

# Scheuren in beton

De meeste betonconstructies vertonen scheurtjes. Scheurvorming is in vele gevallen normaal en vormt dus niet onmiddellijk een reden tot ongerustheid.

In tegenstelling tot die 'verwachte' scheurvorming kunnen in het beton ook 'onverwacht' scheuren optreden. In dit artikel gaan we dieper in op de oorzaken van deze onverwachte scheuren, maar ook op de preventie en de eventuele herstelling ervan. Scheurvorming door overbelasting van de betonconstructie of scheurvorming die ontstaan tijdens het transport van prefab elementen, worden niet besproken.

## Les fissures dans le béton

La plupart des structures en béton présentent des fissures. Dans de nombreux cas, la fissuration est normale et ne constitue donc pas une raison immédiate d'inquiétude.

Outre cette fissuration « attendue », des fissures « imprévues » peuvent également apparaître dans le béton. Cet article s'intéresse de plus près aux causes de ces fissures imprévues, mais également à leur prévention et à leur réparation éventuelle. Nous n'aborderons cependant pas la fissuration causée par une surcharge de la structure en béton ou celle qui apparaît pendant le transport des éléments.

Dans les structures en béton armé qui sont soumises à une charge directe, à des déformations empêchées ou imposées, la fissuration est normale. Au moment où le béton se fissure, l'armature dans le béton absorbe les contraintes de traction et limite la largeur des fissures. La quantité d'armature qui est nécessaire pour cela est calculée par l'ingénieur en conception. Les prescriptions de la NBN EN 1992-1-1 + ANB peuvent servir de base. Si les calculs sont effectués correctement, les largeurs de fissure devraient se limiter aux valeurs de la norme précitée. Les largeurs de fissure autorisées n'affectent en rien l'aspect extérieur et la durabilité des structures en béton.

Les fissures imprévues constituent un autre problème. Ces dernières sont incontrôlées et involontaires et apparaissent souvent déjà quelques heures à

In gewapende betonconstructies die onderhevig zijn aan directe belasting, verhinderde of opgelegde vervormingen ondergaan, is scheurvorming normaal. Op het moment dat het beton scheurt zal de wapening in het beton de trekspanningen opnemen en de scheurwijdte beperken. De hoeveelheid wapening die hiervoor nodig is wordt berekend door de ontwerpend ingenieur. De voorschriften van NBN EN 1992-1-1 + ANB kunnen als basis dienen. Bij een juiste berekening zouden scheurwijdtes zich moeten beperken tot de waarden in voornoemde norm. De toegelaten scheurwijdtes doen niets af aan het uiterlijk en de duurzaamheid van de betonconstructies.

Een andere kwestie zijn onverwachte scheuren. Die zijn onbeheerste en onbedoeld en manifesteren zich vaak

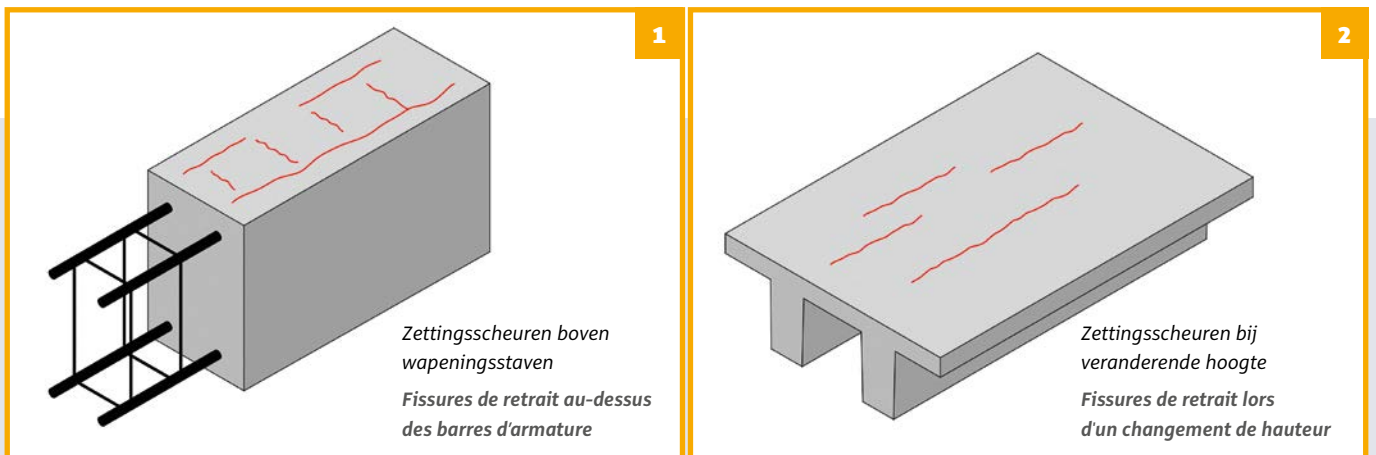
al enkele uren tot enkele dagen na het storten van het beton. Er zijn verschillende types te onderscheiden.

**SEDIMENTATIE**

In pas gestort beton zullen onder invloed van de zwaartekracht en het verdichten van het beton de zwaardere bestanddelen in de waterige cementpasta zakken. Dit noemt men sedimentatie. Het water wordt hierdoor omhoog geduwd waardoor zich op het betonoppervlak een waterfilm vormt. Deze waterafscheiding wordt ook wel 'bleeding' genoemd. Een beperkte waterafscheiding heeft een gunstige invloed op het beton. De waterfilm biedt immers bescherming tegen uitdroging. Een ander gevolg van de sedimentatie zijn zettingen. Zolang het beton voldoende vervormbaar is zullen die zettingen niet tot scheuren leiden.

Vinden die zettingen plaats wanneer het beton minder vloeibaar is, is dat wel het geval. Zettingsscheuren boven wapeningsstaven komen het meest voor (Afbeelding 1). Boven de wapening is de speciehoogte minder, waardoor de sedimentatie daar eerder stopt. Hierdoor ontstaan schuifspanningen in het beton, met scheurvorming als gevolg. Ook op de plaats waar een doorsnede van hoogte verandert kunnen zettingsscheuren optreden (Afbeelding 2). Scheurvorming ten gevolge van sedimentatie zal doorgaans plaatsvinden binnen ongeveer 2 uur na het storten.

De ontwerpend ingenieur heeft geen middelen om zettingsscheuren te voorkomen. De betontechnoloog daarentegen, kan bij de samenstelling van de betonspecie een aantal maatregelen nemen om de kans op sedimentatie



quelques jours après la coulée du béton. On en distingue différents types.

**LA SÉDIMENTATION**

Dans le béton fraîchement coulé, les constituants plus lourds se déposent dans la pâte de ciment aqueuse sous l'influence de la gravité et du compactage du béton. C'est ce qu'on appelle la sédimentation. Elle provoque une remontée d'eau, de sorte qu'il se forme une pellicule d'eau à la surface du béton. Cette séparation est également appelée «ressuage». Un ressuage limité a une influence positive sur le béton. Le film

d'eau offre en effet une protection contre le dessèchement. Les retraits sont une autre conséquence de la sédimentation. Aussi longtemps que le béton reste suffisamment déformable, ces retraits ne provoqueront pas de fissures. Mais si ces retraits ont lieu lorsque le béton est moins fluide, ce sera le cas. Les fissures de retrait au-dessus des barres d'armature sont les plus fréquentes (Figure 1). Au-dessus de l'armature, la hauteur du mélange est moindre, ce qui entraîne l'arrêt plus rapide de la sédimentation. Il apparaît ainsi des tensions de cisaillement dans le béton, qui provoquent

une fissuration. Des fissures de retrait peuvent apparaître également à l'endroit où une section change de hauteur (Figure 2). Le plus souvent, la fissuration par suite de sédimentation se produira dans les 2 premières heures suivant la coulée.

L'ingénieur en conception n'a aucun moyen de prévenir les fissures de retrait. Par contre, le technologue du béton peut prendre un certain nombre de mesures lors de la composition du mélange de béton afin de réduire le risque de sédimentation:

► te verminderen: geen hogere consistentie voorzien dan strikt noodzakelijk, beperken van het watergehalte met behulp van een waterreducerende hulpstof, waterbehoefte beperken door een continue korrelgradering, samenhang verbeteren door voldoende fijn materiaal en/of luchtbelvormer, toevoegen van polypropyleen- of staalvezels om de neiging tot sedimentatie te verminderen. Dat laatste is niet aan te raden bij architectonisch beton en zichtbeton. Lage omgevingstemperaturen verlengen de bindingstijd en bijgevolg ook de tijdsduur waarin sedimentatie kan optreden. Het opstijven van het beton versnellen door een lage water-cementfactor of een cement met een lagere bindingstijd zijn daarom ook efficiënte maatregelen.

Scheuren ten gevolge van sedimentatie kunnen veelal hersteld worden door de betonspecie opnieuw te trillen tot onder de wapening. Dat mag niet te vroeg en niet te laat gebeuren. Een goed tijdstip is wanneer de trilnaald net nog geen sporen achterlaat. Een andere mogelijkheid is het oppervlak tijdens het opstijven mechanisch of met de hand dicht te schuren.

### PLASTISCHE KRIMP

Plastische krimp treedt op wanneer aanmaakwater uit de oppervlaktelaag van pas gestort beton verdampt. De verdwijning van het water resulteert in een volumevermindering. Vloeibare betonspecie kan nog vervormen zonder te scheuren. Eenmaal de specie begint op te stijven, wordt de krimp verhinderd door het

toeslagmateriaal en de wapening, met scheurvorming als gevolg. Die treedt meestal op in de periode van 1 tot 4 uur na het storten van het beton en vertoont meestal een willekeurig scheurpatroon (Afbeelding 3). De mate van krimp is afhankelijk van de verhardingssnelheid en de uitdrogingsnelheid van het beton. Een beton dat traag verhardt en snel uitdroogt zal een grotere krimp vertonen dan een snel verhardend beton dat langzaam uitdroogt. De verhardingssnelheid wordt beïnvloed door de water-cementfactor, het soort cement, het gebruik van hulpstoffen en de luchttemperatuur. De uitdrogingsnelheid wordt bepaald door de relatieve vochtigheid van de lucht, de windsnelheid en het temperatuurverschil tussen lucht en beton. Dat laatste maakt dat plastische krimp niet alleen in

► ne pas prévoir une consistance plus élevée que ce qui est strictement nécessaire, limiter la teneur en eau à l'aide d'un adjuvant réducteur d'eau, limiter les besoins en eau par une granulométrie continue, améliorer la cohésion par une proportion suffisante de fines et/ou d'entraîneur d'air, ajouter des fibres de polypropylène ou d'acier afin de réduire la tendance à la sédimentation. Cette dernière mesure est déconseillée pour le béton architectonique ou le béton de parement. Les basses températures ambiantes allongent la durée de prise et par conséquent aussi la durée pendant laquelle peut se produire une sédimentation. Accélérer le durcissement du béton par un facteur eau/ciment bas ou un ciment avec une faible durée de prise constitue donc une mesure efficace.

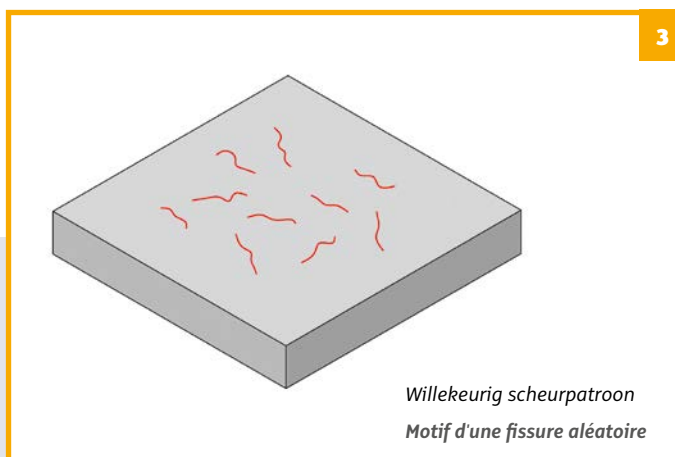
Les fissures par suite de sédimentation peuvent généralement être réparées en

vibrant à nouveau le mélange de béton jusque sous l'armature. Cela ne peut pas se faire trop tôt ni trop tard. Un bon moment est celui où l'aiguille vibrante ne laisse tout juste pas encore de traces. Une autre possibilité consiste à poncer la surface pour l'obturer pendant la prise, mécaniquement ou à la main.

### LE RETRAIT PLASTIQUE

Le retrait plastique se produit lorsque l'eau de gâchage s'évapore de la couche superficielle d'un béton fraîchement coulé. La disparition de l'eau résulte en une réduction du volume. Le mélange de béton liquide peut encore se déformer sans se fissurer. Lorsque le mélange commence à prendre, le retrait est empêché par les agrégats et

l'armature, ce qui entraîne une fissuration. Elle apparaît le plus souvent de 1 à 4 h après la coulée du béton et présente généralement un motif de fissures aléatoire (Figure 3). L'importance du retrait dépend de la vitesse de prise et de la vitesse de séchage du béton. Un béton qui durcit lentement et sèche rapidement présentera un retrait plus important qu'un béton à durcissement rapide qui sèche lentement. La vitesse de prise est influencée par le facteur eau/ciment, le type de ciment, l'emploi d'adjuvants et la température de l'air. La vitesse de séchage est déterminée par l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la différence de température entre l'air et le béton. Cette dernière fait que le retrait plastique



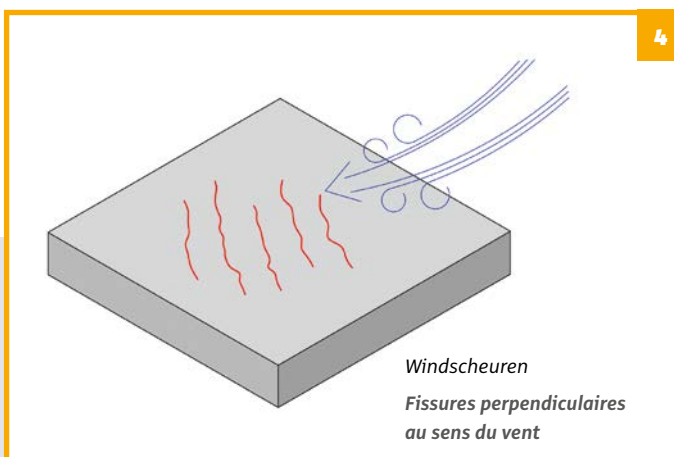
de warme periodes optreedt, maar ook tijdens de winter. Wanneer een sterke wind uit één bepaalde richting de oorzaak is van plastische krimp spreekt men ook wel eens van windscheuren. Het scheurpatroon vertoont dan min of meer evenwijdige scheuren, loodrecht op de windrichting (Afbeelding 4). Opgelet met tocht in fabriekshallen. Dit kan namelijk ook resulteren in een versnelde uitdroging.

Plastische krimp-scheuren kunnen ook ontstaan wanneer het aanmaakwater opgezogen wordt door een sterk absorberende ondergrond. Dat is onder andere het geval bij onderliggend droog beton en droge, waterabsorberende bekistingen. Daarom moeten oppervlakken voldoende bevochtigd worden

vooral het beton te storten, om de absorptie te reduceren. Let dus op bij het opstorten van bijvoorbeeld holle vloerelementen en breedplaatvloeren. Deze elementen zuigen, indien ze op voorhand niet bevochtigd worden, het water uit het stortbeton waardoor onzichtbare scheuren kunnen ontstaan aan de onderkant van de opstortlaag. Die kunnen een negatieve impact hebben op de aanhechting van de opstortlaag.

Een goede nabehandeling voorkomt voortijdige uitdroging van het betonoppervlak en vormt daardoor een zeer effectieve bescherming tegen plastische krimp-scheuren. De tijd die verstrijkt tussen het storten van het beton en de nabehandeling moet zo kort mogelijk zijn. Vormen van nabehandeling zijn

het afdekken met een plastic folie of vochtig gehouden doeken, het verstuiwen van een curing compound, het vernevelen van water en het uitstellen van ontkisten. In dit laatste geval moet het niet-bekiste oppervlak ook steeds nabehandeld worden. Het verstuiwen van een curing compound op basis van hars of paraffine gebeurt op het ogenblik dat eventueel bleedingwater verdwenen is, omdat de beschermende film zich niet kan vormen op een wateroppervlak. In dat opzicht is een watergedragen curing compound op basis van silicaat of acrylaat een beter alternatief. Bij toepassing van een plastic folie of vochtig gehouden doeken moeten voorzieningen worden getroffen om het betonoppervlak niet te beschadigen en om het opwaaien door de wind te voorkomen.



n'a pas lieu uniquement pendant les périodes chaudes, mais aussi pendant l'hiver. Lorsqu'un vent fort venant d'une direction déterminée provoque un retrait plastique, on parle parfois aussi de fissures de vent. Le motif des fissures présente alors des fissures plus ou moins parallèles, perpendiculaires au sens du vent (Figure 4). Attention avec les courants d'air dans les ateliers d'usine. En effet, ils peuvent provoquer également un séchage accéléré.

Les fissures de retrait plastique peuvent apparaître également lorsque l'eau de gâchage est aspirée par un support très absorbant. C'est le cas entre autres d'un béton sec sous-jacent et de coffrages secs absorbant l'eau. Voilà pourquoi

les surfaces doivent être humidifiées suffisamment avant de couler le béton en vue de réduire l'absorption. Il faut donc faire attention lors de la coulée de recharge sur des éléments creux de dalle et des dalles en hourdis. S'ils ne sont pas mouillés au préalable, ces éléments aspirent l'eau du béton coulé, ce qui peut provoquer des fissures invisibles sur la face inférieure de la couche de compression. Elles peuvent avoir un impact négatif sur l'adhérence de la couche de compression.

Un bon post-traitement prévient un séchage prématuré de la surface du béton et constitue ainsi une protection très efficace contre les fissures de retrait. Le délai entre la coulée du béton

et le post-traitement doit être le plus court possible. Comme post-traitement, on peut citer le recouvrement avec un film plastique ou des toiles maintenues humides, la pulvérisation d'un agent de cure, la nébulisation d'eau et le report du décoffrage. Dans ce dernier cas, la surface non coffrée doit toujours recevoir elle aussi un post-traitement. La vaporisation d'un agent de cure à base de résine ou de paraffine se fait au moment où l'éventuelle eau de ressuage a disparu, parce que le film protecteur ne peut pas se former sur une surface d'eau. De ce point de vue, un agent de cure à base d'eau, à base de silicate ou d'acrylate, constitue une meilleure alternative. En cas d'utilisation d'un film plastique ou de toiles maintenues humides, il faut prendre des mesures pour ne pas endommager la surface du béton et empêcher le soulèvement par

► De duur van de nabehandeling hangt af van de verhardingssnelheid en de uitdrogingsnelheid van het beton. Richtlijnen over de duur van de nabehandeling zijn terug te vinden in de NBN EN 13369 + NBN B 21-600 en de NBN EN 13670 + NBN B 15-400. Na ont-kisting moet het beton in sommige gevallen nog enkele dagen nabehan-deld worden. Bijzonder aandacht moet geschonken worden aan de nabehan-deling van hogesterktebeton en zelf-verdichtend beton met hogere sterkte. Deze bevatten namelijk veel fijn mate-riaal en weinig water, waardoor nauwe-lijks bleeding zal optreden en de top-laag snel kan uitdrogen.

De ontwerpend ingenieur kan het ont-staan van plastische krimp-scheuren niet voorkomen. De betontechnoloog kan bijkomende voorzorgen nemen door polypropyleenvezels toe te voegen aan de betonsamenstelling. Indien

alsnog scheuren ontstaan, zullen ze tal-rijker zijn, maar ook fijner. Sowieso blijft een nabehandeling absoluut noodza-kelijk bij gebruik van polypropyleenve-zels. Tijdens het opstijven van het beton kunnen de scheuren hersteld worden door het mechanisch of manueel dicht-schuren van het oppervlak. De dag na het optreden van de scheurvorming, op een ogenblik dat de scheuren nog niet vervuild zijn, is het inborstelen van droog cement of het dichtsmere met cementpasta ook dikwijls een geschikte methode om de scheuren af te dichten.

### VERHARDINGSKRIMP

Water en cement reageren met elkaar en vormen cementsteen. Dit proces noemen we hydratatie. Het volume van de cementsteen is kleiner dan het volume van het water en cement voor de reactie. Deze volumevermindering noemen we chemische krimp of hydra-tatiekrimp. Door deze krimp ontstaan

in de cementsteen microscheurtjes waardoor het gehalte aan poriën in de cementsteen vergroot. Uitwendig is er nauwelijks enige vormverande-ring meetbaar. Deze krimp draagt dus niet bij aan de scheurvorming aan het oppervlak van de betonconstructie.

Als er geen water van buiten wordt aan-getrokken, zal door de voortgaande hydratatie het nog beschikbare water in de poriën van de cementsteen lang-zaam worden verbruikt. Dit leidt tot het uitdrogen van het poriënsysteem. Er ontwikkelt zich een steeds fijner pori-ensysteem en de hoeveelheid water in de poriën neemt verder af. Hierdoor zal de cementsteen samentrekken. We noemen dit verschijnsel autogene krimp. Door de verharding van het beton zal de krimp van de cementsteen worden verhinderd. Dat resulteert in kleine scheurtjes in de betonmassa zelf. Bij mengselmeteenlagewater-cementfactor

► le vent. La durée du post-traitement dépend de la vitesse de prise et de la vitesse de séchage du béton. Les direc-tives sur la durée du post-traitement sont fournies dans les NBN EN 13369 + NBN B 21-600 et les NBN EN 13670 + NBN B 15-400. Dans certains cas, le béton doit encore subir un post-trai-tement de quelques jours après le décoffrage. Une attention spéciale doit être consacrée au post-traitement de béton hautes performances et de béton autocompactant à haute résistance. Ceux-ci contiennent en effet beaucoup de matériaux fins et peu d'eau, ce qui entraînera un faible ressuage, de sorte que la couche supérieure peut sécher rapidement.

L'ingénieur en conception ne peut pas prévenir l'apparition de fissures de retrait plastique. Le technologiste de béton peut prendre des mesures

supplémentaires en ajoutant des fibres de polypropylène au béton. S'il appa-raît encore des fissures dans ce cas, elles seront plus nombreuses, mais aussi plus petites. En cas d'utilisation de fibres de polypropylène, un post-trai-tement reste absolument indispensable. Pendant le durcissement du béton, les fissures peuvent être réparées en polis-sant la surface par voie mécanique ou à la main. Le jour suivant l'apparition des fissures, à un moment où elles ne sont pas encore encrassées, on peut les combler à la brosse avec du ciment sec ou les combler avec de la pâte de ciment, ce qui permet souvent d'étan-chéifier les fissures.

### LE RETRAIT DE DURCISSEMENT

L'eau et le ciment réagissent entre eux et forment de la pierre de ciment. Ce processus est appelé hydratation. Le volume de la pierre de ciment est

inférieur à celui de l'eau et du ciment avant la réaction. Cette réduction de volume est appelée retrait chimique ou retrait d'hydratation. Ce retrait provoque des microfissures dans la pierre de ciment, de sorte que la teneur de pores dans la pierre de ciment augmente. À l'extérieur, on ne remarque pratique-ment aucune modification de forme. Ce retrait ne contribue donc pas à la fissuration sur la surface de la structure en béton.

Si l'eau n'est pas aspirée de l'extérieur, l'hydratation croissante consommera lentement l'eau encore disponible dans les pores de la pierre de ciment. Cela conduit au dessèchement du réseau de pores. Il se développe un réseau de pores sans cesse plus fins, et la quan-tité d'eau dans les pores continue à diminuer. Cela entraîne une contraction de la pierre de ciment. Ce phénomène

( $\leq 0,40$ ) en een hoog cementpastagehalte (bv. hogesterktebeton en zelfverdichtend beton met hogere sterkte) kan de autogene krimp aanzienlijk zijn omwille van de zeer fijne poriënstructuur van de cementsteen. Bij dit soort mengsels heeft het afdekken met een plastic folie of het aanbrengen van een curing compound geen enkel nut meer voor het beperken van de autogene krimp, wanneer het risico op plastische krimp is verdwenen. Dit kan zelfs schadelijk zijn omdat het doordringen van water verhinderd wordt terwijl dit juist de autogene krimp zal beperken. De beste manier om autogene krimp bij deze betons te beperken is het besproeien van het oppervlak met water of het afdekken met vochtig gehouden doeken.

### UITDROGINGSKRIMP

Het water uit de betonspecie zal voor een groot deel worden gebruikt voor het hydratatieproces. De rest van het water kan uit het beton verdwijnen door uitdroging. Hoewel plastische krimp ook een vorm van uitdrogingskrimp is, wordt de term toegeschreven aan de krimp van verhard beton. Is de relatieve vochtigheid van de lucht kleiner dan die van het beton, dan zal het beton drogen, met het krimpen van de cementsteen tot gevolg. Uitdrogingskrimp, soms ook hydraulische krimp genoemd, is minder sterk dan plastische krimp en verloopt ook langzamer. Dat komt omdat de poriënstructuur fijner wordt naarmate het beton ouder wordt. Uitdrogingskrimp is het grootst aan het oppervlak, omdat die wordt blootgesteld aan de omgevingslucht. Hoe lager de relatieve vochtigheid van de lucht, hoe sneller het beton uitdroogt en hoe meer het zal

krimpen. Ook de water-cementfactor, het cementgehalte en de cementsoort spelen een rol, want deze bepalen namelijk de fijnheid van de poriënstructuur. Een hoge water-cementfactor geeft een snellere uitdroging en een grotere krimp. Daarnaast beïnvloedt ook de vorm van de constructie de uitdroging. Een lange, slanke vorm zal sneller uitdrogen dan een massieve vorm. Ongeveer 25% van de totale krimp vindt plaats in de eerste twee weken na het storten van het beton. In de eerste 3 maanden zal de krimp ongeveer 60% van de totale krimp bedragen. Uitdrogingskrimp is niet volledig omkeerbaar. Wanneer het beton na uitdroging weer nat wordt zal de mate van zwelling niet gelijk zijn aan de eerdere krimp.

De ontwerpend ingenieur kan maatregelen nemen door het voorzien van voldoende wapening op de juiste plaats

est appelé retrait autogène. Le durcissement du béton empêchera le retrait de la pierre de ciment. Il en résulte de petites fissures dans la masse même du béton. Chez les mélanges avec un faible facteur eau/ciment ( $\leq 0,40$ ) et une teneur élevée en pâte de ciment (p. ex. béton hautes performances et béton autocompactant à haute résistance), le retrait autogène peut être considérable en raison de la structure très fine des pores de la pierre de ciment. Chez ce type de mélange, le recouvrement avec un film plastique ou l'application d'un agent de cure n'a plus aucune utilité pour limiter le retrait autogène lorsque le risque de retrait plastique a disparu. Cela peut même s'avérer dommageable parce qu'il empêche la pénétration d'eau, tandis que cette dernière limiterait le retrait autogène. La meilleure façon pour limiter le retrait autogène chez ces bétons consiste à arroser la

surface avec de l'eau ou de la recouvrir avec des toiles maintenues humides.

### LE RETRAIT DE SÉCHAGE

L'eau du mélange de béton sera utilisée en grande partie pour le processus d'hydratation. Le reste de l'eau peut disparaître du béton par séchage. Bien que le retrait plastique constitue également une forme de retrait de séchage, le terme est réservé au retrait du béton durci. Si l'humidité relative de l'air est inférieure à celle du béton, le béton sèchera, avec comme conséquence un retrait de la pierre de ciment. Le retrait de séchage, parfois également appelé retrait hydraulique, est moins important que le retrait plastique et est aussi plus lent. Cela s'explique par le fait que la structure des pores devient plus fine à mesure que le béton vieillit. Le retrait de séchage est le plus important à la surface parce que celui-ci est exposé

à l'air ambiant. Plus l'humidité relative de l'air est faible, plus le béton sèche vite et plus le retrait sera important. Le facteur eau/ciment, la teneur en ciment et le type de ciment jouent également un rôle, car ils déterminent la finesse du réseau de pores. Un facteur eau/ciment élevé entraîne un séchage plus rapide et un retrait plus important. En outre, la forme de la structure détermine également le séchage. Une forme longue et fine sèchera plus rapidement qu'une forme massive. Environ 25 % du retrait total ont lieu dans les 2 premières semaines après la coulée du béton. Pendant les 3 premiers mois, le retrait atteindra environ 66 % du retrait total. Le retrait de séchage n'est pas complètement réversible. Lorsque le béton redevient humide après avoir séché, le taux de gonflement ne sera pas identique au retrait antérieur.

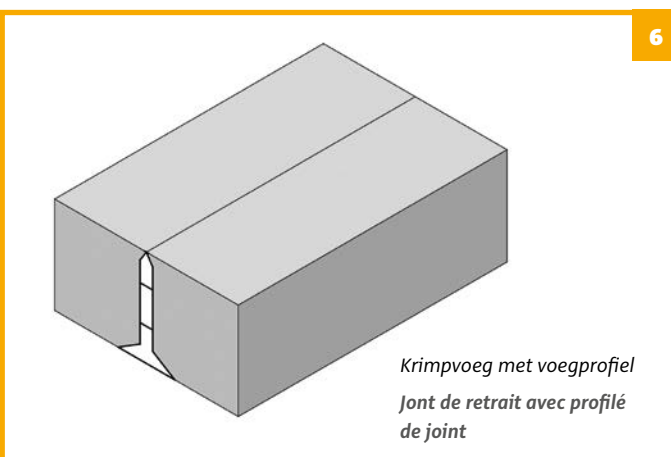
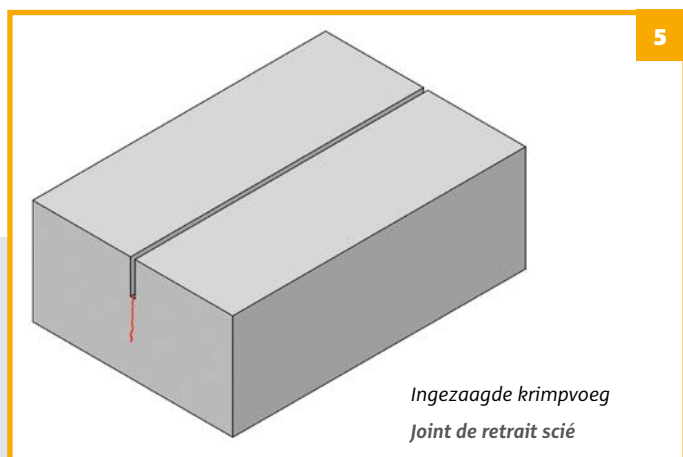
en het aanbrengen van krimpvoegen om ongecontroleerde krimp scheuren te voorkomen. Inzagen is de meest gebruikte methode om krimpvoegen te realiseren in ter plaatse gestorte vloeren (Afbeelding 5), maar het kan ook door middel van voegprofielen (Afbeelding 6). Door het aanbrengen van voldoende wapening wordt de afstand tussen de scheuren en de scheurwijdte beperkt, op voorwaarde dat de wapening goed verdeeld is over de doorsnede (beter meer dunne staven dan minder dikke staven). Om de scheurvorming te verdelen over een groot aantal microscheurtjes kunnen ook staalvezels gebruikt worden. Polypropyleenvezels daarentegen dragen weinig of niets bij. De betontechnoloog kan door

de hoeveelheid aanmaakwater te reduceren het risico op krimp scheuren beperken. De benodigde hoeveelheid aanmaakwater is immers kleiner bij het gebruik van toeslagmaterialen met een continue korrelverdeling en een grote maximale korreldiameter. De water-cementfactor kan laag gehouden worden door het gebruik van waterreducerende hulpstoffen. Een goede nabehandeling heeft slechts weinig invloed op de uiteindelijke uitdrogingskrimp.

### THERMISCHE KRIMP IN JONG BETON

Bij de reactie tussen water en cement ontstaat warmte. Hierdoor zal de temperatuur in het verhardende beton oplopen, waardoor jong beton wil uitzetten. Als deze uitzetting verhinderd

wordt veroorzaakt dit drukspanningen. Deze blijven echter beperkt omdat het jonge beton bijna geen stijfheid bezit. Na verloop van een aantal dagen zal de warmteontwikkeling afnemen en zal het beton afkoelen en willen krimpen. Als deze krimp verhinderd wordt kan dit aanleiding geven tot scheurvorming. Er kan sprake zijn van inwendige en uitwendige verhinderde vervorming. Een klassiek voorbeeld van uitwendige verhinderde vervorming is een betonwand die gestort wordt op een reeds verharde vloer (Afbeelding 7). Omdat de wand ter plaatse van de vloer niet vrij kan bewegen bestaat het risico dat tijdens het afkoelen de treksterkte van het beton wordt overschreden. Inwendige verhinderde vervorming komt vooral



L'ingénieur en conception peut prendre des mesures en prévoyant une armature suffisante à l'endroit correct et des joints de retrait pour prévenir les fissures de retrait incontrôlées. La méthode la plus employée pour réaliser des joints de retrait dans les sols coulés sur place est le sciage (Figure 5), mais on peut également prévoir des profilés de joint (Figure 6). La pose d'une armature suffisante réduit la distance entre les fissures et la largeur des fissures, à condition que l'armature soit bien répartie sur la section (mieux vaut plus de barres fines que moins de grosses barres). Pour répartir la fissuration sur un grand nombre de microfissures, on peut également employer des fibres d'acier. Par contre, l'usage de fibres de polypropylène n'a pratiquement aucune

influence à cet égard. Le technologue du béton peut réduire la quantité d'eau de gâchage pour limiter le risque de fissures de retrait. La quantité nécessaire d'eau de gâchage est en effet plus petite lors de l'emploi de matériaux de charge avec une granulométrie continue et un grand diamètre maximal de granulé. On peut maintenir le facteur eau/ciment bas par l'emploi d'adjuvants réducteurs d'eau. Un bon post-traitement n'a qu'une petite influence sur le retrait de séchage final.

### RETRAIT THERMIQUE DANS LE BÉTON JEUNE

La réaction entre l'eau et le ciment produit de la chaleur. La température dans le béton qui durcit va donc augmenter et le béton jeune veut donc

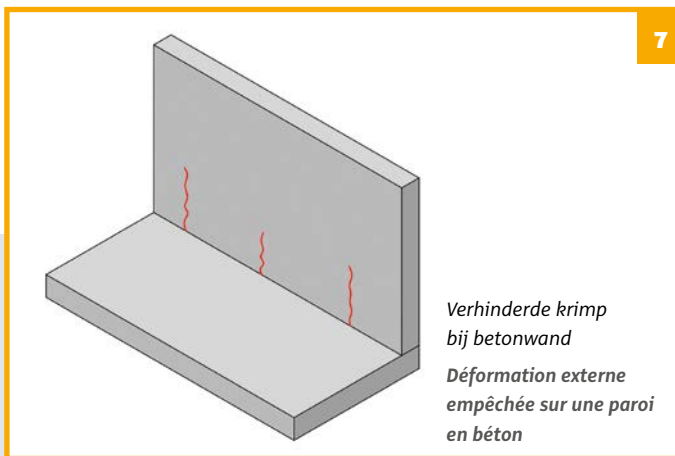
se dilater. Si cette dilatation est empêchée, cela provoque des contraintes de pression. Elles restent cependant limitées parce que le béton jeune ne possède pratiquement pas encore de rigidité. Après plusieurs jours, le développement de chaleur diminuera et le béton se refroidira et voudra se contracter. Si ce retrait est empêché, cela peut provoquer une fissuration. Il peut s'agir d'une déformation interne ou externe empêchée. Un exemple classique de déformation externe empêchée est une paroi de béton qui est coulée sur une dalle déjà durcie (Figure 7). Comme la paroi ne peut pas bouger librement au niveau de la dalle, le risque existe que la résistance à la traction du béton soit dépassée lors du refroidissement. La déformation empêchée

voor bij massieve constructies. De temperatuurstijgingen door de hydratiewarmte zijn in dat geval vaak aanzienlijk. Zolang de bekisting blijft staan zullen temperatuurverschillen in de doorsnede beperkt blijven. Wanneer de bekisting wordt verwijderd zal de buitenkant van het beton afkoelen en willen krimpen. Deze krimp wordt verhinderd door het binnenste van de constructie. Een maximaal temperatuurverschil van 20°C tussen kern en de buitenkant van de betonconstructie is wenselijk. Een soortgelijk fenomeen kan zich voordoen onder zomerse omstandigheden wanneer door uitdroging de buitenste laag een lagere temperatuur bezit dan het beton daaronder. Deze temperatuurgradiënt veroorzaakt trekspanningen

in het oppervlak die aanleiding kunnen geven tot scheurvorming. Hetzelfde effect wordt veroorzaakt door de daling van de temperatuur in een verhardende betonconstructie in de eerste nacht na het storten. Kritische periodes hiervoor zijn vooral het voor- en najaar, waarin de verschillen tussen de dag- en nachttemperatuur groot kunnen zijn. Ook bij versnelde verharding in de prefab industrie moet men rekening houden met mogelijke temperatuurgradiënten in het beton.

Het beperken van temperatuurgradiënten en temperaturdaling in jong beton kan gebeuren door het gebruik van een isolerende bekisting. Het aanbrengen van een isolerende afdekking

over pas gestorte betonoppervlakken kan noodzakelijk zijn in de kritische periodes. Het tijdstip waarop de bekisting wordt verwijderd is ook belangrijk. Identiek als bij de uitdrogingskrimp kan de ontwerpend ingenieur de scheurvorming beperken door voldoende wapening te voorzien of door krimpvoegen op de juiste plaatsen voor te schrijven. De betontechnoloog van zijn kant kan ervoor zorgen dat de warmteontwikkeling beperkt blijft. Factoren die een belangrijke rol hierbij spelen zijn de aanvangstemperatuur van de betonspecie, het cementgehalte en de cementsoort.



interne a surtout lieu dans les structures massives. Dans ces dernières, les augmentations de température par la chaleur d'hydratation sont souvent considérables. Aussi longtemps que le coffrage reste en place, les différences de température dans la section resteront limitées. Lorsque le coffrage est enlevé, l'extérieur du béton se refroidira et voudra se contracter. Ce retrait est empêché par le noyau de la structure. Une différence maximale de température de 20 °C entre le noyau et l'extérieur de la structure en béton est souhaitable. Un phénomène similaire peut se manifester en conditions estivales, lorsque le séchage de la couche extérieure fait baisser sa température en dessous de celle du béton sous-jacent. Ce gradient de température provoque des

contraintes de traction dans la surface qui peuvent donner lieu à une fissuration. Le même effet est provoqué par la baisse de la température dans une structure de béton qui durcit pendant la première nuit après la coulée. Les périodes critiques de ce point de vue sont le printemps et l'automne, où les différences entre les températures diurnes et nocturnes peuvent être considérables. Pour le durcissement accéléré dans l'industrie de la préfabrication, il faut également tenir compte du risque de gradients de température dans le béton.

On peut employer un coffrage isolant pour limiter les gradients de température et la baisse de température dans le béton jeune. Il peut être nécessaire

de poser un recouvrement isolant sur les surfaces de béton fraîchement coulées pendant les périodes critiques. Le moment où le coffrage est enlevé est lui aussi important. Tout comme pour le retrait de séchage, l'ingénieur en conception peut limiter la fissuration en prévoyant une armature suffisante ou des joints de retrait aux endroits appropriés. De son côté, le technologue du béton peut veiller à ce que le développement de chaleur reste limité. Les facteurs qui y tiennent un rôle important sont la température initiale du mélange de béton, la teneur en ciment et le type de ciment.



## ► CRAQUELÉ

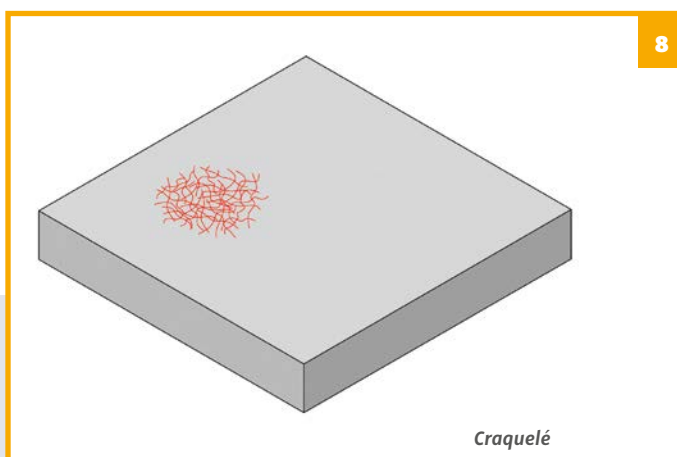
De water-cementfactor van het betonoppervlak kan plaatselijk veel hoger zijn door geringe ontmenging, bijvoorbeeld door sedimentatie. Maar ook een onzorgvuldige verdichting, bijvoorbeeld tegen de binnenkant van een stalen bekisting, kan resulteren in een plaatselijke overmaat aan cementpap waardoor de kwaliteit van het beton minder is in vergelijking met de rest van de constructie. De kwaliteit zal in dit geval zeker achterwege blijven bij onvoldoende nabehandeling. Temperatuurverschillen en uitdroging kunnen leiden tot een grillig scheurpatroon (Afbeelding 8). Hoewel visueel minder aantrekkelijk zijn de ondiepe scheurtjes van weinig betekenis.

De ontwerpend ingenieur kan weinig doen om craquelé te voorkomen. De betontechnoloog kan het risico op craquelé verminderen door de consistentie van het beton zo laag mogelijk te houden. Hierdoor reduceert hij het risico op ontmenging. Om dezelfde reden kan hij de samenhang van het mengsel verhogen door een optimale korrelgradering en het toepassen van luchtbelvormer. Tijdens de uitvoering moet men zorgen voor een goede en correcte verdichting en nabehandeling. Een houten bekisting is minder gevoelig voor craquelé dan een dichte, gladde stalen bekisting. Wanneer een stalen bekisting door trilnaalden plaatselijk in trilling wordt gebracht kan dat

aanleiding geven tot ontmenging aan het oppervlak.

## SCHEURVORMING DOOR CORROSIE

Wanneer een betonconstructie goed ontworpen en uitgevoerd is zal de betondekking de wapening voldoende beschermen tegen carbonatatie (het indringen van koolstofdioxide – CO<sub>2</sub>) en de indringing van chlorides. In het andere geval kan op termijn de wapening corroderen. Deze corrosievorming gaat gepaard met volumevermeerdering, waardoor scheurvorming zal ontstaan, gevolgd door het afdrukken van de betondekking.



## ► LE CRAQUELÉ

Le facteur eau/ciment de la surface du béton peut être localement beaucoup plus élevé par une faible ségrégation, par exemple par sédimentation. Mais un compactage peu soigneux, par exemple contre la face interne d'un coffrage en acier, peut entraîner un excédent local de pâte de ciment, de sorte que la qualité du béton y sera moindre en comparaison avec le reste de la structure. Dans ce cas, la qualité ne sera certainement pas suffisante en l'absence d'un post-traitement approprié. Les différences de température et le séchage peuvent provoquer un motif de fissures irrégulier (Figure 8). Bien qu'elles soient peu esthétiques au point de vue visuel, les petites fissures peu profondes n'ont que peu d'importance.

L'ingénieur en conception ne peut pas faire grand-chose pour éviter le craquelé. Le technologue du béton peut réduire le risque de craquelé en gardant la consistance du béton la plus faible possible. Il réduit ainsi le risque de ségrégation. Pour la même raison, il peut accroître la cohésion du mélange par une granulométrie optimale et l'utilisation d'un entraîneur d'air. Pendant l'exécution, il faut veiller à un compactage et un post-traitement corrects et soigneux. Un coffrage en bois est moins sensible au craquelé qu'un coffre fermé et lisse en acier. Lorsqu'un coffrage en acier est mis localement en vibration par les aiguilles vibrantes, cela peut entraîner une ségrégation superficielle.

## LA FISSURATION SOUS CORROSION

Lorsqu'une structure en béton est bien conçue et exécutée, la couverture de béton protégera suffisamment l'armature contre la carbonatation (la pénétration de dioxyde de carbone – CO<sub>2</sub>) et la pénétration de chlorures. Dans le cas contraire, l'armature peut se corroder après un certain temps. Cette corrosion s'accompagne d'une augmentation de volume, ce qui provoquera une fissuration, suivie par le soulèvement de la couverture de béton.

Pour prévenir la fissuration par corrosion de l'armature, l'ingénieur en conception doit savoir à quel environnement ou milieu sera exposée la structure en béton. Sur cette base, il sélectionne la classe de milieu ou d'environnement

Om scheurvorming door wapeningscorrosie te voorkomen moet de ontwerpend ingenieur weten in welke omgeving of milieu de constructie dienst zal doen. Op basis hiervan kiest hij de geschikte milieu- of omgevingsklasse. Hierdoor legt hij de minimale betondekking op de wapening vast, alsook de maximale water-cementfactor, het minimale cementgehalte, de minimale betonkwaliteit en het maximale chloridegehalte van de betonsamenstelling. Tijdens de productie zal de betontechnoloog waken over deze toelaatbare waarden. De waarden met betrekking tot de betonsamenstelling worden vastgelegd in de NBN EN 206 en NBN B 15-001, terwijl de betondekking vast gelegd wordt in

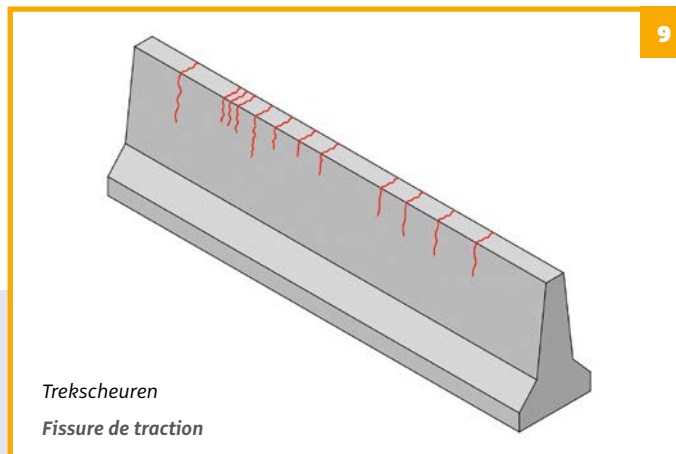
de NBN EN 1992-1-1 + ANB. Tijdens de uitvoering moet in de eerste plaats de minimum betondekking gerespecteerd worden. Verder moet een goede nabehandeling van het beton zorgen voor een betondekking met een dichte structuur.

**TREKSCHEUREN**

Deze scheuren kunnen ontstaan wanneer betonconstructies of betonelementen worden vervaardigd door middel van een glijbekisting. Wanneer de wrijving tussen de betonspecie en de glijbekisting aanleiding geeft tot trekspanningen die groter zijn dan de treksterkte van het jonge plastische beton, zal de betonspecie uit elkaar getrokken worden (Afbeelding 9).

Om een goede glijlaag te bekomen moet het aardvochtig beton voldoende cementpasta bevatten. Te veel pasta kan echter resulteren in een grote kleef tussen het mengsel en de bekisting, wat het risico op trekscheuren vergroot. Een vuile glijbekisting zorgt voor een grotere wrijving tussen bekisting en betonspecie en een te snelle opstijving van het beton kan ervoor zorgen dat de betonspecie zich aan de bekisting hecht.

Trekscheuren hebben soms een aanzienlijke opening. Herstellen van de scheuren is vaak niet mogelijk. Stoppen met storten en de oorzaak verhelpen is meestal de enige remedie, plus het vervangen van de slechte stroken. ▶



appropriée. Il fixe ainsi la couverture minimale de béton sur l'armature, ainsi que le facteur maximal eau/ciment, la teneur minimale en ciment, la qualité maximale du béton et la teneur maximale en chlorure de la composition du béton. Pendant la production, le technologue du béton veillera sur ces valeurs admissibles. Les valeurs concernant la composition du béton sont fixées dans les NBN EN 206 et NBN B 15-001, tandis que la couverture de béton est fixée par NBN EN 1992-1-1 + ANB. Pendant l'exécution, il faut en premier lieu respecter la couverture minimale de béton. En outre, un bon post-traitement du béton doit assurer un recouvrement de béton avec une structure fermée.

**LES FISSURES DE TRACTION**

Ces fissures peuvent apparaître lorsque les structures ou éléments de béton sont fabriqués à l'aide d'un coffrage glissant. Lorsque le frottement entre le mélange de béton et le coffrage glissant produit des contraintes de traction qui dépassent la résistance à la traction du jeune béton plastique, le mélange de béton sera disloqué (Figure 9).

Pour obtenir une bonne couche de glissement, le béton humide doit contenir suffisamment de pâte de ciment. Une teneur trop élevée en pâte peut cependant entraîner une adhésion importante du mélange au coffrage, ce qui augmente le risque de fissures de traction. Un coffrage glissant encrassé provoque un frottement plus important

entre le coffrage et le mélange de béton, et une prise trop rapide du béton peut entraîner l'adhésion du mélange de béton au coffrage.

Les fissures de traction présentent parfois une ouverture considérable. Il est souvent impossible de réparer les fissures. Le seul remède consiste souvent à arrêter la coulée et à remédier aux causes, plus à remplacer les tronçons défectueux. ▶

## ► HERSTELLEN OF NIET?

Zichtbare, onverwachte scheuren roepen nogal eens de vraag op: "Is reparatie noodzakelijk?". De beslissing om over te gaan tot herstelling is gebaseerd op het onderscheid tussen constructieve veiligheid, gebruiksfunctie en esthetische functie. Is de constructieve veiligheid nog gewaarborgd? Is de gebruiksfunctie onvoldoende geworden? Voldoet de esthetische functie niet meer aan de eisen? Duurzaamheid is voor elk van deze drie categorieën van belang.

Indien door de scheurvorming een deel van de wapening 'bloot' komt te liggen kan de constructieve veiligheid op termijn in gedrang komen en is een herstelling meestal aan de orde. Dit risico bestaat - binnen de scheuren behandeld in dit artikel - enkel bij scheuren veroorzaakt door corrosie van de wapening, op

voorwaarde dat voldoende maatregelen genomen werden om de andere soorten van scheurvorming te voorkomen of te beperken. Indien door de scheurvorming niet meer aan de eisen van waterdichtheid kan voldaan worden, is de gebruiksfunctie ontoereikend en zal een herstelling ook nodig zijn. Scheuren die de constructieve veiligheid en de gebruiksfunctie van de constructie niet aantasten verminderen vaak de esthetische waarde ervan. Zeker in een buitenomgeving wordt de scheur vaak vervuild door meegevoerde verontreinigingen of opgeloste kalk uit het beton. Bovendien kunnen vuil en algen zich hechten op de voortdurend vochtige plaats rond de scheur. In deze gevallen is het daarom ook soms aangewezen om tot herstelling over te gaan. Opgelet, het herstellen van scheuren kan vaak niet onzichtbaar worden uitgevoerd. Dit is belangrijk bij zichtbeton en geprefabriceerde

elementen van architectonisch beton. Voor dit soort constructies is een scheurwijdte van 0,2 mm aanvaardbaar. Een herstelling zal meestal niet leiden tot een beter resultaat.

Afhankelijk van de situatie moet een hersteladvies duidelijk onderscheid maken tussen maatregelen gericht op constructief herstel en maatregelen gericht op het afdichten van de scheur. In beide gevallen kunnen scheuren hersteld worden door ze op te vullen of te injecteren. Het opvullen gebeurt met krimprijke herstellmortel. Voor reparaties door middel van injecteren komen cementgebonden producten en een groot scala aan kunstharsen (op basis van polyurethaan, epoxy of een combinatie van beide) in aanmerking. Zeer fijne oppervlaktescourtjes kunnen niet opgevuld of geïnjecteerd worden. Hier is het afdichten van de scheuren door

## ► RÉPARER OU PAS ?

Les fissures visibles imprévues suscitent souvent des questions: « Une réparation est-elle indispensable ? » La décision de procéder à la réparation se base sur la distinction entre sécurité constructive, fonctionnalité et fonction esthétique. La sécurité constructive est-elle encore garantie ? La fonctionnalité est-elle devenue insuffisante ? La fonction esthétique ne satisfait-elle plus aux exigences ? Pour chacune de ces trois catégories, la durabilité est importante.

Si la fissuration expose une partie de l'armature, la sécurité constructive peut être mise en danger à terme, et une réparation s'impose généralement. Ce risque existe (pour les fissures traitées dans cet article) uniquement pour les fissures provoquées par la corrosion de l'armature, à condition que des mesures

suffisantes aient été prises pour prévenir ou limiter les autres formes de fissuration. Si la fissuration ne permet plus de satisfaire aux exigences d'étanchéité, la fonctionnalité est insuffisante et une réparation sera nécessaire. Les fissures qui n'affectent pas la sécurité constructive et la fonctionnalité de la structure en réduisent souvent la valeur esthétique. Surtout au grand air, la fissure est souvent encrassée par des saletés entraînées ou du calcaire dissous provenant du béton. En outre, les saletés et les algues peuvent se fixer sur la zone continuellement humide autour de la fissure. Dans ces cas, il est donc parfois indiqué de procéder à une réparation. Attention, il est souvent impossible de réparer des fissures de manière invisible. Ce point est important pour le béton de parement ou les éléments préfabriqués en béton architectonique.

Pour ce type de structures, une largeur de fissure de 0,2 mm est acceptable. En général, une réparation ne produira pas un meilleur résultat.

Suivant la situation, un conseil de réparation doit clairement établir la distinction entre les mesures visant à la réparation constructive et les mesures visant à combler la fissure. Dans les deux cas, il est possible de réparer les fissures en les remplissant ou en les injectant. Le remplissage se fait avec un mortier de réparation sans retrait. Pour les réparations par infection, on peut envisager des produits liés au ciment et une large gamme de résines artificielles (à base de polyuréthane, d'époxy ou d'une combinaison des deux). Les fissures superficielles très fines ne peuvent pas être remplies ou injectées. Dans ce cas, il est recommandé de combler les

middel van een beschermende coating aangewezen indien dit nodig is voor de duurzaamheid. De meeste herstelproducten op de markt beantwoorden aan de voorschriften van de normenreeks NBN EN 1504 - Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies. Bij de keuze van herstel materiaal is het aangewezen om advies in te winnen bij de producenten van deze producten.

**We moeten ons niet laten afschrikken door alle hierboven genoemde vormen van scheurvorming. Kiezen voor geprefabriceerde betonelementen geeft de aannemer meer zekerheid omdat de maatregelen voor de beperking van de scheurvorming in een fabriek beter beheerst worden. Het zijn namelijk allemaal 'gewone' chemische en fysische processen die onlosmakelijk verbonden**

**zijn aan de keuze voor het materiaal beton. Het ontstaan van scheuren in een betonconstructie vormt in de meeste gevallen geen gevaar voor de constructieve veiligheid, scheurvorming door over belasting buiten beschouwing gelaten. Afhankelijk van aspecten met betrekking tot duurzaamheid en esthetiek dient wel altijd beoordeeld te worden of een herstelling aangewezen is of niet. (BHE) ●**

*Bart Hendriks is technisch raadgever bij FEBE. Voor bijkomende vragen kan u hem steeds contacteren. bhe@febe.be*

#### LITERATUUR

- Betoniek 6/17, 6/25, 7/8, 8/25, 9/19, 10/22, 11/29, 13/30, 15/14, 15/27, Cement&BetonCentrum
- Technische Fiche – Duurzaam beton... Bescherming op jonge leeftijd is essentieel, Febelcem, mei 1998
- Krimp in jong verhardend beton, Dossier Cement 16, Febelcem, maart 1998
- Scheurvorming beperken: noodzakelijke voorwaarden voor duurzaam beton, Technologie november 2010, Febelcem
- TV 231 – Herstelling en bescherming van beton, WTCB, september 2007
- De krimp van jong speciaal beton, WTCB-Dossiers, Katern nr. 2, 2e trimester 2004

fissures à l'aide d'un revêtement protecteur si cela s'avère nécessaire pour la durabilité. La plupart des produits de réparation sur le marché répondent aux prescriptions de la série de normes NBN EN 1504 - Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton. Pour le choix du matériau de réparation, il est recommandé de demander conseil aux fabricants de ces produits.

**Il ne faut pas se laisser effrayer par toutes les formes de fissuration citées plus haut. Il s'agit en effet de processus chimiques et physiques «normaux» qui sont indissociablement liés au choix du matériau, le béton. Opter pour des éléments en béton préfa est plus sécurisant pour l'entrepreneur, car les mesures de réduction de la formation de fissures sont bien mieux contrôlées en usine.**

**Dans la plupart des cas, l'apparition de fissures dans une structure en béton ne constitue pas un danger pour la sécurité constructive, à l'exception de la fissuration par surcharge. En fonction de considérations de durabilité et d'esthétique, il faudra toujours évaluer si une réparation est indiquée ou pas. (BHE) ●**

*Bart Hendriks est conseiller technique à la FEBE. Vous pouvez le contacter pour tous renseignements complémentaires. bhe@febe.be*

#### LITTÉRATURE

- Betoniek 6/17, 6/25, 7/8, 8/25, 9/19, 10/22, 11/29, 13/30, 15/14, 15/27, Cement&BetonCentrum
- Fiche technique – Bétons durables... La protection au jeune âge est essentielle, Febelcem, mai 1998
- Le retrait dans le béton jeune en cours de durcissement, Dossier Ciment 16, Febelcem, mars 1998
- Limiter la fissuration : conditions indispensables à la durabilité des bétons, Technologie novembre 2010, Febelcem
- NIT 231 – Réparation et protection des ouvrages en béton, CSTC, septembre 2007
- Le retrait au jeune âge des bétons spéciaux, Les Dossiers du CSTC, Cahier n° 2, 2e trimestre 2004