

Het ontwerpen van betonconstructies op duurzaamheid: van wcf naar erc

Joost Gulikers – RWS-GPO

PROBLEMATIEK

- ▶ Herziening betonnormen in 2020 (streven)
- ▶ Duurzaamheid: prestatiegerichte aanpak
- ▶ EN 1992-1-1, EN 206, NEN 8005 en EN 13670
- ▶ CEN TC250: EN 1992-1-1 (VC20)
- ▶ CEN TC104: EN 206 (VC12)

MOTIEVEN VOOR EEN ANDERE AANPAK

1. Recente ontwikkelingen tav aanpak duurzaamheid beton (*fib* Model Code 2010; proeven)
2. Grote verschillen in eisen tussen landen onderling
3. Europa (Brussel): vermindering aantal NDP's en NA's
4. Toekomst: toepassing cement met laag klinkergehalte
5. Toekomst: toepassing gerecyclede materialen

VERSCHILLEN IN EISEN - VOORBEELD

Range of XC3 (carbonation, moderate moisture)
provisions for Portland Cement, CEM I



UK → $w/c < 0.55$ and 25 mm minimum cover



DE → $w/c < 0.65$ and 20 mm minimum cover

HUIDIGE AANPAK - 1

- ▶ Milieuklassen (expositie-omstandigheden)
- ▶ Dikte betondekking: *structural classes*
- ▶ Kwaliteit betondekking: deemed-to-satisfy (receptmatig: max. wcf, min. cementgehalte)

NADELEN

- ▶ Geen onderscheid in type cement
- ▶ Geen uitwisseling tussen dikte en kwaliteit

HUIDIGE AANPAK - 2

Tabel 4.1 — Verband tussen milieuklassen en milieu-omstandigheden volgens EN 206-1

Klasse-aanduiding	Beschrijving van het milieu	Informatieve voorbeelden waar de milieuklassen zich kunnen voordoen
1 Geen risico op corrosie of aantasting		
X0	Voor beton zonder wapening of ingestorte metalen: alle milieus, behalve bij vorst/dooi, afslijting of chemische aantasting. Voor beton met wapening of ingesloten metalen: zeer droog	Beton binnen gebouwen met zeer lage luchtvochtigheid
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie		
XC1	Droog of blijvend nat	Beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid Beton blijvend onder water
XC2	Nat, zelden droog	Betonoppervlakken langdurig in contact met water Veel funderingen
XC3	Matige vochtigheid	Beton binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten beschermt tegen regen
XC4	Wisselend nat en droog	Betonoppervlakken in contact met water, maar die niet onder milieuklasse XC2 vallen
3 Corrosie ingeleid door chloriden *		
XD1	Matige vochtigheid	Betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht
XD2	Nat, zelden droog	Zwembaden Beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater
XD3	Wisselend nat en droog	Bruggen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater Verhardingen Vloeren van parkeerplaatsen voor voertuigen
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater		
XS1	Blootgesteld aan zout uit de lucht, maar niet in direct contact met zeewater	Constructies bij of aan de kust
XS2	Blijvend onder zeewater	Delen van constructies in zee
XS3	Getijde-, spat- en stuifzones	Delen van constructies in zee
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen		
XF1	Niet volledig verzadigd met water, zonder doozouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF2	Niet volledig verzadigd met water, met doozouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en met de lucht meegevoerde doozouten
XF3	Verzadigd met water, zonder doozouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF4	Verzadigd met water, met doozouten of zeewater	Wegen en brugdekken blootgesteld aan doozouten Betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeiide doozouten en vorst Spatzones van constructies in zee blootgesteld aan vorst
6 Chemische aantasting		
XA1	Zwak agressief chemisch milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater
XA2	Matig agressief milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater
XA3	Sterk agressief milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater

* Nationale voetnoot: EN 206-1 geeft hier aan, dat het gaat om corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater.

Tabel 4.3N — Constructieve classificatie

Constructieklasse							
Criterium	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Ontwerplevensduur 100 jaar	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen
Ontwerplevensduur 75 jaar	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse
Sterkteklasse ^{1), 2)}	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C35/45 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C45/55 vermindering met 1 klasse
Element met plaat-geometrie (plaats van de wapening niet beïnvloed door het bouwproces)	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse
Specifieke kwaliteits-beheersing van de betonproductie gewaarborgd	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse

¹⁾ Aangenomen is dat de sterkteklasse en de w/c-factor met elkaar verband houden. Een specifieke samenstelling (type cement, w/c-factor, fijne vulmiddelen) met de bedoeling een lage permeabiliteit te verkrijgen, mag zijn overwogen.

²⁾ De grens mag zijn verminderd met één sterkteklasse indien luchtdichtheid van meer dan 4 % is toegepast.

HUIDIGE AANPAK - 3

Tabel 4.4N — Waarden van de minimale dekkingseisen, $c_{\min, \text{dur}}$, met betrekking tot duurzaamheid voor betonstaal volgens NEN-EN 10080

Omgevingseisen voor $c_{\min, \text{dur}}$ mm							
Constructie- klasse	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	25
S2	10	10	15	20	25	30	30
S3	10	10	20	25	30	35	35
S4	10	15	25	30	35	40	40
S5	15	20	30	35	40	45	45
S6	20	25	35	40	45	50	50

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}}$$

(4.1)

4.4.1.3 Toeslag in het ontwerp voor uitvoeringstoleranties

(1)P De waarde van Δc_{dev} moet gelijk aan 5 mm zijn genomen.

HUIDIGE AANPAK - 4

Tabel E — Eisen aan de betonsamenstelling afhankelijk van de milieuklasse

Milieuklasse	Maximaal toelaatbare water-cementfactor/ water-bindmiddelfactor	Minimaal vereist cement-/ bindmiddelgehalte kg/m ³	Minimumluchtgehalte ^a	
			Grootste korrelafmeting <i>D</i> mm	Luchtgehalte % (V/V)
1 Geen risico op corrosie of aantasting				
X0	0,70 ^b	200 ^b	—	—
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie				
XC1	0,65	260	—	—
XC2	0,60	280	—	—
XC3	0,55	280	—	—
XC4	0,50	300	—	—
3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater				
XD1	0,55	300	—	—
XD2	0,50	300	—	—
XD3	0,45	300	—	—
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater				
XS1	0,50	300	—	—
XS2	0,45	300	—	—
XS3	0,45	320 ^c	—	—
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen met of zonder dooizouten				
XF1	0,55	300	—	—
XF2	0,55	300	63 31,5 16 8	3,0 3,5 4,0 5,0
XF2	0,45	300	—	—
XF3	0,50	300	—	—
XF4	0,50	300	63 31,5 16 8	3,0 3,5 4,0 5,0
XF4	0,45	320 ^c	—	—
6 Chemische aantasting				
XA1	0,55	300	—	—
XA2 ^d	0,50	320	—	—
XA3 ^d	0,45	340	—	—

^a Het minimumluchtgehalte heeft betrekking op het gemeten luchtgehalte.

^b De genoemde water-cementfactor/water-bindmiddelfactor en het genoemde cement-/bindmiddelgehalte zijn alleen van toepassing bij onderwaterbeton in niet-agressief water. Voor ongewapend beton gelden geen grenswaarden.

^c Bij bouwdelen met een dikte groter dan 1 m mag het cementgehalte worden gereduceerd tot minimaal 300 kg/m³, onder voorwaarde dat uitsluitend cement met een lage hydratatiewarmte wordt gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1.

^d Voor beton in deze milieuklassen dat aan oplossingen met meer dan 600 mg SO₄²⁻/l of aan grond met een gehalte aan sulfaten groter dan 3000 mg/kg wordt blootgesteld, moet cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten worden gebruikt dat voldoet aan NEN 3550.

TOEKOMSTIGE AANPAK - 1

- ▶ Milieuklassen: blijven gehandhaafd
- ▶ Definitie ontwerplevensduur: aanpassing
- ▶ EN 1990 (1.5.2.8)

Design working life: *assumed period for which a structure or part of it is to be used for its intended purpose with anticipated maintenance but without major repair being necessary*

SECTION 4 DURABILITY AND COVER TO REINFORCEMENT

4.1 General

(1)P A durable structure shall meet the requirements of serviceability, strength and stability throughout its design working life, without significant loss of utility or excessive unforeseen maintenance (for general requirements see also EN 1990).

(1)P Een duurzame constructie moet gedurende zijn ontwerplevensduur voldoen aan de eisen van bruikbaarheid, sterkte en stabiliteit, zonder belangrijk verlies aan gebruiksnut en zonder buitengewoon onvoorzien onderhoud (zie voor algemene eisen ook EN 1990).

TOEKOMSTIGE AANPAK - 2

- ▶ Tabellen 4.3 en 4.4 (EN 1992-1-1) vervallen
- ▶ Betonkwaliteit: *Exposure Resistance Class*
 - ▶ Bijvoorbeeld: RSD60, RC30
 - ▶ Vergelijk met Consistentieklasse en (druk)sterkteklasse
- ▶ Carbonatatatie (XC): RC20, RC30, RC40
- ▶ Chloride (XD en XS): RSD45, RSD60 en RSD75
- ▶ Vorst-dooi (XF): RF10 en RF2
- ▶ Chemische aantasting (XA): RCAL en RCAH

TOEKOMSTIGE AANPAK - 3

Table 6 Minimum cover (recommended values) for the various combinations of exposure classes, exposure resistance classes and design working lives (example, preliminary values for illustration purpose)

EN 1992-1-1

Preliminary values		Minimum cover for 50, 100 and 200 years design working life, recommended values (preliminary)						
Exposure Class		RC20 (RCH) ² RSD45 (RSDH)			RC30 (RCM) ² RSD60 (RSDM)		RC40 (RCL) ² RSD75 (RSDL)	
	(S4) ³	50	100	200(?)	50	100	50	100
X0 ¹	(10)	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$
XC1	(15)	10	15	20	10	20	10	20
XC2,	(25)	15	20	30	20	30	25	35
XC3	(25)	15	20	30	20	30	25	35
XC4	(30)	15	20	30	20	30	25	35
XD1,	(35)	15	20	30	20	30	25	35
XS1	(35)	15	20	30	20	30	25	35
XD2,	(40)	45	55	65	55	70	70	NA
XS2	(40)	45	55	65	55	70	70	NA
XD3	(45)	55	65	75	70	NA	80	NA
XS3	(45)	55	65	75	70	NA	80	NA

¹ In exposure class X0 concrete in carbonation resistance class RCX0 may be used with a minimum cover of $c_{min,b}$

² On the tension side of beams the cover shall be increased by 5mm in RC20 and by 10 mm in RC30 and RC40 for exposure classes XC2, XC3, XC4, XS1 and XD1.

³ Values for minimum cover in EN1992-1-1 given as "base case" given for illustration only

TOEKOMSTIGE AANPAK - 4

- ▶ Exposure Resistance Class: aantoonplicht (van de betonproducent)
 - ▶ *Via deemed-to-satisfy*
 - ▶ *Via proeven*

TOEKOMSTIGE AANPAK - 5

Table 5 Exposure resistance classes, definitions, classification standards and deemed to satisfy values for various binder compositions (example, preliminary values)

<i>Preliminary values</i>	Carbonation resistance class RC				Chloride resistance class RSD			Frost resistance class RF	
	RC20	RC30	RC40	RCX0 ¹	RSD45	RSD60	RSD75	RF2	RF10
Definition of class, depth of front after 50 years (mm)	20	30	40	-	45	60	75		
Classification standard	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN yyy	EN yyy	EN yyy	EN zzz	EN zzz
Deemed to satisfy	Maximum w/b-ratio b is the sum of cement and additions in the concrete, within the limits defining the cements according to EN 197-1								
CEM I	0,55	0,60	0,65	0,90	NA	NA	0,45 ²		
CEM II-A	0,45	0,55	0,65	0,90	0,40	0,50	0,60		
CEM II-B	0,40	0,50	0,60	0,75	0,40	0,50	0,60		
CEM III-A	NA	0,45	0,55	0,75	?	?	?		
CEM III-B	NA	NA	0,45	0,65	0,38	0,45	0,55		
Minimum binder content (kg/m ³)	280	280	280	240	280	280	280		
¹ Class RCX0 shall only be allowed in exposure class X0 ² CEM I shall only be used with minimum 4% silica fume NA means that no deemed to satisfy values are given for that combination of binder and resistance class									

EN 206
Deemed-to-satisfy

TOEKOMSTIGE AANPAK - 6

- ▶ Exposure Resistance Class aantonen via **proeven**
 - ▶ Volledige vrijheid in betonsamenstelling (wcf, cementsoort, cementgehalte)
 - ▶ Carbonatatie: 140 dagen expositie
 - ▶ Chloride: 35, 90 en 700 dagen expositie

BEPALING RSDx

Bulk diffusieproef: bepaling D_a na 35, 90 en 700 dagen expositie

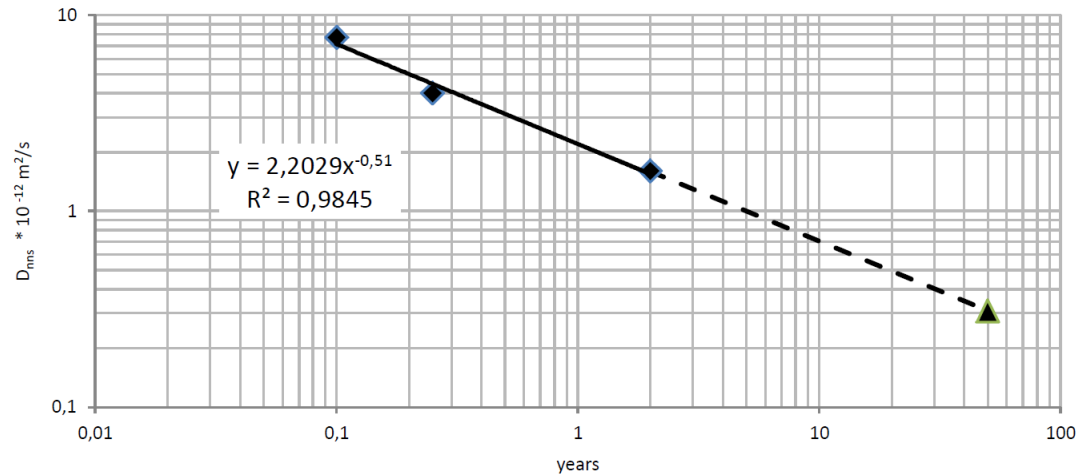


Figure 1 – Example: Based on $D_{nns}(35 \text{ days}) = 7.7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{nns}(90 \text{ days}) = 4.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ and $D_{nns}(700 \text{ days}) = 1.6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, the calculated ageing-factor is $\alpha = 0.51$. Extrapolated $D_{nns}(700 \text{ days})$ till 50 years gives $D_{app}(50 \text{ years}) = 0.31 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. The concrete mix then satisfies the requirements for RSD60 according to Table 1 provided the initial chloride content complies with Cl 0.10 or Cl 0.20, and RSD75 if the mix complies with Cl 0.40.

BEPALING RSDx

Table 1 – Criteria for chloride resistance classes depending on the initial chloride content class according to EN 206: 20xx

Editorial comment to the JWG: To ensure the statistical approach, some margins have to be added to the given numbers (see comments attached at the end of the document)

$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for Cl 0.40	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for Cl 0.20	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for Cl 0.10	Chloride resistance class
$D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.13$	$D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.19$	$D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.22$	RSD45
$0.13 < D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.22$	$0.19 < D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.35$	$0.22 < D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.39$	RSD60
$0.22 < D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.35$	$0.35 < D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.55$	$0.39 < D_{\text{app}}(50 \text{ years}) \leq 0.61$	RSD75

OPMERKINGEN

- ▶ Toekomstige aanpak “raakt” zowel ontwerper als betontechnoloog (Stutech – SG ERC)
- ▶ Economische oplossing??
- ▶ Wat is het probleem met de huidige aanpak? Wellicht eenvoudige aanpassingen
- ▶ Ingrijpende verandering; geen ervaring
- ▶ Academische aanpak: modellen, probabilistisch rekenen (achtergronden, invoerwaarden vooralsnog onbekend)
- ▶ Waarin schuilt de verbetering – wie heeft hier baat bij?
- ▶ Langdurige en kostbare proeven — resultaat onzeker
- ▶ Mogelijk tegenstrijdige eisen: RSD45 en C30/37
- ▶ EN 13670 aanpassen
- ▶ Betondekking gaat omhoog