

Specificatie van beton volgens de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001



INHOUDSTAFEL

De specificatie van “traditioneel” beton.....	2
De specificatie van zelfverdichtend beton.....	13
De specificatie van beton voor diepwanden.....	15

Auteurs: Julie Piérard, Vinciane Dieryck, Bram Dooms, Valérie Pollet

Document, opgesteld in 2018 in het kader van de Normen Antenne « Beton, mortel en granulaten », gesubsidieerd door de FOD Economie.

De specificatie van “traditioneel” beton

1 SPECIFICATIE VAN BETON IN HET KORT

Beton kan op twee manieren gespecificeerd worden:

- ofwel volgens een welbepaalde samenstelling. Voor beton met een welbepaalde samenstelling dient de voorschrijver zich ervan te vergewissen dat de samenstelling aan de verwachtingen of de gestelde prestatie-eisen zal voldoen, zowel van het vers als verhard beton, en dat het beton conform is aan deze normen. Deze methode vereist een grondige kennis van betontechnologie en van de eigenschappen van de beschikbare materialen. Hierom wordt deze methode niet aangeraden.
- ofwel op basis van gespecificeerde eigenschappen, in de vorm van verwachte prestatie-eisen. De specificatie van beton met gespecificeerde eigenschappen is de enige methode die toelaat beton te verkrijgen onder het BENOR-merk.

De specificatie van **beton met gespecificeerde eigenschappen** moet de volgende elementen bevatten (te vermelden op de bestelbon):

- de algemene basiseis: het beton dient te voldoen aan de normen NBN EN 206:2013+A1:2016 en NBN B 15-001:2018;
- andere basiseisen:
 - de sterkteklasse (A);
 - het gebruiksdomein (B1);
 - de omgevingsklasse(n) (B2). Eventueel kan men ook de pertinente milieuklassen specificeren, maar de voorkeur gaat uit naar de omgevingsklassen;
 - de consistentieklasse (C);
 - de grootste korrelafmeting (D);
- eventueel aanvullende eisen (E), zoals:
 - de verpompbaarheid van het beton;
 - het preventieniveau voor de alkali-silica reactie;
 - een beperkt luchtgehalte voor gepolierde of voorgedraaide vloeren;
 - het cementtype (cement met hoge bestandheid tegen sulfaten overeenkomstig de norm NBN B 12-108, ...);
 - het gebruik van luchtbelvormers;
 - wateropslorping door onderdompeling (WAI);
 - een striktere chloridegehalteklasse dan deze van toepassing voor gebruik in de Belgische context.

Tabel 1 geeft aan welke stappen te volgen zijn bij de specificatie van beton.

Tabel 1: Algemene bepalingen voor de specificatie van beton

Beton conform de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001									
Basiseis A: Keuze van de sterkteklasse C $f_{ck, cyl}/f_{ck, cube}^{(1) (2)}$									
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	
Basiseis B1: Keuze van het gebruiksdomein									
OB	Ongewapend beton (chloride-ionengehalte in verhouding tot de cementmassa $\leq 1,00\%$)								
GB	Gewapend beton (chloride-ionengehalte in verhouding tot de cementmassa $\leq 0,40\%$)								
VB	Voorgespannen beton (chloride-ionengehalte in verhouding tot de cementmassa $\leq 0,20\%$)								
Basiseis B2: Keuze van de omgevingsklasse									
Klasse	Beschrijving					OB Minimale sterkteklasse	GB/VB Minimale sterkteklasse		
	Niet agressieve omgeving								
E0						C12/15	Niet van toepassing		
	Droge binnenomgeving								
EI						C12/15	C16/20		
	Buitenomgeving of vochtige binnenomgeving								
EE1	Geen vorst					C12/15	C20/25		
EE2	Vorst maar geen contact met regen					C25/30	C25/30		
EE3	Vorst en contact met regen					C30/37 C20/25 ⁽³⁾	C30/37 C25/30 ⁽³⁾		
EE4	Vorst en dooizouten					C35/45 C25/30 ⁽³⁾	C35/45 C30/37 ⁽³⁾		
	Zeeomgeving								
ES1	Contact met zeelucht (tot 3 km van de kust) of brak water – geen vorst					C20/25	C30/37		
ES2	Contact met zeelucht (tot 3 km van de kust) of brak water – met vorst					C30/37 C20/25 ⁽³⁾	C30/37 C25/30 ⁽³⁾		
ES3	Contact met zeewater – ondergedompelde elementen					C25/30	C35/45		
ES4	Contact met zeewater – elementen in de getijden- of spatzone					C35/45 C25/30 ⁽³⁾	C35/45 C30/37 ⁽³⁾		
	Chemisch agressieve omgeving (steeds in combinatie met een van de hiervoor vermelde omgevingsklassen)								
EA1	Zwakke chemische agressiviteit					C25/30	C25/30		
EA2	Middelmatige chemische agressiviteit					C30/37	C30/37		
EA3	Sterke chemische agressiviteit					C35/45	C35/45		
Basiseis C: Keuze van de consistentieklasse									
Klasse					Zetmaat [mm]				
S1					10 tot 40				
S2					50 tot 90				
S3					100 tot 150				
S4					160 tot 210				
S5					≥ 220				
Basiseis D: Keuze van de grootste korrelafmeting									
6	8	10	11	12	14	16	20	22	32
Aanvullende eisen E									
Maatregelen tegen de alkali-silica reactie: Preventieniveau (PREV)									
PREV 1	Bouwelementen waarbij de gevolgen van ASR beperkt zijn (ongewapend beton, beton bekleed met een coating)								
PREV 2 (standaard)	Bouwelementen waarbij de gevolgen van ASR weinig aanvaardbaar zijn (bv. constructief beton)								
PREV 3	Bouwelementen waarbij de gevolgen van ASR niet aanvaardbaar zijn (bv. infrastructuurwerken)								
Al dan niet verpompt beton									
Luchtgehalte van 3,0 % op vers beton voor voorgedraaide of gepolierde vloeren									
Andere voorbeelden: wateropsorping door onderdompeling WAI, cementtype (bv. cement met hoge bestandheid tegen sulfaten volgens NBN B 12-108), een ander cementgehalte dan voorzien voor de omgevingsklassen, beton met ingebrachte lucht, chloridegehalteklasse lager dan deze van toepassing, ...									
⁽¹⁾ $f_{ck, cyl}$ = cilinderdruksterkte ([N/mm ²], cilinder met hoogte van 300 mm en diameter van 150 mm) $f_{ck, cub}$ = kubusdruksterkte ([N/mm ²], kubus met zijde van 150 mm)									
⁽²⁾ Bij de keuze van de sterkteklasse dient rekening gehouden te worden met de omgevingsklasse									
⁽³⁾ Beton met ingebrachte lucht									

2 MEER IN DETAIL

2.1 Drukterkteklasse van beton

Men kiest de sterkteklasse van het beton uit de 16 klassen, gegeven in tabel 1. Elke klasse wordt aangeduid met de letter C, gevolgd door de karakteristieke druksterkte op cilinder- en kubus:

$$C_{f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}}$$

(bv. C25/30, C30/37, ...)

De twee getallen zijn belangrijk: $f_{ck,cyl}$ wordt aangewend voor de berekening van de betonstructuur (op cilinders met diameter van 150 mm en hoogte van 300 mm); $f_{ck,cube}$ wordt aangewend voor de kwaliteitscontrole (kubussen met zijde van 150 mm zijn makkelijker in het gebruik). De karakteristieke sterkte is het resultaat van de statistische analyse van een reeks testresultaten. Voor een gegeven beton wordt de karakteristieke sterkte gedefinieerd als de minimale druksterkte na 28 dagen die door 95 % van de populatie van alle mogelijke druksterktemetingen voor het desbetreffende beton wordt behaald (95 %-fractiel). Ze wordt uitgedrukt in MPa of in N/mm². In specifieke gevallen (bv. voor mas-sieve bouwwerken) kan men de karakteristieke druksterkte specificeren voor een andere ouderdom dan 28 dagen. In voorkomend geval voegt men aan de druksterkteklasse de overeenkomstige ouderdom toe, uitgedrukt in dagen (bv. C30/37 (56d)).

Deze sterkteklassen gelden voor normaal en zwaar beton. Voor licht beton gebruikt men andere sterkteklassen, aangegeven met de letters LC in plaats van C.

De sterkteklasse wordt bepaald door de ontwerper op basis van berekeningen. De rekenregels van de Eurocode 2 zijn van toepassing op beton van sterkteklassen tot en met C90/105. Gezien de hoogste sterkteklasse C100/115 is, dekken de NBN EN 206 en NBN B 15-001 niet het ultrahogesterktebeton (UHSB) die wordt gekenmerkt door een gemiddelde druksterkte van meer dan 120 MPa na 28 dagen.

In de NBN B 15-001 wordt een verband gelegd tussen de omgevingsklasse en de minimale sterkteklasse (zie §2.3.). Om de duurzaamheid (chemische bestandheid, bestandheid tegen vorst en tegen wapeningscorrosie) te verzekeren kunnen omgevingsklassen opgelegd worden, die leiden tot een hogere sterkteklasse dan voorzien in het ontwerp. In voorkomend geval dient men het ontwerp aan te passen (de berekening van de minimale wapening en van de scheuropeningen).

2.2 Gebruiksdomein van beton

Het gebruiksdomein duidt aan of beton ongewapend, gewapend of voorgespannen is. Dit onderscheid is van essentieel belang vermits ongewapend beton aan minder aantastingsmechanismen onderhevig is dan gewapend of voorgespannen beton. De eisen voor beton in ongewapende bouwwerken zijn enkel geldig voor bouwwerken zonder aan corrosie blootgesteld staal (wapening, staalvezels, ankers, ...).

Door het gebruiksdomein aan te duiden, wordt het maximaal toegelaten gehalte aan chloride-ionen impliciet bepaald. De norm legt de maximaal toegelaten limiet in de Belgische context vast op 1,00 % Cl⁻ in ongewapend beton, 0,40 % Cl⁻ in gewapend beton en 0,20 % Cl⁻ in voorgespannen beton. Deze waarden zijn telkens uitgedrukt in verhouding tot de cementmassa (rekening houdend met eventuele toevoegsels) in het beton.

Er dient opgemerkt dat in omgevingen waar chloridebijdrage vanuit de omgeving zelf komt, een lagere chloridegehalteklasse (klasse 0,20 voor gewapend beton) aanbevolen wordt.

Chloriden kunnen in gewapend of voorgespannen beton “corrosie geïnitieerd door chloriden” veroorzaken. Ze kunnen aanwezig zijn in het cement, de hulpstoffen, de granulaten, ...

Het is dus van primordiaal belang het totale gehalte aan chloride-ionen te beperken. Het is verboden calciumchloride of hulpstoffen op basis van chloor aan gewapend of voorgespannen beton toe te voegen.

2.3 Omgevingsklasse van beton

De omgevingsklasse verwijst naar de omgeving waaraan het beton zal worden blootgesteld. Een betonelement dat deel uitmaakt van een binnen-structuur dient te beantwoorden aan minder strenge eisen inzake duurzaamheid dan een buitenelement.

De norm NBN B 15-001 definieert verschillende “omgevingen”, die in belangrijke mate aanwezig zijn in België. Ze worden “omgevingsklassen” genoemd en worden aangeduid met de letter **E**, van het Engelse ‘Environment’, gevolgd door de letter **I**, **E**, **S** of **A** (van het Engelse ‘Interior’, ‘Exterior’, ‘Sea’ of ‘Aggressive’) en eventueel een getal dat de omgeving nauwkeuriger beschrijft. De norm voorziet 13 omgevingsklassen (zie tabel 1). Men dient één enkele milieuklasse op te geven, behalve wanneer het beton zich in een chemisch agressieve omgeving bevindt (EA). Dan moet men een tweede omgevingsklasse toevoegen. Bv. een buitenomgeving met een zwakke chemische agressiviteit met kans op vorst, maar niet in contact met regen: EA1 en EE2. In dit geval zijn de strengste eisen (minimaal cementgehalte en maximale water-cementfactor) van toepassing.

Voor elke klasse worden **duurzaamheidseisen** geformuleerd voor de 3 gebruiksdomeinen. Deze duurzaamheidseisen zijn vertaald in een betontype, eventueel aangevuld met andere eisen.

Een betontype is een specifieke combinatie van de volgende duurzaamheidseisen:

- (1) Maximale water-cementfactor. Deze factor geeft de verhouding aan tussen de effectieve waterhoeveelheid, aanwezig in het vers beton, en het cementgehalte. De effectieve waterhoeveelheid is gelijk aan de totale waterhoeveelheid, verminderd met de waterhoeveelheid die de granulaten kunnen opslorpen.
- (2) Minimaal cementgehalte. Dit gehalte houdt rekening met de eventuele aanwezigheid van toevoegsels van type II (vliegas, hoogovenslakken, ...) onder bepaalde voorwaarden overeenkomstig NBN EN 206 en NBN B 15-001.
- (3) Minimale druksterkteklasse. Een hogere sterkteklasse dan deze vereist voor de stabiliteit van het bouwwerk kan dus nodig zijn. Bv. in het geval van een industriële buitenvloer of een voetpad op een brug, is een minimale druksterkteklasse C30/37 (in geval van beton met ingebrachte lucht) of C35/45 vereist voor omgevingsklasse EE4 (zie tabel 2).
- (4) (Eventueel) een minimaal/maximaal luchtgehalte.

Een betontype wordt aangeduid met het symbool **T**, gevolgd door een getal dat verwijst naar de maximaal toegelaten water-cementfactor en eventueel met de letter **A** (van het Engels ‘Air’) ingeval van beton met ingebrachte lucht. De norm voorziet 10 betontypes (zie tabel 2).

Voor EE3, EE4, ES2 en ES4 zijn twee betontypes mogelijk: een met en een zonder ingebrachte lucht. Wanneer er een A-betontype gewenst is, dus met ingebrachte lucht, dient dit vermeld te zijn in de aanvullende eisen.

In geval van een chemisch agressieve omgeving dient een bijkomende omgevingsklasse EA1, EA2 of EA3 opgegeven te worden in functie van de aard van de chemische agressiviteit (zie tabel 3). Voor elke klasse geeft deze tabel de grenswaarden voor de zuurtegraad en het ionengehalte van de voor beton agressieve substanties.

Tabel 2: Duurzaamheidseisen voor ongewapend beton (OB), gewapend beton (GB) en voorgespannen beton (VB)

Klasse	Beschrijving	Ingebrachte lucht	OB = ongewapend beton				GB = gewapend of VB = voorgespannen beton			
			Beton- type	Minimale sterkte- klasse	Minimaal cementgeh. [kg/m ³]	Max. W/C- factor	Beton- type	Minimale sterkte- klasse	Minimaal cementgeh. [kg/m ³]	Max. W/C- factor
Niet agressieve omgeving										
EO	Niet agressieve omgeving		T(1,00)	C12/15	-	1,00				
Droge binnenomgeving										
EI			T(1,00)	C12/15	-	1,00	T(0,65)	C16/20	260	0,65
Buitenomgeving of vochtige binnenomgeving										
EE1	Geen vorst		T(1,00)	C12/15	-	1,00	T(0,60)	C20/25	280	0,60
EE2	Vorst maar geen contact met regen		T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,55)	C25/30	300	0,55
EE3	Vorst en contact met regen	zonder ingebrachte lucht met ingebrachte lucht	T(0,50) T(0,55)A	C30/37 C20/25 ⁽¹⁾	320 300	0,50 0,55	T(0,50) T(0,50)A	C30/37 C25/30 ⁽²⁾	320 320	0,50 0,50
EE4	Vorst en dooizouten	zonder ingebrachte lucht met ingebrachte lucht	T(0,45) T(0,50)A	C35/45 C25/30 ⁽²⁾	340 320	0,45 0,50	T(0,45) T(0,45)A	C35/45 C30/37	340 340	0,45 0,45
Zeeomgeving										
ES1	Contact met zeelucht (tot 3 km van de kust) of brak water – geen vorst		T(0,60)	C20/25	280	0,60	T(0,50)	C30/37	320	0,50
ES2	Contact met zeelucht (tot 3 km van de kust) of brak water – met vorst	zonder ingebrachte lucht met ingebrachte lucht	T(0,50) T(0,55)A	C25/30 C20/25 ⁽¹⁾	300 300	0,55 0,55	T(0,50) T(0,50)A	C30/37 C25/30 ⁽²⁾	320 320	0,50 0,50
ES3	Contact met zeewater – ondergedompelde elementen		T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,45)	C35/45	340	0,45
ES4	Contact met zeewater – elementen in de getijden- of spatzone	zonder ingebrachte lucht met ingebrachte lucht	T(0,45) T(0,50)A	C35/40 C25/30 ⁽²⁾	340 320	0,45 0,50	T(0,45) T(0,45)A	C35/45 C30/37	340 340	0,45 0,45
Chemisch agressieve omgeving (in combinatie met een andere milieuklasse)										
EA1	Zwakke chemische agressiviteit		T(0,55)	C25/30	300	0,55	T(0,55)	C25/30	300	0,55
EA2	Middelmatige chemische agressiviteit		T(0,50)	C30/37	320	0,50	T(0,50)	C30/37	320	0,50
EA3	Sterke chemische agressiviteit		T(0,45)	C35/45	340	0,45	T(0,45)	C35/45	340	0,45
⁽¹⁾ Max. klasse C 25/30 ⁽²⁾ Max. klasse C 30/37										

Tabel 3: Grenswaarden voor de omgevingsklassen met chemische aantasting door natuurlijke grond en grondwater (Tabel 3.2. van de NBN EN 206)

Chemische eigenschap	Referentie beproevingsmethode	EA1	EA2	EA3
Grondwater				
SO ₄ ²⁻ in mg/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
CO ₂ agressief in mg/l	EN 13577	≥ 15 en ≤ 40	> 40 en ≤ 100	> 100 tot saturatie
NH ₄ ⁺ in mg/l	ISO 7150-2	≥ 15 en ≤ 30	> 30 en ≤ 60	> 60 en ≤ 100
Mg ²⁺ in mg/l	EN ISO 7980	≥ 300 en ≤ 1000	> 1000 en ≤ 3000	> 3000 tot saturatie
Grond				
SO ₄ ²⁻ totaal in mg/kg ⁽¹⁾	EN 196-2 ⁽²⁾	≥ 2000 en ≤ 3000 ⁽³⁾	> 3000 ⁽³⁾ en ≤ 12000	> 12000 en ≤ 24000
Zuurgehalte volgens Baumann-Gully, in ml/kg	prEN 16502	> 200	Komt niet voor in de praktijk	

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

⁽²⁾ De testmethode schrijft de extractie voor van SO₄²⁻ met zoutzuur. Het is tevens mogelijk deze extractie te doen met water, indien men over voldoende ervaring beschikt ter zake op de plaats van het gebruik van het beton.

⁽³⁾ De grenswaarde dient teruggebracht te worden van 3000 mg/kg naar 2000 mg/kg indien er gevaar is voor ophoping van sulfaationen in het beton door droog/nat-cycli of door capillaire opzuiging.

De normen NBN EN 206 en NBN B 15-001 laten ook toe beton voor te schrijven aan de hand van milieuklassen. De milieuklassen worden gedefinieerd in de norm NBN EN 206. Hun definitie is afhankelijk van de eventuele aantastingsmechanismen waaraan het beton kan blootgesteld zijn zoals vorst-dooi cycli met of zonder dooizouten, chemische aantasting en, in aanwezigheid van wapening, de corrosie geïnitieerd door carbonatatie of door chloriden.

De norm voorziet 18 milieuklassen, aangeduid met de letter X, gevolgd door een letter die verwijst naar de desbetreffende aantasting.

Het doordacht voorschrijven van milieuklassen vereist een grotere kennis inzake betontechnologie dan bij het voorschrijven van omgevingsklassen. Het is praktischer en sneller om omgevingsklassen voor te schrijven dan milieuklassen. Daarom geeft men in de NBN B 15-001 norm de aanbeveling om de duurzaamheidseisen te definiëren in functie van de omgevingsklassen.

Deze twee soorten klassen zijn echter zeer nauw met elkaar verbonden. De duurzaamheidseisen van de omgevingsklassen zijn afgeleid van deze van de milieuklassen.

2.4 Consistentieklasse van beton

Om een correcte uitvoering van het beton te verzekeren moet het beton een consistentie (verwerkbaarheid) hebben die compatibel is met de complexiteit en de afmetingen van het te gieten element, met de wapeningsdichtheid, de wijze van plaatsing en de verdichtingswijze.

De norm beschrijft verschillende consistentieklassen, afhankelijk van de gebruikte meetmethode. Er worden drie methoden vermeld, waarvan de meting van de zetmaat de meest gebruikte is.



Figuur 1: Meting van de zetmaat (Slump)

Vijf consistentieklassen karakteriseren de zetmaat (van S1 tot S5). Deze zijn opgenomen in tabel 1.

Over het algemeen worden de klassen S4 of S5 toegepast omdat deze klassen een gemakkelijke plaatsing en een goede verdichting mogelijk maken. Een andere consistentieklasse kan gerechtvaardigd zijn naargelang van de toepassing, de wapeningsdichtheid, de plaatsingsmethode (met de pomp) en de verdichtingsmethode. Er dient opgemerkt te worden dat hoe hoger de verwerkbaarheid van het beton is, hoe groter het risico is op afscheiding. In geval van een uiterst hoge verwerkbaarheid dient de voorkeur gegeven te worden aan zelfverdichtend beton.

Het is aangeraden om op regelmatige basis de consistentie op de bouwplaats na te gaan. De controle-methode is relatief eenvoudig. Wanneer, op het ogenblik van de levering, de consistentie van het beton niet overeenstemt met de bestelde klasse en deze niet kan gewijzigd worden door toevoeging van water of hulpstoffen onder verantwoordelijkheid van de betoncentrale, dient het beton geweigerd te worden. Het is namelijk zo dat de toevoeging van water of hulpstoffen door de aannemer op de bouwplaats het verlies inhoudt van het BENOR-merk.

2.5 Grootste korrelafmeting

Duurzaam gewapend beton vereist onder andere dat de wapening volledig omhuld is met beton en dat de betondekking voldoende dik is. Hierdoor wordt de wapening beschermd tegen corrosie en verkrijgt men een goede hechting van de wapening met het beton. De granulaten mogen niet te groot zijn, want dan kunnen ze de volledig omhulling van de wapening belemmeren.

De norm NBN B 15-001 bevat in haar informatieve bijlage P aanbevelingen voor wat betreft de keuze van de grootste korrelafmeting D voor het beton (zie hieronder). De mogelijke korrelmaten hiervoor worden gedefinieerd in de Europese norm NBN EN 12620 'Granulaten voor beton' (zie basiseis D van tabel 1 voor de beschikbare waarden op de Belgische markt).

Bij de specificatie van beton moeten er, volgens de nieuwe norm NBN EN 206, twee waarden opgegeven worden, D_{inf} en D_{sup} , respectievelijk de kleinste en de grootste toegelaten waarde voor D . De waarde van D_{max} , de door de betoncentrale verklaarde grootste korrelafmeting van de werkelijk in het beton verwerkte granulaten, dient zich tussen deze twee waarden te bevinden.

Indien er slechts één waarde wordt opgegeven bij de specificatie, laat de norm toe dat de $D_{\max}$ van het geleverde beton hiervan licht afwijkt. $D_{\inf}$ en $D_{\sup}$ worden in dat geval gelijk genomen aan volgende equivalente afmetingen, afhankelijk van het interval waarbinnen de gespecificeerde waarde vervat zit:

- 6 en 8;
- 10 en 12;
- 14 en 16;
- 20 en 22.

Indien de grootste korrelafmeting buiten deze intervallen valt, moet $D_{\max}$ gelijk zijn aan de gespecificeerde waarde.

Voorbeeld: Wanneer een beton wordt gespecificeerd met $D = 20$ mm, dan is $D_{\inf} = 20$ mm en $D_{\sup} = 22$ mm. Het geleverde beton mag bijgevolg een $D_{\max}$ hebben van 20 of 22 mm.

Volgens de norm NBN B 15-001 (informatieve bijlage P) dient men de maximale korrelafmeting D van de granulaten zo te kiezen en de wapening zo te schikken dat:

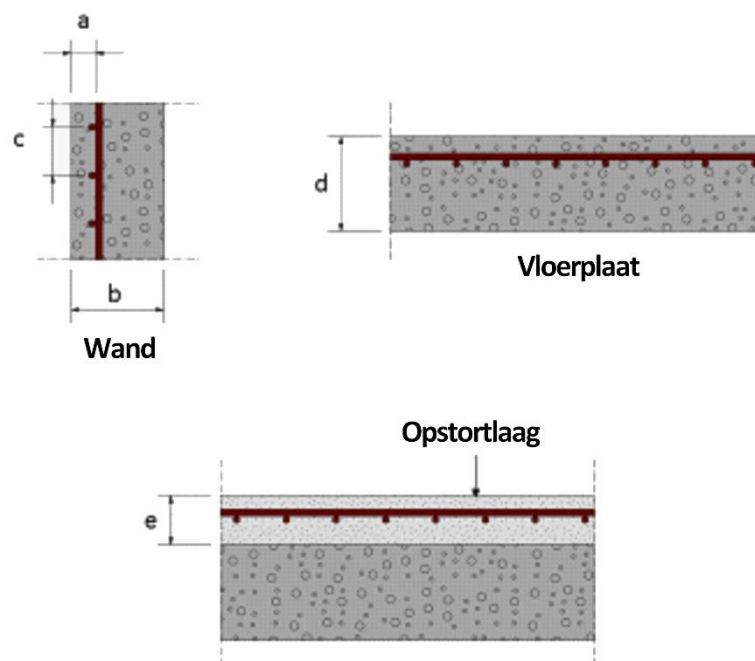
- het beton bij het storten de wapening volledig kan omsluiten;
- het beton op een correcte manier kan verdicht worden zonder ontmenging.

Het is gebruikelijk om D niet groter te kiezen dan:

- $1/5$ van de kleinste afstand tussen de bekistingswanden (b);
- $1/5$ van de vloerdikte (d);
- $3/4$ van de kleinste tussenruimte tussen de wapeningstaven (voor overlappingslassen 1,5 maal de kleinste tussenruimte) (c);
- $1/4$ van de vrije ruimte tussen de langsstaven die bij de in de grond gevormde palen worden gebruikt;
- $2/5$ van de opstortlaag van een samengestelde vloer (e);
- de betondekking (a).

In figuur 2 wordt een schematische weergave gegeven van de informatie in de Belgische bijlage.

Voor courante toepassingen is D over het algemeen gelijk aan 20 of 22 mm (gebroken granulaten) en 32 mm (gerold grind). Voor zelfverdichtend beton en hogesterktebeton wordt D verlaagd tot 14 of 16 mm.



Figuur 2: Richtlijnen voor de keuze van D

2.6 Bijkomende eisen

Voor speciale toepassingen kan het nuttig zijn om bijkomende vereisten te stellen. Deze kunnen te maken hebben met:

- de keuze van het preventieniveau (PREV), de blootstellingscategorieën (AR) en alle preventiemaatregelen met betrekking tot de alkali-silica reactie;
- de samenstelling (bijvoorbeeld het cementtype, het minimale cementgehalte (indien strikter dan hogervermeld), eventueel ingebrachte lucht voor omgevingsklassen EE3, EE4, ES2 of ES4, het type granulaat, ...);
- de wijze van uitvoering (bijvoorbeeld verpompt beton);
- het verharde beton (bijvoorbeeld de bestandheid tegen wateropslorping, klasse WAI);
- het esthetische uitzicht van het beton (zichtbeton, gekleurd beton, ...).

2.6.1 Maatregelen voor de preventie van de alkali-silica reactie

Het risico dat de alkali-silica reactie (ASR) optreedt met zijn nefaste gevolgen, wordt bepaald door meerdere factoren.

Eenzijds is het uiteindelijke gebruik van een bouwelement een bepalende factor omwille van de economische en maatschappelijke gevolgen van de schade. Deze factor dient bij de specificatie vastgelegd te worden in de vorm van een **ASR-PREVENTIENIVEAU (PREV)**. De verschillende ASR-preventieniveaus worden beschreven in tabel 4. Indien het ASR-preventieniveau niet is opgenomen in de specificatie, dient de betonproducent standaard uit te gaan van ASR-preventieniveau PREV2.

Anderzijds is ook de blootstelling van het bouwelement een bepalende factor voor het gedrag en de evolutiesnelheid van de reactie. Deze factor is gekoppeld aan de **ASR-BLOOTSTELLINGSCATEGORIE (AR)**. De definities van de ASR-blootstellingscategorieën worden gegeven in tabel 5. Ze staan in nauw verband met de milieu- en blootstellingsklassen. Indien de ASR-blootstellingscategorie niet expliciet wordt gespecificeerd, dan kan ze bepaald worden uitgaande van de milieu- en blootstellingsklassen (tabel 6).

In functie van het ASR-preventieniveau en van de ASR-blootstellingscategorie, dient men de geschikte preventiemaatregelen te nemen (tabellen 7 en 8). Sommige combinaties van ASR-preventieniveau en ASR-blootstellingscategorie behoeven geen enkele preventiemaatregel. Hoe hoger het preventieniveau en de blootstellingscategorie, des te omvangrijker de maatregelen zullen zijn.

Tabel 4: Definitie van de ASR-preventieniveaus

ASR-preventie-niveau	Beschrijving	Voorbeeld
PREV1	Bouwelementen waarbij de gevolgen van ASR zeer beperkt en aanvaardbaar zijn. In principe beperkt dit niveau zich tot ongewapend beton of gewapend beton met lage sterkteklasse en lage duurzaamheidseisen en tot elementen die eenvoudig en met beperkte kost vervangbaar zijn of tijdelijke constructies. Tot dit niveau behoren ook de bouwelementen waarbij de voorschrijver andere maatregelen neemt ter preventie van de alkali-silica reactie (bv. impermeabilisering van het beton). De voorschrijver is zich bewust dat het bouwelement inherent een zeker risico heeft ten aanzien van het optreden van de alkali-silica reactie.	Ongewapende elementen, vervangbare elementen zoals stalroosters, beton met beschermende coating, tijdelijke constructies...
PREV2 (standaard)	Bouwelementen waarbij de gevolgen van ASR weinig aanvaardbaar zijn. De herstelling of vervanging van aangetaste elementen heeft een niet verwaarloosbare economische en/of maatschappelijke impact.	Constructief beton, weginfrastructuur (geleideconstructies, trottoirbanden, watergreppels, ...) Verhardingen voor wegen met weinig of middelmatig verkeer
PREV3	Bouwelementen waarbij de gevolgen van ASR niet aanvaardbaar zijn. De herstelling of vervanging van aangetaste elementen heeft een belangrijke economische en/of maatschappelijke impact.	Constructief beton voor grote en/of belangrijke bouwwerken (hoogbouw en voetbalstadia, ...) en voor infrastructuurwerken (bruggen, tunnels, kaaimuren, ...) Verhardingen voor wegen met intensief verkeer.

Tabel 5: Definitie van de ASR-blootstellingscategorieën

Blootstellingscategorie	Definitie
AR 1	Bouwdelen in droge binnenomgeving, zonder blootstelling aan externe bronnen van vocht
AR 2	Bouwdelen in vochtige binnenomgevingen en buitenomgevingen, ondergedompeld in (zee)water of in contact met niet-agressieve grond
AR 3	Bouwdelen in vochtig milieu blootgesteld aan alkaliën (bijvoorbeeld dooizouten) of aan wisselend vocht-droog cycli met zeewater of brak water

Tabel 6: ASR-blootstellingscategorieën in functie van de omgevingsklassen

Omgevingsklasse	ASR-blootstellingscategorie
E0	AR1
EI	AR1
EE	
EE1	AR2
EE2	AR2
EE3	AR2
EE4	AR3
ES	
ES1	AR2
ES2	AR2
ES3	AR2
ES4	AR3
EA	
EA1	AR2
EA2	AR2
EA3	AR2

Tabel 7: Preventieve maatregelen in functie van het ASR-preventieniveau en de ASR-blootstellings-categorie

	AR1	AR2	AR3
PREV1	Geen	Geen	Geen
PREV2	Geen	1 of 2 of 3 of 4	1 of 2 of 3 of 4
PREV3	Geen	1 of 3 of 4	1 of 3 ⁽¹⁾ of 4 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Met strengere eisen			

Tabel 8: Preventieve maatregelen

Maatregel	Beschrijving
1	Gebruik van granulaten met geattesteerde declaratie van niet-reactiviteit
2	Gebruik van een LA-cement volgens NBN B 12-109, zonder opmaak van een alkalibalans
3	Beperken van het alkali-gehalte van beton tot een vastgelegde waarde (alkalibalans)
4	Voorafgaandelijk uitvoeren van zwelproeven die de bestandheid van de betonsamenstelling tegen ASR bevestigen

2.6.2 Betontype met ingebrachte lucht voor de klassen EE3, EE4, ES2 en ES4

Zoals hiervoor vermeld zijn voor EE3, EE4, ES2 en ES4 twee soorten beton mogelijk, nl. één met en één zonder ingebrachte lucht. Indien de voorschrijver een beton met ingebrachte lucht wenst, moet hij dit in de bijkomende vereisten aangeven.

2.6.3 Cementtype

In functie van de omgevingsomstandigheden kan een sneller of trager cementtype gewenst zijn.

Vanaf een sulfaationenconcentratie die hoger is dan 600 mg/l in water of dan 3000 mg/kg (2000 mg/kg bij risico voor opeenhoping) in de grond, moet men verplicht gebruik maken van cement met hoge bestandheid tegen sulfaten overeenkomstig de norm NBN B 12-108 of van een combinatie van cement/slakken conform de ATG goedkeuringsleidraad 'LMA' met minstens 66 % slakken.

In geval van de uitvoering van massieve bouwwerken (dikte meer dan 50 cm) is het aanbevolen cement te gebruiken met lage hydratatiewarmte (LH – Low Heat) of zeer lage hydratatiewarmte (VLH – Very Low Heat) om thermische scheuren te vermijden.

2.6.4 Weerstand tegen wateropslorping

Met het oogpunt een verbeterde duurzaamheid te verkrijgen, is het mogelijk beton te bestellen met lage wateropslorping (bepaald volgens de norm NBN B 15-215: 2018). De norm NBN B 15-001 definieert hiertoe in de bijlage 'O' vijf klassen van 'wateropslorping door onderdompeling', met bijhorende eisen. Elke klasse wordt aangegeven met de letters WAI (*Water Absorption by Immersion*), gevolgd door een getal dat overeen komt met de water-cementfactor en desgevallend de letter A (ingebrachte lucht). Deze klassen zijn altijd geassocieerd met een betontype waarvoor zij van toepassing zijn.

Er dient opgemerkt te worden dat de wateropslorping in geen enkel opzicht een bewijs vormt voor het al dan niet waterdicht of vloeistofdicht zijn van beton, maar wel toelaat om onrechtstreeks de betonsamenstelling te controleren (korrelverdeling, cementgehalte, water-cementfactor, ...). En een goede betonsamenstelling is een essentiële factor voor de duurzaamheid van beton.

2.6.5 Maximaal luchtgehalte voor toepassing van gepolierde industriële vloeren

De delaminatie van betonvloeren is een schadenomeen dat, onder andere, veroorzaakt wordt door luchtbellen die ingesloten geraken onder het gepolierde oppervlak. Daarom wordt afgeraden om voorgedraaide of gepolierde industriële vloeren uit te voeren met beton dat meer dan 3,0 % lucht bevat. Om dezelfde reden dat de specificatie van beton met ingebrachte lucht verboden is voor een dergelijke toepassing.

De specificatie van zelfverdichtend beton

De specificatie van zelfverdichtend beton gebeurt op dezelfde manier als “traditioneel” beton, zoals beschreven in het eerste deel, met uitzondering van de consistentieklasse en van andere bijkomende eisen.

Voor ZVB moet de zetmaatklasse (S), als basiseis C in tabel 1, vervangen worden door de vloeimaatklasse (SF).

Tabel 9: Vloeimaatklasse op basis van metingen volgens NBN EN 12350-8

Klasse	Vloeimaat [mm]
SF1	550 tot 650
SF2	660 tot 750
SF3	760 tot 850



Figuur 3: Meting van de vloeimaat (slump-flow)

Bij de bijkomende eisen (bijkomende eisen E in tabel 1) dient men, in functie van de toepassing, volgende eisen te specificeren:

- de schijnbare viscositeitsklasse VS of VF;
- de klasse van blokkeringsmaat PL of PJ;
- de weerstandsklasse tegen ontmenging SR;
- andere eisen zoals de termijn van het behoud van consistentie.

De **vloeimaatklasse** is de enige basiseis om een ZVB in verse toestand te specificeren. Deze eis op zich is vaak onvoldoende om een ZVB voor te schrijven in functie van de beoogde toepassing. De schijnbare viscositeitsklasse is eveneens een bepalende parameter. Een beton kan inderdaad zeer vloeibaar zijn en ver uitspreiden (vloeimaatklasse SF3), maar tegelijkertijd ofwel weinig (schijnbare viscositeitsklasse VF1) dan wel zeer viskeus zijn (schijnbare viscositeitsklasse VF2). In dit laatste geval zal het beton traag maar wel ver uitspreiden.

Een hoge **schijnbare viscositeitsklasse** kan nuttig zijn om de bekistingsdruk te beperken of de weerstand tegen ontmenging te verbeteren. Een lage schijnbare viscositeitsklasse kan interessant zijn wanneer een hoge oppervlaktekwaliteit vereist is of bij een hoge wapeningsdichtheid.

De **blokkeringsmaat** is verbonden met de beweeglijkheid van de betonspecie, zonder enige ontmenging of blokkering, doorheen beperkende zones of smalle openingen (bv. een hoge wapeningsdichtheid).

De **weerstand tegen ontmenging** is fundamenteel voor de beoordeling van de homogeniteit en de kwaliteit van het ZVB.

Tabel 10 illustreert de te beschouwen klassen SF, VS en VF bij het specificeren van ZVB, in functie van verschillende toepassingen. Het spreekt voor zich dat andere klassen (blokkeringsmaat in beperkende omgevingen en weerstand tegen ontmenging) gespecificeerd kunnen worden in functie van de specifieke randvoorwaarden, de geometrie van het element, de uitvoeringsmethode of de eigenschappen van de in het beton gebruikte materialen.

Bij de levering is het aanbevolen de slump-flow en de schijnbare viscositeit te controleren indien deze gespecificeerd werd.

Tabel 10: Voorbeelden van specificaties van ZVB voor verschillende toepassingen

Schijnbare-viscositeits-klasse	Vloeimaatklasse		
	SF1	SF2	SF3
VS2 VF2	HELLINGEN		
VS1 of VS2 VF1 of VF2		MUREN EN PIJLERS	HOGE EN SLANKE ELEMENTEN
VS1 VF1	VLOEREN EN VLOERPLATEN		

De specificatie van beton voor diepwanden

Beton voor diepwanden dienen gespecificeerd te worden volgens de richtlijnen van paragraaf 6 van de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001. Bovendien moet men ook rekening houden met het feit dat het beton

- een hoge weerstand tegen ontmenging moet vertonen;
- een geschikte plasticiteit en voldoende verwerkbaarheid moet bezitten: ze dient makkelijk af te vloeien;
- geschikt moet zijn om afdoende verdicht te worden onder invloed van de zwaartekracht;
- zich voldoende gemakkelijk moet laten verwerken tijdens de gehele duur van het storten.

Zo is het mogelijk dat de voorschriften met betrekking tot het cementgehalte, het minimale gehalte fijn materiaal, de maximale water/cementfactor, de consistentie en het behoud ervan in de tijd, afwijken van de klassieke voorschriften met betrekking tot andere werken. Het is dus van primordiaal belang tevens te vermelden dat het beton conform dient te zijn met de specifieke voorschriften van Bijlage D van de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001.



Figuur 4: Diepwand

De tabel hieronder vormt een synthese van verschillende te vermelden eisen.

Tabel 11: Specificatie van beton voor diepwanden

	Controlemiddel	Te specificeren	Opmerkingen	Voorbeeld
Basiseisen				
Conformiteit	Technische fiche en/of leveringsbon	Bijlage D	Absoluut te vermelden	Beton conform de Bijlage D van de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001
Sterkteklasse	Drukproeven	Tabel 1 (basiseis A)	Te specificeren door het studie bureau	C30/37
Gebruiks domein	Chloridegehalte van het beton	Ongewapend (OB) of gewapend beton (GB)		GB
Omgevingsklassen	C_{min} en W/C_{max}	Tabel 1 (basiseis B2)	Keuze hangt ervan af of wand al dan niet blootgesteld is aan vorst, zeewater, agressieve stoffen	EE1 + EA2
Consistentie	Vloeimaat	S5		S5
D van het granulaat	Technische fiche en/of leveringsbon + visueel	14, 16, 20, 22 of 32	≤ 32 mm en $\leq \frac{1}{4}$ van de vrije ruimte tussen langstaven	22 mm
Bijkomende eisen				
Cementgehalte	Technische fiche en/of leveringsbon	Zie tabel 13		≥ 380 kg/m ³
Gehalte fijn materiaal	Technische fiche	Bestanddelen $\leq 0,125$ mm (ook cement, vlieg as, ...)	Het gehalte fijn materiaal moet voldoende hoog zijn om de stabiliteit van het beton te verzekeren tijdens de plaatsing	≥ 400 kg/m ³
Korrelverdeling		Continuïteit van de korrelverdelingscurve	Om ontmenging te vermijden zie § D.2.2 – NBN EN 206	
Behoud van verwerkbaarheid in de tijd	Vloeimaat	Duurtijd waarbij de uitspreiding minimaal 180 mm moet zijn	Zie ook normen NBN EN 1538 en NBN EN 206, bijlage D	240 minuten
Waterafscheiding	ASTM C232	$< 0,1$ ml/minuut	Waterafscheidingsproef	
	NBN EN 480-4	< 1 %	Waterafscheidingsproef	
	Bauer Test	≤ 15 l/m ³	Filtratietest	Filtratie ≤ 15 l/m ³ bij Bauer test
Bestandheid tegen sulfaten	Technische fiche en/of leveringsbon	Cement met hoge bestandheid tegen sulfaten conform NBN B 12-108	Indien het sulfaatgehalte > 600 mg/l is in water of > 3000 mg/kg in de grond	Cement CEM III/B 42,5 N-LH/SR LA
Preventie tegen ASR	Technische fiche en/of leveringsbon	Zie bijlage I van NBN B 15-001 Of § 2.6.1.	Keuze van het gewenste ASR-preventieniveau (tabel 4)	PREV2
Kadans		Kadans in m ³ /u		50 m ³ /u

Tabel 12: Minimaal cementgehalte voor beton, bestemd voor diepwanden, in functie van de $D_{\max}$

$D_{\max}$ [mm]	Minimaal cementgehalte [kg/m ³]
32	350
22,4	380
16	400



Figuur 5: Meting van de waterafscheiding d.m.v. de Bauer test