

De in 1997 gepubliceerde Technische Voorlichting 204 [10] heeft betrekking op industriële binnenvloeren uit ter plaatse gestort en afgewerkt beton. Om te voldoen aan de eisen op het vlak van mechanische sterkte en duurzaamheid, moet het te gebruiken beton op geschikte wijze gespecificeerd worden. Deze specificatie is de verantwoordelijkheid van de opdrachtgever en dient rekening te houden met de gebruiksvoorwaarden van de bedrijfsvloer.



✍ *V. Pollet, ir., adjunct-departementshoofd, departement 'Materialen, technologie en omhulsel', WTCB*
E. Noirfalisse, ir., onderzoeker, laboratorium 'Isolatie- en dichtingsmaterialen', WTCB
J.-F. Denoel, ir., Febelcem
Cl. Ployaert, ir., Febelcem

Het zesde hoofdstuk van de TV 204 [10] gaat dieper in op de specificatie van de prestaties van beton voor bedrijfsvloeren en verwijst hiervoor naar de norm NBN B 15-001 uit 1992. Deze norm werd evenwel vervangen door de Europese norm NBN EN 206-1 (2001) [2] en haar Belgische aanvulling, de norm NBN B 15-001 (2004) [1]. Dit artikel heeft dan ook tot doel om de informatie uit de TV 204 te actualiseren op basis van deze recente normen. Het heeft echter geen betrekking op de uitvoeringsregels (bv. het vermijden van tocht tijdens de uitvoering en de nabehandeling). Voor meer informatie hieromtrent kan men de volgende publicaties raadplegen die opgenomen zijn in de literatuurlijst : [3], [4], [7] en [9].

1 PRESTATIES VAN BETON VOOR BEDRIJFSVLOEREN

In het kader van kwaliteitsbeheer is het aanbevolen een BENOR-gecertificeerd of gelijkwaardig beton te gebruiken. Een dergelijke certificatie waarborgt dat het beton in overeenstemming is met de normen NBN EN 206-1 en NBN B 15-001, maar is evenwel niet van toepassing op de uitvoering. De aannemer heeft er met andere woorden alle belang bij om hiervoor zijn eigen kwaliteitsprocedures op punt te stellen. Een specifieke controle kan zich bijvoorbeeld opdringen indien de aannemer zelf het initiatief genomen heeft om de samenstelling van het geleverde beton te wijzigen, waardoor het gecertificeerde beton zijn BENOR-label verliest.

Volgens de norm NBN EN 206-1 en haar Belgische aanvulling moet het beton gespecificeerd worden naargelang van zijn prestaties.

Specificatie van beton voor bedrijfsvloeren

Dit betekent dat men steeds – en in de juiste volgorde – de volgende gegevens moet vermelden :

- de overeenstemming met de normen NBN EN 206-1 en NBN B 15-001
- de sterkteklasse (C X/Y)
- het gebruiksdomein van het beton : gewapend, ongewapend, voorgespannen
- de omgevingsklasse (EI, EE1 tot EE4 en ES1 tot ES2); bij contact met een agressieve chemische omgeving dient men daarenboven één van de volgende omgevingsklassen aan te geven : EA1, EA2 of EA3
- de consistentieklasse : zetmaat met de Abramskegel (S1 tot S5) of schudmaat op de schoktafel (F1 tot F6)
- de nominale grootste korrelafmeting (D_{max} in mm)
- eventuele aanvullende gegevens (zie § 1.6) zoals eisen met betrekking tot :
 - het cementtype (LA, HSR, ...)
 - de wateropslorping bij onderdompeling (WAI(0,45) voor betontype T(0,45) of WAI(0,50) voor betontype T(0,50))
 - de korrelverdelingskrommen van het inerte skelet
 - het gehalte aan fijne stoffen voor beton.

Tabel 1 (p. 2) geeft een overzicht van de stappen die men dient te volgen bij de specificatie van beton volgens voornoemde normen.

1.1 STERKTEKLASSE VAN HET BETON

De sterkteklasse van het beton wordt gekozen uit de 16 klassen die opgenomen zijn in tabel 1 (p. 2).

De sterkteklasse van het beton wordt, aan de hand van de ontwerphypothesen, gespecificeerd door het studiebureau. Voor de uitvoering van bedrijfsvloeren leidt de keuze op grond van de mechanische belastingen doorgaans tot één van de volgende drie klassen :

- C20/25 : voor ongewapende en licht belaste vloeren (belastingsklasse I, zie tabel 2, p. 3) (kleine ateliers zonder zware verladingen, opslagplaatsen voor lichte goederen, ...) en voor vloeren met grotere diktes waarbij er een verhoogd risico bestaat op thermische scheurvorming tengevolge van de hydratiewarmte. Om de vorming van stof tot een minimum te beperken, moeten de betonvloeren uit deze sterkteklasse afgewerkt worden met een instrooilaag, die over het algemeen samengesteld is uit cement, kwarts en eventueel ook metalen deeltjes

- C25/30 : voor matig tot zwaar belaste vloeren (belastingsklassen II en III, zie tabel 2, p. 3) (grote ateliers, opslagplaatsen voor zware goederen, ...)
- C30/37 : voor bijzondere situaties die betere prestaties vergen omwille van de belastingsgraad of de duurzaamheidseisen. In dergelijke gevallen zal men bijvoorbeeld ook expliciet rekening moeten houden met de sterkere invloed van de krimp.

Gewapende vloeren die als dusdanig gedimensioneerd werden en staalvezelversterkte vloeren behoren minstens tot de sterkteklasse C30/37.

We willen erop wijzen dat er in de norm NBN B 15-001 uit 2004 een duidelijk verband bestaat tussen de omgevingsklasse (zie § 1.3) en de minimale sterkteklasse. Teneinde de duurzaamheid (chemische weerstand, vorstbestendigheid, weerstand tegen wapeningscorrosie) te waarborgen, kunnen omgevingsklassen opgelegd worden die leiden tot betontypes met hogere sterkteklassen.

1.2 GEBRUIKSDOMEIN VAN HET BETON

Men dient zowel voor bedrijfsvloeren uit ongewapend beton (wapeningspercentage < 0,13 % van de betondoorsnede) als voor deze uit gewapend beton een toereikend wapeningspercentage te voorzien om de belastingen tengevolge van de verhinderde betonkrimp op te nemen (wapeningspercentage begrepen tussen 0,3 en 0,4 % van de betondoorsnede).

De minimale eisen die gesteld worden aan het beton voor ongewapende bouwwerken zijn enkel van toepassing voor bouwwerken die geen corrosiegevoelig staal bevatten (wapening, staalvezels, verankeringen, ...) [1].

Voor bedrijfsvloeren uit ongewapend beton wordt ten stelligste aanbevolen om een betonkwaliteit te gebruiken voor gewapende vloerplaten, teneinde te kunnen beantwoorden aan de eisen inzake de slijtsterkte en de beperking van de stofvorming.

1.3 EISEN DIE RESULTEREN UIT DE OMGEVING VAN HET BETON

Er moet steeds één van de volgende omgevingsklassen gespecificeerd worden : EI, EE1 tot EE4 of ES1 tot ES2. De keuze van deze

Tabel 1 Algemene voorschriften voor de specificatie van beton.

Basisgegevens A : keuze van de sterkteklasse C $f_{ck,cyl}/f_{ck,cub}$ ⁽¹⁾ ⁽²⁾									
Klasse	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115	/	/
Basisgegevens B1 : keuze van het gebruiksdomein									
OB	Ongewapend beton (toegelaten chloridgehalte ten opzichte van de cementmassa $\leq 1,0$ % Cl ⁻)								
GB	Gewapend beton (toegelaten chloridgehalte ten opzichte van de cementmassa $\leq 0,4$ % Cl ⁻)								
VB	Voorgespannen beton (toegelaten chloridgehalte ten opzichte van de cementmassa $\leq 0,2$ % Cl ⁻)								
Basisgegevens B2 : keuze van de omgevingsklasse									
Klasse	Beschrijving					OB Min. sterkteklasse		GB/VB Min. sterkteklasse	
E0	Niet schadelijk (enkel van toepassing op ongewapend beton)					C12/15		n. v. toepassing	
EI	Binnenomgeving (binnenwanden van woningen of kantoorgebouwen)					C12/15		C16/20	
EE	Buitenomgeving								
EE1	Geen vorst (fundering onder de vorstgrens, ...)					C12/15		C20/25	
EE2	Vorst, maar geen contact met regen (overdekte open garage, kruipruimte, open doorgang in een gebouw, ...)					C25/30		C25/30	
EE3	Vorst en contact met regen (aan regen blootgestelde buitenmuren, ...)					C25/30		C30/37	
EE4	Vorst en dooizouten (delen van verkeersinfrastructuur, ...)					C35/45 C25/30 – A ⁽³⁾		C35/45 C30/37 – A ⁽³⁾	
ES	Zeeomgeving								
	Geen contact met zeewater, wel contact met zeelucht (tot 3 km van de kust) en/of met brak water								
ES1	Geen vorst (fundering onder de vorstgrens, blootgesteld aan brak water)					C20/25		C30/37	
ES2	Vorst (buitenmuren van gebouwen in de kuststreek, ...)					C25/30		C30/37	
	Contact met zeewater								
ES3	Ondergedompeld					C25/30		C35/45	
ES4	Getijden- en spatzone (kaaimuren, ...)					C35/45 C25/30 – A ⁽³⁾		C35/45 C30/37 – A ⁽³⁾	
EA	Agressieve omgeving (altijd in combinatie met één van de voornoemde omgevingsklassen)								
EA1	Zwak agressieve chemische omgeving					C25/30		C25/30	
EA2	Middelmatig agressieve chemische omgeving					C30/37		C30/37	
EA3	Sterk agressieve chemische omgeving					C35/45		C35/45	
Basisgegevens C : keuze van de consistentieklasse									
Klasse	Zetmaat (slump)			Klasse	Schudmaat (flow)				
S1	10 – 40 mm			F1	≤ 340 mm				
S2	50 – 90 mm			F2	350 – 410 mm				
S3	100 – 150 mm			F3	420 – 480 mm				
S4	160 – 210 mm			F4	490 – 550 mm				
S5	≥ 220 mm			F5	560 – 620 mm				
–	–			F6	≥ 630 mm				
Basisgegevens D : keuze van de nominale grootste korrelafmeting D _{max}									
D _{max} moet gekozen worden uit de volgende reeks : 6 8 10 11 12 14 16 20 22 32 40 45 63									
Aanvullende gegevens E									
Eisen met betrekking tot het cementtype, de samentelling, het verse beton, de uitvoering, het verharde beton. Voorbeelden : HSR-cement, verpompbaar beton, LA-cement, bestandheid tegen wateropsorping WAI(0,50), ...									
⁽¹⁾ $f_{ck,cyl}$ = cilinderdruksterkte (N/mm ² ; cilinder met een hoogte van 300 mm en een diameter van 150 mm). $f_{ck,cub}$ = kubusdruksterkte (N/mm ² ; kubus met een zijde van 150 mm). ⁽²⁾ Bij de keuze van de sterkteklasse dient men rekening te houden met de omgevingsklasse. ⁽³⁾ – A : beton met toevoeging van luchtbelvormers.									

Tabel 2 Belastingsklassen met voorbeelden van toepassingen in stapelruimten.

Klasse	Belasting (*)	Voorbeelden van toepassingen
I licht	$p_{nom} \leq 15 \text{ kN/m}^2$ $F_{nom} \leq 20 \text{ kN}$	– stapelrekken tot maximum 5 m hoogte – heftrucks, hefvermogen $\leq 20 \text{ kN}$ – hoogstapelaars, hefvermogen $\leq 12 \text{ kN}$ Tot deze klasse behoren doorgaans parkeergebouwen voor personenwagens en werkplaatsen voor lichte industrie.
II matig	$15 \text{ kN/m}^2 < p_{nom} < 50 \text{ kN/m}^2$ $20 \text{ kN} < F_{nom} < 100 \text{ kN}$	– stapelrekken van 5 tot 10 m hoogte – heftrucks, hefvermogen : 20 - 90 kN – hoogstapelaars, hefvermogen : 12 - 50 kN Tot deze klasse behoren veel magazijnen voor stapelgoederen.
III zwaar	$p_{nom} \geq 50 \text{ kN/m}^2$ $F_{nom} \geq 100 \text{ kN}$	– stapelrekken hoger dan 10 m – heftrucks, hefvermogen $\geq 90 \text{ kN}$ – bijzondere voertuigen (bv. vliegtuigen) Tot deze klasse behoren doorgaans gebouwen voor bulkopslag, magazijnen met hoge stapelrekken en werkplaatsen voor zware industrie.

(*) p_{nom} : gelijkmatig verdeelde belasting, nominale waarde.
 F_{nom} : puntlasten, nominale waarde
hefvermogen van heftrucks, hoogstapelaars, ...
wiellast voor andere voertuigen.

omgevingsklasse is gebaseerd op de voorziene gebruiksomstandigheden van de vloerplaat (zie tabel 1, p. 2).

Vloeren die – uitgezonderd tijdens hun reiniging – normaalgesproken droog blijven, behoren tot de omgevingsklasse EI, voor zover ze beschut zijn tegen vorst. Vloeren die regelmatig bevochtigd worden, behoren tot de omgevingsklasse EE3 ⁽¹⁾. Voor vloeren die permanent bevochtigd worden, is de omgevingsklasse EE1 van toepassing. Als ze daarenboven blootgesteld worden aan vorst, behoren ze tot de klasse EE3.

Overdekte parkings die zowel blootgesteld kunnen worden aan vorst als aan dooizouten (door de doortocht van wagens) behoren tot de omgevingsklasse EE4. Wanneer dergelijke vloeren gevlinderd worden (met of zonder instrooilaag), is het gebruik van luchtbelvormers afgeraden. De microscopische belletjes zouden zich door het vlinderen immers kunnen samenvoegen tot grotere bellen, waardoor er een risico ontstaat op de onthechting van de toplaag.

Bij contact met een agressieve chemische omgeving dient men daarenboven een bijkomende klasse EA1, EA2 of EA3 aan te geven, al naargelang van de agressiviteit (zie tabel 3).

Tabel 3 Grenswaarden van de milieuklassen die overeenstemmen met de chemische aantasting door de natuurlijke grond en het grondwater (vrije vertaling van de NBN EN 206-1).

De hierna opgenomen chemisch agressieve omgevingen hebben betrekking op natuurlijke grond en op grondwater, bij een water-/grondtemperatuur begrepen tussen 5 en 25 °C en waarbij de watersnelheid voldoende zwak is om gelijkgesteld te worden met statische condities. De keuze van de klasse gebeurt, rekening houdend met de chemische karakteristiek die leidt tot de sterkste agressiviteit. Wanneer minstens twee agressieve karakteristieken tot eenzelfde klasse leiden, moet de omgeving ingedeeld worden in de onmiddellijk hogere klasse, tenzij een specifieke studie aangetoond heeft dat dit niet noodzakelijk is.

Omgevingsklasse		EA1	EA2	EA3
Chemische karakteristiek	Referentiemethode	XA1	XA2	XA3
Oppervlakte- en grondwater				
Sulfaten (in mg SO ₄ ²⁻ /l)	EN 196-2	≥ 200 en ≤ 600	> 600 en ≤ 3000	> 3000 en ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 en ≥ 5,5	< 5,5 en ≥ 4,5	< 4,5 en ≥ 4,0
Kalkoplossend koolstofdioxide (in mg CO ₂ /l)	prEN 13577:1999	≥ 15 en ≤ 40	> 40 en ≤ 100	> 100 tot verzadiging
Ammonium (in mg NH ₄ ⁺ /l)	ISO 7150-1 ou ISO 7150-2	≥ 15 en ≤ 30	> 30 en ≤ 60	> 60 en ≤ 100
Magnesium (in mg Mg ₂ ⁺ /l)	ISO 7980	≥ 300 en ≤ 1000	> 1000 en ≤ 3000	> 3000 tot verzadiging
Grond				
Sulfaten (in mg SO ₄ ²⁻ /kg) ⁽¹⁾ totaal	EN 196-2 ⁽²⁾	≥ 2000 en ≤ 3000 ⁽³⁾	> 3000 ⁽³⁾ en ≤ 12000	> 12000 en ≤ 24000
Zuurtegraad (in ml/kg)	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	Niet aangetroffen in de praktijk	

⁽¹⁾ Kleigrond met een doorlaatbaarheid kleiner dan 10⁻⁵ m/s mag in een lagere klasse geplaatst worden.

⁽²⁾ De proefmethode schrijft de extractie van het SO₄²⁻ met zoutzuur voor. Het is eveneens mogelijk deze extractie uit te voeren met water, indien dit de gewoonte is op de plaats waar het beton gebruikt wordt.

⁽³⁾ De grenswaarde moet beperkt worden van 3000 mg/kg tot 2000 mg/kg, indien er een risico op ophoping van sulfaationen in het beton bestaat tengevolge van de afwisseling van droge en vochtige perioden of door opstijgend grondvocht.

⁽¹⁾ Een omgeving met een opeenvolging van vochtige en droge perioden leidt tot een verhoogd risico op corrosie door carbonatatie. De milieuklasse XC4 is van toepassing in geval van een betontype T(0,50). Als men de omgevingsklassen wil gebruiken, dient men de omgevingsklasse EE3, die tot hetzelfde betontype leidt, te beschouwen.

In de TV 204 wordt voor een aantal stoffen een benaderende waarde gegeven voor de graad van agressiviteit. Het gaat hier louter om richtwaarden, vermits ook de concentratie een invloed heeft op de graad van agressiviteit (zie tabel 4).

Deze omgevingsklassen stemmen overeen met welbepaalde betontypes die niet alleen gelinkt zijn aan een minimaal cementgehalte en een maximale W/C-factor, maar ook aan een minimale sterkteklasse. Hierdoor is het dus mogelijk dat er een hogere sterkteklasse vereist wordt dan deze, opgelegd voor de mechanische sterkte.

Indien de bodem blootgesteld is aan een vochtige omgeving waarin vorst-dooicycli kunnen optreden, dient men gebruik te maken van vorstbestendige granulaten, overeenkomstig de voorschriften uit de norm NBN EN 12620 (2002). De vormcoëfficiënt/vlakheidsindex van de granulaten moet minstens behoren tot klasse B (NBN EN 933-4 (2008) / EN 933-3 (1997)).

1.4 BETONCONSISTENTIE TIJDENS DE UITVOERING

Om de snelle en gemakkelijke uitvoering te waarborgen van een beton dat aan een hoog tempo (verpompings) geleverd wordt, is een bijzondere verwerkbaarheid vereist. Deze wordt gekarakteriseerd door een consistentie die uitgedrukt wordt volgens luik C van tabel 1 (p. 2).

De te gebruiken betonconsistentie is van cruciaal belang voor bedrijfsvloeren. Gelet op de eenvoudige controlemethode is het raadzaam om op de bouwplaats regelmatig over te gaan tot een nazicht van de betonconsistentie. Indien de betonconsistentie op het moment van de levering niet in overeenstemming is met de bestelde klasse, moet de levering geweigerd worden.

Voor het beton dat zich nog in de betonmolen bevindt, kan de leverancier evenwel – op eigen verantwoordelijkheid – beslissen om de vloeibaarheid te verhogen [1], op voorwaarde dat de maximaal toegelaten W/C-factor en het maximale gehalte aan hulpstoffen niet overschreden worden en er een meettoestel voorhanden is waarmee de consistentie gecontroleerd kan worden.

Indien de aannemer – op eigen verantwoordelijkheid – beslist om water of hulpstoffen toe te voegen aan het geleverde mengsel, zal hij niet langer gebruik mogen maken van het BENOR-label om de kwaliteit van het beton te declareren.

Voor bedrijfsvloeren in een binnenomgeving maakt men doorgaans gebruik van een beton van de consistentieklasse S3 of S4.

Tabel 4 Agressiviteit van een aantal zuren (richtwaarden) ten opzichte van beton.

	Product	Voorbeeld	Graad van agressiviteit volgens de concentratie
Anorganische zuren	Zwavelzuur	Autobatterijen	EA3
	Salpeterzuur	Etsen	EA3
	Fosforzuur	Meststoffen	EA2
	Chloorwaterstofzuur	Chemische industrie	EA3
	Zwaveligzuur	Anaëroob gistend rioolwater	EA3
	Koolzuur	Spuitwater, brouwerijen (gisting)	EA1
Organische zuren (*)	Melkzuur	Melkerijen, kaasmakerijen, looierijen, raffinaderijen, ververijen, limonadefabrieken	EA2
	Aziijnzuur	Aziijn, mosterd, wijn	EA2
	Citroen- en appelzuur	Fruitsap, limonade, parfumerie	EA2
	Mierenzuur	Looierijen	EA2
	Looizuur	Bakken voor het wassen van huiden, looierijen, ververijen, fotografie, farmacie	EA2
	Boterzuur	Boter, looierijen, ververijen	EA2
	Humuszuur	Moerassen, venen, rioolwater	EA2
	Fenolzuur	Kleurstoffen, bepaalde teer- en steenkoololiën	EA2 of EA3
	Urinezuur	Stallen, urinoirs	EA3
	Oliezuur	Dierlijke en plantaardige oliën en vetten	EA2
	Glycerine		EA2
	Suiker en melasse		Droge suiker : EA1 Suikeroplossing : EA2
(*) Doorgaans afkomstig van de gisting van producten die niet noodzakelijk schadelijk zijn.			

De verdichtingsenergie voor de uitvoering van het beton vermindert naarmate de vloeibaarheid ervan toeneemt. Naargelang van de beschikbare verdichtingsmiddelen zal het beton tot één van de volgende consistentieklassen behoren :

- S1/S2 (*slump* van 10 tot 50 mm) voor beton dat uitgevoerd wordt met een *slipform-paver*
- S2 voor beton dat getrild wordt met behulp van een krachtig toestel (voorbehouden voor grote bouwplaatsen)
- S3 voor manueel uitgespreid beton, eventueel verdicht met een trilbalk. In bepaalde gevallen kan het bijkomende gebruik van een trilnaald noodzakelijk zijn (waarbij voldoende rekening moet gehouden worden met de invloedsdiameters, zie [7])
- S4 of S5 voor manueel uitgespreid en met de regel getrokken beton. Het beton mag eventueel met de trilbalk verdicht worden in plaats van met de regel.

Gewapend en ongewapend beton moeten verdicht worden door trilling. Hierbij mag er evenwel geen segregatie ontstaan.

De verdichting door trilling van een vezel-gewapend beton uit de consistentieklasse S4 wordt afgeraden.

We willen erop wijzen dat naarmate de verwerkbaarheid van het beton hoger is ook het risico op segregatie toeneemt. De klasse S5 wordt dus afgeraden.

1.5 NOMINALE GROOTSTE KORRELAFMETING D_{max}

Deze karakteristiek is afhankelijk van de dikte van het uit te voeren betonelement en van de afstand tussen de eventuele wapeningsstaven. Deze waarde moet gekozen worden uit de waarden, opgenomen in luik D van tabel 1 (p. 2).

Gewoonlijk wordt de D_{max} -waarde beperkt tot :

- 1/5 van de plaatdikte
- 3/4 van de kleinste afstand tussen de wapeningsstaven (in geval van gelaste wapeningen : 1,5 maal de kleinste afstand)
- de betondekking.

Voor steenslag is D_{max} gewoonlijk gelijk aan 20 mm, voor grind stemt D_{max} doorgaans overeen met 32 mm. Beton zou een continue korrelverdeling moeten hebben en moet beantwoorden aan de voorschriften uit de volgende paragraaf.

1.6 BIJKOMENDE AANBEVELINGEN MET BETREKKING TOT DE BETONSAMENSTELLING

Teneinde het uitzweten, de segregatie en de plastische krimp van het beton te voorkomen en de duurzaamheid ervan te verbeteren, is het raadzaam een aantal maatregelen in acht te nemen met betrekking tot:

- de korrelverdeling van het beton en het gehalte aan fijne stoffen
- de aard van het gebruikte cement.

1.6.1 Korrelverdeling en gehalte aan fijne stoffen

Om het risico op segregatie en uitzweten tot een minimum te beperken, dient men een stabiel beton te gebruiken. Dit vereist bijzondere aandacht voor de korrelverdeling en het gehalte aan fijne stoffen.

De korrelverdeling moet zo continu mogelijk zijn. Afhankelijk van het grulaatype (grind of steenslag) en de grootste korrelafmeting moet de korrelverdeling van de inerte granulaten ($\geq 63 \mu\text{m}$) zich situeren tussen de grenswaarden, die aangegeven worden in afbeelding 1. Deze toont aan dat de zandfractie, begrepen tussen 63 en 250 μm , begrensd moet worden (gehalte begrepen tussen 4 en 8 %), vermits deze het gebruik van een grote hoeveelheid aanmaakwater vereist en slechts een gering stabiliserend effect heeft.

Het gehalte aan fijne stoffen ($d < 250 \mu\text{m}$), waarvan het cement en het zand deel uitmaken, moet voldoende hoog zijn om de stabiliteit en de verpompaarheid van het beton te waarborgen. Naargelang van de grootste nominale korreldiameter zal dit gehalte variëren, zoals aangegeven in tabel 5. Het minimale cementgehalte is afhankelijk van de omgevingsklasse.

Om te beantwoorden aan de eis inzake het minimale gehalte aan fijne stoffen kan men overgaan tot de toevoeging van een zekere hoeveelheid cement of van toevoegsels die ofwel inert zijn (type I - bijvoorbeeld kalksteenfillers), ofwel puzzolaan of latent hydraulisch (type II - bijvoorbeeld vliegassen). De toevoeging van fijne stoffen vergt een grotere hoeveelheid aanmaakwater, waardoor ook de W/C-factor toeneemt. Het minimale cementgehalte kan in bepaalde gevallen verminderd worden in aanwezigheid van vliegassen. Voor de berekening van de W/C-factor en van het minimale cementgehalte kan men de vliegassen beschouwen als een gedeeltelijk vervangmiddel voor het cement, overeenkomstig de beperkingen uit de norm NBN B 15-001 (§ 5.2.5.2.2).

Inerte toevoegsels mogen niet beschouwd worden als vervangmiddel voor het cement en oefenen bijgevolg enkel een stabiliserende functie uit.

1.6.2 Keuze van het cement

Indien de vloer regelmatig of permanent bevochtigd wordt, wordt het gebruik van een LA-cement (*low alkali*) aanbevolen om het risico op een alcali-silicareactie te beperken.

Het gebruik van een HSR-cement (*high sulfate resisting*) is aangewezen indien de vloer blootstaat aan sulfaten (sulfaatgehalte $> 500 \text{ mg/kg}$ in water of $> 3000 \text{ mg/kg}$ in de grond), en dit teneinde het risico op schade tengevolge van de aantasting door sulfaten tegen te gaan.

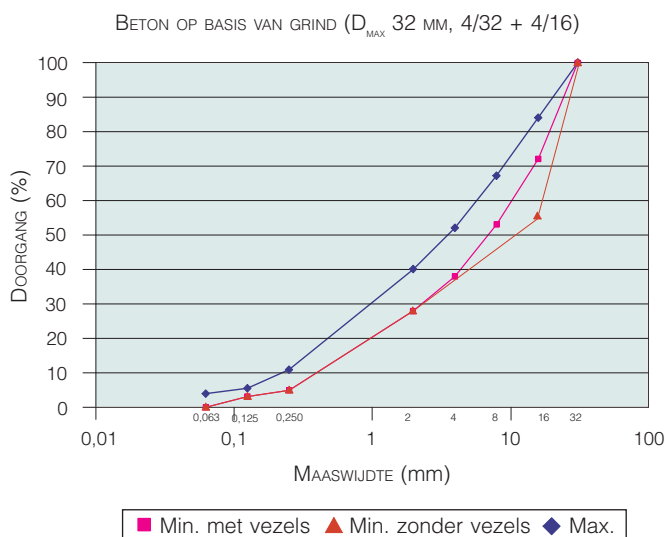
De keuze van het cement wordt niet zozeer bepaald door de gewenste uiteindelijke sterkte, maar veeleer door de klimaatvoorwaarden tijdens de uitvoering, de geometrie van de bodem, de uitvoeringswijze en de afwerkings-techniek.

Tabel 5 Gehalte aan fijne stoffen naargelang van de nominale grootste korreldiameter.

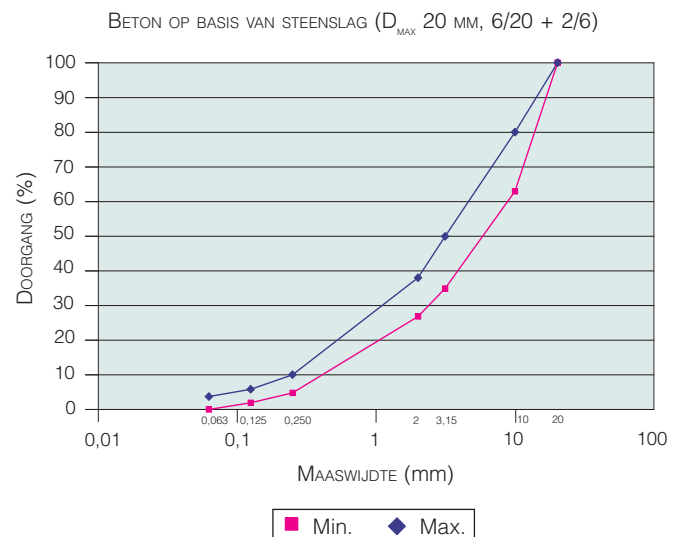
D_{max} (mm)	Minimaal gehalte aan fijne stoffen (kg/m^3 beton) $d < 250 \mu\text{m}$
8	525
16	450
20	425
32	400

Bij de keuze van de cementklasse dient men voldoende rekening te houden met de temperatuur. In geval van gemiddelde temperaturen (5 tot 25 °C) dient men voor het bekomen van een beton C25/30 of meer, gebruik te maken van een cement van klasse 42,5. Dergelijke cementsoorten vertonen een redelijk snelle binding en verharding en laten een afwerking binnen een aanvaardbare termijn toe. In geval van hogere temperaturen ($T > 25 \text{ °C}$) geeft men de voorkeur aan cementsoorten die minder klinker bevatten, teneinde het risico op scheurvorming tengevolge van de hydratatiewarmte te vermijden. Het gebruik van een cement CEM I, en zelfs van een cement CEM II/A, is met andere woorden afgeraden. Men zou daarentegen wel gebruik kunnen maken van een cement van klasse 32,5. Verder is het noodzakelijk om het cement te beschermen tegen voortijdige uitdroging.

In geval van lage omgevingstemperaturen ($T < 5 \text{ °C}$) zou men in principe een cement van klasse 52,5 kunnen gebruiken. Gelet op het risico op vorstschade is het bij dergelijke omgevingsvoorwaarden echter raadzaam om geen afwerking aan te brengen. De afwerking van dergelijke 'snelle' cementtypes is bovendien een stuk moeilijker.



Afb. 1 Aanbevolen korrelverdeling voor beton.



1.6.3 Staalvezelversterkt beton

Indien er aan de productie-eenheid vezels met een ATG-certificaat toegevoegd worden, kan het beton geleverd worden met het BENOR-merk. Op de leveringsbon moet duidelijk aangegeven zijn welk vezeltype gebruikt werd, welke hoeveelheid precies toegevoegd werd en wat het nummer van het ATG-certificaat is. We willen er echter wel op wijzen dat het BENOR-merk geen garanties inhoudt voor wat betreft de mechanische karakteristieken van vezelgewapend beton.

In het kader van kwaliteitsbeheer heeft de aanvrager er dus alle belang bij om zijn eigen kwaliteitsprocedures op punt te stellen, met name voor wat betreft de controle van de vezelhoeveelheid en de homogene verdeling ervan.

Bij gebrek aan een eigen procedure, wordt aanbevolen de volgende procedure te hanteren :

- per te controleren betonmolen neemt men twee betonstalen van minstens 8 liter. Het eerste staal wordt genomen bij het begin van het storten, het tweede aan het einde van het storten
- er worden minstens 6 betonmolens gecontroleerd. De verdeling van de controles over de verschillende betonmolens en het totale aantal staalnames worden contractueel vastgelegd.

De staalvezelconcentratie wordt gecontroleerd door de betonstalen af te wassen. De gemiddelde hoeveelheid vezels, berekend over minstens zes proefstalen, mag niet lager zijn dan de voorgeschreven waarde, verminderd met 4 kg/m³. Geen enkele van de individuele waarden mag lager zijn dan de voorgeschreven waarde, verminderd met 9 kg/m³.

1.6.4 Afwezigheid van luchtbelvormers voor een gevulder beton

De microscopische belletjes in het beton kunnen zich door het vliedersamenvoegen tot grotere bellen en zo de duurzaamheid aantasten. Hun aanwezigheid kan bovendien aanleiding geven tot de onthechting van de slijtlaag.

1.6.5 Bestandheid tegen waterabsorptie

Om de duurzaamheid te verhogen, kan men in de omgevingsklassen EE3, EE4, ES1, ES2, EA2 of EA3 (betontypes T(0,45) en T(0,50)) het gebruik van een beton met een beperkte waterabsorptie opleggen (bepaald volgens de norm NBN B 15-215 (1989)).

De klasse WAI(0,50) kan aldus gevraagd worden voor de omgevingsklassen EE3, ES1, ES2 en EA2, terwijl de klasse WAI(0,45) gevraagd kan worden voor de omgevingsklassen EE4 en EA3. Bij gebruik van luchtbelvormers dient men de klassen WAI(0,45A) of WAI(0,50A) te beschouwen.

2 SPECIFICATIE VAN BETON VOOR BEDRIJFSVLOEREN

2.1 MEEST COURANTE GEVALLEN

Tabel 6 (p. 7) geeft bij wijze van voorbeeld een overzicht van courante betonspecificaties die van toepassing zijn voor bedrijfsvloeren die niet blootgesteld zijn aan een chemische aantasting.

2.2 SPECIFIEK VOORBEELD

We beschouwen het geval van een bedrijfsvloer die uitgevoerd wordt in een bedrijf waar azijn gebotteld wordt. De vloer moet slechts weerstand bieden aan zwakke belastingen, maar kan wel in contact komen met azijn (tabel 7, p. 7).

Bij gebrek aan verdere gegevens met betrekking tot de concentratie en de pH van het zuur, kan men in dit geval voor de keuze van de klasse van chemische aantasting gebruik maken van tabel 4 (p. 4). Hieruit blijkt dat we ons bevinden in een chemisch middelmatig agressieve omgeving (klasse EA2).

Deze omgevingsklasse EA2 moet bijkomend aangegeven worden bij de binnenomgevingsklasse EI. Indien de vloer daarenboven zeer vaak gereinigd zou worden met water, bestaat

er een groot risico op corrosie door carbonatie, en zou men in plaats van de klasse EI de klasse EE3 moeten voorschrijven. De eisen inzake de samenstelling zullen hierdoor echter niet wijzigen, behalve dan dat men in aanwezigheid van water beter zijn toevlucht neemt tot een LA-cement (*low alkali*).

Vermits we ons bevinden in aanwezigheid van een omgevingsklasse EA2, bestaat de mogelijkheid om een beton met een beperkte waterabsorptie door onderdamping WAI(0,50) te eisen.

3 BETON VOOR DEKVLOEREN

Rekening houdend met hun geringe dikte worden hechtend uitgevoerde industriële dekvloeren doorgaans gerealiseerd met beton met een beperkte $D_{\max}$ (10 tot 14 mm). Dit type beton wordt 'microbeton' genoemd en kan in principe gespecificeerd worden volgens zijn prestaties. In dit geval is de in § 1 opgenomen informatie van toepassing.

Dekvloeren worden soms uitgevoerd met behulp van een beton dat de consistentie heeft van vochtige, niet-verpompbare grond die aangemaakt werd op de bouwplaats. Voor dergelijke betonsamenstellingen dient men rekening te houden met de volgende richtlijnen :

- het cementgehalte mag niet hoger zijn dan 400 kg/m³ beton. Een cementgehalte van 300 tot 350 kg/m³ wordt courant toegepast
- de granulaten hebben een continue korrelverdeling en hun maximale kaliber is niet groter dan 1/5 van de laagdikte. Om de continuïteit van de korrelverdeling te waarborgen, wordt het zand (bij voorkeur Rijnzand) gemengd met een middelgroot granulaat, eventueel grind 4/6 (of 8) (kift) of steenslag 2/6 (of 8)
- de consistentie moet zo droog mogelijk zijn, rekening houdend met de beschikbare verdichtingsmiddelen.

Aan het beton kunnen eventueel nog staalvezels, kunststofvezels en hulpstoffen (bv. plastificeers) toegevoegd worden. ■

Tabel 6 Voorbeelden van courante betonspecificaties voor bedrijfsvloeren.

Afwerking van de slijtlaag	Belastings-klasse	Gebruik	Specificaties voor beton voor bedrijfsvloeren (het beton is in overeenstemming met de normen NBN EN 206-1 en NBN B 15-001)					
			Sterkte-klasse	Gebruiks-domein	Omgevings-klasse	Consistentie-klasse	D _{max} ⁽¹⁾	Bijkomende eisen
Getrokken met de regel zonder instrooi-laag	I	Binnen zonder water	C25/30	BA	EI	F3/S3 F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾
		Parking	C30/37 ⁽²⁾ ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾		EE4 ⁽⁵⁾			Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾ WAI(0,45) of WAI(0,45A) ⁽⁶⁾ Luchtbelvormers ⁽⁶⁾ Andere ⁽⁴⁾
	II/III	Binnen zonder water	C25/30 C30/37	BA	EI	F3/S3 F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾
		Parking	C30/37 ⁽²⁾ ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾		EE4 ⁽⁵⁾			Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾ WAI(0,45) of WAI(0,45A) ⁽⁶⁾ Luchtbelvormers ⁽⁶⁾ Andere ⁽⁴⁾
Gevlinderd zonder instrooi-laag	I	Binnen zonder water	C25/30	BA	EI	F3/S3 F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾
		Parking	C35/45 ⁽²⁾ ⁽⁵⁾		EE4 ⁽⁵⁾			Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾ WAI(0,45) Andere ⁽⁴⁾
	II/III	Binnen zonder water	C25/30 C30/37	BA	EI	F3/S3 F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾
		Parking	C35/45 ⁽²⁾ ⁽⁵⁾		EE4 ⁽⁵⁾			Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾ WAI(0,45) Andere ⁽⁴⁾
Gevlinderd met instrooi-laag	I	Binnen zonder water	C20/25 ⁽³⁾ C25/30	BA	EI	F3/S3 F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾
		Parking	C35/45 ⁽²⁾ ⁽⁵⁾		EE4 ⁽⁵⁾			Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾ WAI(0,45) Andere ⁽⁴⁾
	II/III	Binnen zonder water	C25/30 C30/37	BA	EI	F3/S3 F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾
		Parking	C35/45 ⁽²⁾ ⁽⁵⁾		EE4 ⁽⁵⁾			Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ⁽¹⁾ WAI(0,45) Andere ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Controleren of de regels uit § 1.6.1 gerespecteerd werden.

⁽²⁾ Deze sterkteklasse is verbonden met de omgeving, meer bepaald met de aanwezigheid van doorzouten.

⁽³⁾ Enkel voor de slijtageklasse Ia.

⁽⁴⁾ Bijvoorbeeld LA-cement in aanwezigheid van water en HSR-cement in aanwezigheid van sulfaten (zie § 1.6.2).

⁽⁵⁾ In geval van slechts zeer occasionele doortocht van wagens met doorzouten, volstaan een sterkteklasse C30/37 en een omgevingsklasse EE2. De klasse WAI(0,45) is dan niet meer van toepassing.

⁽⁶⁾ Het gebruik van luchtbelvormers is niet verplicht. Indien men dergelijke producten toepast, geldt een sterkteklasse van C30/37 en een absorptieklasse WAI(0,45A) in plaats van WAI(0,45).

Tabel 7 Specificaties voor een gevlinderd beton met een instrooi-laag van belastingsklasse II in een chemisch middelmatig agressieve omgeving.

Afwerking van de slijtlaag	Belastings-klasse	Gebruik	Specificatie voor beton voor bedrijfsvloeren (het beton is in overeenstemming met de normen NBN EN 206-1 en NBN B 15-001)					
			Sterkte-klasse	Gebruiks-domein	Omgevings-klasse	Consistentie-klasse	D _{max} ⁽¹⁾	Bijkomende eisen
Gevlinderd met instrooi-laag	I	Binnen in aanwezigheid van azijnzuur	C30/37	BA	EI + EA2	F3/S3 of F4/S4	20 (steenslag) of 32 (grind)	Korrelverdeling/gehalte fijne stoffen ^(*) WAI(0,50) LA-cement in aanwezigheid van water

^(*) Controleren of de regels uit § 1.6.1 gerespecteerd werden.



LITERATUURLIJST

1. Bureau voor Normalisatie
NBN B 15-001 Aanvulling op NBN EN 206-1. Beton. Specificaties, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. Brussel, NBN, 2004.
2. Bureau voor Normalisatie
NBN EN 206-1 Beton. Deel 1 : specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. Brussel, NBN, 2001.
3. Federatie van de Belgische Cementnijverheid.
Cementgebonden bedrijfsvloeren (1). Ontwerp. Dimensionering. Brussel, Febelcem, Dossier Cement nr. 23, november 2000.
4. Federatie van de Belgische Cementnijverheid.
Cementgebonden bedrijfsvloeren (2). Uitvoering. Brussel, Febelcem, Dossier Cement nr. 24, december 2000.
5. Pollet V., Apers J. en Desmyter J.
Nieuwe normen voor beton (deel 1). Brussel, WTCB, WTCB-Dossiers, Nr. 3/2004, Katern nr. 4, 2004.
6. Pollet V., Apers J. en Desmyter J.
Nieuwe normen voor beton (deel 2). Brussel, WTCB, WTCB-Dossiers, Nr. 3/2005, Katern nr. 6, 2005.
7. Pollet V., Apers J. en Jacobs J.
Betonverdichting door trilling. Brussel, WTCB, WTCB-Tijdschrift, nr. 2, 2003.
8. Pollet V. en Desmyter J.
Beton voorschrijven volgens NBN B 15-001 en NBN EN 206-1. Brussel, WTCB, WTCB-Dossiers, Nr. 2/2006, Katern nr. 10, 2006.
9. Pollet V. en Jacobs J.
Beton nabehandelen. Brussel, WTCB, WTCB-Dossiers, Nr. 1/2004, Katern nr. 4, 2004.
10. Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
Cementgebonden bedrijfsvloeren. Brussel, WTCB, Technische Voorlichting, nr. 204, 1997.