

DUURZAAM BETONHERSTEL

Leidraad voor studie- en
architectenbureaus

NAV.:
netwerk architecten vlaanderen

POCKET



DUURZAAM BETONHERSTEL

Deze publicatie werd ontwikkeld in het kader van het project Duurzaam Betonherstel, een project van de Vlaamse Confederatie Bouw i.s.m. NAV, FEREB Belgium en WTCB.



Met de steun van het Vlaams Agentschap voor Innoveren en Ondernemen (VLAIO)

**AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN**

INDEX

1.	Inhoud	4
2.	Deskundigen	6
3.	Schadeorzaken van beton en hun schadebeeld	7
3.1.	Uitingen van betonschade	7
3.2.	Schadeorzaken van beton	8
4.	De beoordeling van de toestand van de betonconstructie	19
4.1.	Doel van de beoordeling van de toestand van een betonconstructie	19
4.2.	Tijdstip van de beoordeling van de toestand van een betonconstructie	20
4.3.	Werkwijze voor de beoordeling van de toestand van een betonconstructie	21
4.4.	De rapportering	31
5.	Selectie van de herstelmethode(n)	32
5.1.	Invloedsparameters	32
5.2.	Te ondernemen acties	33
5.3.	Principes voor het herstellen en beschermen van betonconstructies	34
6.	Herstelmethode(n)	38
6.1.	Het vervangen van verontreinigd of gecarbonateerd beton	38
6.2.	Kathodische bescherming	44
6.3.	Versterking d.m.v. gelijkijde wapening	46

1. INHOUD

In de media staan er tegenwoordig regelmatig berichten over de falende Belgische betonnen infrastructuur. Van vele betonnen structuren is inderdaad de ontwerplevensduur overschreden, was het ontwerp, de uitvoering en het gebruik van materialen ontoereikend voor wat betreft de duurzaamheid, en is het onderhoud en de monitoring beperkt of (in vele gevallen) onbestaand.

Het aantal opdrachten voor betonherstel zal in de nabije toekomst bijgevolg enkel stijgen. Ook bij renovatieprojecten waar in eerste instantie geen uiterlijke problemen zijn met de betonstructuur, dienen er naargelang de situatie herstellingen, beschermingen of verstevigingen uitgevoerd te worden. Zelfs bij nieuwbouwprojecten komt regelmatig een deel betonherstel kijken.

Een betonherstelling bestaat in grote lijnen uit volgende fasen:

- 1. De beoordeling van de toestand van de betonconstructie (diagnose)**
- 2. De selectie van de herstelmethode(n)**
- 3. De uitvoering van de herstellingswerken**

De kwaliteit en de duurzaamheid van de uiteindelijke herstelling hangen in grote mate af van de goede benadering en uitvoering van elk van deze fasen afzonderlijk, maar ook van hun onderlinge afstemming. Een ondoordachte benadering leidt al gauw tot snel falende herstellingen, onvoorziene omstandigheden tijdens de uitvoering, geschillen en financiële fiasco's. Een vaak voorkomende fout is bv. dat de herstellingswerken al beschreven worden in een lastenboek, terwijl de werkelijke toestand van de betonconstructie niet of onvoldoende gekend is.

Om een duurzaam en kwalitatief resultaat te verkrijgen is het daarom belangrijk dat de betrokken partijen bij een betonherstelling (architecten, studie bureaus, aannemers, bouwheren) weten hoe een betonherstelling aangepakt dient te worden. Afhankelijk van hun betrokkenheid dienen ze in voldoende mate bekend zijn met

- De mogelijke schadeoorzaken van beton en hun schadebeeld;
- Het belang en de werkwijze van een correct uitgevoerde diagnose van de toestand van een betonconstructie;

- De bestaande herstel- en beschermmethoden en -producten, hun toepassingsgebied(en) en hun beperkingen en mogelijkheden.

In deze pocket worden enkele voor architecten relevante passages overgenomen uit de TV 231 "Herstelling en bescherming van beton (gebouwen en burgerlijke bouwkunde" van het WTCB).

2. DESKUNDIGHED

Bij verschillende fasen van een betonherstelling is de tussenkomst van een **deskundige partij** vereist. Via het **BCCA** is het voor bedrijven mogelijk om zich te laten certificeren voor de uitvoering van betonherstellingen volgens een lastenboek (bedrijf **niveau A**) en voor de interpretatie van de resultaten van een beoordeling van de toestand van een betonconstructie (bedrijf **niveau B**). Voor de uitvoering van de beoordeling van de toestand van betonconstructies bestaat een postuniversitaire cursus (UGent), maar bedrijven kunnen zich hiervoor voorlopig nog niet laten certificeren. Dit zal binnenkort wel mogelijk zijn (bedrijf **niveau C**). Op de website van BCCA zijn de verschillende technische voorschriften hiervoor beschikbaar, en vindt men lijsten terug met gecertificeerde bedrijven.

De Belgische vereniging van specialisten in herstelling, bescherming en versterking van beton ([FEREB](#)) vertegenwoordigt verschillende producenten, leveranciers, aannemers en dienstverleners.

3. Schadeorzaken van beton en hun schadebeeld

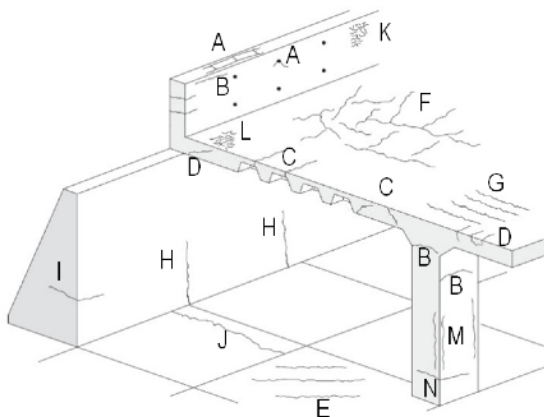
1. Uitingen van betonschade

Betonschade kan op diverse manieren tot uiting komen. In de meeste gevallen treedt er scheurvorming op. De scheuren kunnen een rechte lijn of een willekeurig verloop hebben en de scheuropening kan variëren.

Scheuren die gepaard gaan met ontoelaatbare vervormingen kunnen duiden op een structureel probleem. Bij twijfel over de structurele eigenschappen van de constructie (of een deel ervan) is het aangewezen een stabiliteitsstudie te laten uitvoeren.

Scheuren kunnen ook veroorzaakt worden door inwendige expansieve reacties in het beton of corroderende (roestende) wapening. Dergelijke scheuren resulteren, indien ze onbehandeld blijven, in afbrokkelingen en het loskomen van brokstukken beton.

In Figuur 1 wordt een overzicht gegeven van enkele veel voorkomende scheurpatronen in beton.



A, B, C, D: Plastische zettings-scheuren

E, F, G: Plastische krimp-scheuren

H, I: Thermische krimp-scheuren

J: Scheuren door uitdrogingskrimp

K, L: Craquelé t.g.v. differentiële uitdrogingskrimp

M, N: Scheuren door wapenings-corrosie

FIGUUR 1: VEEL VOORKOMENDE SCHEURPATRONEN IN BETON

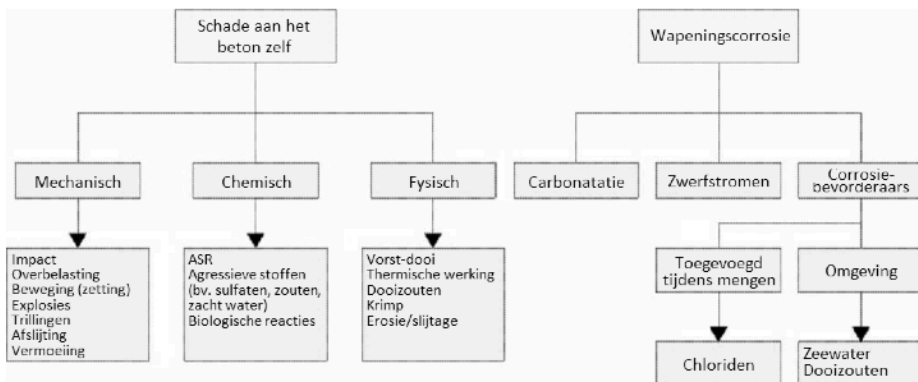
Andere schade-indicatoren van beton zijn verkleuringen, de ruwheid van het oppervlak, afschilferingen, vochtvlekken en roestsporen.

Een ervaren inspecteur kan, op basis van het schadebeeld (bv. de vorm en plaats van de scheur, de grootte van de scheuropening), doorgaans al een goed beeld krijgen van de schadeorzaken die mogelijk spelen. Een diepgaande beoordeling is echter onontbeerlijk om precies te bepalen wat de schadeorzaken zijn, om in te schatten wat de werkelijke omvang is van de schade en om de nodige gegevens verschaffen die nodig zijn om een duurzame betonherstelling uit te voeren volgens de wensen van de opdrachtgever.

2. Schadeorzaken van beton

Volgens de norm NBN EN 1504-9 kan schade aan betonconstructies in twee hoofdgroepen onderverdeeld worden (zie Figuur 2):

1. Schade aan het beton zelf
2. Wapeningscorrosie



FIGUUR 2: SCHADEORZAKEN VAN BETON VOLGENS DE NORM NBN EN 1504-9

Mechanische schade

Mechanische betonschade komt meestal tot uiting door scheurvorming, eventueel gepaard met een ontoelaatbare vervorming.

Bij belastingen van zeer korte duur (bv. een impact of explosie) kunnen er brokstukken beton loskomen. Hoewel het verband tussen de schade en de schadeoorzaak in dit geval doorgaans voor de hand ligt, is het toch aan te raden om na te gaan of er geen andere actieve schademechanismen behandeld moeten worden.

Schade ten gevolge van een langdurige beperkte overbelasting of zetting van de ondergrond onder de steunpunten komt veel langzamer tot uiting, aangezien de kruip van het beton hierbij een grote rol speelt. In dit geval dient men naast de beoordeling van de schadetoestand, ook een stabiliteitsstudie uit te voeren om de invloed van een eventuele overbelasting te evalueren.

Trillingen zijn dikwijls een bron van ongenoegen voor de gebruikers van de constructie, maar leiden slechts zelden tot schade.

Chemische schade

Alkali-silicareactie (ASR)

De 'alkali-silicareactie' betreft een reeks reacties tussen:

- Alkaliën in het beton, afkomstig van de bestanddelen (bv. het cement, de hulpstoffen, het aanmaakwater) of afkomstig uit de buitenomgeving (bv. zeewater, dooizouten);
- Reactieve (alkaligevoelige) silicaten, die in bepaalde granulaten zitten.

Deze reacties geven aanleiding tot de vorming van expansieve producten, waaronder een alkali-silicagel die water absorbeert en zodoende opzwellt. Hierdoor worden interne trekspanningen in het beton geïnduceerd, die uiteindelijk leiden tot scheurvorming.

De alkali-silicareactie kan dus ontstaan wanneer de volgende drie voorwaarden tegelijkertijd vervuld zijn:

1. De aanwezigheid van potentieel reactieve granulaten;
2. Een constante of regelmatige bevochtiging van de constructie;
3. Een voldoende hoge alkaliënconcentratie in het beton.

In ongewapend beton manifesteert de alkali-silica-reactie zich in de vorm van een willekeurig scheurpatroon. In gewapend en voorgespannen beton volgt het scheurpatroon de onderliggende wapening. Indien geen diepgaand onderzoek wordt uitgevoerd naar de schadeoorzaken zou men dus onterecht kunnen veronderstellen dat de schade veroorzaakt werd door wapeningscorrosie. Een microscopische analyse van betonslijpplaatjes maakt het mogelijk om de alkali-silicareactie vast te stellen.

Zo'n 3 % van de kunstwerken (bv. bruggen) in ons land wordt getroffen door dit verschijnsel, wat resulteert in dure herstellingen en er zelfs toe kan leiden dat het kunstwerk afgebroken en vervangen moet worden (Figuur 3). Voor nieuwe betonconstructies vermeldt de informatieve bijlage I bij de norm NBN B 15-001 enkele maatregelen die getroffen moeten worden om een alkali-silicareactie te vermijden.



FIGUUR 3: EEN BETONCONSTRUCTIE, GETROFFEN DOOR DE ALKALI-SILICAREACTIE

Zuren en zouten

Beton is gevoelig voor zuren en zal bij rechtstreeks contact steeds aantasting ondervinden. De zuren reageren met de harde calciumverbindingen in het verharde

cement en vormen zachte calciumzouten en siliciumdioxide. Ook de kalksteengranulaten worden hierdoor aangetast. De agressiviteit wordt bepaald door de aard en de concentratie van het zuur, de temperatuur en het debiet of de verversingsgraad.

Een specifieke vorm van zuuraantasting komt voor bij gescheurde betonnen elementen, die blootgesteld zijn aan regen. Regenwater (pH van 6 tot 6,8) dat doorheen de scheuren stroomt, ontbindt na herhaaldelijke doorgangen de calciumverbindingen en voert deze mee naar de onderkant van het element, waar ze worden afgezet. Na langdurige blootstelling worden op deze manier stalactieten gevormd onderaan het betonnen element (Figuur 4).



FIGUUR 4: STALACTIETVORMING ONDERAAN EEN BALKON

Ook zoutoplossingen kunnen schade veroorzaken aan beton. Sulfaten (natrium-, calcium-, ammonium- en magnesiumsulfaat) kunnen voorkomen in de grond en het grondwater, in meststoffen en in industriële omgevingen. Bij contact dringen ze het beton binnen en veroorzaken zwelreacties (ettringietvorming) en scheurvorming.

Om nieuwe betonconstructies te wapenen tegen aantasting door zuren en zouten bij, worden in de normatieve bijlage F van de norm NBN B 15-001 duurzaamheidseisen opgelegd aan de betonsamenstelling.

Biologische aantasting

De biogene zwavelzuuraantasting (BZA) treedt vooral op in riolen en afvoersystemen waar het afvalwater rijk is aan zwavelverbindingen uit rottingsprocessen. In traag stromend of stilstaand afvalwater kan een anaeroob milieu ontstaan waarin bacteriën de zwavelverbindingen omzetten in zwavelwaterstof. Dit gas wordt vervolgens omgezet in elementaire zwavel, die neerslaat op het beton en door aerobe bacteriën wordt omgevormd tot zwavelzuur, dat op zijn beurt de cementsteen afbreekt (zie vorige).

Fysische schade

Vorst-dooischade

Bij bevrozing ondergaat water een volumetoename van ongeveer 9 %. Indien dit herhaaldelijk gebeurt bij een met water verzadigd betonoppervlak, kan dit leiden tot afschilferingen. Dergelijke schade komt vooral voor bij horizontale, aan neerslag blootgestelde oppervlakken (bv. buitenparkings). Het fenomeen wordt nog versterkt bij het gebruik van dooizouten (Figuur 5).



FIGUUR 5: EEN BETONVERHARDING, AANGETAST DOOR VORSTSCHADE IN AANWEZIGHEID VAN DOOIZOUTEN

Om nieuwe betonconstructies te wapenen tegen vorst-dooischade, worden in de normatieve bijlage F van de norm NBN B 15-001 duurzaamheidseisen opgelegd aan de betonsamenstelling. Indien er een grotere weerstand tegen dooizouten gewenst wordt, dient men tevens een minimaal luchtgehalte te respecteren, dat behaald kan worden door de toevoeging van luchtbelvormers.

Thermische werking

Bij differentiële oppervlakteverwarming in een element verhard beton (door de zon of een andere warmtebron) kunnen trekspanningen ontstaan in het beton die kunnen leiden tot scheurvorming.

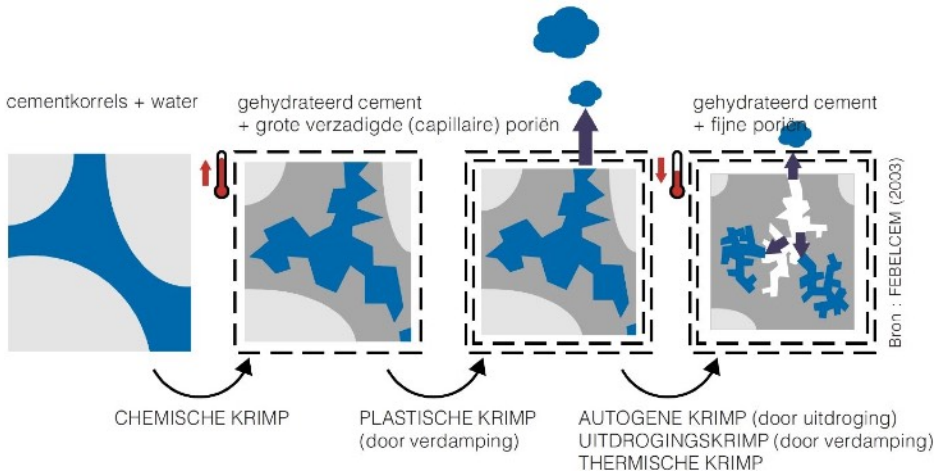
Krimp

Onder invloed van verschillende fenomenen zal beton, tijdens zijn verschillende uithardingsstadia, de neiging hebben om in volume te verminderen, nl. om te 'krimpen'. Naargelang van de oorsprong onderscheidt men chemische krimp, plastische krimp, autogene krimp, thermische krimp en uitdrogingskrimp (Figuur 6). De omvang van dit verschijnsel hangt in grote mate af van de betonsamenstelling en eventuele beschermingsmaatregelen. Als deze krimp verhinderd wordt, intern of door de omliggende structuur, of niet homogeen plaatsvindt, kan dit leiden tot scheurvorming.

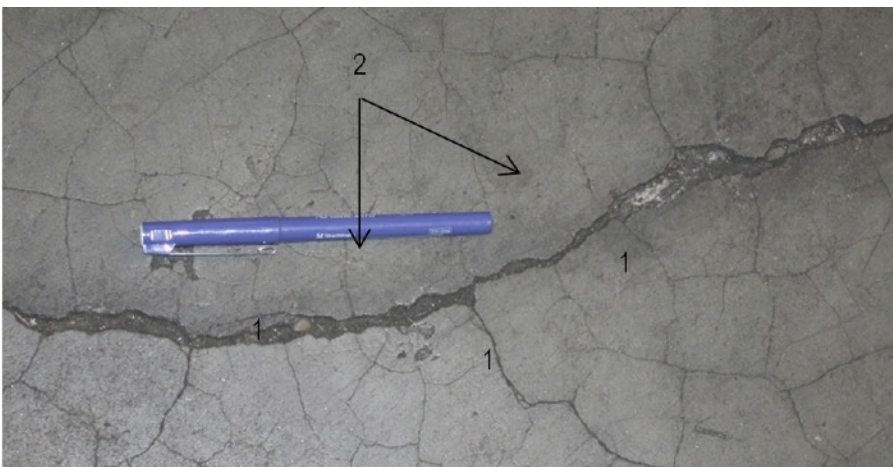
- **Chemische krimp** is een rechtstreeks gevolg van de hydratatie van het cement. Het volume van het gehydrateerde cement is immers kleiner dan de som van het oorspronkelijke volume van cement en water.
- **Plastische krimp** is te wijten aan de verdamping van het water aan het vrije oppervlak van betonspecie na zijn uitvoering. Wanneer het beton verhard is (of tijdens zijn verhardingsfase) heeft men het ook over **uitdrogingskrimp** of **hydraulische krimp**. Het risico is erg groot in het geval van onbekiste vlakke horizontale oppervlakken die niet beschermd zijn aan hun bovenzijde (wegen, betonvloeren, ...).
- **Autogene krimp** komt vooral voor bij betonsoorten met een lage water-/cementverhouding (W/C) en een hoog gehalte aan fijne stoffen (cement en/of andere fijne minerale toevoegingen). In deze omstandigheden neemt het cement tijdens de hydratatie van het jonge beton grote waterhoeveelheden op, zodat er snel met lucht gevulde poriën ontstaan. Dit verschijnsel (interne

uitdroging) veroorzaakt capillaire druk, wat leidt tot een snelle krimp in de volledige massa van het beton.

- **Thermische krimp** volgt uit het feit dat beton tijdens de uitharding eerst zal opwarmen t.g.v. de exotherme hydratatie-warmte, waarna ze opnieuw zal afkoelen. Bij massieve constructies of bij elementen met een variërende doorsnede, leidt de ongelijke afgifte van de hydratatie-warmte tot grote interne temperatuurgradiënten en dus tot trekspanningen.



FIGUUR 6: DE VOORNAAMSTE TYPES KRIMP VAN BETON



FIGUUR 7: SCHEURVORMING IN EEN BETONVLOER T.G.V. PLASTISCHE KRIMP (1) EN UITDROGINGSKRIMP (2)

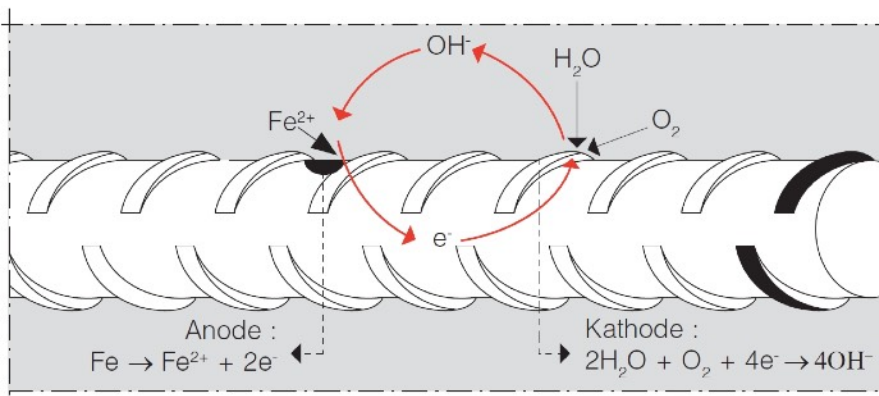
Wapeningscorrosie

Inleiding

Corrosie is een complex scheikundig proces waarbij zuurstof- en ijzeratomen in aanwezigheid van water eerst reageren tot ijzerhydroxide en vervolgens tot ijzeroxide (roest). Bij stalen elementen die worden blootgesteld aan de buitenlucht en vocht (regen) zal deze reactie ongehinderd kunnen plaatsvinden.

Bij wapeningsstaven in beton vormt er zich, omwille van de hoge pH-waarde van (het poriënwater in) jong beton, rond de wapening een passivatielaag, nl. een laag ijzerhydroxiden, die het staal beschermt tegen roestvorming. Door **carbonatatie van het beton**, de **aanwezigheid van chloriden** of t.g.v. **zwerfstromen** kan deze beschermelaag echter wegvallen of doorbroken worden en kan de wapening, in aanwezigheid van voldoende vocht, toch beginnen corroderen.

Er worden kleine corrosiecelletjes gevormd waarbinnen een stroom circuleert tussen de anode (plaats waar ijzer in oplossing gaat) en de kathode (plaats waar zuurstof getransformeerd wordt). Elektronen verplaatsen zich doorheen het staal van de anode (lage potentiaal) naar de kathode (hoge potentiaal). Aan de buitenkant van het staal verplaatsen hydroxide-ionen zich via het poriënwater in het beton van de kathode naar de anode. Hier komen ze in contact met ijzerionen waarmee ze reageren tot ijzeroxide (Figuur 8).



FIGUUR 8: SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET CORROSIE-PROCES VAN WAPENING IN BETON

Wapeningscorrosie door carbonatatie

Door de reactie van CO_2 uit de lucht met de vrije kalk in het beton (carbonatatie) daalt de pH van ongeveer 13 tot onder 9. Deze reactie begint aan het betonoppervlak, waarna het carbonatatiefront (de grenslijn tussen gecarbonateerd en niet-gecarbonateerd beton) ongeveer gelijkmatig in het beton dringt. Zodra het carbonatatiefront de wapening heeft bereikt, wordt de passivatielaag onstabiel en verliest het beton zijn beschermende werking tegen corrosie. Bij aanwezigheid van voldoende vocht (bv. blootstelling van het beton aan regen) zal de wapening geleidelijk aan beginnen te corroderen. De roestproducten die gevormd worden nemen een volume in dat meerdere malen groter is dan dat van staal, waardoor er trekspanningen ontstaan in het beton die snel resulteren in scheuren en vervolgens afbrokkelingen van het beton.

Doorgaans stelt men vast dat corrosie door carbonatatie de wapening over grote lengtes, min of meer gelijkmatig aantast (gegeneraliseerde corrosie). Vermits de gevormde roestproducten verdere corrosie van de wapening afremmen, is de vermindering in wapeningssectie doorgaans niet zo omvangrijk en heeft men voldoende tijd om in te grijpen na het vaststellen van de corrosie.

Om nieuwe betonconstructies te wapenen tegen wapeningscorrosie door carbonatatie, worden in de normatieve bijlage F van de norm NBN B 15-001 duurzaamheidseisen opgelegd aan de betonsamenstelling en wordt een minimale betondekking opgelegd in de Eurocode 2 (NBN EN 1992-1-1).

Wapeningscorrosie door chloriden

Bij voldoende hoge chlorideconcentraties kan de passivatielaag lokaal opgelost worden en kunnen zeer plaatselijke corrosiehaarden gevormd worden. Deze vorm van corrosie wordt aangeduid als putcorrosie ('pitting') en is gevaarlijk omdat de wapeningssectie hierdoor plaatselijk snel kan verminderen (Figuur 9). In het bijzonder bij voorgespannen constructies houdt het voorkomen van putcorrosie een groot risico in voor de stabiliteit van de constructie. Bovendien zijn de gevormde corrosieproducten in dit geval oplosbaar waardoor ze minder snel scheuren veroorzaken en het verschijnsel minder snel opgemerkt kan worden. De roestproducten kunnen uitlogen waardoor roestsproten veroorzaakt worden aan het betonoppervlak.



FIGUUR 9: PUTCORROSIE, VEROORZAAKT DOOR CHLORIDEN



FIGUUR 10: ROESTSPOREN AAN HET BETONOPPERVLAK

Chloriden kunnen bij het aanmaken van het beton aan het mengsel toegevoegd zijn onder de vorm van bindingsversnellers (bindingsversnellers op basis van chloriden zijn heden verboden volgens de norm NBN B 15-001) of voortkomen uit de componenten van het beton (o.a. zand, water). Daarnaast kunnen in de loop der jaren geleidelijk chloriden in het beton binnendringen. Dit verschijnsel wordt vooral vastgesteld bij constructies aan de kust of bij beton dat blootstaat aan dooizouten (bv. parkeergarages of delen van de weginfrastructuur).

Het kritische chloridgehalte (uitgedrukt t.o.v. de cementmassa) ter hoogte van de wapening, nodig om de putcorrosie te veroorzaken, is afhankelijk van tal van parameters (o.a. de betonsamenstelling, het relatieve vochtgehalte en de

temperatuur). Algemeen wordt aangenomen dat een chloridgehalte, begrepen tussen 0,3 en 0,5 % t.o.v. de cementmassa, slechts een beperkt corrosiegevaar inhoudt.

Wapeningcorrosie door zwerfstromen

In de buurt van hoogspanningscentrales, transformatoren en tram- en spoorlijnen bevinden zich een heleboel zwerfstromen in de grond die het elektrochemische evenwicht van de betonwapening kunnen verstoren (Figuur 8). Hierdoor worden er bijkomende anodezones gecreëerd die op hun beurt aanleiding kunnen geven tot corrosie.

4. De beoordeling van de toestand van de betonconstructie (diagnose)

1. Doel van de beoordeling van de toestand van een betonconstructie

De norm NBN EN 1504-9, die de principes beschrijft voor de bescherming en herstelling van betonstructuren, stelt dat elke betonherstelling dient te zijn gebaseerd op de resultaten van een vooraf uitgevoerde beoordeling van de toestand van de betonconstructie. Deze beoordeling heeft tot doel:

1. De oorza(a)k(en) van zichtbare schade identificeren

Beton kan schade ondervinden door allerlei oorzaken (zie vorige hoofdstuk). De meest voorkomende schadeoorzaak van gewapend beton is wapeningscorrosie. Toch is het steeds belangrijk om de precieze optredende schadeoorza(a)k(en) te achterhalen. De te ondernemen actie en de herstellen/of beschermmethoden dienen hierop immers afgestemd te zijn. Inderdaad, niet alle beschikbare herstel- en beschermmethoden en -producten zijn in alle situaties geschikt of optimaal. Bovendien kan mogelijk ook toekomstige schade vermeden en/of uitgesteld worden als men de schadeoorzaak kan aanpakken of wegnemen.

Vele van deze schadeoorzaken manifesteren zich op een gelijkaardige manier, nl. door het scheuren en/of afschilferen/afdrukken van het beton. Hoewel een visuele controle initieel nuttig is om een eerste inschatting van de schadeoorzaak en de dringendheid van de interventie te kunnen maken, is dit dus onvoldoende om de optredende schadeoorza(a)k(en) te identificeren. Hiervoor is een meer diepgaande beoordeling noodzakelijk.

2. Een idee krijgen van de werkelijke omvang van de schade

In de meeste gevallen is er slechts een fractie van de werkelijk optredende schade zichtbaar aan het betonoppervlak. Kleine verschillen in betondekking en/of lokale betonkwaliteit en/of blootstelling zorgen er inderdaad voor dat de schade niet overal tegelijkertijd en evenredig tot uiting komt aan het betonoppervlak. Bovendien is ook de diepte van de aantasting ongekend, wat belangrijk kan zijn om de hoeveelheden te gebruiken herstelproducten in te schatten.

Men kan dus niet enkel op een visuele controle vertrouwen om de aanwezige betonschade en de uit te voeren herstellingswerken te begroten. Dit zou kunnen leiden tot een grondige onderschatting. Hiervoor is een meer diepgaande beoordeling van de toestand van de betonconstructie noodzakelijk.

3. **Het risico op toekomstige schade inschatten**

Ook op plaatsen waar het beton (nog) niet beschadigd is, kan het nuttig zijn om de toestand van de betonconstructie te beoordelen om het risico op toekomstige schade te kunnen inschatten. Op basis van de beoordeling kan een geschikte betonbescherming voorgesteld worden waardoor toekomstige schade kan afgeremd of mogelijk volledig vermeden kan worden.

De resultaten van de beoordeling van de toestand van de betonconstructie vormen dus de basis voor

- **De keuze van de toe te passen herstel- en/of beschermmethoden en -producten**
- **De inschatting van de vermoedelijke hoeveelheden van de te gebruiken herstelproducten**

2. **Tijdstip van de beoordeling van de toestand van een betonconstructie**

Zoals in in het vorige hoofdstuk beschreven, vormen de resultaten van de beoordeling van de toestand van de betonconstructie de basis voor enerzijds de keuze van de toe te passen herstel- en/of beschermmethoden en -producten, en anderzijds voor de inschatting van de vermoedelijke hoeveelheden van de te gebruiken producten. Deze beoordeling dient dus logischerwijs plaats te vinden **voordat** de werkzaamheden en vermoedelijke hoeveelheden van de betonherstelling zelf beschreven kunnen worden. Men kan dit vergelijken met een zieke die op doktersbezoek gaat alvorens naar de apotheker te gaan om de geschikte medicatie aan te schaffen.

In de praktijk komt dit erop neer dat de beoordeling van de toestand van de betonconstructie in een **afzonderlijk lastenboek** dient beschreven te worden. Pas als de resultaten van deze beoordeling gekend zijn, kunnen de betonherstellingswerken zelf beschreven worden in een lastenboek.

Nochtans wordt vaak vastgesteld dat de beoordeling van de toestand van de betonconstructie ofwel helemaal niet wordt beschreven ofwel in hetzelfde lastenboek is opgenomen als de betonherstellingswerken. Mogelijke gevolgen hiervan zijn:

- De toepassing van een voor de optredende schadeorza(a)k(en) ongeschikte herstelmethode, waardoor de herstelling enkel kan beschouwd worden als 'oplapwerk' en snel zal falen;
- Een grove onderschatting van de schadeomvang, waardoor de betrokken aannemer niet de nodige middelen ter beschikking krijgt om een duurzame herstelling uit te voeren volgens de regels van de kunst.

3. Werkwijze voor de beoordeling van de toestand van een betonconstructie

De beoordeling van de toestand van een betonconstructie behelst volgende stappen:

- 1. Het vooronderzoek**
- 2. Het basisonderzoek**
- 3. Aanvullende proeven**

Het vooronderzoek

Tijdens de voorbereiding wordt informatie verzameld over:

- Het originele ontwerp van de constructie (bv. bouwplannen, bouwjaar, betrokken architect en aannemer);
- De omgeving en mogelijke vroegere aantastingen;
- De omstandigheden tijdens de bouw van de constructie;
- De geschiedenis van de constructie (bv. veranderingen in gebruik, voorgaande herstellingen);
- De gebruiksomstandigheden (bv. lasten);
- De eisen waaraan de constructie moet voldoen, rekening houdend met het toekomstige gebruik en de gebruiksduur.

De resultaten dienen overgemaakt te worden aan het deskundige studie- of architectenbureau, belast met het basisonderzoek (zie hoofdstuk 2). Deze brengt tevens een eerste bezoek om

- De dringendheid van de interventie in te schatten;
- Een beter inzicht te krijgen in de omstandigheden waarin de verdere werkzaamheden voor de beoordeling zullen moeten uitgevoerd worden.

Het basisonderzoek

Het basisonderzoek behelst enerzijds een **globale visuele inspectie** en anderzijds enkele relatief eenvoudig uit te voeren **basisproeven** waarmee de toestand van het beton en de wapening van de betonconstructie in de meeste gevallen op een voldoende nauwkeurige manier kan worden beoordeeld. Het betreft volgende proeven:

- 1. Het opzoeken van holklinkende zones en onthechtingen;**
- 2. De bepaling van de terugslagwaarde van het beton;**
- 3. De detectie van de wapening;**
- 4. De bepaling van de carbonatiediepte;**
- 5. De bepaling van het chloridegehalte.**

Deze basisproeven worden over het algemeen niet uitgevoerd op het volledige oppervlak van de betonconstructie, maar op discrete, doordacht gekozen zones. Voor de keuze van het benodigde aantal te onderzoeken zones en hun locatie bestaan er echter geen vaste regels. Het uiteindelijke doel is om op deze manier een voldoende nauwkeurig beeld te krijgen van de toestand van de betonconstructie. Over het algemeen wordt hierbij rekening gehouden met o.a.:

- **De resultaten van de globale visuele inspectie**
Zowel delen van de betonconstructie waar veel schade, weinig schade als geen schade zichtbaar is dienen beschouwd te worden. Waar meer schade zichtbaar is zal de dichtheid van de proeflocaties over het algemeen groter zijn om de werkelijke omvang van de schade beter te kunnen inschatten. Waar geen of weinig schade zichtbaar is volstaan over het algemeen enkele locaties om het risico op toekomstige schade te kunnen inschatten.
- **De omvang van de constructie**
Hoe groter de betonconstructie, hoe meer proeflocaties noodzakelijk zullen zijn

om een voldoende nauwkeurig globaal beeld te kunnen krijgen van de toestand van de betonconstructie.

- **De blootstelling en het ontwerp**

Afhankelijk van de blootstelling (bv. chloriden, regen, zonneschijn) en het ontwerp (bv. de aanwezigheid van voegen, afwatering) zijn bepaalde delen van een betonconstructie meer of minder gevoelig aan betonschade. Over het algemeen zal de dichtheid van de proeflocaties groter zijn bij de schadegevoeligere delen van de constructie.

- **De gevolgen van eventuele schade**

Hoe kritischer de gevolgen van eventuele schade van de betonconstructie, hoe groter de dichtheid van de proeflocaties. In bepaalde gevallen (bv. bruggen, tunnels), zal de dichtheid van de proeflocaties zeer groot zijn.

- **Het budget**

Hoewel de kost van het basisonderzoek over het algemeen verwaarloosbaar is ten opzichte van de totale kost van de betonherstelling, dient hiervoor toch een zeker budget voorzien te worden. Hoe meer proeflocaties onderzocht kunnen worden, hoe nauwkeuriger de toestand van de betonconstructie beoordeeld kan worden en hoe beter de vermoedelijke hoeveelheden van de herstellingswerken ingeschat zullen kunnen worden.

De uitvoering van de globale visuele inspectie, de keuze van het aantal te onderzoeken zones en hun locatie en de uitvoering van de basisproeven dienen overgelaten te worden aan een deskundige partij (zie hoofdstuk 2).

Wapeningscorrosie door carbonatatie

De globale visuele inspectie heeft als doel:

- Het in kaart brengen van visueel waarneembare afwijkingen;
- Het identificeren van blootstellingen en mogelijke schadeoorzaken;
- Het ramen van de omvang van de schade;
- Input geven bij de keuze van de locaties voor de proeven van de basisinspectie.

Men gaat hiervoor het volledige betonoppervlak van de betonconstructie van dichtbij bekijken. Delen van het betonoppervlak die onttrokken zijn aan het zicht (bv. door panelen, gevelbekleding, pleisterlagen) dienen, indien nodig, vrijgemaakt te worden. Men dient hierbij specifiek aandacht te hebben voor (zie voorbeelden in Figuur 11):

- Het uitzicht van het betonoppervlak: bv. de afwerking van het betonoppervlak, de aanwezigheid van luchtbellens, zichtbare afstandhouders, vorige herstellingen;
- Verkleuringen: bv. oppervlakkige vervuiling, vocht, roestsporen;
- De aanwezigheid van scheuren en het scheurpatroon: de vorm, de breedte, de richting, de plaats en ook het tijdstip van de vaststelling van de scheuren geven een indicatie van de oorzaak.
- Beschadiging van de cementhuid: bv. erosie, afschilfering t.g.v. vorst-dooi;
- Afbrokkelingen en loszittend beton: bv. t.g.v. impact, alkali silica reactie, wapeningscorrosie;
- Blootliggende, corroderende wapening.



FIGUUR 11: VISUEEL WAARNEEMBARE AFWIJINGEN (SCHEUREN, VERKLEURINGEN, BLOOTLIGGENDE WAPENING, AFBROKKELINGEN)

Het opzoeken van holklinkende zones en onthechtingen

Door met een metalen voorwerp over het betonoppervlak te bewegen (Figuur 12), kan men aan de hand van de toonverschillen zones bepalen waar zich nog niet-zichtbare holten en onthechtingen (bv. t.g.v. corroderende wapening) in het beton vertonen.



FIGUUR 12: OPZOEKEN VAN HOLKLINKE ZONES MET BEHULP VAN EEN METALEN HAMER

Bepaling van de terugslagwaarde van het beton

De terugslagwaarde van beton wordt bepaald volgens de norm NBN EN 12504-2, met behulp van een sclerometer (ook terugslaghamer of schmidthamer, Figuur 14). Men meet hierbij de terugslag van een gekende massa, die met een gekende kracht tegen het oppervlak geprojecteerd wordt. Een harder oppervlak zal bij de impact minder energie absorberen, waardoor de massa verder terugkaatst.



FIGUUR 14: METING VAN DE OPPERVLAKTEHARDHEID MET DE SCLEROMETER

Op een vrijgemaakte oppervlakte van ongeveer 300 x 300 mm² worden 9 metingen uitgevoerd. Zo verkrijgt men de terugslagwaarde, als de mediaan van de verkregen resultaten. Deze kan omgezet worden naar een indicatieve waarde voor de kubusdruksterkte van het beton. Bij jong beton van enkele maanden oud komt deze waarde vrij goed overeen met de werkelijke druksterkte. Bij ouder beton kan de terugslagwaarde daarentegen toenemen door reacties aan het oppervlak (carbonatatie), zodat er geen direct verband meer bestaat met de druksterkte (tenzij dit verband specifiek werd aangetoond).

De terugslagwaarde kan in elk geval een indicatie geven van de homogeniteit van het beton en zones aan het betonoppervlak identificeren met afwijkende kwaliteit.

De detectie van de wapening

Met behulp van een pachometer kunnen zowel de locatie van de wapening in het beton als de betondekking op een niet destructieve manier bepaald worden (Figuur 13). De 'goedkopere' pachometers laten enkel toe om discrete metingen uit te voeren met behulp van een afzonderlijke meetsonde terwijl met de duurere modellen continue metingen uitgevoerd kunnen worden (lijnscans) en handige visualisaties gemaakt kunnen worden van de aanwezige wapening.



FIGUUR 13: BEPALING VAN DE LOCATIE VAN DE WAPENING MET EEN PACHOMETER

De techniek heeft wel enkele beperkingen. Zo is de detectiediepte beperkt tot een 7 à 10 cm, wordt bij boven elkaar liggende wapening enkel de bovenste wapening gedetecteerd en zullen te dicht bij elkaar liggende wapeningsstaven als 1 enkele dikke wapeningsstaaf aanzien worden.

Door de kennis van de betondekking kan men, in combinatie met de bepaling van de carbonatatie diepte en het chloridegehalte, het risico op wapeningscorrosie inschatten.

De bepaling van de carbonatatie diepte

De carbonatatie diepte van verhard beton kan bepaald worden volgens de norm NBN EN 14630, door een vers breukvlak te besproeien met een fenolftaleïneoplossing (Fenolftaleïne is een chemische substantie met mogelijk schadelijke effecten op het menselijk lichaam. Raadpleeg steeds het veiligheidsinformatieblad).

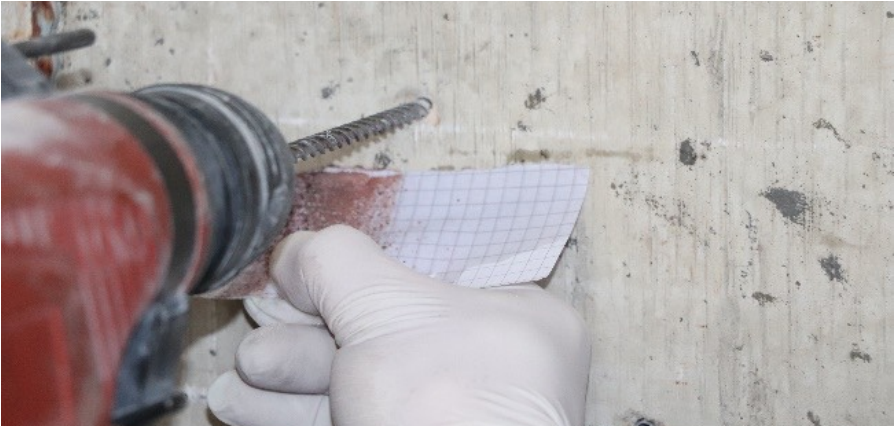
Dit kan ter plaatse gebeuren, op een afgebroken stuk beton, of in het labo op boorkernen of grote brokstukken, nadat deze werden gespleten (Figuur 15). Het niet-gecarbonateerde beton zal onmiddellijk paars kleuren, terwijl de gecarbonateerde zones ongewijzigd blijven.

Om de schade tijdens de inspectie zoveel mogelijk te beperken, kan men ook enkele kleine gaatjes (met een diameter van 6 of 8 mm) boren en het boormeel in contact brengen met de fenolftaleïneoplossing (Figuur 16). Zodra men een kleurverandering waarneemt, stopt men met boren en meet men de diepte van het boorgat. Men moet deze methode minstens driemaal herhalen om de invloed van lokale fenomenen (bv. het boren op een granulaat) te beperken. Deze methode is weinig destructief en kan ter plaatse toegepast worden, maar heeft het nadeel dat ze slechts tot op enkele millimeters nauwkeurig is.

Door de carbonatatie diepte te vergelijken met de betondekking kan men het risico inschatten op wapeningscorrosie t.g.v. carbonatatie (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door carbonatatie').



FIGUUR 15: BEPALING VAN DE CARBONATATIEDIEPTE OP EEN BOORKERN



FIGUUR 16: BEPALING VAN DE CARBONATATIEDIEPTE DOOR HET BOREN VAN GAATJES

De bepaling van het chloridegehalte

Het (totale) chloridgehalte van het beton kan bepaald worden d.m.v. een scheikundige analyse volgens de norm NBN B 15-250 of de norm NBN EN 14629. Deze analyses worden uitgevoerd in een laboratorium op proefstukken, ontnomen op de bouwplaats. Deze proefstukken kunnen bestaan uit boorstof, ontnomen uit het beton op gekende diepte(s) d.m.v. een boor met een voldoende grote diameter (om voldoende boorstof te krijgen voor de analyses, Figuur 17), of uit boorkernen waaruit schijven worden gezaagd op de gewenste diepte die vervolgens worden vermaald.



FIGUUR 17: HET ONTNEMEN VAN BOORSTOF VOOR DE BEPALING VAN HET CHLORIDEGEHALTE

Er bestaan tevens alternatieve methoden waarmee men het chloridengehalte snel en eenvoudig ter plaatse kan bepalen op monsters boorstof. De nauwkeurigheid van deze methoden is niet altijd even groot en sommige bestanddelen van het cement kunnen het resultaat zeer sterk beïnvloeden, maar ze kunnen wel een goede indicatie geven of er al dan niet chloriden in het beton aanwezig zijn. Indien dit het geval is, is het aangeraden analyses in het labo te laten uitvoeren om een nauwkeuriger resultaat te verkrijgen.

Het resultaat van deze analyses wordt steeds uitgedrukt als het chloridengehalte ten opzichte van de betonmassa. In de evaluatiecriteria wordt daarentegen meestal het chloridengehalte ten opzichte van de cementmassa gebruikt. De verhouding tussen beide is gelijk aan de verhouding tussen de volumieke massa van het beton en het cementgehalte van het beton. Voor gewone betonsoorten betekent dit dat het resultaat t.o.v. de betonmassa vermenigvuldigd dient te worden met een waarde tussen 6 en 8, om het chloridengehalte t.o.v. de cementmassa te verkrijgen.

Door het chloridegehalte (t.o.v. de cementmassa) van het beton ter hoogte van de wapening te vergelijken met de kritische waarde, kan men het risico inschatten op wapeningscorrosie t.g.v. de aanwezigheid van chloriden. Door proefstukken van verschillende diepten te analyseren en een chlorideprofiel op te stellen, kan men bovendien ook achterhalen of de chloriden initieel ingemengd werden in het beton of dat ze achteraf ingedrongen zijn.

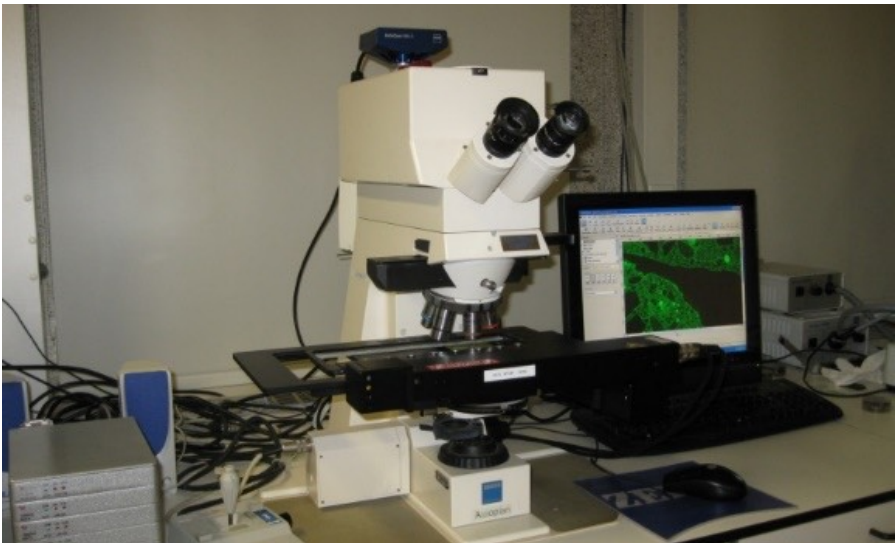
Aanvullende proeven

In bepaalde gevallen kan het zijn dat de informatie, verkregen uit de basisinspectie, onvoldoende is om de toestand van de betonconstructie met de gewenste nauwkeurigheid te kunnen inschatten. In dat geval kunnen er aanvullende proeven uitgevoerd worden, o.a.

- De bepaling van de druksterkte van het beton (Figuur 18);
- Een microscopisch onderzoek (Figuur 19);
- Corrosiepotentiaalmetingen;
- Bepaling van de volumieke massa van het beton;
- Bepaling van de wateropsorping.



FIGUUR 18: BEPALING VAN DE DRUKSTERKTE VAN BETON OP EEN BOORKERN



FIGUUR 19: MICROSCOPISCH ONDERZOEK OP EEN SLIJPLAATJE

De meeste van deze proeven vereisen een zekere specialisatiegraad om uit te voeren en te interpreteren en zijn bovendien redelijk duur. Daarom is het aan te raden de relevantie ervan na te gaan vóór de uitvoering.

4. De rapportering

Om aan een deskundige partij (zie hoofdstuk 2) toe te laten om, uitgaande van de beoordeling van de toestand van de betonconstructie, een geschikte herstel- en/of beschermstrategie te selecteren, dienen de bevindingen op een volledige en overzichtelijke wijze opgenomen te worden in een diagnoseverslag. Dit verslag bevat in grote lijnen:

- De opdrachtgever, aanleiding en doel van het onderzoek
- Bekende of relevante gegevens uit de voorbereiding
- Het verslag van de globale visuele inspectie
- Een overzicht van de proeflocaties, aangeduid op een gedetailleerd grondplan en verduidelijkt d.m.v. foto's
- De resultaten van de basisproeven en de eventuele aanvullende proeven, in correcte eenheden en met vermelding van de gebruikte referentienormen.

In een conclusie kan men trachten verbanden te leggen tussen de diverse waarnemingen en de proefresultaten. De optredende schademechanismen kunnen benoemd worden, samen met hun oorzaak, omvang en verwachte ontwikkeling.

5. Selectie van de herstelmethode(n)

1. Invloedsparameters

De keuze van de te ondernemen actie en desgevallend van de bijhorende herstel- en beschermmethoden dient te gebeuren door een deskundige partij (zie hoofdstuk 2). Deze houdt hierbij rekening met:

1. De veiligheid van de constructie

Zowel de constructieve veiligheid (de stabiliteit, het draagvermogen) als de algemene veiligheid (van voorbijgangers of van de omgeving, Figuur 20) van de betonconstructie dienen door de gekozen actie gegarandeerd te worden en dit zowel in de aanloop naar, tijdens als na de werkzaamheden.



FIGUUR 20: LOSZITTENDE STUKKEN BETON KUNNEN DE VEILIGHEID VAN VOORBIJGANGERS IN HET GEDRANG BRENGEN

2. De schadeoorzaak, -aard en -omvang

Afhankelijk van de schadeoorzaak en de aard en omvang van de vastgestelde schade kan het nodig zijn om een dringende interventie uit te voeren om de veiligheid van de betonconstructie te kunnen garanderen.

Om toekomstige schade te vermijden dient men in eerste instantie trachten om de schadeoorzaak aan te pakken en weg te nemen. Indien dit niet mogelijk is dient hiermee rekening gehouden te worden bij de gekozen actie en bij toekomstige interventies (onderhoud, herstellingen). Bij wapeningscorrosie door carbonatatie bijvoorbeeld kan de schadeoorzaak (CO₂ in de lucht) uiteraard niet weggenomen worden. Men opteert er in dit geval best voor om, naast de herstelling van de vastgestelde betonschade, een bescherming toe te passen op het beton dat op dat moment nog geen schade vertoont, om verdere carbonatatie af te remmen.

De verschillende beschikbare herstel- of beschermmethoden hebben elk een eigen toepassingsgebied waarbinnen ze het meest efficiënt, duurzaam en

economisch interessant zijn, zowel voor wat betreft de schadeoorzaak en -aard als voor wat betreft de omvang van de schade.

3. **De technische haalbaarheid**

Bepaalde acties en bijbehorende herstel- of beschermmethoden vereisen specifieke randvoorwaarden om succesvol toegepast te kunnen worden. Zo vereist bijvoorbeeld de versterking met gelijmde wapening een minimale betonsterkte om toegepast te kunnen worden op de betonconstructie.

4. **Uitvoeringsaspecten**

Zowel de gekozen actie en bijhorende herstel- of beschermmethoden als de te herstellen betonconstructie zelf kunnen bepaalde uitvoeringsbeperkingen of -eisen met zich meebrengen. Bij werken aan spoorwegconstructies kan men bijvoorbeeld te maken hebben met ongewone werktijden, terwijl de hinder en overlast (stof, vuil, trillingen, lawaai) bij werken aan bijvoorbeeld een ziekenhuis absoluut beperkt dienen te worden.

5. **De eisen die gesteld worden aan het uiterlijk van het beton**

Bij herstelwerken aan beschermde monumenten of bij betonconstructies met hoge esthetische eisen kan men beperkt worden in de keuze van de actie en de bijhorende herstel- of beschermmethoden.

6. **Economische aspecten**

Elke actie en de bijhorende herstel- of beschermmethoden hebben een bepaalde efficiëntie en duurzaamheid, maar uiteraard ook een kostprijs. Bij de keuze dient men rekening te houden met de beoogde restlevensduur van de betonconstructie evenals het beschikbare budget van de bouwheer.

2. Te ondernemen acties

Volgend op de beoordeling van de toestand van de betonconstructie, kan men, op basis van de resultaten en de conclusies, één of meerdere van volgende acties toepassen op de gehele betonconstructie of op onderdelen ervan:

- De huidige toestand bewaren
- Het gebruik beperken
- Beschermen om verdere schade af te remmen of te verhinderen
- De schade herstellen
- Verstevigen
- Afbreken of vervangen

Afhankelijk van de gekozen actie zal bijkomend een bescherm- en herstelmethode gekozen dienen te worden waarmee men de actie zal uitvoeren.

3. Principes voor het herstellen en beschermen van betonconstructies

Bij de keuze van de herstel- of beschermmethoden dient men in eerste instantie stil te staan bij wat men precies beoogt te bereiken. In de norm NBN EN 1504-9 worden hiertoe de verschillende mogelijke principes gegeven voor het herstellen en beschermen van betonconstructies en worden telkens voorbeelden aangereikt van methoden die op het principe gebaseerd zijn. De principes zijn onderverdeeld in enerzijds principes voor het herstellen van schade aan het beton zelf, en anderzijds principes voor het herstellen van schade t.g.v. wapeningscorrosie:

Principes, verbonden aan schade aan het beton zelf:

1. Bescherming tegen indringing

Vele schadeorzaken van betonconstructies hebben te maken met de indringing van water of andere vloeistoffen, damp, gas, chemische producten of biologische agressoren. Dit principe beoogt het voorkomen van de indringing van deze stoffen, zodat toekomstige schade uitgesteld of voorkomen kan worden.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 1.1. Het aanbrengen van een hydrofobe impregnatie
- 1.2. Het aanbrengen van een impregnatie
- 1.3. Het aanbrengen van een bekleding
- 1.4. Het oppervlakkig dichten van scheuren
- 1.5. Het opvullen van scheuren
- 1.6. Het omvormen van scheuren in voegen
- 1.7. Het aanbrengen van externe panelen
- 1.8. Het aanbrengen van membranen

2. Vochtbeheersing

De meeste schadeorzaken van beton vereisen een bepaalde minimale hoeveelheid water (vocht) in het beton. Dit principe beoogt specifiek de beperking van het vochtgehalte in het beton tot bepaalde grenswaarden, waardoor zulke schade voorkomen kan worden.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 2.1. Het aanbrengen van een hydrofobe impregnatie
- 2.2. Het aanbrengen van een impregnatie
- 2.3. Het aanbrengen van een bekleding
- 2.4. Het aanbrengen van externe panelen
- 2.5. Het toepassen van een elektrochemische behandeling

3. **Restauratie van beton**

Vaak komen de beschadigingen aan de betonconstructie voor in de vorm van materiaalverlies. Dit principe beoogt de betonconstructie in zijn oorspronkelijke vorm te herstellen door materiaal aan te brengen of door onderdelen van de constructie te vervangen.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 3.1. Het handmatig aanbrengen van mortel
- 3.2. Het aanstorten van beton of mortel
- 3.3. Het toepassen van spuitbeton of -mortel
- 3.4. Het vervangen van onderdelen

4. **Structurele versterking**

Ten gevolge van vergevorderde schade aan de betonconstructie kan de structurele draagkracht en dus de veiligheid in het gedrang komen. Bij een herbestemming of een verandering in het gebruik van de betonconstructie kan het ook nodig zijn om de structurele draagkracht van de betonconstructie nog te vergroten. Dit principe beoogt het herstellen of het vergroten van de structurele draagkracht van (onderdelen van) de betonconstructie.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 4.1. Het toevoegen of vervangen van in- of uitwendige wapeningsstaven
- 4.2. Het toevoegen van wapening, verankerd in uitsparingen of geboorde gaten
- 4.3. Het aanbrengen van gelijmde wapening
- 4.4. Het toevoegen van mortel of beton
- 4.5. Het injecteren van scheuren, holten of poriën
- 4.6. Het opvullen van scheuren, holten of poriën
- 4.7. De toepassing van voorspanning- (door na-spanning)

5. **Verhoging van de fysische weerstand**

Afhankelijk van zijn sterkte, uitvoering en blootstelling is beton gevoelig aan fysische en mechanische aantasting. Dit principe beoogt het vergroten van de fysische en mechanische weerstand van de betonconstructie om dergelijke beschadigingen te voorkomen.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 5.1. Het aanbrengen van een bekleding
- 5.2. Het aanbrengen van een impregnatie
- 5.3. Het toevoegen van mortel of beton

6. **Verhoging van de chemische weerstand**

Afhankelijk van zijn sterkte, uitvoering en blootstelling is beton gevoelig aan chemische aantasting. Dit principe beoogt het vergroten van de chemische weerstand van de betonconstructie om dergelijke beschadigingen te voorkomen.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 6.1. Het aanbrengen van een bekleding
- 6.2. Het aanbrengen van een impregnatie
- 6.3. Het toevoegen van mortel of beton

Principes, verbonden aan schade t.g.v. wapeningscorrosie:

7. **Het behoud of herstel van de passivatielaag**

Wapeningscorrosie houdt het verlies in van de beschermende passivatielaag rondom de wapening, ten gevolge van veranderingen van de chemische omstandigheden aan de wapening. Dit principe beoogt het behoud of het scheppen van de chemische omstandigheden waarin de passivatielaag zijn beschermende werking heeft.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

- 7.1. Het verhogen van de betondekking met bijkomende mortel of beton
- 7.2. Het vervangen van verontreinigd of gecarbonateerd beton
- 7.3. De toepassing van elektrochemische realkalisatie van gecarbonateerd beton
- 7.4. De toepassing van realkalisatie van gecarbonateerd beton door diffusie
- 7.5. De toepassing van elektrochemische chloride-extractie

8. **De verhoging van de resistiviteit**

Bij het corroderen van wapeningsstaven in beton lopen er elektrische stromen doorheen het beton. Dit principe beoogt het verhogen van de elektrische weerstand van het beton (door de beperking van het vochtgehalte), waardoor de corrosiereactie vertraagt.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

8.1. Het aanbrengen van een hydrofobe impregnatie

8.2. Het aanbrengen van een impregnatie

8.3. Het aanbrengen van een bekleding

9. **Controle van de kathodische zones**

Bij het corroderen van wapeningsstaven in beton wordt zuurstof verbruikt aan de kathode. Dit principe beoogt het scheppen van omstandigheden waarin deze kathodische reactie ingedijkt wordt, waardoor ook de anodische reactie en hiermee het volledige corrosieproces wordt vertraagd of stilgelegd.

Voorbeeld van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

9.1. Het beperken van het zuurstofgehalte (bij de kathode) door verzadiging of bekleding van het oppervlak

10. **Kathodische bescherming**

Bij het corroderen van wapeningsstaven in beton gaat aan de anode ijzer in oplossing. Hierbij geeft het elektronen af aan de wapening waardoor plaatselijk de potentiaal van het staal verlaagt. Dit principe beoogt de kunstmatige verlaging van de potentiaal van het staaloppervlak, zodanig dat er geen elektronen meer kunnen bijkomen en de corrosiereactie stopt. Men maakt hierbij als het ware van het volledige staaloppervlak een 'kathode'.

Voorbeeld van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

10.1. Het aanbrengen van een elektrische potentiaal

11. **Controle van de anodische zones**

Bij het corroderen van wapeningsstaven in beton gaat aan de anode ijzer in oplossing. Dit principe beoogt het scheppen van omstandigheden waarin deze anodische reactie ingedijkt wordt, waardoor ook de kathodische reactie en hiermee het volledige corrosieproces wordt vertraagd of stilgelegd.

Voorbeelden van herstel- en beschermmethoden, verbonden aan dit principe:

11.1. Het verven van de wapening met bekledingen die actieve pigmenten bevatten

11.2. Het verven van de wapening met afsluitende bekledingen

11.3. Het gebruik van inhibitoren in het beton

Op basis van de gekozen actie en de bijhorende herstel- of beschermmethoden kan vervolgens het lastenboek opgesteld worden voor de betonherstelling.

6. Herstelmethoden

1. Het vervangen van verontreinigd of gecarbonateerd beton

Inleiding

De meest voorkomende vorm van betonschade is wapeningscorrosie ten gevolge van carbonatatie van het beton (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door carbonatatie') en de indringing van chloriden (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door chloriden'). Voor de herstelling worden dus duidelijk principes 3 en 7 gehanteerd, namelijk het herstel van de passivatielaag en de restauratie van het beton. Afhankelijk van de situatie kan het nodig zijn om bijkomend principes 1, 2, 5 en 6 toe te passen (het aanbrengen van een extra oppervlaktebescherming), principe 4 (het vervangen of bijplaatsen van wapeningsstaven) of principe 11 (het aanbrengen van een corrosiebescherming op de wapening).

Deze 'traditionele' betonherstelling verloopt in verschillende stappen:

1. Het verwijderen van loszittend en aangetast beton
2. Het vrijmaken van de wapening
3. De voorbereiding van de ondergrond
4. Het ontroesten van de wapening
5. Het beschermen van de wapening
6. Het aanbrengen van de herstelmortel
7. Het afwerken van het betonoppervlak
8. Het beschermen van het betonoppervlak

De norm NBN EN 1504-10 geeft eisen voor de toestand van de ondergrond voor en tijdens het aanbrengen van herstelproducten, voor de opslag van de producten, voor de structurele stabiliteit tijdens de werkzaamheden, voor de herstel- en beschermmethoden, voor de kwaliteitscontrole van de uitvoering en voor het onderhoud van de structuur. Ook in de PTV 563 wordt een beschrijving gegeven van de werken en de verwerking van de herstelmortels. Voor meer details wordt naar deze documenten verwezen.

Het verwijderen van loszittend en aangetast beton

Het beschadigde en aangetaste beton en alle niet-hechtende delen te verwijderen tot op het 'gezonde' beton en minstens tot op een diepte van 5 mm (afhankelijk van de gebruikte herstmortel). Om te bepalen tot op welke diepte het beton verwijderd dient te worden dienen de resultaten van de beoordeling van de toestand van de constructie gebruikt te worden.

Om het beton te verwijderen en de wapening vrij te maken, kan men de volgende methoden gebruiken:

- Manuele werktuigen: hamer, beitel, staalborstel
- Mechanische werktuigen: luchtdrukhamer, naaldhamer. Roterende staalborstels zijn niet toegestaan aangezien ze een glad oppervlak creëren
- Water onder zeer hoge druk (1000 tot 2000 bar): deze methode kan ook gebruikt worden voor het ontroesten van wapeningen, maar vereist dikwijls de nodige voorzieningen voor de opvang en afvoer van water en slib.

In het geval van voorgespannen structuren dient aangepast gereedschap gebruikt te worden om elke beschadiging van de voorspanningskabels te vermijden.

Het vrijmaken van de wapening

Wanneer bij het verwijderen van beton corrosie van de wapening wordt vastgesteld, dient de wapening op deze plaatsen volledig vrijgemaakt te worden tot 15 mm rond de wapening in het geval van corrosie t.g.v. carbonatatie, of tot 20 mm in het geval van corrosie t.g.v. chloriden.

Op dit moment kan gecontroleerd worden in welke mate de wapening gecorrodeerd is en of het nodig is om het element bijkomend structureel te versterken (principe 4).

Het voorbereiden van de ondergrond

Om een goede hechting te verkrijgen tussen de vrijgemaakte ondergrond en de herstmortel dient het vrijgemaakte oppervlak gereinigd en geruwd te worden. Dit kan gebeuren d.m.v. stralen (grit, neven, water) onder druk, of door het frezen of boucharderen van het oppervlak. Men dient er hierbij op te letten geen

microscheurtjes in de ondergrond te veroorzaken en bijgevolg een verminderde cohesie te krijgen.

De vrijgemaakte ondergrond moet vervolgens voorbehandeld worden om een goede hechting met de herstelmortel te verzekeren. Een onbehandelde ondergrond heeft immers een sterk zuigend karakter waardoor hij water onttrekt aan de herstelmortel.

De vereiste voorbehandeling van de ondergrond is afhankelijk van de gebruikte herstelmortel:

- Cementgebonden herstelmortel: de ondergrond moet vooraf grondig en herhaaldelijk bevochtigd worden totdat er geen water meer wordt opgenomen, maar zonder dat er water aan het oppervlak stagneert.
- Harsgebonden herstelmortel: de ondergrond moet droog zijn.

Bij harsgebonden mortels dient steeds een specifieke aanhechtingslaag voorzien te worden terwijl dit bij cementgebonden mortels eerder optioneel is. Men dient steeds te voldoen aan de eisen in de al dan niet genormaliseerde technische fiche van de gebruikte mortel.

Het ontroesten van de wapening

De vrijgekomen wapening moet steeds dermate ontroest worden dat ze voldoet aan de graad die weergegeven wordt in de al dan niet genormaliseerde technische fiche van de herstelmortel. Dit kan echter een zeer lastige opgave zijn indien de wapening over zijn gehele omtrek geroest is of indien het een dicht wapeningsnet betreft.

Het ontroesten gebeurt het beste door middel van zand- of waterstralen, aangezien handmatig ontroesten met staalborstels doorgaans onvoldoende resultaat oplevert aan de achterzijde van de wapening.

Het beschermen van de wapening

Bij het gebruik van cementgebonden herstelmortels hangt het al dan niet verplicht aanbrengen van een anticorrosiebescherming (principe 11) op de wapening af van:

- De betondekking na herstelling
- Het al dan niet aanbrengen van een algemene overlaging met een herstelmortel

- Het al dan niet aanbrengen van een aanvullende beschermingsbekleding op het betonoppervlak

Bij het gebruik van harsgebonden herstelmortels dient steeds een anticorrosiebescherming op de wapening aangebracht te worden.

Het aanbrengen van de herstelmortel

De keuze van het type herstelmortel hangt af van wat men beoogt te bereiken. De norm NBN EN 1504–3 beschrijft de eisen voor herstelmortels voor structurele en niet-structurele herstellingen. In de PTV 563 kan men meer eisen terugvinden voor het uitvoeren van bijkomende identificatieproeven, proeven i.v.m. het voorziene gebruik en proeven voor de evaluatie van de gebruiksgrenstoestanden. Deze voorschriften gelden bovendien als basis voor de opstelling van BENOR-gecertificeerde technische fiches.

Cementgebonden herstelmortels beschermen de wapening doordat ze de alkaliniteit eromheen heropbouwen waardoor de passivatielaag hersteld wordt (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door carbonatatie').

In vergelijking met cementgebonden mortels bezitten harsgebonden mortels een hogere mechanische weerstand (druk- en treksterkte) die zich bovendien sneller ontwikkelt. Anderzijds bezitten ze een grotere thermische uitzettingscoëfficiënt, een kleinere elasticiteitsmodulus, een grotere uithardingskrimp en een beperkte brandweerstand. Met harsgebonden mortels worden vooral kleine, plaatselijke herstellingen uitgevoerd, eventueel in geval van blootstelling aan bv. chemische stoffen of slijtage.

De voorwaarden voor de verwerking (bv. de mengtijd) en het aanbrengen van de herstelmortel (bv. de omgevingstemperatuur), die in de al dan niet genormaliseerde technische fiche van de mortel vermeld staan, dienen steeds strikt gevolgd te worden. De herstelproducten worden doorgaans geleverd in voorgedoseerde pakketten die in hun geheel gebruikt dienen te worden.

Afhankelijk van de situatie kan ervoor gekozen worden de herstelproducten handmatig aan te brengen, door het aangieten of door het spuiten. Het type van herstelmortel en de consistentie dienen hierop afgestemd te zijn.

Bij de herstelling van kleine volumes en oppervlakken wordt de herstelmortel best handmatig aangebracht.

Voor grotere volumes en oppervlakken of in het geval van een hoge wapeningsdichtheid kan het, indien de situatie het toelaat, interessanter zijn om de herstelmortel aan te gieten met behulp van een bekisting. De gebruikte mortel dient in dit geval voldoende vloeibaar te zijn (gietmortel) en de bekisting dient morteldicht te zijn en voldoende stevig om de volledige hydraulische druk op te vangen.

Door middel van het spuiten kunnen eveneens grote volumes op een snelle en economische manier geplaatst worden, ook op moeilijk te bereiken plaatsen, zonder het gebruik van een bekisting. De techniek wordt vaak toegepast bij de renovatie van constructies met een bijzondere vorm (bv. koepels) of van tunnels. Men onderscheidt de droge en de natte spuitmethode (Figuur 21), elk met hun voor- en nadelen (bv. het materiaalverlies, de maximale transportlengte, het onderhoudsgemak). De gebruikte mortel dient te voldoen aan de eisen uit de norm NBN EN 14487-1 en de PTV 563. De eisen voor de uitvoering worden op hun beurt beschreven in de norm NBN EN 14487-2.



FIGUUR 21: HET AANBRENGEN VAN HERSTEMORTELM.B.V. DE NATTE SPUITMETHODE

Na het aanbrengen van de herstelmortel dient men een aangepaste nabehandeling toe te passen om een duurzame herstelling te verzekeren. Bij de toepassing van harsgebonden mortels moet men het oppervlak beschermen tegen vocht en directe zonnestralen, terwijl men bij cementgebonden mortels juist moet beschermen tegen uitdroging.

Het afwerken van het betonoppervlak

In de meeste gevallen wenst men na de herstelling het verkregen betonoppervlak glad en egaal te maken. De herstellingen tekenen zich immers duidelijk af van het niet-herstelde beton, zowel in uitzicht als in textuur. Ook andere oneffenheden in het betonoppervlak (bv. poriën, stort- en bekistingsnaden, grindnesten) kunnen op deze manier weggewerkt worden. Dit is ook een nodige voorbereiding om vervolgens een beschermingsbekleding op het volledige oppervlak aan te kunnen brengen.

Hiertoe kan men een egaliseermortel aanbrengen op het herstelde oppervlak. De van toepassing zijnde eisen en voorschriften voor egaliseermortels worden beschreven in de norm NBN EN 1504-3 [xi] en de PTV 563 [x]. Doordat deze mortels cementgebonden zijn en in zeer dunne lagen aangebracht worden, zijn een grondige voorbevochtiging en een gepaste nabehandeling onontbeerlijk.

Het beschermen van het betonoppervlak

Tenslotte kan ook een oppervlaktebescherming aangebracht worden (principes 1, 2, 5 en 6), naargelang de situatie (in functie van onder andere de blootstelling, de betondekking na herstelling, ...). Deze producten worden beschreven in de norm NBN EN 1504-2 en de PTV 562 en kunnen bestaan uit een hydrofobe impregnatie, een poriën-vullende impregnatie of een oppervlaktebekleding (een coating):

- **Hydrofobe impregnatie**

Deze waterwerende impregnatiemiddelen laten geen film na op het betonoppervlak en wijzigen het betonaspect weinig tot niet. Ze zijn het efficiëntste op verticale oppervlakken en zorgen voor een verminderde wateropslorping en hierdoor ook een verminderde indringing van chloriden (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door chloriden') en andere chemische stoffen, een betere weerstand tegen de alkali-silica reactie (zie hoofdstuk 'Alkali-silicareactie') en een vertraagde vervuiling van het oppervlak. Ze

hebben echter een beperkte duurzaamheid en bieden geen bescherming tegen carbonatatie (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door carbonatatie').

- **Poriën-vullende impregnatie**

D.m.v. een poriën-vullende impregnatie worden de poriën gedeeltelijk opgevuld, waardoor men een verminderde capillaire wateropslorping verkrijgt en verbeterde oppervlakte-eigenschappen van het beton. Ook de weerstand tegen carbonatatie (zie hoofdstuk 'Wapeningscorrosie door carbonatatie') en tegen de alkali-silica reactie (zie hoofdstuk 'Alkali-silicareactie') verbetert. Bijkomend kan deze bescherming ook dienen als anti-graffiti bescherming.

- **Bekledingen (coatings)**

Bekledingen sluiten het beton volledig af van de buitenwereld waardoor de duurzaamheid van de constructie verhoogt. Ze kunnen bovendien ook aanvullende functies vervullen zoals het egaliseren, het antistatisch maken of het verfraaien van het betonoppervlak. Het beschermende vermogen van een bekleding wordt onder meer bepaald door zijn droge dikte. Dit specifieke kenmerk moet bijgevolg steeds gecontroleerd worden.

2. Kathodische bescherming

Principe

De meest voorkomende vorm van schade aan gewapend beton betreft de corrosie van de inwendige stalen wapening. Door toepassing van de techniek van kathodische bescherming (KB) kan deze corrosie vertraagd en zelfs stopgezet worden (principe 10).

Kathodische bescherming kan enerzijds toegepast worden d.m.v. opgelegde stroom of d.m.v. opofferanodes (Figuur 22). In het eerste geval wordt een externe spanningsbron gebruikt, die enerzijds verbonden wordt met de wapening en anderzijds met een geleider (meestal op basis van titanium), aangebracht op of in het betonoppervlak. In het tweede geval worden opofferanodes (meestal op basis van zink) in het beton aangebracht en verbonden met de wapening.

In de norm NBN EN 12696 worden de eisen, randvoorwaarden en beoordelingscriteria voor kathodische bescherming beschreven.



FIGUUR 22: KATHODISCHE BESCHERMING VAN GEWAPEND BETON D.M.V. OPOFFERANODES

Toepassingsgebied

De techniek is vooral interessant indien de wapeningscorrosie veroorzaakt wordt door chloriden (bv. door dooizouten of aan de kust). Een klassiek herstel, waarbij het verontreinigde beton wordt verwijderd en vervangen wordt door een herstelmortel (zie vorige hoofdstuk), is in deze gevallen, in het bijzonder bij hoge chlorideconcentraties in het beton en ook indien toekomstige verontreinigingen door chloriden niet uitgesloten kunnen worden, vaak ontoereikend en leidt niet tot een duurzaam resultaat. Bovendien bevorderen de chloriden zelf, omwille van hun elektrische lading, de goede werking van de techniek.

Ook wapeningscorrosie t.g.v. carbonatatie kan met KB behandeld worden. In deze gevallen vormen de klassieke herstelmethoden over het algemeen echter een meer economische oplossing.

Voor- en nadelen

Doordat KB verdere corrosie van de wapening voorkomt, is het niet nodig om het verontreinigde (door carbonatatie en/of chloriden) maar nog mechanisch gezonde beton te verwijderen. Enkel het beton dat t.g.v. de wapeningscorrosie al onthecht is en dus loshangt dient vooraf hersteld te worden. Deze plaatsen kunnen gemakkelijk geïdentificeerd worden door het betonoppervlak met een metalen staaf te sonderen.

Voor het ontwerp van KB d.m.v. opgelegde stroom is een bijkomende voorafgaande studie nodig van de continuïteit van de wapening en van de elektrische weerstand van het beton. Ook moet men zich ervan verzekeren dat er aan het betonoppervlak geen verbindingen mogelijk zijn tussen de wapening en de extern aangebrachte geleider van het KB-systeem. De wapening is beschermd tegen corrosie zolang de spanningsbron aangesloten blijft. De goede werking van het systeem kan op een relatief eenvoudige manier gecontroleerd worden m.b.v. referentie-elektroden.

Bij het systeem d.m.v. opofferanodes wordt de plaats en het aantal aan te brengen anodes bepaald naargelang de vastgestelde aantasting, het type anode en de gewenste beschermingsduur.

3. Versterking d.m.v. gelijkde wapening

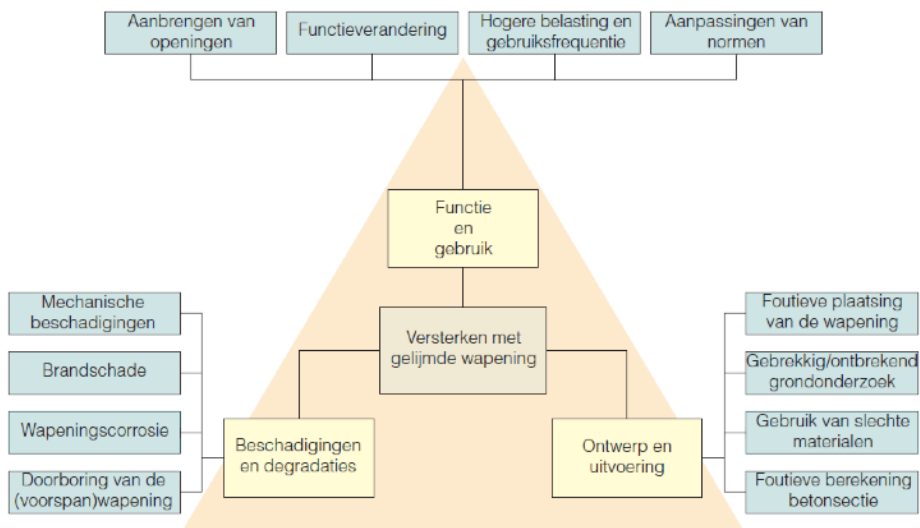
Principe

De techniek van de gelijkde wapening (principe 4) bestaat erin een bijkomende uitwendige versterking aan te brengen op een bestaande constructie. Deze techniek is gebaseerd op de composietwerking tussen het gewapende of voorgespannen beton en de uitwendig aangebrachte wapening, die kan bestaan uit staalplaten of uit vezelcomposieten. De hechting van de uitwendige wapening aan het betonnen element wordt gerealiseerd met behulp van een structurele lijm. Indien nodig, kan men ook nog een bijkomende mechanische verankering voorzien. Deze techniek wordt uitvoering beschreven in de TV 248 en een NAV-Pocket.

Toepassingsgebied

De noodzaak om een betonconstructie te versterken, kan verschillende oorzaken hebben, die onder meer te maken kunnen hebben met de functie en het gebruik van

de constructie, met beschadigingen en degradaties aan de constructie of met het ontwerp of de uitvoering (Figuur 23). Het aanbrengen van gelijkde wapening op de constructie is hiervoor een mogelijke en vaak ook de aangewezen oplossing.



FIGUUR 23: MOGELIJKE MOTIEVEN VOOR VERSTERKING MET EEN GELIJDE WAPENING

De toestand van het te versterken betonnen element vóór het aanbrengen van de gelijkde wapening is van groot belang en kan soms een voorafgaande behandeling vereisen. Deze behandeling kan in bepaalde gevallen ook een aantal herstellingswerkzaamheden omvatten (zie TV 231).

Voor- en nadelen

Vanuit een economisch en ecologisch standpunt is het uiteraard voordeliger om een structuur te versterken dan ze te slopen en nadien te herbouwen. Het behoud van het bouwkundige patrimonium is een thema dat de laatste jaren veel aan belang gewonnen heeft. De techniek van gelijkde wapening kan op een relatief snelle en eenvoudige manier toegepast worden en laat niet alleen het behoud van de structuur toe, maar ook van het uitzicht en van de afmetingen van de constructie.

Bij het aanbrengen van een gelijmde wapening moet men voldoende aandacht schenken aan de brandveiligheid. Indien er geen bijkomende maatregelen genomen worden, zal de temperatuur ter hoogte van de gelijmde wapening in geval van brand immers al snel de glasovergangstemperatuur overschrijden. Dit zal resulteren in het falen van de verlijming en het loskomen van de aangebrachte uitwendige wapening.

Bijkomende informatie

Voor bijkomende informatie wordt verwezen naar referenties en naar de website van het VIS-trajectIV "Nieuwe technologieën, producten en inzichten voor een duurzame herstelling van betonstructuren": <https://www.duurzaam-betonherstel.be/>

Referenties

- TV 231 (2007) "Herstelling en bescherming van beton (gebouwen en burgerlijke bouwkunde", WTCB
- NBN EN 1504-9 (2008) "Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Definities, eisen, kwaliteitsborging en conformiteitsbeoordeling - Deel 9: Algemene principes voor het gebruik van de producten en systemen", NBN
- NBN B 15-001 (2018) "Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit - Nationale aanvulling bij NBN EN 206:2013+A1:2016", NBN
- NBN EN 1992-1-1 (2005) "Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1 : Algemene regels en regels voor gebouwen", NBN
- NBN EN 12504-2 (2012) "Beproeving van beton in constructies - Deel 2 : Niet-destructief onderzoek - Bepaling van de terugslagwaarde", NBN
- NBN EN 14630 (2007) "Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Beproevingmethoden - Bepaling van de carbonatatie diepte van verhard beton d.m.v. de fenolftaleïne-methode", NBN
- NBN B 15-250 (1991) "Chemisch onderzoek van verharde mortel en beton", NBN
- NBN EN 14629 (2007) "Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Beproevingmethoden - Bepaling van het chloridegehalte in verhard beton", NBN
- NBN EN 1504-10 (2017) "Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Definities, eisen, kwaliteitsbeheersing en overeenkomstigheidsbeoordeling - Deel 10: Gebruik van producten en systemen op de bouwplaats en kwaliteitsbeheersing van het werk", NBN
- PTV 563 (2007) "Technische voorschriften voor herstelmortels voor beton", BCCA
- NBN EN 1504-3 (2006) "Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Definities, eisen, kwaliteitsborging en conformiteitsbeoordeling - Deel 3 : Constructieve en niet-constructieve herstelling", NBN
- NBN EN 14487-1 (2006) "Spuitbeton - Deel 1: Definities, eisen en conformiteit", NBN
- NBN EN 14487-2 (2007) "Spuitbeton - Deel 2: Uitvoering", NBN
- NBN EN 1504-2 (2004) "Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Definities, eisen, kwaliteitsborging en conformiteitsbeoordeling - Deel 2: Oppervlaktebeschermingssystemen voor beton", NBN
- PTV 562 (2007) "Technische voorschriften voor systemen voor de bescherming, de waterdichting of de impregnatie van betonoppervlakken", BCCA
- NBN EN 12696 (2017) "Kathodische bescherming van staal in beton (ISO 12696: 2016)", NBN
- TV 248 (2013) "Gelijmde wapening voor de versterking van betonconstructies", WTCB
- NAV-Pocket (2012) "Gelijmde wapening voor de versterking van betonconstructies", NAV

Deze publicatie werd ontwikkeld in het kader van het project
Duurzaam Betonherstel, een project van de Vlaamse
Confederatie Bouw i.s.m. NAV, FEREB Belgium en WTCB.



Met de steun van het Vlaams Agentschap voor
Innoveren en Ondernemen (VLAIO)

**AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN**