

VOORAFGAANDE OPMERKING.

FEREB gaat ervan uit dat iedere gebruiker (architect, ingenieur of bevoegd ambtenaar) van deze tekst zich vergewist heeft, door een voorafgaande diagnose, waarvan de verplichting opgelegd is door de EN norm 1504, dat de betonschade effectief te wijten is aan een combinatie van carbonatatie en chloride aantasting, doch niet door een andere enige oorzaak, bv. ASR (Alkali silica reactie), sulfaten, overbelasting, scheurvorming, scheikundige aantasting, thermische werking, erosie, brand, enz.

FEREB gaat er ook van uit dat iedere hiervoor vermelde gebruiker er zich van vergewist dat er zich geen stabiliteitsproblemen stellen door het uitvoeren van deze betonherstelling. Bij de minste twijfel, betreffende deze structurele eigenschappen van de huidige structuur of een element ervan is het aangewezen om over te gaan tot een stabiliteitsstudie, uit te voeren door een bevoegd persoon.

Finaal gaat FEREB er ook van uit dat een lokale herstelling van gecarbonateerd en gechloureerd beton in de meeste gevallen dient vervolledigd te worden door het aanbrengen van een globale carbonatatie remmende coating op het element of de constructie, wil men op termijn verdere betonschade voorkomen. (Cfr. Neutrale tekst over herstelling gecarbonateerd beton van FEREB).

Dit bestek is opgesteld door FEREB conform de nieuwe norm EN 1504.

FEREB stelt dit bestek gratis ter beschikking aan iedere hierboven vermelde gebruiker, doch draagt hiervoor geen verantwoordelijkheid, gezien zij geen controle heeft over hoe en waarvoor deze tekst gebruikt zal worden.

Versie I- Opgesteld april 2011

Aanbeveling:

Behandeling chlorideschade

April 2011

Samenstelling werkgroep:

Guido Van der Borgh (FEREB)
Bram Doods (WTCB)
Josse Jacobs (WTCB)
Benny Broekaert (BCCA)
Dirk Peereman (BCCA)
Ivan Kinne (SECO)
Michèle Cuypers (SPW)
Pascal Dekesel (MOW)
Hugo Wildemeersch (ABG)
Karen Verfaillie (ABG)

INHOUD

A AANBEVELING

I	ONDERWERP	3
II	RISICO OP CHLORIDESCHADE	3
	1 HERKOMST CHLORIDEN	3
	2 AANWEZIGHEID CHLORIDEN BEPALEN	5
III	BEHANDELING CHLORIDESCHADE	7
	1 VOORONDERZOEK	7
	2 BEHANDELING	7
	3 AANVULLENDE OPMERKINGEN	9
IV	CONCLUSIE	11
	1 VOORONDERZOEK	11
	2 REPARATIEMETHODE I. F. V. CHLORIDEGEHALTE	11
	3 COMMUNICATIE	11

B BIJLAGEN

B.1	FOTO'S	
B.2	ONDERZOEK CHLORIDESCHADE	
B.3	BEHANDELING CHLORIDESCHADE	

I ONDERWERP

Deze aanbeveling heeft betrekking op de specifieke gevallen van chlorideschade bij betonconstructies. Chloriden kunnen in verschillende concentraties aanwezig zijn in het beton. Deze chloriden kunnen op diverse manieren in het beton terecht komen. Naargelang de hoeveelheid aanwezige chloriden en de specifieke randvoorwaarden (omgeving, verwachte levensduur, betondekking, ...) zijn verschillende behandelingsmethodes aangewezen.

Betonschade door chloriden vereist een specifieke aanpak, vermits het schadebeeld sterk verschilt van het schadebeeld bij betonschade door carbonatatie. Chlorideschade wordt gekenmerkt door lokale aantasting, waarbij zich putcorrosie voordoet bij de wapening. Dergelijke ernstige lokale aantasting van de wapening kan op relatief korte termijn de stabiliteit in het gedrang brengen. Bovendien wordt deze aantasting gekenmerkt door weinig visuele schade, waardoor het gevaar bestaat dat onvoldoende aandacht geschonken wordt aan deze problematiek. Er kan reeds aanzienlijke inwendige schade bestaan, vooraleer zich aan het oppervlak schade manifesteert.

Binnen eenzelfde constructie kunnen de chloridenconcentraties sterk uiteenlopen als gevolg van een andere betonsamenstelling en/of verschillen in blootstelling (bv. combinatie prefab-ter plaatse gestort, lekken, ...). Er zijn een aantal preferentiële plaatsen voor chloriden, waaronder oudere prefab-elementen (bindingsversneller), nabij waterafvoeren en locaties waar zich condensatie voordoet bij luchtcirculaties (natuurlijk/opgelegd).

Daarnaast speelt ook de beschikbaarheid van zuurstof en water een belangrijke rol bij het optreden van het corrosieproces.

Tot slot wordt opgemerkt dat de aanwezigheid van chloriden in het beton veelal aanleiding kan geven tot terugkerende schade, zelfs bij zeer grondige en nauwkeurige betonherstelling. Het is dus ten zeerste aangewezen om na te gaan of er een risico bestaat op aantasting door chloriden om misverstanden met de opdrachtgever op termijn te vermijden.

II RISICO OP CHLORIDESCHADE

1. HERKOMST CHLORIDEN

De oorsprong van chloriden in het beton kan gesplitst worden in twee grote hoofdoorzaken: ingemengde en ingedrongen chloriden.

1.1 Ingemengde chloriden

Chloriden kunnen in het beton worden ingemengd door het gebruik van verontreinigde grondstoffen (uit zee gewonnen). Een tweede oorzaak bij oudere betonconstructies is het toepassen van chloorhoudende hulpstoffen (bv. CaCl_2 als bindingsversneller). Op heden is dit echter voor nieuw beton verboden volgens de Europese norm NBN EN 206-1 : 2001 en de Belgische aanvulling NBN B15-001 : 2004.

Aan het chloridegehalte¹ in niet-gecarbonateerd (nieuw) beton worden grenswaarden opgelegd. De Europese norm NBN EN 206-1 voorziet twee chloridenklassen voor gewapend nieuw beton met maximumwaarden voor het chloridegehalte van 0,2% en 0,4% t.o.v. de massa cement. De aanvullende Belgische norm NBN B15-001 (2004) houdt slechts rekening met 1 grenswaarde: 0,4% t.o.v. de massa cement (gewapend beton). Het chloridegehalte van ongewapend beton mag oplopen tot 1% (m/m_{cement}). Voor voorgespannen beton bedraagt de grenswaarde 0,2% (m/m_{cement}).

¹ In dit document wordt met de term chloridegehalte verwezen naar het percentage chloriden ten opzichte van de massa cement (m/m_{cement}).

1.2 Ingedrongen chloriden

Chloriden kunnen ook van buitenaf in het beton indringen. De mate waarin chloriden in het beton indringen is afhankelijk van verschillende factoren: o.a. kwaliteit van beton (samenstelling, uitvoering, nabehandeling, ...), omgevingsvoorwaarden, eventuele beschermingsmaatregelen en frequentie van blootstelling.

De vochtigheidsgraad van het beton is een zeer belangrijke factor voor het absorberend vermogen van beton. Hiermee wordt rekening gehouden in de verschillende blootstellingsklassen die hieronder aan bod komen.

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende oorzaken (NBN EN 206-1):

1. Maritieme constructies

Constructies in de omgeving van de kust zijn onderhevig aan de inwerking van chloriden, gezien het hoge chloridegehalte van zeewater. De chloriden kunnen zowel aangevoerd worden door zeewater als door zeewind.

In de Europese norm NBN EN 206-1 wordt hierbij voor de milieuklassen nog een bijkomend onderscheid gemaakt tussen betonconstructies nabij of aan de kust (zouten in de lucht – XS1), maritieme constructies onder water (permanent vochtig – XS2) en maritieme constructies in getijde-, spat- en stuifzone (XS3).

2. Andere dan maritiem

- Dooizouten (XD3)

Opspattend water met dooizouten kan aanleiding geven tot chlorideschade bij pijlers van bruggen, onderzijde van brugdekken en wanden en plafond van tunnels. De schade bij pijlers situeert zich in de spatzone. Bij brugdekken doet de schade zich hoofdzakelijk voor ter plaatse van (lekkende) voegen en/of defecte waterafvoeren.

- Zwembaden (XD1 - XD2)

Omwille van de hygiëne wordt in zwembadwater steeds een bepaald chloorgehalte aangehouden. Bij gebreken in de dichting kunnen de wanden en/of de bodem van het zwembad in aanzienlijke mate worden aangetast door chloriden. Ook de betonstructuren die niet direct in contact staan met het zeewater, kunnen worden aangetast.

Opmerking: dit effect wordt nog versterkt bij zwembaden waar gebruik gemaakt wordt van zeewater, waar reeds chloriden in aanwezig zijn.

- Productieprocessen (XD2)

Bij verschillende productieprocessen wordt chloor toegepast. Dit is onder meer het geval bij bleekprocessen (bv. papier), pekelen van voedingswaren (bv. kaas), industriële waterbehandeling (o.a. koelwater koeltorens), enz.

Door het verschil in concentratie aan chloriden inwendig en uitwendig aan het beton, kan migratie van chloriden in het beton plaatsvinden. Hetzelfde fenomeen kan zich voordoen bij bulkopslag.

- Reinigingsproducten (XD2)

Omwille van zijn ontsmettend karakter wordt chloor in verschillende reinigingsproducten verwerkt (o.a. bleekwater). Veelvuldig gebruik hiervan (o.a. ook industriële reiniging) kan aanleiding geven tot chloridenverontreiniging van het beton.

2. AANWEZIGHEID CHLORIDEN BEPALEN

2.1 Beschrijving van corrosieproces in aanwezigheid van Cl

Chlorideschade komt slechts weinig tot uiting aan het oppervlak. Toch zijn er enkele aanwijzingen die kunnen wijzen op aantasting van de wapening. De belangrijkste visuele schade zijn uitlopende roestvlekken. Deze zijn een gevolg van de putcorrosie van de wapening, waarbij uitloging van het staal optreedt. Deze uitlopende roestvlekken mogen echter niet verward worden met de roestvlekken die zich kunnen voordoen bij o.a. pyriethoudende keien of binddraadjes aan het oppervlak –*zie Bijlage B.1 Foto's*–.

Ook scheuren met roestafzetting kunnen wijzen in de richting van aantasting door chloriden.

Er zijn een aantal preferentiële plaatsen voor chloriden –*zie Bijlage B.1 Foto's*–, waaronder oudere prefab-elementen (bindingsversneller), nabij waterafvoeren en locaties waar zich condensatie voordoet bij luchtcirculaties (natuurlijk/opgelegd).

Indien de wapening kan geïnspecteerd worden, kan chlorideschade herkend worden aan de putcorrosie. Het is mogelijk dat slechts een gedeelte van de wapening aantasting vertoont. In ernstige gevallen is de wapening overal gecorrodeerd.

Het is belangrijk te weten dat chlorideverontreiniging bij elke constructiedeel kan voorkomen. Ook wanneer een constructie niet binnen de hoger vermelde risicozones valt, zijn enkele chloridetesten aangewezen. Het kan immers gaan om ingemengde chloriden of blootstelling aan chloriden in het verleden van de constructie.

Een specifiek aandachtspunt is de bovenste wapening bij balkonplaten. Deze wapening fungeert als trekwapening en verzekert dus de stabiliteit van het betonelement.

Echter, bij aantasting door chloride zal deze schade vaak onzichtbaar blijven door de afwerking met een vloerbekleding.

Omwille van bovenstaand risico en het feit dat de inwendige schade lange tijd onzichtbaar blijft (zeker bij grote betondekking) is het noodzakelijk om, bij het betononderzoek van dergelijke elementen, steeds het chloridegehalte kwantitatief te bepalen aan de hand van laboratoriumproeven.

Hierbij moeten afzonderlijke proeven worden uitgevoerd bij verschillende betondelen op verschillende locaties. Zoals reeds hoger opgemerkt, kan de chlorideverontreiniging immers verschillen tussen de betonelementen (afhankelijk van betonsamenstelling en blootstelling) en bovendien kan de chloridenaantasting in sommige gevallen een plaatselijk fenomeen zijn.

2.2 Laboratoriumproeven

Chloridemetingen

Het totale gehalte aan chloriden kan op verschillende manieren bepaald worden. Dit kan onder meer aan de hand van fotometrie, potentiometrische titratie, elektrode meting (RCT) en benaderend met behulp van werfkits. De metingen gebeuren op boorstofmonsters, die ofwel rechtstreeks ontnomen worden (bv. boren) of bekomen worden door verbrijzeling van brokstukken. De ontnomen monsters dienen representatief te zijn voor het volledige constructiedeel. Bij het ontnemen van boorstofmonsters moet de diameter van de boor minimum 20mm bedragen. Elk poederstaal moet ongeveer 20g bedragen om als representatief beschouwd te worden.

Bij boren in voorgespannen betonelementen moet erover gewaakt worden de aanwezige voorspanwapening niet te beschadigen. De hoeveelheid proeven, de locatie ervan en de beoogde chlorideprofielen maken deel uit van het vooronderzoek.

Vooral het chloridegehalte ter hoogte van de wapening is van belang. Hiernaast is het van belang het chloridegehalte op verschillende dieptes te bepalen, om te kunnen vaststellen of de chloriden al dan niet zijn ingedrongen van buitenaf.

Om een chlorideprofiel op te stellen, kan geboord worden op verschillende dieptes of kan een boorkern ontnomen worden, die dan verzaagd wordt per diepte. Dit laatste houdt echter risico's in met betrekking tot uitspoelen van zouten (koelwater).

De chloridegehalten kunnen sterk verschillen van constructiedeel tot constructiedeel (bv. prefab/ter plaatse gestort). Het is dan ook van het grootste belang de chloridenstalen voldoende gespreid te nemen en de locaties oordeelkundig te kiezen.

Alle bovenstaande methodes geven als resultaat het percentage chloriden ten opzichte van de massa beton, al dan niet op verschillende dieptes. Deze percentages kunnen worden omgerekend naar percentages chloriden ten opzichte van de massa cement, mits de volumieke massa en het cementgehalte van het beton gekend zijn. Het kan nuttig zijn om eveneens de cementsoort te bepalen (a.h.v. petrografisch onderzoek) om bijkomende informatie te verkrijgen.

Beoordelingscriterium

Uitgaande van de voorschriften van de norm NBN EN 206-1 : 2001 en de aanvullende Belgische norm NBN B15-001 (2004) kan voor gewapend beton een veilige drempelwaarde vooropgesteld worden van 0,4 % (m/m_{cement}) ter hoogte van de wapening. Bij voorgespannen beton bedraagt deze drempelwaarde 0,2% (m/m_{cement}).

Bij overschrijding van deze drempelwaardes is bijkomend onderzoek vereist (herkomst, chlorideprofiel, ...).

Als vuistregel kan gesteld worden dat bij gewapend beton voor concentraties tussen 0,4 en 1% (m/m_{cement}) waakzaamheid geboden is en bij concentraties hoger dan 1% (m/m_{cement}) er een hoog risico is op aantasting van de wapening.

III BEHANDELING CHLORIDESCHADE

1. VOORONDERZOEK –zie Bijlage B.2 Onderzoek chlorideschade–

Zoals in punt II aangegeven, is het van belang om bij elk herstellingsproject na te gaan of er sprake is van chlorideverontreiniging. Een **vooronderzoek** naar de oorzaken en de ernstgraad van de betonschade is onontbeerlijk. Dit wordt trouwens ook opgelegd door de norm **NBN EN 1504-9**, voorafgaand aan elk betonreparatieproject.

Bij dit vooronderzoek hoort ook de bepaling van het chloridegehalte, vermits visuele inspectie ontoereikend kan zijn om de inwendige schade in te schatten. Immers, ook zichtbaar onbeschadigde constructies kunnen al in belangrijke mate chlorideverontreinigd zijn!

Bovendien is de **behandelingsmethode** (zie punt 2.2. *Behandeling*) sterk **afhankelijk van** de gemeten **chloridegehalten**. Naast het vaststellen dat er zich chlorideschade voordoet, is het dus ook onontbeerlijk om de chloridegehalten te kennen verspreid over de constructie, én in de diepte.

Daarnaast kunnen aanvullende proeven worden uitgevoerd, zoals potentiaal- en corrosiesnelheidsmetingen, betondekkingsmetingen, metingen van de carbonatatie diepte en destructieve controle van de toestand van de wapening. Om de snelheid van de chloride-indringing na te gaan, kan een chloridediffusieproef worden uitgevoerd op boorkernen (RCM-proef). De resultaten van deze proef moeten met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd worden en vormen een aanvulling op de globale diagnose.

Het onderzoek omvat niet alleen de toestand van de constructie, maar ook de omgevingsvoorwaarden. Belangrijk hierbij is bijvoorbeeld na te gaan of chloriden van buitenaf in het beton kunnen dringen, of er zich verschillen voordoen naargelang de oriëntatie van de constructie, welke migratieprofielen zich kunnen voordoen, enz.

Het vooronderzoek moet zo objectief mogelijk gebeuren en met kennis van zaken om te vermijden dat chloridestalen ontnomen worden op niet-relevante plaatsen.

Het is daarom aangewezen een onafhankelijk studie bureau en/of laboratorium onder de arm te nemen.

2. BEHANDELING

2.1 Principes NBN EN 1504 – 9

In de norm NBN EN 1504-9 zijn verschillende principes aangegeven voor betonherstelling en –bescherming. Principes 1 t.e.m. 6 behandelen betonschade als gevolg van mechanische, chemische, biologische en fysische acties. Principes 7 t.e.m. 11 behandelen betonschade als gevolg van wapeningscorrosie.

- Principe 1: bescherming tegen indringing
- Principe 2: beheersen van de vochtigheid
- Principe 3: betonherstelling
- Principe 4: constructieve versterking
- Principe 5: fysische bestendigheid
- Principe 6: bestendigheid tegen chemicaliën
- Principe 7: behoud of herstel van passiviteit
- Principe 8: vergroten van het weerstandsvermogen
- Principe 9: beheersing van kathodische gebieden
- Principe 10: kathodische bescherming
- Principe 11: beheersing van anodische gebieden

Welke principes worden toegepast, is afhankelijk van de oorzaak van de betonschade en de mate van aantasting. De principes die van toepassing zijn bij het behandelen van betonschade door chloridenaantasting zijn hieronder weergegeven.

2.2 Behandeling in functie van chloridegehalte –zie Bijlage B.3 Behandeling chlorideschade–

De eerste indeling die gemaakt wordt, is de opsplitsing tussen ingemengde en ingedrongen chloriden. Daarna wordt nog een subverdeling gemaakt volgens chloridegehalte. De bovenstaande principes kunnen dan worden ingedeeld naar gelang de ernst van de chlorideverontreiniging.

2.2.1 Ingemengde chlorides

Chloridegehalte (m/m _{cement}) t.h.v. wapening	Behandeling ²	Principes NBN EN1504-9
< 0,2% (spanbeton)	Klassieke betonherstelling	Principe 3
< 0,4% (gewapend beton)	Preventieve toepassingen: Elastische coating/Impregneren	Principes 1, 2, 6
0,4 – 1% (lichte plaatselijke corrosie)	Klassieke betonherstelling Lokale offeranodes Preventieve toepassingen: Elastische coating/Impregneren Kathodische bescherming (globaal)	Principe 3 Principe 10 Principes 1, 2, 6 Principe 10
1 – 2% (ernstige, maar lokale corrosie)	Klassieke betonherstelling inclusief spuitbeton of spuitmortel (buffer) vervangen van te sterk aangetaste zones Offeranodes (globaal) Kathodisch beschermingssysteem met opgelegde stroom Preventieve toepassingen: Elastische coating/Impregneren	Principe 3 3.3 3.4 Principe 10 Principe 10 Principes 1, 2, 6
>2% (ernstige globale corrosie; stabiliteitsrisico)	Globaal Kathodisch beschermingssysteem met opgelegde stroom met offeranodes <i>Een dergelijk systeem vereist een aangepast ontwerp en een deskundige uitvoering. Het systeem kan enkel worden toegepast wanneer de constructie nog niet te sterk is aangetast.</i> Structurele versterking (in geval stabiliteitsproblemen) Sloop	Principe 10 Principe 4 /

² Binnen de principes van de norm NBN EN 1504-9 worden ook corrosie-inhibitoren vermeld. Bij het samenstellen van dit document is er onvoldoende bewijs dat inhibitoren (aan het oppervlak aangebracht) gelijkmatig tot aan de wapening doordringen. Daarom is deze methode voorlopig niet certificeerbaar.

2.2.2 Ingedrongen chlorides

In eerste instantie moet worden nagegaan wat de bron is van de ingedrongen chloriden. Indien mogelijk moet de bron worden verwijderd, zoniet moet het beton sowieso afgeschermd worden.

Chloridenaantasting is overwegend niet uniform, maar leidt tot plaatselijk ernstige corrosie (putcorrosie). Tijdens het vooronderzoek moet voldoende aandacht geschonken worden aan mogelijke kritieke punten (o.a. microscheuren, aansluitingen/stornaden, afvoeren, ...) en moet een risicobeoordeling van de stabiliteit worden uitgevoerd.

Ingeval de chlorides de wapening al bereikt hebben, kan het schema onder punt 2.2.1 worden toegepast.

Ingeval de chlorides de wapening nog niet bereikt hebben, stelt zich in hoofdzaak de vraag hoe groot het risico van chloride-aantasting is naar de toekomst toe (chlorideprofiel).

Om dit risico in te schatten kan geopteerd worden om de werkelijke chloridegehalten te monitoren. Dit kan door het regelmatig meten van de aanwezige chloridegehalten op representatieve locaties. Een andere mogelijkheid is het opvolgen van de potentialen van de wapening, die een maat zijn voor de waarschijnlijkheid van corrosie (periodiek handmatig of continu computergestuurd).

Wanneer dit risico aanvaardbaar is, kan indien nodig gebruik gemaakt worden van de hersteltechnieken voor gecarbonateerd beton. Aangezien het risico op schade blijft bestaan, is een verdere opvolging noodzakelijk.

Wanneer dit risico niet aanvaardbaar is, kan het schema onder punt 2.2.1 worden toegepast. Het is daarnaast aan te raden preventief kathodische bescherming (principe 10) aan te brengen.

3. AANVULLENDE OPMERKINGEN

3.1 Risico op falen

Met een toenemend chloridegehalte stijgt de kans op falen van klassieke betonherstellingen (zelfs in geval van grondige en correcte uitvoering). In vele gevallen doet zich relatief snel (meestal binnen de 10 jaar na herstelling) nieuwe schade voor, in het bijzonder in de aanliggende zones van de herstelde zones (herstelcorrosie³).

Om teleurstellingen en bijgevolg discussies met de opdrachtgever te vermijden, is het aangewezen de risico's duidelijk te communiceren. De risico's zijn projectgebonden en bovendien afhankelijk van de gekozen behandelingsmethode (*zie schema onder punt 2.2.1*).

3.2 Chloride-extractie (CEN/TS 14038-2)

Een oplossing die soms naar voor geschoven wordt bij chlorideverontreiniging door ingedrongen chlorides is de techniek van chloride-extractie.

Aan deze elektrochemische behandeling zijn enkele risico's verbonden, bv. introductie van Alkali Aggregaat Reacties (ASR, ACR), vorming chloorgas, risico op waterstofverbrossing, ... Ook de porositeit van het beton en scheurvorming moeten worden nagegaan. Daarnaast is er de problematiek van de chloriden die zich achter de wapening bevinden.

Bij eventuele toepassing is dus nood aan diepgaander onderzoek (bv. petrografisch onderzoek, bepalen alkaligehalte, ...).

³ *Herstelcorrosie = patch effect = ring anode effect*

3.3 Kathodische bescherming

Bij (sterke) chlorideverontreiniging kan in sommige gevallen een systeem van kathodische bescherming een oplossing bieden. Het principe van de techniek bestaat erin de potentiaal van de wapening te verlagen, waardoor de corrosie vertraagt of wordt stopgezet. Deze potentiaalverlaging wordt bekomen door kunstmatig elektronen toe te voeren aan het wapeningsstaal.

Er bestaan twee soorten kathodische bescherming: opofferingsanodes of een systeem met opgelegde stroom (*EN 12696; goedkeuringsleidraad G0016*).

Bij opofferingsanodes wordt een verbinding gemaakt tussen de wapening en een minder edel metaal (bv. zink), waardoor het minder edele metaal corrodeert in plaats van het wapeningsstaal. Het minder edele metaal offert zich dus als het ware op.

Bij een systeem met opgelegde stroom wordt de wapening verbonden met de negatieve pool van de spanningsbron waardoor elektronen worden toegevoerd aan het wapeningsstaal. De anode bestaat uit een inert materiaal (bv. titanium) dat verbonden is met de positieve pool van de spanningsbron. Een systeem met opgelegde stroom is een permanent systeem, dat periodieke controle vereist. Bovendien moet aan een aantal randvoorwaarden (o.a. continuïteit van de wapening) voldaan zijn vooraleer een dergelijk systeem kan worden toegepast.

3.4 Spanbeton

Bovenstaande richtlijnen werden opgesteld voor gewapend beton. Hiervoor werd een drempelwaarde vooropgesteld van 0,4% (m/m_{cement}). Bij spanbeton moet echter rekening gehouden worden met een grenswaarde van 0,2% (norm NBN EN 206-1 + aanvulling NBN B15-001).

Het toepassen van kathodische bescherming bij spanbeton vereist het in acht nemen van enkele bijkomende richtlijnen, gezien het gevaar voor waterstofverbrossing bij spanbeton.

3.5 Scheuren

De behandeling van scheuren werd in het voorgaande niet specifiek behandeld. Het spreekt voor zich dat scheuren gemakkelijke toegangswegen vormen voor de indringing van water en chloriden. Het is daarom aangewezen bestaande scheuren te dichten. Binnen de Europese norm NBN EN 1504-9 valt dit onder principe 1.

IV CONCLUSIE

1. VOORONDERZOEK

Zoals in de norm NBN EN 1504-9 wordt gesteld, is het noodzakelijk om als eerste stap bij elk betonherstellingsproject een **vooronderzoek** uit te voeren. Dit vooronderzoek omvat meer dan enkel een visuele inspectie. Betonschade, specifiek deze door chloridenaantasting, kan zich inwendig afspelen zonder dat er zich al schade manifesteert aan het buitenoppervlak. Dit fenomeen wordt nog versterkt naarmate de betondekking toeneemt.

Enkel het uitvoeren van gerichte proeven, o.a. **chloridetesten**, op relevante locaties kan inzicht bieden in de schade-oorzaak en de graad van aantasting.

Een vooronderzoek wordt best objectief en met kennis van zaken uitgevoerd door een onafhankelijke partij.

2. REPARATIEMETHODE IN FUNCTIE VAN CHLORIDEGEHALTE

Weten dat er zich chlorideschade voordoet, is onvoldoende. De **chloridgehaltes op verschillende dieptes** (chlorideprofielen) zijn van cruciaal belang om de **geschikte reparatiemethode én het risico op falen** te kunnen inschatten.

Het kritische chloridegehalte is al jaren een punt van discussie binnen wetenschappelijke kringen. Een absolute richtlijn kan niet worden gegeven, maar algemeen wordt aangenomen dat er bij gewapend beton een risico bestaat op aantasting door chloriden vanaf 0,4% (m/m_{cement}) ter hoogte van de wapening, zoals vermeld in de Europese norm NBN EN 206-1 (niet-gecarbonateerd beton).

Echter, niet alleen het chloridegehalte is van belang. Ook de hoeveelheid gecorrodeerde wapening en de mate waarin de wapening reeds is aangetast, spelen een cruciale rol (putcorrosie). De stabiliteit van het bouwwerk dient altijd geverifieerd te worden. Indien nodig, worden (opgelijmde) wapeningen bijgeplaatst.

In functie van het vastgestelde chloridegehalte ter hoogte van de wapening (m/m_{cement}) worden verschillende herstellings- / beschermingstechnieken voorgesteld, gaande van het aanbrengen van een coating, over klassiek betonherstel (vervangen aangetaste zones), tot kathodische bescherming.

In functie van de toestand van de wapening kan er nood zijn aan bijplaatsen van bijkomende wapening of uitwendige versterking. In extreme gevallen is sloop van het verontreinigde betonelement onvermijdelijk.

3. COMMUNICATIE

Communicatie is het sleutelwoord om misverstanden met de opdrachtgever te vermijden. Zelfs bij grondige en nauwkeurige betonherstelling, bestaat bij ernstige chloridenaantasting nog steeds een **risico op terugkerende schade**. Wanneer de **opdrachtgever** hierover is **ingelicht**, worden teleurstellingen en discussies achteraf vermeden.

De te kiezen reparatiemethode is ook sterk afhankelijk van de **verwachtingen** en het budget van de opdrachtgever. Welke levensduur wordt nog beoogd? Wil men liever beperkt renoveren met inachtneming van de risico's of wil men zekerheid op lange termijn?

Het is belangrijk aandacht te hebben voor de wensen van de opdrachtgever, maar ook om duidelijk de risico's verbonden aan de voorgestelde maatregelen te communiceren.

Bovendien heeft de aannemer volgens NBN EN 1504-9 een **meldingsplicht** aangaande **nazorg** ten aanzien van de bouwheer.



FOTO 1: chlorideschade (kustklimaat)

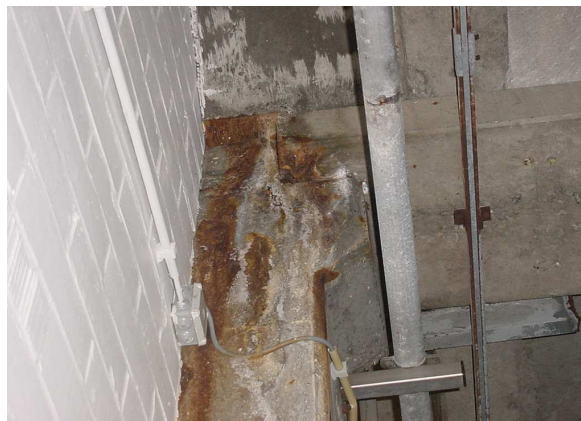


FOTO 2: chlorideschade (industrie)



FOTO 3: chlorideschade (zwembad)



FOTO 4: chlorideschade (koeltoren)



FOTO 5: chlorideschade (lekkende voegen viaduct)



FOTO 6: chlorideschade (kustklimaat-prefabpanelen)



FOTO 7: chlorideschade (pijlers brug - dooizouten)

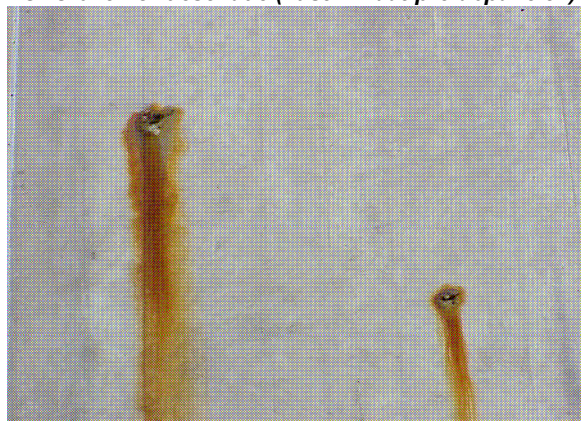


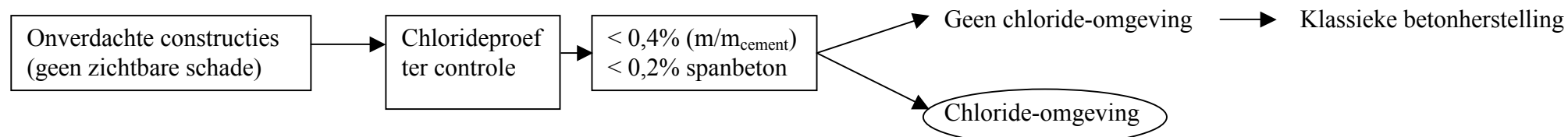
FOTO 8: geen chlorideschade (pyriethoudende keien)



FOTO 9: chlorideschade (zeeklimaat - putcorrosie)

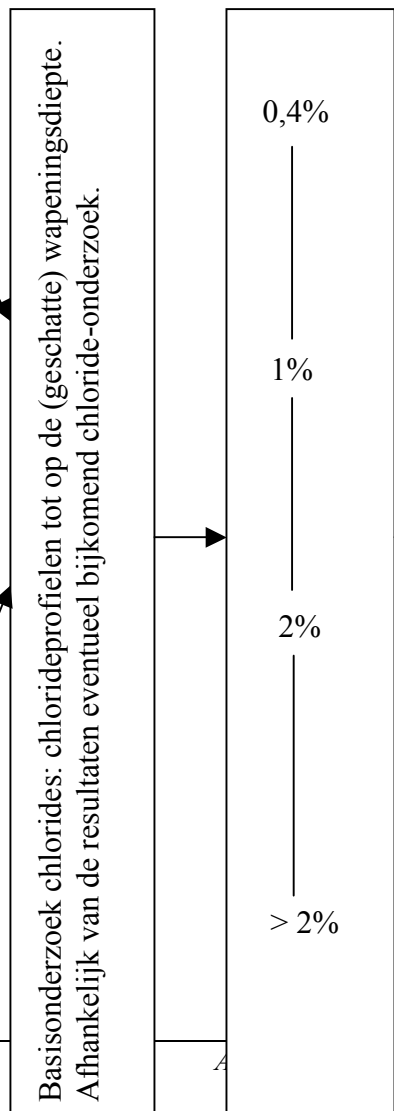


FOTO 10: geen chlorideschade (binddraadjes)



- Risicodomeinen
(ingemengde chloriden):
- Verdachte schadebeelden:
 - roestvlekken
 - scheuren met roestsuitslag
 - hevige corrosie
 - Prefab-beton
 - Geen carbonatatie (fenolftaleïne-test) en toch corrosie

- Chloride-omgeving
(ingedrongen chloriden):
- Zee, maritieme constructies
 - Kustlijn 200m
 - Bruggen (dooizouten):
 - lekkende voegen
 - spatzone kolommen
 - gebreken aan waterdichting en afvoeren
 - Waterzuivering
 - Brak grondwater
 - Industriële processen
 - Zwembaden (met chloorgebruik)
 - ...



Bijkomend onderzoek	Doel
Opmaak chlorideprofiel	Ingedrongen/ingemengd Chloride% t.h.v. wapening
Metingen betondekking	Chloridepercentage t.h.v. wapening
Metingen carbonatatie diepte	Kan als accelerator werken
Potentiaal- en corrosiesnelheidsmetingen	Lokale of algemene corrosie
Visuele controle (lokale of algemene corrosie, scheuren, putcorrosie?)	Invloed op stabiliteit
Chloride-indringingsproef	Voorspellen indringingssnelheid
Identificatie van risicozones	Beoordeling stabiliteit/schoringsmaatregelen

BIJLAGE B.3 BEHANDELING CHLORIDESCHADE

1 VOORONDERZOEK inclusief bepalen chloridegehaltes/-profiel			
2 BEHANDELING op basis van resultaten vooronderzoek			
Chloridegehalte (m/m_{cement}) t.h.v. wapening	Behandeling	Principes NBN EN 1504-9	Opmerkingen
< 0,2% (spanbeton) < 0,4% (gewapend beton)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klassieke betonherstelling ▪ Preventieve toepassingen: Elastische coating/Impregneren 	Principe 3 Principes 1, 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Het dichtn van scheuren valt onder principe 1 <i>(zie tekst punt 3.5)</i>
0,4 – 1%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klassieke betonherstelling ▪ Lokale offeranodes ▪ Preventieve toepassingen: Elastische coating/Impregneren Kathodische bescherming (globaal) 	Principe 3 Principe 10 Principes 1, 2, 6 Principe 10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Met toenemend chloridegehalte toenemende kans op falen bij toepassing hersteltechnieken voor gecarbonateerd beton ▪ Risico op herstelcorrosie ▪ Risico's afhankelijk van gekozen behandelingsmethode <p>➔ Risico's communiceren naar opdrachtgever toe!</p>
1 – 2%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klassieke betonherstelling incl. spuitbeton of spuitmortel (buffer) vervangen van te sterk aangetaste zones ▪ Offeranodes ▪ Kathodische bescherming met opgelegde stroom ▪ Preventieve toepassingen: Elastische coating/Impregneren 	Principe 3 3.3 3.4 Principe 10 Principe 10 Principes 1, 2, 6	
>2%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Globaal Kathodisch beschermingssysteem met opgelegde stroom met offeranodes ▪ Structurele versterking (stabiliteitsproblemen) ▪ Sloop 	Principe 10 Principe 4 /	
3 DEFINITIEVE STRATEGIE IN OVERLEG met opdrachtgever			