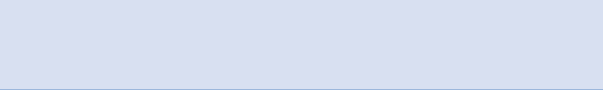
Geluid is in principe geen beoordelingscriterium voor industriële platforms of wegen. Wanneer men voor een belangrijke toegangsweg het rolgeluid wenst te verminderen, kan gekozen worden voor een fijn uitgewassen beton.

De aannemer die de betonwerken uitvoert, kan pas van start gaan na controle en oplevering van het platform op gebied van zuiverheid, draagvermogen, vlakheid, helling en niveau.

Het bijzonder bestek dient op duidelijke wijze de criteria en klassen of grenswaarden vast te leggen waar de industriële buitenverharding bij de oplevering moet aan voldoen. De volgende criteria kunnen hierbij aan bod komen:

- profiel,
- helling,
- gaafheid,
- vlakheid,
- stroefheid,
- slijtvastheid,
- uitzicht,
- dikte,
- (druk)sterkte,
- wateropslorping,
- enz.

De gestelde eisen moeten verenigbaar zijn met de specificaties inzake betonsamenstelling, verwerking, oppervlakafwerking, nabehandeling en met andere specifieke vereisten of beperkingen op vlak van uitvoering.



# Hoofdstuk 6

## Schade, onderhoud en herstellingen

### 6.1 Inleiding

De keuze voor beton is in het geval van een industriële buitenverharding veelal gebaseerd op de functionele eisen waaraan ze moet voldoen en op de bedrijfszekerheid van dit type verharding. Deze bedrijfszekerheid is een gevolg van de duurzaamheid en van het beperkte onderhoud dat nodig is, op voorwaarde althans dat de verharding op correcte wijze wordt ontworpen, aangelegd, gebruikt en onderhouden. Omgekeerd kunnen ontwerp- of uitvoeringsfouten soms heel snel leiden tot grote schade die dan met hoge kosten moet worden hersteld. Naast een doordacht ontwerp en een vakkundige uitvoering is ook het noodzakelijke onderhoud, hoe klein ook, van belang voor een lange gebruiksduur. Wanneer schade ontstaat dient deze zo snel mogelijk hersteld te worden om verdere degradatie te voorkomen. Het verwaarlozen van onderhoud en/of tijdige herstelling kan uitmonden in grotere schadepatronen waaraan slechts kan verholpen worden door middel van relatief dure ingrepen.

In dit hoofdstuk zullen een aantal schadeverschijnselen, typisch voor buitenverhardingen, toegelicht worden en zal tevens een overzicht worden gegeven van gepaste onderhouds- en herstellingstechnieken.

### 6.2 Oorzaken van schade

Om de gepaste onderhouds- of herstmethode te kunnen toepassen is het nodig om de schade te kunnen herkennen en er de oorzaak van te kunnen achterhalen. De fouten of oorzaken van schade zijn te vinden in volgende domeinen:

- ontwerp:
  - onderdimensionering van de betondikte,
  - niet aangepaste opbouw van de structuur,
  - waterafvoer,
  - plaatlengtes,
  - keuze van het type van voegen,
  - voegenpatroon,
  - betonsamenstelling;
- uitvoering:
  - kwaliteit van de betonsamenstelling,
  - storten en verdichten van het beton,
  - nabehandeling en bescherming van het betonoppervlak,
  - realisatie van de voegen;
- (verkeers)belasting:
  - overbelasting door occasionele zware voertuigen,
  - overbelasting door groter verkeersvolume,
  - overbelasting door te grote statische lasten,
  - overbelasting door te hoge dynamische impact,
  - schurende effecten,
  - uitzonderlijke klimatologische omstandigheden,
  - aantasting door agressieve stoffen;
- onderhoud:
  - niet onderhouden van voegvulling,
  - niet tijdig herstellen van kleine schade door scheuren.

Het is niet altijd eenvoudig om de oorzaak van schade te achterhalen omdat men vaak niet over alle ontwerp- en uitvoeringsgegevens beschikt. Bovendien kan de schade het gevolg zijn van een combinatie van factoren wat de beoordeling nog bemoeilijkt.

## 6.3 Schadebeelden

### 6.3.1 Zettingen

Beperkte gelijkmatige zettingen kunnen nog opgevangen worden door de betonverharding omwille van het plaatteffect dat de lasten verdeelt en door de lastoverdracht in de voegen, vooral wanneer deuvels voorzien werden.

Ongelijke zettingen kunnen zich voordoen ingevolge een onvoldoende verdichting van de bodem of van de fundering en bij heterogene terreinen met weinig weerstand.

Ook pompverschijnselen kunnen zich voordoen. Ze zijn het gevolg van het ontbreken van lastoverdracht in de dwarsvoegen, van de aard en de kwaliteit van de onderliggende laag en van de aanwezigheid van water onder de plaat. Dit pompen wordt veroorzaakt door het dynamische effect te wijten aan het overrijden van de assen over de dwarsvoegen; bij elke overgang van een aslast worden water en fijne korrels die zich onder de plaat bevinden uitgedreven via een voeg, een scheur, een hoek of een rand van de plaat. Er ontstaan niveauverschillen en bijkomende scheuren worden gevormd ingevolge de onvoldoende ondersteuning van de plaat. Pompen vormt een van de belangrijkste oorzaken van secundaire schade (afbrokkelingen, bijkomende scheuren op 1 of 2 meter van de voeg, fragmentering enz.).

De waterinfiltratie is zeer groot wanneer de voegen niet afgedicht werden. Dit is ook zo wanneer de afdichtingsmassa gescheurd of losgekomen is of volledig uit de voeg getrokken werd. Dit kan te wijten zijn aan de slechte kwaliteit van het voegvullingsproduct of de verwerking ervan, aan de normale of abnormale veroudering van het product, aan een te grote beweging van de voegen, aan de beweging van de betonplaat, aan een onaangepaste vorm van de voegspanning of aan het uitpersen van de voegmassa door het verkeer, meestal tijdens een warme periode en als de expansieruimte van de voeg niet volstaat.

Zettingen en pompverschijnselen worden vermeden door:

- goed verdichte ondergrond en fundering;
- afgedichte voegen inclusief het onderhoud van deze voegvulling;
- lastoverdracht in de voegen (deuvels);
- vermijden van zware aslasten langsheen of op langse voegen.

### 6.3.2 Scheuren (Dwarsscheuren – Langsscheuren – Hoekscheuren)

Scheurvorming is het meest voorkomende schadeverschijnsel in betonverhardingen. Wanneer de scheuropening klein (maximaal 0,5 mm) en de belasting laag is kan eventueel overwogen worden om niet in te grijpen.

In de andere gevallen zal de scheur zich verder ontwikkelen tot een bredere scheur en hinderlijk zijn voor het gebruik of zal er een netwerk van scheuren ontstaan. De behandeling bestaat uit het uitzijven en voegvullen van de scheur of het vervangen van plaatdelen of volledige platen, al dan niet met aanbrengen van deuvels (retrofit).

Hierna volgt een overzicht van verschillende mogelijke soorten scheuren:

- dwarse scheur door onderdimensionering of door te grote plaatafmetingen. Door de verkeersbelasting of door de weersinvloeden (thermische gradiënt in de plaat) kunnen te hoge spanningen ontstaan;
- scheur door onoordeelkundig voegenpatroon waardoor spanningsconcentraties ontstaan (scherpe hoeken, onregelmatige plaatvormen, singuliere punten zoals putdeksels in de verharding);
- sympathiescheuren: dit zijn scheuren die ontstaan door de werking van aanliggende dwarse voegen. Ze kunnen vermeden worden door een beschermingsfolie (bijvoorbeeld een bitumineus dakdichtingsmembraan) te plaatsen in de langse voeg ter hoogte van de werkende dwarse voeg;
- plastische krimp-scheuren door onvoldoende bescherming van het beton. Dit worden ook «windscheuren» genoemd en doen zich meestal voor in clusters loodrecht op de windrichting. Zij zijn meestal maar enkele

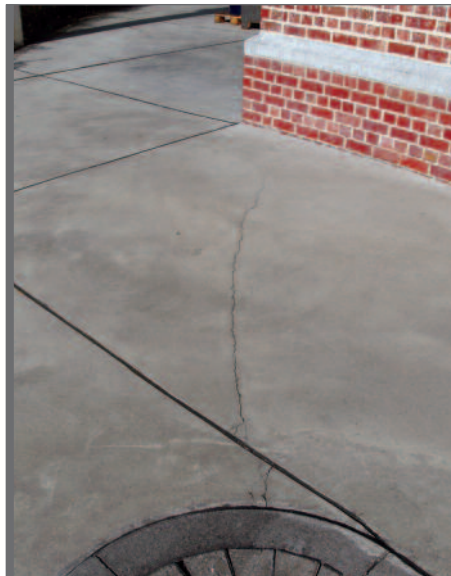


centimeter diep en evolueren weinig. In bepaalde omstandigheden kunnen ze echter doorlopen over de volledige dikte van het beton en aanleiding geven tot verdere schade. Deze plastische krimpscheuren ontstaan tijdens de uitharding van het beton, in de weken die volgen na de plaatsing van het beton;

- scheuren door slecht uitgevoerde voegen (scheve deuvels die de voeg blokkeren, scheef zittende of te korte voegplaat in uitzetvoeg, onvoldoende betondekking bij geprefabriceerde voegsystemen);
- scheuren door laattijdig zagen van de voegen;
- scheuren door te ondiep gezaagde dwars- of langsvoegen;
- scheuren aan plaathoeken door verlies aan steun onder de plaathoek ingevolge de opwelling van platen door de thermische gradiënt of ingevolge het pompeffect in de voeg.



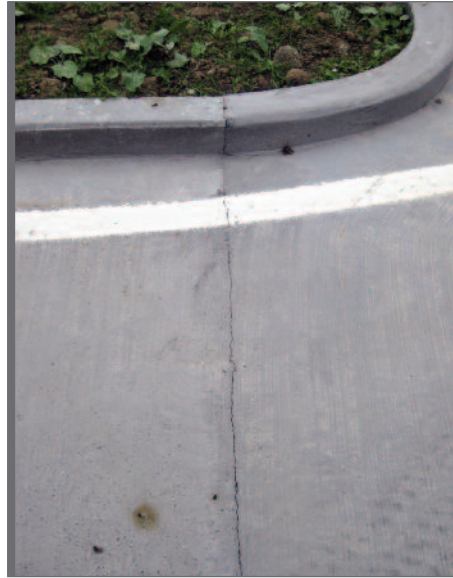
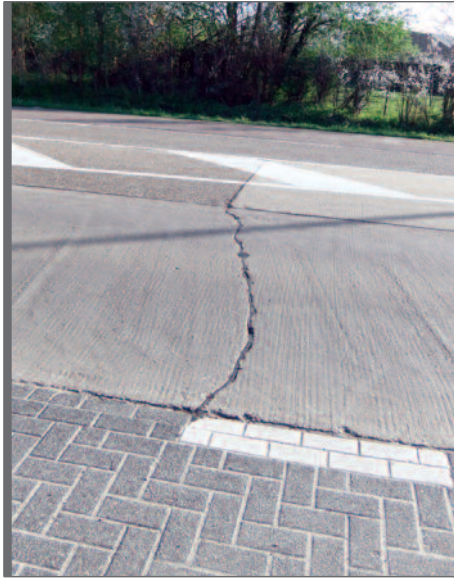
**Figuur 6.1** Scheur ten gevolge van verkeerd voegenpatroon



**Figuur 6.2** Te laattijdig gezaagde voegen



**Figuur 6.3** Scheur ten gevolge van scherpe hoek



**Figuur 6.4** *Sympathiescheuren*



**Figuur 6.5** *Windscheuren*

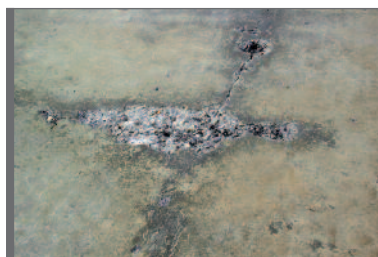


**Figuur 6.6** *Te ondiep gezaagde voegen*

### 6.3.3 Uitbrokkelen van voegranden

Het uitbrokkelen van de voegranden of het afspringen van betonschollen is het gevolg van:

- slechte betonkwaliteit, meestal door een te hoge water-cementfactor of een te hoog watergehalte in het beton;
- het ontstaan van een betonbrug boven een uitzetvoeg indien het beton boven de voegplaat niet tijdig verwijderd wordt;
- het ontstaan van een brug tussen de betonnen voegranden door vervuilende harde elementen – steentjes – in de voeg.



**Figuur 6.7** *Uitbrokkelen van voegranden*

### 6.3.4 Openstaan van voegen

Voegen worden geacht te kunnen «werken», met andere woorden de beweging van de platen in zekere mate toe te laten. Deze beweging ontstaat hoofdzakelijk door de thermische werking (krimp, uitzetting) maar kan ook het gevolg zijn van de inwerking van de verkeerslasten. Voegen die te ver open staan kunnen esthetisch storend zijn en ze leveren vooral comfortproblemen op voor het gebruik van o.a. vorkheftrucks. Door de grote mogelijkheid van indringen van water en vreemde bestanddelen zijn ze onrechtstreeks ook de oorzaak van verdere schadevormen.

Openstaande langse voegen door het wegglijden van betonstroken kunnen worden voorkomen door het voorzien van ankerstaven – geribde stalen staven – die de langse stroken solidair verbinden.

Voor de dwarse voegen is het van belang dat ze alle in dezelfde mate meewerken aan het opnemen van de krimpbeweging. Hiertoe dient de zaagsnede voldoende diep te worden aangezet zodat de scheuren ongeveer gelijktijdig ontstaan in de verschillende voegen. Zoniet zullen een beperkt aantal voegen zich te ver openen terwijl de tussenliggende voegen gesloten blijven.

Het gebruik van een plasticfolie tussen de fundering en de betonverharding is ook een veel voorkomende oorzaak van te ver openstaande voegen. Door de plasticfolie wordt immers een glijvlak gecreëerd waardoor de eerst werkende voegen zich ver openen.

### 6.3.5 Oppervlakproblemen (afschilfering, putjes, roestvlekken, polijsting, aantasting)



**Figuur 6.8** *Afschilfering aan oppervlak ten gevolge van dooizouten*

Oppervlakschade kan zich voordoen onder de volgende vormen: afschilfering, delaminatie, putjes door loskomende of beschadigde stenen of door onzuiverheden in het beton, vervuiling, roestvlekken, aantasting door agressieve stoffen. Ook door het operationele gebruik kan het oppervlak wijzigen en beschadigd worden: polijsting door het verkeer of door het verplaatsen van lasten over het oppervlak, afbrokkeling of ponsschade door zware impactbelastingen.

Afschilfering is een verschijnsel dat zich doorgaans op een veralgemeende manier voordoet. De hoofdoorzaken zijn een slechte betonkwaliteit en/of een onvoldoende bescherming. Ook toevoeging van water aan het oppervlak of mortelbepleistering van het verse beton, meestal bedoeld om het oppervlak mooi egaal af te werken, kan

een oorzaak van afschilfering zijn. De invloed van vorst-dooicycli en in het bijzonder het gebruik van dooizouten bespoedigt het zichtbaar worden van de schade aan beton dat poreus is in de oppervlaktelaag. Voor het voorkomen en herstellen van afschilferingen: zie § 6.4.7.

Betonoppervlakken die met de helikopter afgewerkt werden zijn extra gevoelig voor het probleem van afschilfering en wanneer het zich voordoet, zijn de gevolgen meestal veel erger dan bij andere verhardingen. De afschilfering kan dieper gaan zodat de granulaten volledig bloot komen te liggen en in sommige gevallen kan de bovenste laag van het beton loskomen (delaminatie).

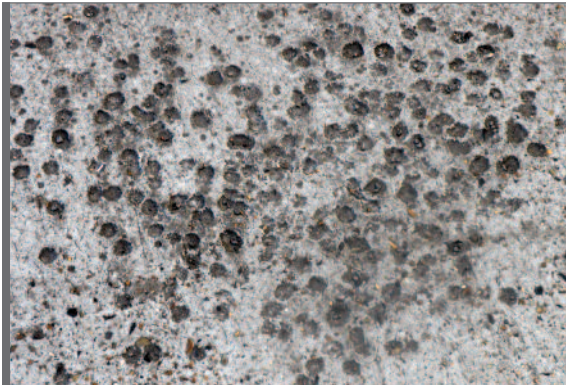
De weerstand van een beton tegen afschilfering ingevolge vorst in aanwezigheid van dooizouten kan gemeten worden door middel van vorst-dooiproeven. De meest toegepaste techniek in België is volgens de ontwerpnorm ISO/DIS 4846-2 waarbij als maatstaf een maximaal massaverlies van 10 g/dm<sup>2</sup> na 30 vorst-dooicycli wordt gehanteerd. Recentere proefmethodes zijn beschreven in de Europese Technische Specificatie EN/TS 12 390-9. Hiermee wordt thans ervaring opgedaan.

Het afschilferen kan worden voorkomen door een heel compact beton met een lage w/c-factor aan te maken dat weinig mortel (laag zandgehalte) en weinig macroporiën bevat. Een enigszins minder compact beton kan echter ook bestand gemaakt worden door het gebruik van een luchtbelvormer in het beton. De luchtballen die zo in het

beton worden ingebracht werken als expansievaatjes: ze creëren de nodige ruimte om de uitzetting als gevolg van het kristalliseren van het water in de poriën op te vangen.

Delaminatie kan ook optreden wanneer het nog niet verhard beton bevroest. Het jonge beton heeft onvoldoende weerstand om de trekspanningen op te nemen die ontstaan door de volumevermeerdering van het water dat bevroest. Dit type van schade is meestal onherstelbaar.

Het gebruik van vorstgevoelige granulaten kan aanleiding geven tot het afspringen van stukjes van de stenen waardoor putjes ontstaan aan het oppervlak. Ook onzuiverheden in het beton die zich aan of net onder het oppervlak bevinden kunnen de oorzaak zijn van putjes. Opslag-, meng- en transportinstallaties dienen daarom altijd in zuivere staat te zijn en gereinigd te worden wanneer ze voor andere doeleinden worden gebruikt of wanneer de centrale bijvoorbeeld gebruikt werd voor de aanmaak van funderingsmengsels.



**Figuur 6.9** Schade ten gevolge van regendrup

Afschilfering kan ook het gevolg zijn van de aanwezigheid van agressieve stoffen. Wanneer sterke zuren of zouten in contact komen met het betonoppervlak ontstaan chemische reacties met als gevolg de aantasting van de cementsteen. Tenzij een beschermende coating of impregnering aangebracht wordt, is aantasting niet te vermijden.

Regen op het verse betonoppervlak kan ook de oorzaak zijn van kleine putjes. Dit pleit alweer voor het betonnen in langse stroken in plaats van het pompen van beton over grote oppervlakken. Een langse strook kan immers indien nodig afgedekt worden met een zeil of plasticfolie.

Wanneer de gebruikte granulaten ijzerhoudende onzuiverheden bevatten is het mogelijk dat er zich roestvorming voordoet op het betonoppervlak. Als dit beperkt blijft tot esthetische schade is er geen probleem. In een aantal gevallen kan het ook aanleiding geven tot een poreus beton.

### 6.3.6 Alkali-silicareactie

De term alkali-silicareactie duidt op een geheel van reacties die kunnen plaatsvinden tussen bepaalde bestanddelen van de granulaten, die reactieve silica bevatten (kieselzuur) met alkaliën die in het poriënwater aanwezig zijn. Die alkaliën (natriumoxide en kaliumoxide) kunnen afkomstig zijn van alle samenstellende elementen van het beton (cement, hulpstoffen, toevoegsels, aanmaakwater, granulaten) of aangevoerd worden van buitenuit (zeewater, brakwater, dooizouten, enz.).

Door de reactie ontstaan expansieve reactieproducten onder de vorm van een gel. Deze gel trekt water aan, gaat hierdoor zwellen en leidt tot inwendige spanningen in het beton en zo tot scheurvorming.

De alkali-silicareactie kan enkel tot schade leiden indien de volgende voorwaarden gelijktijdig vervuld zijn:

- de granulaten moeten potentieel reactief zijn. Dit is het geval voor de meeste granulaten die op de Belgische markt aanwezig zijn;
- het beton bevindt zich constant of periodiek in een vochtige omgeving; alleen dan kan de gel immers water absorberen. Ook aan deze voorwaarde is ongetwijfeld voldaan voor buitenverhardingen in een Belgische omgeving;
- het alkaligehalte van het beton moet een zekere grenswaarde overschrijden. Deze voorwaarde is het eenvoudigst om aan te verhelpen. Dit kan door uitsluitend gebruik te maken van cementen met begrensd alkaligehalte, de zogenaamde LA-cementen volgens NBN B12-109. Ervaring heeft ook bewezen dat dit de meest doeltreffende methode is. Voor de wegenbouw wordt het gebruik van LA-cementen daarom verplicht volgens het Standaardbestek 250 voor de wegenbouw.

Schade aan betonverhardingen is het gevolg van een minderwaardige betonsamenstelling, een slecht ontwerp, onderdimensionering of overbelasting, een gebrekkige uitvoering of ongunstige uitvoeringsomstandigheden. In heel veel gevallen had de schade dan ook kunnen vermeden worden.

## 6.4 Onderhoud en herstellingen

### 6.4.1 Onderhoud van de voegen

Wanneer gekozen werd om de voegen af te dichten, wat aanbevolen is voor de meeste bedrijfsverhardingen, is het ook belangrijk om deze voegafdichting te onderhouden. Het is best deze werken over te laten aan gespecialiseerde firma's die over de juiste uitrusting hiervoor beschikken.

De voorbereidende werken bestaan uit:

- verwijderen van de oude voegspecie. De voeglippen mogen tijdens dit werk niet worden beschadigd;
- reinigen van de sponningen. De reiniging van de wanden van de voeg is heel belangrijk en gebeurt bij voorkeur met een hogedrukwaterstraal (80 tot 250 bar) of door zandstralen of gritstralen met behulp van een spuitkop met gerichte straal en een afgedekt afzuigsysteem. De sponningen kunnen ook worden gereinigd met behulp van een machine met een roterende getorste ronde staalborstel, met een breedte aangepast aan de breedte van de sponning;
- drogen van de sponning met een compressor of met een warmeluchtapparaat;
- na het drogen is het wenselijk de sponningen en de randen van de voeg opnieuw stofvrij te maken met de borstelmachine. Zo worden uiteindelijk zuivere en droge sponningen verkregen, wat de hechting en de duurzaamheid van de voegvulling bevordert.

Het eigenlijke voegvullen bestaat in zijn meest volledige vorm uit volgende bewerkingen:

- aanbrengen van de voegbodem door de koord tot aan de voorgeschreven diepte in de sponning te persen;
- volgens de aanbevelingen van de fabrikant, eventueel aanbrengen van een hechtingsvernis om de aanhechting van de voegspecie aan de wanden van de sponning te verbeteren;
- bereiding en gieten van de voegspecie. Het is niet raadzaam te werken bij luchttemperaturen van minder dan 5 °C. In geval van regen worden de werkzaamheden opgeschort en pas hervat na het reinigen en het drogen van de sponning;
- heringebruikname van de verharding zodra het oppervlak van de voegvulling niet meer kleeft.

### 6.4.2 Stabiliseren of oppersen van platen door injectie



Verzakkingen in de verharding die te wijten zijn aan een pompverschijnsel ter hoogte van scheuren of niet-gedeuvelde voegen of aan differentiële zettingen, die zich kunnen voordoen op een weinig draagkrachtige grond of op slecht verdichte ophogingen, kunnen verminderd worden door injectie van een cementmortel. De platen worden dan gestabiliseerd door opvulling van de bestaande holten, al dan niet gepaard gaand met het oppersen van de platen. Een voorwaarde is wel dat de platen niet te sterk gefragmenteerd zijn door secundaire scheuren. Belangrijk is ook om de oorzaak van de schade van de verzakking weg te nemen door bijvoorbeeld extra drainage aan te brengen.

**Figuur 6.10** Aanbrengen van injectiegaten



**Figuur 6.11** *Injecteren van holtes met cementgrout*



**Figuur 6.12** *Afdichten van scheuren*

De operatie omvat het injecteren van een dunne cementmortel via gaten die in de betonverharding geboord worden, om de ontstane ruimte eronder te vullen, het wegdek te stabiliseren en de vlakheid van het oppervlak te herstellen. Gaten met een diameter van ongeveer 50 mm worden geboord doorheen het wegdek tot een niveau van 3 cm lager dan het te injecteren niveau. De tussenafstand bedraagt maximaal 2 m, terwijl de afstand tussen de buitenste rij van de gaten en een langsrand van een plaat tussen 0,75 m en 1 m bedraagt. Bovendien moeten de gaten minstens 0,80 m verwijderd zijn van een voeg of van een scheur.

De injectiemortel bestaat uit een mengsel van water en van voorgedoseerde bereide producten die hoofdzakelijk cement en andere eventuele componenten bevatten zoals bentoniet, vliegglas, hulpstoffen of andere toevoegingen.

### 6.4.3 Afdichten van scheuren

Het afdichten van een scheur is eigenlijk maar een tijdelijke interventie waardoor de plaat in geen geval haar oorspronkelijke eigenschappen terugkrijgt. Als het werk echter goed wordt uitgevoerd, kan de afgedichte scheur een scharnierfunctie vervullen in het afremmen of zelfs volledig verhinderen van het ontstaan van secundaire schade. Het spreekt vanzelf dat een dergelijke behandeling alleen kan worden toegepast op weinig of niet afgebrokkelde scheurranden of op scheuren die slechts weinig of geen denivellaties vertonen. Een correct herstelde scheur verschilt alleen door zijn onregelmatig verloop van een niet-gedeuvelde krimpvoeg.

Ter hoogte van de scheuren wordt een sponning gefreesd. Dit werk wordt uitgevoerd met een machine die het verloop van de scheur nauwgezet volgt. De afmetingen van de rechthoekige sponning zijn 12 tot 20 mm ( $\pm 2$  mm) in de breedte, afhankelijk van de staat en de vorm van de scheur, en 25 mm ( $\pm 5$  mm) in de diepte.

Na het volledig reinigen en drogen van de sponning wordt er een plastische strip of een koord (dikte: 5 mm, breedte: 15 tot 20 mm) in geplaatst om het indringen van het afdichtingsproduct in het onderste deel van de scheur te voorkomen. Zij dient ook als anti-kleefstrip op de bodem van de sleuf. De sleuf wordt gedicht met behulp van een warme massa. Meestal is het raadzaam vooraf een aangepast hechtingsvernis aan te brengen. Koud gegoten massa's worden vrijwel niet gebruikt voor deze toepassingen. In principe

wordt deze herstellmethode alleen toegepast op betrekkelijk recente scheuren met een opening van minder dan 5 mm en waarvan de randen nauwelijks afgebrokkeld zijn. Voor oudere betonverhardingen met zeer brede voegen en scheuren en mogelijk grote afbrokkelingen dient overwogen te worden deze allereerst te herstellen met behulp van mortels op basis van gemodificeerd hydraulisch bindmiddel of op basis van hars.

In het geval van gedeuvelde betonverhardingen is het zinvol om ook in de herstelde scheur deuvelds aan te brengen in vooraf uitgeslepen gleuven, welke nadien met een polymeer gemodificeerde herstellmortel gevuld worden. Op die manier wordt ook in de herstelde scheur de lastoverdracht verzekerd en wordt trapvorming in de scheur vermeden.

### 6.4.4 Herstelling van af- en uitbrokkelingen

Het herstellen van af- en uitbrokkelingen gebeurt met mortels op basis van gemodificeerd hydraulisch bindmiddel (GHB – mortel op basis van cement waaraan polymeren werden toegevoegd) of harshoudend bindmiddel (epoxy). De ingreep bestaat er in een afbrokkeling of een beschadigde voeg-, plaat- of scheurrand met een mor-

tel te herstellen. Hierbij dient genoteerd dat het gebruik van gietasfalt in het algemeen niet efficiënt is voor de herstelling van een voeg, van een plaatrand enz.

De voorafgaande werken bestaan uit het voorbereiden van de ondergrond en de eventuele voorlopige bekisting, zodanig dat de reparatiemortel perfect aan het beton hecht. De ondergrond is schoon, bestaat uit gezond beton (verwijdering van de betonafbrokkelingen) en is begrensd door een ruw oppervlak. De bodem en de wanden van het afgebroken gedeelte worden geborsteld en gereinigd door schoonblazen met perslucht. Sporen van olie of van afdichtingsproduct worden verwijderd. De mortel op basis van harsen wordt aangebracht op schoon en droog beton. De GHB-mortel wordt aangebracht op schoon en met water verzadigd beton. De herstelling wordt beschermd met behulp van een nabehandelingsproduct of een plasticfolie. Het is belangrijk dat de voeg opnieuw kan werken na de herstelling.

#### 6.4.5 Vervanging van platen over hun hele dikte

De gedeeltelijke vervanging van een plaat kan worden overwogen rond een voeg waarvan de gebrekkige uitvoering aanleiding gaf tot het ontstaan van schade, of rond een scheur die is geëvolueerd en waar het beton afbrokkelt in de aanliggende zone. Bij voorkeur zal de te vervangen zone echter de hele plaat omvatten.

De volgende basisprincipes moeten worden nageleefd om het welslagen van de herstelling te verzekeren:

- de vervanging moet worden uitgevoerd over de hele breedte en de hele dikte van de betonplaat; de lengte moet minstens 2 m zijn. Er kan slechts één ingreep per plaat aanvaard worden. Bovendien moeten de resterende delen van de plaat nog minstens 2 m lang zijn;
- de te reconstrueren delen van platen zijn rechthoekig. De lange zijden zijn loodrecht op de langsvoeg of op de randen van het wegdek;
- het opbreken gebeurt met 2 zaagsneden. De platen worden ingezaagd over hun hele dikte en breedte. Bovendien zijn de zaagsneden loodrecht op het oppervlak van het wegdek;
- de aldus afgebakende zone wordt opgebroken door toepassing van een geschikte methode. Dit werk vereist de nodige zorg om de aanliggende delen van de verharding niet te beschadigen. Als schade niet kon worden vermeden, wordt de te herstellen zone overeenkomstig vergroot;
- eventuele beschadigingen van de fundering worden bijgewerkt. In geval van onvoldoende fundering wordt de grondlaag verwijderd tot op een diepte van minstens 15 cm en wordt er een fundering aangebracht;
- al dan niet gedeuvelde dwarse voegen worden op hun oorspronkelijke plaats hersteld. Indien opnieuw deuken worden aangebracht, gebeurt dit door ze chemisch te verankeren in geboorde gaten in de aanliggende betonplaat. In geval van lage aanlegtemperatuur ( $< 15\text{ °C}$ ) wordt een van de dwarse voegen als een uitzetvoeg uitgevoerd om latere opstuiking bij hogere omgevingstemperaturen te vermijden;
- indien een nieuw herstelbeton en oude platen gescheiden zijn door een overlangse werkvoeg, is het aangegeven om geen verankering aan te brengen. Zodoende worden eventuele secundaire storingen tengevolge van afwijkende spanningen tussen het nieuwe en het oude beton of tengevolge van de verkeersbelasting vermeden. De verticale wand die door het oude beton wordt gevormd, kan zelfs worden bestreken met een bitumineuze emulsie, of er kan een bitumineus membraan (roofing) op worden afgerold om eventuele sympathiescheuren te vermijden;
- voor de reparatie van lange stukken weg gebeurt het storten van het beton met behulp van een glijbekistingmachine, terwijl voor kleine werken vaste bekistingen kunnen worden gebruikt. In dat laatste geval is het nodig om een dubbele trilbalk te gebruiken en om bovendien de randen te verdichten met behulp van trilnaalden;
- het profiel van de herstelde zone moet zorgvuldig geïntegreerd worden in het tracé van de bestaande verharding. Het is raadzaam een zelfde oppervlakttextuur tot stand te brengen als de bestaande verharding;
- het beton wordt beschermd tegen uitdroging door de verstuiving van een nabehandelingsproduct.



**Figuur 6.13** Herstellen van een plaatrand met behulp van herstelmortel

#### 6.4.6 Snelle herstellingen d.m.v. gebruik van snelhardend beton

Indien de termijn voor de herstelling niet van belang is kan een klassieke betonsamenstelling gebruikt worden, bij voorkeur een wegebeton volgens Standaardbestek 250 voor de wegebouw, al dan niet met luchtbelvormer. Meestal kan een bedrijfsverharding echter slechts gedurende korte tijd buiten dienst worden gesteld en wordt een snelle herstelling verwacht. In dat geval kan er gebruik worden gemaakt van snelhardende betonsamenstellingen. Het betreft betonsamenstellingen die het mogelijk maken om een weerstand te bereiken die volstaat om de verharding terug in dienst te nemen na 72, 36 of zelfs 24 uur. De eis die wordt gehanteerd is een druksterkte op boorkernen uit de verharding van  $40 \text{ N/mm}^2$  of een druksterkte op geïsoleerde (polystyreen) kubussen met zijde 150 mm van  $35 \text{ N/mm}^2$ . De bewaaromstandigheden van de proefstukken zijn die van de buitenomgeving van de te herstellen verharding.

De betonsamenstelling voldoet aan volgende eisen:

- cementgehalte tussen 425 en  $450 \text{ kg/m}^3$ . Voor de zeer snelle herstellingen ultra fast track (uithardingstijd 36 u of minder) wordt gebruik gemaakt van portlandcement (CEM I 52,5 N of R LA of CEM I 42,5 N of R LA) of een mengsel met hoogovencement (CEM III/A 42,5 N LA) waarbij 20 à 25 % cement CEM I 42,5 of 52,5 N of R wordt gebruikt. Deze beperking aan portlandcement is nodig om het alkaligehalte binnen de opgelegde grenzen te houden. Voor de herstellingen met een uithardingstijd van 72 uur wordt bij hoge omgevingstemperatuur gebruik gemaakt van hoogovencement CEM III/A 42,5 N LA die toelaat om een beton te bekomen dat langer verwerkbaar is en dus gemakkelijker in de uitvoering.
- qua skelet wordt een continue korrelverdeling aanbevolen met de fracties 2/6 en 6/20. De fractie 20/31,5 wordt best achterwege gelaten om de manuele verwerking van het beton niet te bemoeilijken.
- de water-cementfactor bedraagt maximaal 0,40. Deze lage waarde heeft niet alleen een positief effect op de sterkteontwikkeling maar ook op de duurzaamheid en op de weerstand tegen scheurvorming van dit beton, ondanks het hoge cementgehalte;
- de toevoeging van een superplastificeerder is zeker noodzakelijk om die water-cementfactor te kunnen bekomen in combinatie met een voldoende verwerkbaarheid. Dikwijls wordt een gedeelte in de centrale toegevoegd en een tweede deel op de werf in de truckmixer;
- luchtbelvormers worden niet gebruikt in snelhardend beton gezien hun negatieve invloed op de sterkteontwikkeling en aangezien de weerstand tegen afschilfering van dergelijk beton gegarandeerd wordt door zijn samenstelling.

Vóór aanvang van de herstellingswerken dienen oriëntatieproeven uitgevoerd te worden om de parameters van de betonsamenstelling vast te leggen zodanig dat de gewenste sterktes kunnen behaald worden bij de verwachte omgevingstemperatuur.



**Figuur 6.14** Afdekken van de herstellingen met isolerende platen voor een snellere uitharding

Tabel 6.1 (blz. 73) geeft indicatieve waarden van het type en gehalte aan cement in functie van de gewenste indienstellingstermijn (36 u of 72 u) en van de omgevingstemperatuur.

Om nog kortere uithardingstermijnen te bekomen dient de samenstelling voor «36 u» toegepast te worden en dient het oppervlak te worden afgedekt met isolerende platen (hard polystyreen).



Uithardingstijd van het beton	Omgevings-temperatuur	Bindmiddel		
		CEM I LA 42,5 of 52,5 N of R	Mengsel CEM III/A 42,5 N LA + 20 tot 25 % CEM I 42,5 R of 52,5 R	CEM III/A 42,5 N LA
36 uur	≤ 15 °C	450 kg/m <sup>3</sup>	Niet aanbevolen	Niet aanbevolen
	> 15 °C	425 kg/m <sup>3</sup>	450 kg/m <sup>3</sup>	Niet aanbevolen
72 uur	≤ 15 °C	425 kg/m <sup>3</sup>	450 kg/m <sup>3</sup>	Niet aanbevolen
	> 15 °C	Niet aanbevolen	425 tot 450 kg/m <sup>3</sup>	450 kg/m <sup>3</sup>

**Tabel 6.1** Samenstelling van snelhardend beton in functie van temperatuur

#### 6.4.7 Preventieve oppervlakbehandeling tegen afschilfering

De weerstand tegen afschilfering van een gevoelig beton kan aanzienlijk verhoogd worden door het toepassen van een impregneermiddel op het oppervlak. Dit is het geval voor de meeste van de toegepaste betonsamenstellingen met uitzondering van het wegebeton voor de bouwklasse B1-B5 dat met de glijbekisting wordt aangelegd. Manueel aangelegde oppervlakken, gepompte betons, met de helikopter afgewerkte oppervlakken en gekleurde oppervlakken zijn het meest gevoelig voor afschilfering. Het impregneermiddel is een hydrofobering die aangebracht wordt aan het oppervlak en waardoor de indringing van water en dooizouten verhinderd wordt. Op een nieuw aangelegd betonoppervlak wordt deze impregnering toegepast na een viertal weken en na borstelen van het oppervlak opdat de film van de curing compound zo veel als mogelijk verwijderd zou zijn. Er worden kort na elkaar twee lagen verneveld.

Ook voor een beton dat al licht aangetast werd kan deze behandeling toegepast worden om verdere afschilfering te voorkomen. In geval van zware aantasting dient de oppervlaktextuur hersteld te worden (meestal is het beton slechts gevoelig aan het oppervlak) of dienen de aangetaste platen vervangen te worden.

#### 6.4.8 Herstelling van oppervlaktextuur

Deze operaties hebben tot doel de textuur en/of de vlakheid van het oppervlak te verbeteren, eventueel de stroefheid te verbeteren of, in geval van veel verkeer, het rolgeluid te verminderen.

##### 6.4.8.1 Oppervlakbehandeling door afslijpen met diamantschijven (microgroeven)



Deze oppervlakbehandeling wordt uitgevoerd in de lengterichting door middel van een machine die op een horizontale as een reeks heel dicht bij elkaar geplaatste speciale diamantzagen of schijven in speciale legeringen heeft staan.

Het werk wordt uitgevoerd in parallelle en rechtlijnige stroken; de overlapping van deze stroken is kleiner dan 5 cm. De breedte van de groeven is 3 tot 4 mm en hun tussenafstand is kleiner dan 3,2 mm.

Na behandeling mogen de oneffenheden aan het oppervlak niet meer dan 2 tot 4 mm bedragen.

**Figuur 6.15** Afslijpen met diamantschijven

#### 6.4.8.2 Oppervlakbehandeling door frezen

Het frezen wordt uitgevoerd met behulp van een machine met een trommel met horizontale as, voorzien van snijwerktuigen. Ze is ook uitgerust met een sproei-installatie, om stofvorming te voorkomen.

Het werk wordt uitgevoerd in de lengterichting en in parallelle stroken. De door het frezen gecreëerde groeven hebben een maximale tussenafstand van 7 mm. De operatie mag in geen geval splinters aan het oppervlak en/of afschilferingen aan de dwars- of langsvoegen veroorzaken. Een voorafgaande afslijping door middel van diamantschijven ter hoogte van de voegen is in dit opzicht onmisbaar.

#### 6.4.8.3 Oppervlakbehandeling door hameren

Deze methode is de meest aangewezen om plaatselijk een oppervlakkige mortellaag te verwijderen die geen voldoende microtextuur heeft of te poreus is, waardoor plaatselijke afschilferingen worden veroorzaakt.

De behandeling wordt uitgevoerd door een pneumatische hamermachine of een machine met een trommel met horizontale as, uitgerust met percussiehamers bevestigd op de trommel door middel van pennen. Het werk wordt uitgevoerd in de lengterichting en in parallelle stroken. De hamers worden overhoeks verspringend op de trommel aangebracht. De tussenafstand ervan moet een gelijkmatige behandeling van het oppervlak mogelijk maken. De operatie mag in geen geval steenschilfers veroorzaken aan de dwars- of langsvoegen. Een onbehandelde strook parallel met de voegen is daarom onvermijdelijk.

#### 6.4.8.4 Oppervlakbehandeling door gritstralen

De behandeling van het oppervlak gebeurt met een machine die een intensieve beschieting van het wegdek inhoudt met onder hoge snelheid geprojecteerd staalgrit. De machine is uitgerust met een zuig- en opvangsysteem voor grit en stof. Het werk wordt uitgevoerd op een droog oppervlak. De behandeling laat het steenskelet van het wegdek verschijnen (fijne microtextuur van het steenskelet).

#### 6.4.8.5 Oppervlakbehandeling door polijsten met diamantschijven



Deze techniek bestaat erin door middel van roterende diamantschijven het beton op te ruwen of de bovenste millimeters van het verhard beton weg te polijsten. Hierdoor wordt het steenskelet van het beton zichtbaar wat ook een esthetische meerwaarde kan hebben. Voor binnenvloeren wordt deze techniek gebruikt om deze opnieuw glanzend te maken door een aangepaste korrel van de diamantschijven. Voor buitenverhardingen dient rekening te worden gehouden met de vereiste stroefheid van het oppervlak.

**Figuur 6.16** Polijsten met diamantschijven

#### 6.4.8.6 Oppervlakbehandeling door waterstraal onder hoge druk (hydroscarificatie, hydro-jet, enz.)

Door water onder hoge druk op het betonoppervlak te projecteren is het mogelijk het beton te reinigen, de bovenste mortellaag te verwijderen en zelfs de granulaten volledig vrij te maken. Dit laatste wordt soms toegepast indien de betonverharding nadien overlaagd wordt met een nieuwe verharding.

#### 6.4.8.7 Aanbrengen van een slijtvaste deklaag (topping) op een bestaand betonoppervlak



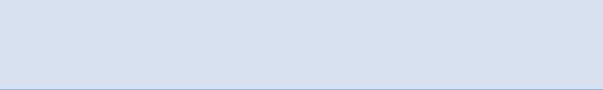
De slijtvaste deklagen of toppings werden al besproken in § 4.2 waarbij deze «nat in nat» werden geplaatst als oplossing voor het bekomen van een zeer slijtvast oppervlak. Hetzelfde type deklaag kan ook «nat op droog» aangebracht worden op een bestaand oppervlak met als doel een beschadigd oppervlak te vernieuwen. De minimale dikte bedraagt dan 15 mm. In dat geval is het van bijzonder belang om een goede hechting te bekomen door het toepassen van een speciale kleeftlaag op een stofvrije gestraalde of voorbereekte ondergrond.

**Figuur 6.17** Aanbrengen van een slijtvaste deklaag (nat-in-nat)

Het tijdig uitvoeren van het minimale onderhoud of van de noodzakelijke herstellingen, vermijdt verdere schade.

Herstellingen kunnen in een minimale periode uitgevoerd worden. Voor snelhardend beton kan de uithardingstijd beperkt blijven tot 72, 36 of zelfs 24 uur indien het oppervlak geïsoleerd wordt. De operationaliteit van de bedrijfsverharding hoeft hier dus niet langer onder te lijden.

In plaats van de platen te vervangen, kan het soms volstaan het oppervlak te restaureren. Wanneer het oppervlak gevoelig blijkt te zijn voor afschilfering is het beter om schade te voorkomen door een preventieve oppervlakbehandeling met een impregneermiddel uit te voeren.



# Hoofdstuk 7

## Aspecten van duurzaam bouwen

### 7.1 Inleiding

De keuze van een industriële buitenverharding kan gebaseerd zijn op diverse criteria: robuustheid, levensduur, gebruikszekerheid, investeringskost, onderhoudsregime, enz. Meer en meer wordt er ook rekening gehouden met de milieuaspecten die met de keuze verbonden zijn.

Het economische luik, het milieu en de sociaal-maatschappelijke aspecten vormen samen het kader van duurzaam bouwen. Om tot een correcte beoordeling te komen dienen de mogelijke oplossingen in deze drie domeinen geëvalueerd te worden en dit over de volledige levenscyclus van de constructie: «*from cradle to grave*» (van wieg tot graf). Deze benadering gaat dus verder dan de loutere bouwfase maar omvat ook alle interventies voor onderhoud en herstellingen gedurende de volledige levensduur tot en met de opbraak en het hergebruik of de recyclage van de opgebroken materialen.

### 7.2 Milieuaspecten

De lange levensduur van een betonverharding levert ook een belangrijk voordeel op bij de LCA of *Life Cycle Assessment*. Dit is een internationaal gestandaardiseerd beoordelings- en evaluatiesysteem voor de milieu-impact van een bouwwerk over alle fasen van zijn bestaan. Een verharding die weinig onderhoud vergt, bespaart immers op lange termijn in grondstoffen, transport en energie.

Tijdens de bouwfase scoort een betonverharding minder goed omwille van de CO<sub>2</sub> uitstoot, gekoppeld aan de cementproductie. Door het gebruik van samengestelde cementen, in België is dat het hoogovencement CEM III/A 42,5 N LA, wordt deze impact met 40 à 45 % gereduceerd ten opzichte van portlandcement CEM I.

Voor andere milieu-indicatoren scoort beton dan weer goed zoals voor primaire energie, natuurlijke rijkdommen, ecotoxiciteit e.a.

Uitloging is de wetenschappelijke term die staat voor het vrijkomen van chemische elementen uit een vast materiaal bij contact met water. Laboratoriumonderzoek heeft aangetoond dat er geen enkel probleem van uitloging bestaat voor Belgisch wegebeton.



**Figuur 7.1** Mobile breek- en zeefinstallatie voor hergebruik van bestaande betonweg als betongranulaat

Beton is volledig recycleerbaar en in de praktijk wordt het betonpuin dan ook opnieuw gebruikt in de wegenbouw. Zowel voor ongebonden als cementgebonden fundingslagen is gebroken betonpuin een uitstekend materiaal. Wanneer het beton in twee lagen wordt aangelegd, is ook recyclage van betonpuin in de onderlaag mogelijk. Recyclage in rijk beton werd overigens ook al succesvol toegepast in een industriële toegangsweg.

In de deklaag van een tweelaags beton kan titaandioxide verwerkt worden, wat een luchtzuiverend effect tot stand brengt. Hierover zijn diverse onderzoeksprojecten aan de gang.

Tijdens de gebruiksfase levert de heldere kleur van een betonverharding een niet te verwaarlozen milieuvoordeel op. Het weerkaatst immers het zonlicht en vertraagt op die manier de globale opwarming van de aarde. In stedelijke omgeving wordt bovendien het opwarmingseffect met de bijhorende smogvorming gereduceerd.

### 7.3 Economische aspecten

In een economische evaluatie dienen volgende punten in overweging te worden genomen:

- de uitgaven verbonden met de aanleg van de verharding of de investeringskost;
- het budget voor latere onderhouds- en instandhoudingswerken;
- de economische repercussies van onderhoudsoperaties waaronder in de eerste plaats de beschikbaarheid en operationaliteit van de infrastructuur.

Het is duidelijk dat de nuttige levensduur hier ook een belangrijke rol speelt. Het robuuste karakter van een betonverharding en haar klimaat- en weerbestendigheid zijn hierin belangrijke troeven. Waar beton initieel een hogere investering vraagt, blijkt uiteindelijk dat de *life-cycle cost* gunstiger is dan voor verhardingen in andere materialen.

### 7.4 Sociaal-maatschappelijke aspecten

De verwerking van beton voor de aanleg van buitenverhardingen houdt geen belangrijke gezondheidsrisico's in voor de arbeiders. Ook de hinder voor de omgeving blijft beperkt. Er is geen excessieve geluidsoverlast, trillingshinder of stofvorming.

Betonverhardingen maken deel uit van de onontbeerlijke infrastructuur en installaties van industrie, handel, logistiek, ziekenhuizen, brandweer, defensie, enz. en vormen zo een schakel in onze sociaal-economische maatschappij.

Door zijn natuurlijke grondstoffen, volledige recycleerbaarheid en lange levensduur scoort een betonverharding erg goed in levenscyclusanalyses voor zowel de economische als de milieuaspecten.

Beton is een verstandige keuze voor de realisatie van infrastructuur voor alle maatschappelijke doeleinden.

# Literatuur

## Documenten

### **American Concrete Pavement Association (ACPA)**

*Concrete pavement for trucking facilities. Concrete information*  
Skokie : American Concrete Pavement Association (ACPA), s.d.

### **V. Bams, T. Vangheel & D. Badet**

Slipweerstand van natuursteen.  
in : WTCB contact, 7(2010)26, p. 12  
Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB), 2010.

### **G.C. Bouquet & J.W. Frénay**

*Betonnen bedrijfsvloeren en bedrijfsverhardingen*  
's-Hertogenbosch : Vereniging Nederlandse Cementindustrie (VNC), 1998.

### **Brussels Hoofdstedelijk Gewest**

*Typebestek betreffende wegeniswerken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (TB 2011)*  
Brussel : Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 2011.

### **G. Carpentier ; Technisch Comité Muur- en vloerbekledingen**

*Cementgebonden bedrijfsvloeren. Technische Voorlichting 204*  
Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB), 1997

### **Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR)**

*Ontwerp, aanleg en herstel van vloeistofdichte voorzieningen van beton. Aanbeveling 65 (tweede, herziene uitgave). Redactionele bijlage bij Cement 6/2005*  
Gouda : Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), 2005.

### **Concrete Society Working Group**

*External in-situ concrete paving. Technical report (TR) 66*  
Camberley (UK) : Concrete Society, 2007.

### **G.P.L. den Boer**

Vloeistofdichte betonconstructies: regelgeving en de ontwerppraktijk.  
in : Cement, 47(1995)1, p. 53-9  
's-Hertogenbosch : Stichting BetonPrisma, 1995.

### **Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM)**

*Betonnen bedrijfsverhardingen in buitenomgeving. Technische fiche FEBELCEM*  
Brussel : FEBELCEM, 2006.

### **T. Freimann**

*Industrieböden aus Beton.*  
in : Zement-Merkblatt Tiefbau, T1 1.2006  
Düsseldorf : Verein Deutscher Zementwerke, 2006.

### **F. Fuchs & A. Jasienski**

*Wegen van cementbeton: uitvoering van monolietverhardingen. Dossier Cement 26, september 2001*  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2001.

### **S. Guirguis ; ed.**

*Slip resistance of residential concrete paving surfaces. Datasheet July 2003*  
Sydney : Cement & Concrete Association of Australia (CCA), 2003.

### **L. Hendriks**

*Bedrijfsverhardingen van beton*  
Brussel : Verbond der Cementnijverheid (VCN), 1990.

### **Hengelhoef Concrete Joints (HCJ)**

*HC-Omega dilatatievoeg: de meest toegepaste dag- en uitzetvoeg voor industrievloeren*  
Genk : HCJ, s.d.

**Holcim**

Zementestrich nach DIN EN 13813 und DIN 18560  
Sehnde-Höver (Deutschland) : Holcim, s.d.

**A. Jasienski**

Vorst- en dooizoutbestandheid van betonverhardingen. Dossier cement 2, oktober 1994  
Brussel : Federatie van Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2003.

**J. Knapton**

The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries  
London : British Ports Association, 1982.

**A. Lake et al.**

Concrete hardstanding design handbook: guidelines for the design of concrete hardstandings  
Camberley (UK) : British In-situ Concrete Paving Association (Britpave), 2005.

**M. Leewis, H.B. Monster & A.A. van der Vlist**

Bedrijfsverhardingen en bedrijfsvloeren van beton  
's-Hertogenbosch : Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 1991.

**L.R. Marais & B.D. Perrie**

Concrete industrial floors on the ground  
Midrand (South Africa) : Portland Cement Institute (PCI), 1993.

**Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Wegen en Verkeer, Administratie Overheidsopdrachten, Gebouwen en Gesubsidieerde Infrastructuur**

Standaardbestek 250 voor de wegenbouw [versie 2.2]  
Brussel : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2010.

**Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW)**

Werkwijze: snelle raming van het draagvermogen van de grond met behulp van een lichte slagsonde type OCW. OCW Meetmethode MN 39/78  
Brussel : OCW, 1978.

**Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW)**

Handleiding voor de uitvoering van betonverhardingen. OCW Handleiding A75/05  
Brussel : OCW, 2005.

**Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW)**

Stroefheidsmetingen met de SRT-slinger. Technische fiche N57  
Brussel : OCW, 2008.

**Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW)**

Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen. OCW Handleiding A80/09  
Brussel : OCW, 2009.

**Porcelanosa Group**

Slip resistance  
Villarreal (Spain) : Porcelanosa Group, s.d.

**Pertos del Estado ; Technical Commission**

Guidelines for the design and Construction of port pavements. Recommendations for Maritime Works (ROM 4.1-94)  
Madrid : Pertos del Estado, 1994.

**C. Ployaert, L. Rens & P. Van Audenhove**

Herstelling en onderhoud van cementbetonwegen  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2007.

**C. Ployaert**

Betonneren bij lage temperaturen: enkele voorzorgsmaatregelen. Intern document  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), s.d.

**C. Ployaert & P. Van Audenhove**

Naar een optimale samenstelling van wegenbeton  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2010.

**C. Ployaert**

Cementgebonden bedrijfsvloeren. 1, ontwerp – dimensionering. Dossier Cement 23, november 2000  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2000.



### **C. Ployaert**

*Cementgebonden bedrijfsvloeren. 2, uitvoering. Dossier Cement 24, december 2000*  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2000.

### **L. Rens**

*Betonwegen: een doordachte en duurzame keuze*  
Brussel : Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM), 2009

### **Robert Kieserling Industriefussboden**

*Leistungsdatenblatt: Kieserling® ConFormat*  
Hamburg : Robert Kieserling Industriefussboden, s.d.

### **Service public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Routes et Bâtiments DGO1,**

*Cahier des charges type Qualiroutes 2012*  
Namur : Région Wallonne, 2011.

### **Vereniging Nederlandse Cementindustrie (VNC)**

*Vloestofdichte betonvloeren*  
's-Hertogenbosch : Vereniging Nederlandse Cementindustrie (VNC), s.d.

## **Normen**

### **EN 1992-1-1: 2004**

*Eurocode 2: calcul des structures en béton. Partie 1-1, règles générales et règles pour les bâtiments*  
Comité Européen de normalisation (CEN): Bruxelles, 2004.

### **NBN ENV 12633: 2003**

*Methode voor bepaling van de slip-/glijweerstand van ongepolijste en gepolijste oppervlakken*  
Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN): Brussel, 2003.

### **prCEN/TS 14754-1: 2006**

*Produits de cure: méthodes d'essai. Partie 1, détermination de l'efficacité de protection des produits de cure courants*  
Comité Européen de normalisation (CEN): Bruxelles, 2006.

### **EN 1338: 2003**

*Pavés en béton: prescriptions et méthodes d'essai (+ AC:2006)*  
Comité Européen de normalisation (CEN): Bruxelles, 2003.

### **EN 13670: 2010**

*Exécution des structures en béton*  
Comité Européen de normalisation (CEN): Bruxelles, 2010.

## **Websites**

### **De neef® conchem: DeneSteel BT**

[http://www.deneef.com/Site/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=165&Itemid=80](http://www.deneef.com/Site/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=165&Itemid=80)

### **Hengelhoef Concrete Joints (HCJ): HC-O profiel**

<http://www.hcjoints.be/hcgo.php>

### **Hengelhoef Concrete Joints (HCJ): HC-GO profiel**

[http://www.hcjoints.be/nl\\_hcgo.php](http://www.hcjoints.be/nl_hcgo.php)

### **Hengelhoef Concrete Joints (HCJ): HC-D profiel**

[http://www.hcjoints.be/nl\\_hcd.php](http://www.hcjoints.be/nl_hcd.php)

### **Hengelhoef Concrete Joints (HCJ): HC-E profiel**

[http://www.hcjoints.be/nl\\_hce.php](http://www.hcjoints.be/nl_hce.php)

### **KORODUR Hartstoffe**

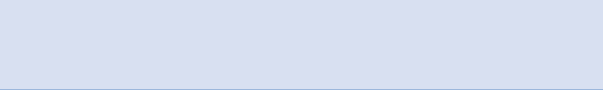
<http://www.korodur.de/cms/content/view/20/44/lang.de/>

### **Plakabeton: Dilatec-Titan**

<http://www.tradibau.pt/archivos/sistemas/Titan.pdf>

### **SafeEnvironments: slip resistance test methods**

<http://www.safeenvironments.com.au/slip-resistance-test-methods>



## Lijst van de figuren

Figuur 1.1	Gedeuveld ongewapend platenbeton	6
Figuur 1.2	Gewapend platenbeton	6
Figuur 1.3	Staalvezelbeton	6
Figuur 1.4	Verharding in doorgaand gewapend beton	7
Figuur 1.5	Verharding in walsbeton	7
Figuur 1.6	Gelaagde opbouw van een buitenverharding	8
Figuur 1.7	Fundering als effen draagvlak voor verharding na plaatsing uitzetvoegen	12
Figuur 1.8	Gedeuveld platenbeton op tussenlaag in asfalt (Kristalpark Lommel)	12
Figuur 2.1	Lijnbelasting van houten steunlatten onder metalen platen	16
Figuur 2.2	Vorkheftruck	16
Figuur 2.3	Straddle carrier	16
Figuur 2.4	Reachstacker	16
Figuur 2.5	Havenuitrusting voor behandelen van stukgoederen	16
Figuur 2.6	Oprit parking personenwagens	17
Figuur 2.7	Loskade voor vrachtwagens	17
Figuur 2.8	Containerterminal	17
Figuur 2.9	Behandeling van zware stukgoederen	17
Figuur 3.1	Dwarse en langse krimp/buigvoegen	32
Figuur 3.2	Uitzetvoeg/isolatievoeg	32
Figuur 3.3	Uitgezaagde uitsparing voor plaatsing uitzetvoeg	32
Figuur 3.4	Principe van lastoverdracht	33
Figuur 3.5	Vastzetten van deuvelstoelen in fundering voor aanbrengen deuvels in dwarse krimpvoeg	34
Figuur 3.6	Voegstelsel als uitzetvoeg	35
Figuur 3.7	Geprefabriceerd voegstelsel (recht profiel)	35
Figuur 3.8	Warm gegoten voegvullingsmateriaal	36
Figuur 3.9	Een component koud gegoten voegvullingsmateriaal	36
Figuur 3.10	Voorgevormd voegvullingsprofiel	36
Figuur 3.11	Zaagsneden ter hoogte van singuliere punten	37
Figuur 3.12	Voegenplan	37
Figuur 3.13	Combinatie van wapeningsnet en deuvels	39
Figuur 3.14	Staalvezelbeton in gedeuveld platenbeton	39
Figuur 3.15	Aanleg tweelaags beton met glijbekistingmachine	40
Figuur 3.16	Verwerking tussen vaste bekisting met verdichting door trilbalk en trilnaalden	41
Figuur 3.17	Aanbrengen van beton tussen vaste bekisting zonder bijkomende verdichting	41
Figuur 3.18	Dwars gebezemde textuur	42
Figuur 3.19	Manuele helikopterafwerking	42
Figuur 3.20	Machinale helikopterafwerking	42
Figuur 3.21	Gepolijste textuur (Atomiumplein, Brussel)	43
Figuur 3.22	Dwars gegroefde textuur	43
Figuur 3.23	Fijn uitgewassen textuur	43
Figuur 3.24	Windbarsten	44
Figuur 3.25	Nabehandlungsproduct, handmatig aangebracht	45
Figuur 3.26	Bescherming beton door plasticfolie	45
Figuur 3.27	Toevoegen van combinatie staalvezels en kunststofvezels in vers betonmengsel	45
Figuur 3.28	Isolerende plaat op beton	46
Figuur 3.29	Afvoergoot in polymerebeton	48
Figuur 3.30	Verholen goot	48

Figuur 4.1	Slijtlaag, «nat in nat» geplaatst	53
Figuur 4.2	Inwerken rails in beton	54
Figuur 4.3	Vloeistofdichte verharding	54
Figuur 4.4	Gekleurd uitgewassen beton	55
Figuur 5.1	Proeven op verse beton op de werf	57
Figuur 5.2	Opmeten van oneffenheden met de lat van 3 m	59
Figuur 5.3	Opmeten van stroefheid met odoliograaf	59
Figuur 5.4	Opmeten van stroefheid met SRT-slinger	60
Figuur 6.1	Scheur ten gevolge van verkeerd voegenpatroon	65
Figuur 6.2	Te laattijdig gezaagde voegen	65
Figuur 6.3	Scheur ten gevolge van scherpe hoek	65
Figuur 6.4	Sympathiescheuren	66
Figuur 6.5	Windscheuren	66
Figuur 6.6	Te ondiep gezaagde voegen	66
Figuur 6.7	Uitbrokkelen van voegranden	66
Figuur 6.8	Afschilfering aan oppervlak ten gevolge van dooizouten	67
Figuur 6.9	Schade ten gevolge van regendrup	68
Figuur 6.10	Aanbrengen van injectiegaten	69
Figuur 6.11	Injecteren van holtes met cementgrout	70
Figuur 6.12	Afdichten van scheuren	70
Figuur 6.13	Herstellen van een plaatrand met behulp van herstelmortel	71
Figuur 6.14	Afdekken van de herstellingen met isolerende platen voor een snellere uitharding	72
Figuur 6.15	Afslippen met diamantschijven	73
Figuur 6.16	Polijsten met diamantschijven	74
Figuur 6.17	Aanbrengen van een slijtvaste deklaag (nat-in-nat)	75
Figuur 7.1	Mobiele breek- en zeefinstallatie voor hergebruik van bestaande betonweg als betongranulaat	77

## Lijst van de tabellen

Tabel 1.1	Gemiddelde waarden van de reactiemodulus (Westergaard) en de vervormingsmodulus voor verschillende grondsoorten (gebaseerd op VENCON 2.0)	9
Tabel 1.2	Vorstindex en vorstindringingsdiepte Z voor verschillende locaties	10
Tabel 1.3	Correctiefactor voor een equivalente dikte	11
Tabel 1.4	Richtwaarden voor cementgehalte en mechanische kenmerken	11
Tabel 2.1	Belastingsklasse 4 — Tot 100 zware voertuigen per dag	19
Tabel 2.1	Belastingsklasse 4 — Tot 100 zware voertuigen per dag (vervolg)	20
Tabel 2.2	Belastingsklasse 3 — Tot 300 zware voertuigen per dag	21
Tabel 3.1	Indeling van granulaten op basis van korrelafmetingen	24
Tabel 3.2	Klassen voor granulaten volgens eigenschappen	25
Tabel 3.3	Overzicht van eigenschappen in functie van moedergesteente	25
Tabel 3.4	Aanbevolen voegafstand in functie van de plaatdikte voor ongewapende betonverhardingen	31
Tabel 3.5	Belastingsklasse 4	49
Tabel 3.6	Belastingsklasse 3	50
Tabel 3.7	Belastingsklasse 2	50
Tabel 3.8	Belastingsklasse 1	50
Tabel 5.1	Tolerantie op de dwarshelling	58
Tabel 5.2	Eisen gesteld aan oneffenheden	59
Tabel 5.3	Evaluatie van de resultaten van de SRT metingen	60
Tabel 5.4	Klassen van slijtweerstand	60
Tabel 6.1	Samenstelling van snelhardend beton in functie van temperatuur	73

Handleiding voor industriële buitenverhardingen in beton / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw  
- Brussel : OCW, 2011.  
- 85 blz.  
- (Aanbevelingen, ISNN 1376 - 9332 ; 82).

Deze publicatie handelt over industriële buitenverhardingen in beton die, voornamelijk omwille van de blootstelling aan weersinvloeden, duidelijk van industriële binnenvloeren moeten worden onderscheiden. Terwijl over industriële binnenvloeren tal van publicaties, richtlijnen en aanbevelingen bestaan, is slechts weinig vakliteratuur over industriële buitenverhardingen beschikbaar. Deze handleiding wil die leemte invullen.

Het eerste hoofdstuk beschrijft het toepassingsgebied en de terminologie. Het tweede hoofdstuk handelt over de dimensionering van industriële buitenverhardingen en de belangrijkste factoren waarmee rekening moet worden gehouden.

In het derde hoofdstuk wordt uitgebreid ingegaan op de ontwerp- en uitvoeringsaspecten zoals de betonsamenstelling, voegen, wapeningen, de wijze van aanbrenging, de afwerking en de nabehandeling – met ruime aandacht voor de weersinvloeden.

In het vierde hoofdstuk komen bijzondere toepassingen aan bod zoals grote platen van gewapend beton, toplagen, krimparm beton, enz.

Het vijfde hoofdstuk behandelt de controles en de beoordeling. Het zesde hoofdstuk is gewijd aan schadeverschijnselen, het onderhoud en de reparaties.

Ten slotte wordt aandacht besteed aan de invulling van duurzaam bouwen bij de aanleg van industriële buitenverhardingen.

#### ITRD-classificatie

20 – Ontwerp van transportinfrastructuur ; 32 – Beton

#### ITRD-trefwoorden

0177 – Aanbeveling ; 0178 – Nakomen van bepalingen ; 0332 – Industrie ; 2998 – Voeg ; 3471 – Wapening ; 3635 – Herstelling ; 3655 – Weg/waterbouwkunde ; 3847 – Onderhoud ; 4555 – Bouwmateriaal ; 4577 – Granulaat ; 4736 – Hulpstof ; 4755 – Cementbeton ; 4758 – Cement ; 5255 – Verandering ; 9011 – Dimensionering ; 9101 – Controle ; 4799 – Bedekking (wapening) ; 1032 – Goederenplatform ; 1030 – Containerterminal ; 9058 – Extern

#### Extra termen

Verharding (grond)

#### Bestellen

Kenm.: A82/11

Prijs: 17.00 € (excl. 6 % btw)

Fax: +32 2 766 17 80  
e-mail: [publication@brrc.be](mailto:publication@brrc.be)





## **O p z o e k i n g s c e n t r u m   v o o r   d e   W e g e n b o u w**

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Woluwedal 42

1200 Brussel

Tel. : 02 775 82 20 - fax : 02 772 33 74

*[www.ocw.be](http://www.ocw.be)*