



Casus van SBRCURnet-commissie legt grote verschillen bloot in berekeningsmethoden scheurvorming

#### SBRCURnet-commissie

In de SBRCURnet-commissie hebben zitting:

- Hans Galjaard, Volker InfraDesign, voorzitter
- Johan Bolhuis, BAM
- Maartje Dijk, W+B
- Sander van het Erve, Mobilis
- Jeroen Meijdam, Dura Vermeer
- Leo Molenbroek, Heijmans
- Tom van der Pouw, Bartels
- Hans van Stralen, RHDHV
- Gerrit Wolsink, RWS GPO
- Frank van der Woerd, Ballast Nedam
- René Braam, TU Delft
- Cindy Vissering, SBRCURnet, coördinator

# Berekenen scheurvorming in de praktijk

*Het is van groot belang goed te kunnen rekenen aan scheurvorming van beton. In de praktijk wordt er echter op veel verschillende manieren omgegaan met die berekeningen. Om meer inzicht in te krijgen in de rekenpraktijk en om rekenmodellen mogelijk te verbeteren, is een SBRCURnet-commissie in het leven geroepen. Die commissie heeft een oproep gedaan een casus uit te werken. De resultaten lopen opvallend sterk uiteen.*

Ondanks de aandacht die eraan wordt besteed is het doen van betrouwbare voorspellingen van de scheurwijdte een lastige opgave die tot veel discussie leidt in de beroepspraktijk. Dit geldt voor beton onder belastingen, maar in versterkte mate als er, al dan niet in combinatie, sprake is van trekspanningen die worden veroorzaakt door verhinderde vervormingen.

Er is een SBRCURnet-commissie 'Scheurwijdtebeheersing van betonconstructies' samengesteld die onderzoek doet naar de achtergronden van verschillende scheurwijdteberekeningsmodellen.

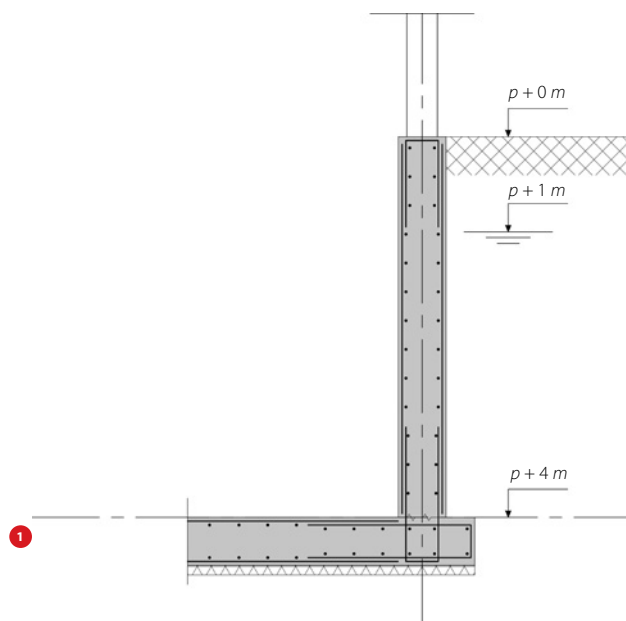
Een van de doelen van de commissie is antwoorden te vinden op de volgende vragen:

- Hoe gaan we in Nederland om met de rekenmodellen en welke waarden nemen we aan voor de invoerparameters?
- Hoe kunnen de rekenmodellen worden verbeterd zodat ook voor onbekende situaties betrouwbare voorspellingen kunnen worden gedaan?

Daarnaast is het doel om de kennis te verbeteren van de achtergrond van scheurwijdtemodellen, waaronder de effectieve trekzone, scheurafstand, korte- en langetermijneffecten en het combineren van opgelegde vervormingen en opgelegde belastingen. Uiteindelijk moet dit leiden tot een nieuwe CUR-Aanbeveling waarin scheurvorming, door opgelegde vervormingen al dan niet in combinatie met belastingen, voor de beroepspraktijk op een eenduidige wijze wordt berekend.

## Casus

Onderdeel van het onderzoek van de commissie is een casus. Die casus moet inzicht geven in hoe er in de praktijk met het onderwerp scheurvorming wordt omgegaan. Tevens moet een



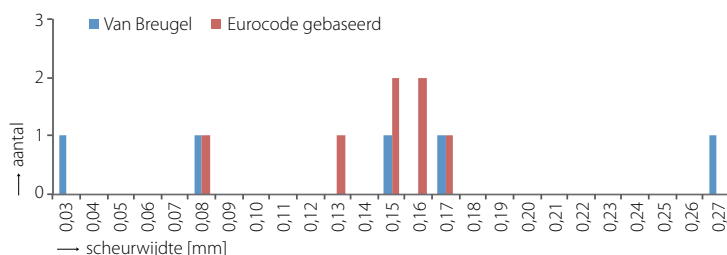
beeld worden verkregen van de problemen waar ingenieurs op dit moment tegen aanlopen. Op de oproep de casus uit te werken, zijn zestien reacties binnengekomen. Hiervan zijn er dertien volledig uitgewerkt. De reacties zijn afkomstig van zowel ingenieursbureaus als aannemers en vormen een redelijke weerspiegeling van de bouwsector in Nederland.

De casus gaat uit van een in het werk gestorte wand op een vloer. Hierdoor is sprake van verhinderde vervorming. De gegevens van de casus:

- wand op vloer;
- dikte vloer/wand 500 mm;
- hoogte wand 4 m;
- lengte wand 20 m;
- afstand tot tegenovergelegen wand:  $a = 25$  m;
- wapening  $\text{Ø}20-100$ , in 2-richtingen aan beide zijden;
- dekking 50 mm;
- staalkwaliteit B500B, betonkwaliteit C30/37;
- maximale grondwaterstand 1 m -mv;
- de wand moet voldoen aan dichtheidsklasse 1 (NEN-EN 1992-3);
- milieuklasse binnen XC3, milieuklasse buiten XC4/XD3;
- levensduur 50 jaar;
- de wand wordt twee weken na de vloer gestort;
- vloer is oneindig stijf.

Op basis van deze gegevens is gevraagd diverse onderdelen uit te werken.

- 2 Berekende maximale scheurwijdte
- 3 Berekende maximale scheurwijdte op basis van Eurocodeberekening
- 4 Berekende maximale scheurwijdte op basis van Eurocodeberekening



2

### Scheurwijdteberekening met opgelegde vervorming

Uitgangspunt bij dit eerste onderdeel is een opgelegde vervorming in de wand van  $\varepsilon = 0,3\%$ . De vraag luidt wat de maximale scheurwijdte in de wand is. Deze vraag is ogenschijnlijk simpel maar levert zeer uiteenlopende antwoorden op (fig. 2).

De casus moet worden ingevuld zoals dit normaal gesproken voor een Nederlands project met een Nederlandse opdrachtgever wordt gedaan. De verwachting is dat de meeste inzendingen zijn gebaseerd op de Eurocode (NEN-EN 1992). Uit de inzendingen blijkt echter dat er toch vaak wordt teruggegrepen naar de methode van Van Breugel [1]. Redenen die hiervoor worden opgegeven, zijn dat deze methode rekening houdt met de effectieve doorsnede en dat de methode duidelijker/transparanter is dan de Eurocode. Enkele deelnemers maken gebruik van CIRIA C660 [2]. Aangezien deze methode grotendeels overeenkomt met de Eurocode, is in het staafdiagram geen onderscheid gemaakt tussen CIRIA C660 en de Eurocode.

Geen enkele inzender heeft de scheurwijdte berekend door gebruik te maken van formule M.1 uit NEN-EN 1992-3, terwijl deze methode in verschillende commissievergaderingen toch is aangewezen als de meest realistische van de twee opties die de Eurocode biedt. In de Eurocode staat echter ook dat methode M.3 moet worden toegepast als de wand op de vloer een typisch voorbeeld is van een 'constructie met verandering aan de rand'. Opvallend is echter dat niemand een opmerking heeft gemaakt over het toenemen van de scheurwijdte bij toenemende opgelegde vervorming bij gebruik van de formule M.3 en daarmee het belang om de opgelegde vervorming van tevoren zeer nauwkeurig in te schatten.

Wordt gekeken naar de gemiddelde uitkomst per berekeningsmethode, liggen deze vrij dicht bij elkaar. Voor bijna alle methoden komt deze waarde uit op circa 0,14 mm. Dat er bij zowel de methode van Van Breugel als bij de op de Eurocode gebaseerde methoden behoorlijke uitschieters voorkomen, is door de volgende verschillen te verklaren:

- De effectieve zone wordt op verschillende wijzen berekend. Met weglating van één extreme uitschieter variëren de

aangehouden waarden voor  $h_{\text{eff}}$  van 150 tot 250 mm, een verhoudingsfactor van 1,67.

- De treksterkte waarbij het beton scheurt, wordt verschillend aangenomen. Dit is vooral van belang voor de berekeningen waarbij gebruik is gemaakt van de methode van Van Breugel. Op de uitkomsten van de Eurocode M.3 heeft dit geen invloed. Voor zover bekend, varieert de reductie van de treksterkte met een factor 0,6 tot 1,0.
- De opgelegde vervorming is zelf bepaald of gereduceerd. Zoals eerder aangehaald, heeft dit alleen invloed indien gebruik is gemaakt van de methode Eurocode M.3. Het is niet altijd duidelijk waarom van een andere opgelegde vervorming is uitgegaan dan opgegeven. Het kan zijn dat de vraag niet goed is gelezen. Er zijn enkele berekeningen waarbij de verhinderingsgraad is meegenomen, wat een plausible reden is. Een juiste berekening van de verhinderingsgraad is dan echter zeer belangrijk. Toepassen van een verhinderingsgraad van 0,5 in plaats van 1,0 levert in dit geval ook een scheurwijdte op die 0,5 maal kleiner is.
- Specifiek in de methode van Van Breugel worden verschillende waarden aangehouden voor de spreidingsfactor en de langeduur-/wisselfactor. Waarden variëren van 1 tot 1,7 voor de spreidingsfactor en van 1 tot 1,3 voor de langeduur-/wisselfactor.

### Scheurwijdteberekening met buigende momenten

De tweede vraag gaat uit van dezelfde wand maar dan met opgelegde vervorming  $\varepsilon = 0$ . De verticale wapening moet een moment opnemen van  $M_y = 200$  kNm, de horizontale wapening moet ook een moment opnemen van  $M_x = 200$  kNm. De vraag luidt wat de maximale scheurwijdte in de wand is.

Bijna alle inzendingen maken voor de berekening gebruik van de Eurocode. De uitkomsten van de berekening liggen een stuk dicht bij elkaar dan voor de scheurwijdteberekening met opgelegde vervorming.

Het verschil tussen de maximaal en minimaal gevonden waarde is echter nog steeds een factor 1,35 voor  $w_{\text{max,hor}}$ . De uitkomsten van deze berekening zijn getoond in figuur 3. De verschillen in deze berekening zijn voornamelijk te

verklaren door een verschil in de aangehouden effectieve zone die varieert van 110 tot 200 mm, en een verschil in de aangehouden treksterkte. Twee aspecten die ook bij de scheurwijdteberekening van de opgelegde vervorming een rol speelden.

### Scheurwijdteberekening combinatie momenten met opgelegde vervorming

Uitgangspunt voor de derde vraag is een verschil in opgelegde vervorming tussen de vloer en de wand van  $\varepsilon = 0,3\%$  en de op te nemen momenten  $M_y = 200$  kNm en  $M_x = 200$  kNm. De vraag luidt wat de maximale scheurwijdte in de wand is. De meeste inzenders maken gebruik van de Eurocode artikel 7.3 waarbij de opgelegde vervorming in rekening wordt gebracht als een additionele staalspanning. De uitkomsten staan in figuur 4, waarbij onderscheid is gemaakt naar methoden.

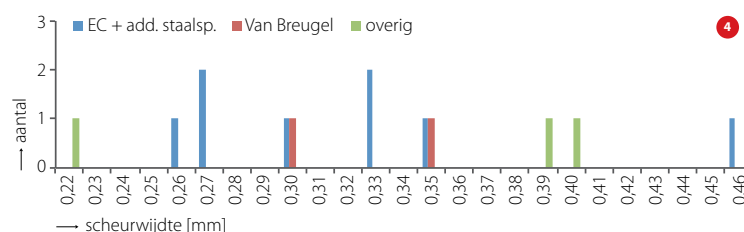
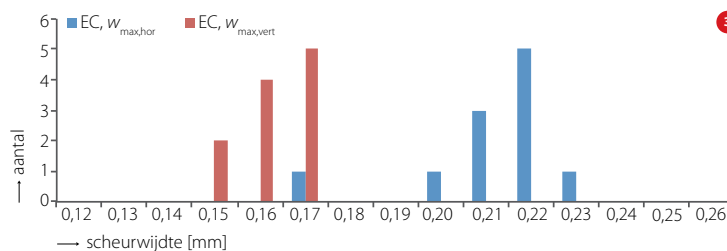
Bij het combineren van opgelegde vervorming met momenten zijn de verschillen in de berekende scheurwijdte kleiner dan bij de berekening van de scheurwijdte met alleen opgelegde vervorming, maar groter dan bij de berekening met alleen momenten. Het verschil tussen de grootste en de kleinste waarde is een factor 2,09.

Een aantal verklaringen, die eerder genoemd zijn bij de scheurwijdteberekening voor buigende momenten en opgelegde vervorming apart, zijn ook nu weer de oorzaak voor de verschillen:

- De effectieve zone wordt op verschillende wijzen berekend. De aangehouden waarden voor heff variëren van 123 tot 250 mm.
- De treksterkte waarbij het beton scheurt, wordt verschillend aangenomen. De reductie van de treksterkte varieert met een factor 0,4 tot 1,0.
- De opgelegde vervorming is zelf bepaald of gereduceerd. Hierdoor is de additionele staalspanning die wordt toegepast niet gelijk.

Dat het optellen van deze twee fenomenen niet gemakkelijk is, blijkt wel uit de volgende aanvullende verklaringen:

- Inzenders switchen naar een andere berekeningsmethode dan eerder gebruikt voor de berekening van scheurwijdten op basis van buigende momenten en opgelegde vervorming apart en nemen ook andere waarden aan voor de treksterkte en de effectieve hoogte.
- In een van de berekeningen wordt niet een additionele staalspanning bepaald met behulp van  $\varepsilon \cdot E_s$ , maar wordt de totale kracht die voor scheuren van de volledige betondoorsnede wordt berekend op de staaldoorsnede toegepast. Dit levert een veel grotere staalspanning en daarmee een veel grotere scheurwijdte op.
- Een van de inzenders gaat ervan uit dat als de rek ten



gevolge van het moment in het midden van de doorsnede kleiner is dan de opgelegde vervorming, er geen extra scheurwijdte ontstaat. Dit wordt echter niet onderbouwd met een verwijzing naar een methode of naar literatuur.

- In een van de berekeningen wordt de additionele spanning opgeteld bij de verticale wapening in plaats van bij de horizontale wapening.

### Bepaling opgelegde vervorming

Bij het vierde onderdeel wordt gevraagd hoe de opgelegde vervorming, waarmee de wapening in de wand wordt getoetst, wordt bepaald uit de beschikbare gegevens. De vraag is vrij algemeen gesteld en daardoor zijn de antwoorden minder specifiek en ook minder goed te vergelijken. Over het algemeen volgen de inzenders dezelfde methode:

- bepalen opgelegde vervorming op tijdstip  $t = 14$  dagen;
- bepalen opgelegde vervorming op tijdstip  $t = \infty$ ;
- verschilrek tussen wand en vloer bepalen;
- verhinderingsgraad bepalen.

Niet alle inzendingen benoemen alle soorten verhinderde vervorming (afkoelen verhardend beton, uitdrogingskrimp, autogene krimp, temperatuurverandering lange termijn) en de invloed van kruip. Veel inzendingen geven niets aan over het bepalen van de verhinderingsgraad. Het is echter niet vast te stellen of deze elementen zijn vergeten of dat hier bewust niets over is gezegd.

De Eurocode geeft volgens veel inzenders te weinig informatie

## Rekenen aan scheurvorming in nieuwe rekenrubriek

*Cement* heeft een nieuwe rubriek in voorbereiding waarin praktische rekensommen nader onder de loep worden genomen. In deze rubriek komen ook diverse rekenmethodieken over scheurvorming aan bod, die ook in dit artikel zijn genoemd. De verwachting is dat deze rubriek begin 2018 zal starten.

over het bepalen van de opgelegde vervorming en CIRIA C660 wordt daarom vaak genoemd als methode om de opgelegde vervorming te bepalen. CIRIA C660 wordt ook veel gebruikt om de verhinderingsgraad te bepalen. Slechts één inzending maakt gebruik van bijlage L van NEN-EN 1992-3. De methode die in het boek van Van Breugel wordt gegeven, is ook één keer gebruikt. Daarnaast geven twee inzenders aan gebruik te maken van eindige-elementenmodellen.

### Gehanteerde scheurwijdte-eisen

De deelnemers is vervolgens gevraagd aan welke scheurwijdte-eis ze de constructie zouden toetsen. De verschillen tussen de inzendingen zijn klein. De meeste inzenders hanteren de Eurocode (NEN-EN 1992-3) om de scheurwijdte-eis ten aanzien van waterdichtheid te bepalen en komen aan de hand van de gegeven grondwaterstand op een eis van 0,195 mm. Een enkeling maakt gebruik van Lohmeyer of Meichsner of een combinatie van deze twee en komt daarmee op een andere waarde uit.

Voor duurzaamheid wordt meestal onderscheid gemaakt tussen de binnen- en buitenzijde van de wand en komen de meeste inzendingen uit op een eis van 0,30 mm aan de binnenzijde en 0,20 mm aan de buitenzijde. De factor  $k_x$  wordt vaak toegepast om deze eis nog iets te verruimen. Deze factor  $k_x$  verschilt echter wel per inzender, omdat de bepaling van de minimaal benodigde dekking verschilt. Een van de inzenders komt daarmee uit op een scheurwijdte-eis van 0,60 mm in plaats van 0,30 mm. Een inzender die uitkomt op 0,50 mm geeft aan deze waarde wel erg hoog te vinden en kiest er daarom toch voor om met een eis van 0,40 mm te rekenen. Geen enkele inzender past de factor  $k_x$  toe op de scheurwijdte-eis voor waterdichtheid.

### Aanbevelingen door inzenders

Het laatste deel van de casus vraagt om enkele aanbevelingen van inzenders. Op de vraag of de Eurocode voldoende handvatten geeft om scheurwijdteberekeningen te maken, geeft

slechts één inzender als antwoord 'ja'. Overige inzendingen bevatten een hele reeks onderwerpen die meer duidelijkheid en/of aandacht behoeven. Hieruit wordt in ieder geval duidelijk dat er behoefte is aan uitleg over het onderscheid tussen onvoltooid en voltooid scheurenpatroon en over het combineren van opgelegde vervorming en buigende momenten. Ook verschillende aspecten in de bepaling van de hoeveelheid opgelegde vervorming zijn aandachtspunten die worden meegegeven aan de commissie.

Veel inzendingen reiken alternatieve methoden aan voor de Eurocode. Genoemd zijn onder meer CIRIA C660, Van Breugel en Noakowski.

### Vervolg

De SBRCURnet-commissie gaat zich buigen over de vraag welke methode het meest geschikt is om scheurwijdten te berekenen. Dat dit niet eenvoudig is, blijkt wel uit deze casus. Hoewel de indruk bestaat dat de meeste inzenders bovengemiddeld veel van scheurwijdteberekeningen af weten, zijn de berekende scheurwijdten zeer uiteenlopend. Een verhoudingsfactor van 1,67 kan het verschil zijn tussen een lekkende bouwput waar veel moet worden geïnjecteerd en een succesvol waterdicht project.

Gelukkig merkt een van de deelnemers op dat de kwaliteit van het bouwwerk maar voor eenderde deel afhankelijk is van de berekening. De uitvoering bepaalt ook een groot deel van de kwaliteit. Maar dat er behoefte is aan meer duidelijkheid met betrekking tot de scheurwijdteberekening staat na deze casus wel vast. ☒

### LITERATUUR

- 1 Breugel, K. van, Betonconstructies onder temperatuur- en krimpvormingen, Theorie en praktijk. Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch 1996.
- 2 Bamforth, P.B., CIRIA C660, Early-age thermal crack control in concrete, London 2007.

### Voortgang

Op dit moment voert een afstudeerder verder onderzoek uit, waarvan de commissie gebruik zal kunnen maken. De verwachting is dat de commissie begin 2018 met een conceptversie van een nieuwe CUR-Aanbeveling zal komen.