

## **Waterdichtheid van volledig ter plaatse gestorte betonnen kelders**

### ***Normen***

Sedert november 2006 is deel 3 van Eurocode 2 van kracht als Belgische norm onder de noemer “Eurocode 2 – Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 3: Constructies voor keren en opslaan van stoffen” of kortweg NBN EN 1992-3.

Deze norm is momenteel bij het BIN enkel in het Frans en het Engels te bekomen. Ook de Nationale Bijlage (ANB) is nog niet beschikbaar.

### ***Waterdichtheidsklasse***

De nieuwe norm handelt over ongewapend betonnen, gewapend betonnen en voorgespannen betonnen constructies die tot doel hebben vloeibare stoffen of korrelige stoffen te bevatten (vb. silo's). Onder paragraaf 1.1.2 (106) wordt evenwel gesteld dat deze norm ook van toepassing kan zijn, voor zover het het criterium van waterdichtheid betreft, op andere gelijkaardige constructies (bv. kelders).

Deze norm maakt onderscheid tussen 4 waterdichtheidsklassen: genummerd van 0 tot 3.

0	Een bepaalde mate van lekkage of lekkage zonder nadelige gevolgen is toelaatbaar, of constructies waarbij lekkage van vloeistoffen niet relevant is.
1	Globale dichtheid. Lekkages moeten tot een minimum beperkt blijven. Vochtige plekken aan de “droge” oppervlakte zijn toelaatbaar.
2	Lokale dichtheid. Lekkage in het algemeen niet toegelaten. Uitzicht mag niet worden aangetast door vlekken.
3	Geen lekken toegelaten

Afhankelijk van de gekozen klasse worden bepaalde criteria opgelegd waaraan de betonconstructie moet voldoen.

Voor de klasse 0 gelden de criteria die van toepassing zijn op gewone gewapend betonnen constructies. Kelders waarbij lekkend water gecontroleerd kan worden afgevoerd, of kelders waar lekken geen hinder veroorzaken kunnen in deze klasse ondergebracht worden.

Voor de klasse 1 gelden strengere regels dan deze voor de gewone gewapend betonnen constructies. Men gaat ervan uit dat de maximale scheurbreedte van doorgaande scheuren zodanig moet gedimensioneerd zijn, dat zij na verloop van tijd dichtslibben door de afzetting van kalk in deze scheuren. Dit fenomeen wordt ook wel selfhealing genoemd. Voor een courante kelder impliceert één en ander dat de grootste breedte van een doorgaande scheur niet meer mag bedragen dan 0.175 mm. Het berekende lekdebiet door een dergelijke barst in

een volledig ondergedompelde wand van 30 cm, met een hoogte van 260 cm bedraagt ongeveer 500 l/etmaal.

Voor de klasse 2 geldt dat doorgaande barsten niet mogen voorkomen.

Constructies die voldoen aan klasse 3 moeten normaal gezien in voorgespannen beton uitgevoerd worden.

Aan de criteria voor klasse 2 en 3 kan ook voldaan worden door het aanbrengen van waterdichte membranen.

### ***Barsten in beton***

Barsten in beton zijn niet zo abnormaal als wel eens gedacht wordt. Het ontbreken van barsten is zelfs eerder de uitzondering. Beton heeft namelijk een lage treksterkte. Om de trekspanningen op te nemen voorziet men meestal wapeningsijzer. Men kan ook de trekspanningen neutraliseren door het beton voor te spannen. Tenslotte kan men ook de treksterkte van het beton opdrijven door bijvoorbeeld korte staalvezels toe te voegen. Bij de berekening van op buiging belast gewapend beton zal men er steeds van uit gaan dat het beton in de aan trek onderworpen zone, gebarsten is.

Uit het bovenstaande blijkt reeds dat barsten in beton doorgaans ontstaan door het optreden van trekspanningen. Deze worden op hun beurt veroorzaakt door buiging of opgelegde vervormingen.

Buiging ontstaat wanneer een wand of plaat loodrecht op haar vlak belast wordt. Zo ontstaat er in een kelderplaat buiging door de opwaartse waterdruk, en op de kelderwanden door horizontale gronddruk en waterdruk. Buiging zal op zich steeds aanleiding geven tot een getrokken zone en een gedrukte zone in de dwarsdoorsnede van het beton. In gewapend beton waarin de optredende drukspanning 10 N/mm<sup>2</sup> bedraagt en de trekkracht in het betonijzer 300 N/mm<sup>2</sup> bedraagt zal de breedte van gedrukte zone 1/3 van de dikte van de wand of de vloerplaat bedragen. Wanneer de gedrukte zone meer dan 50 mm bedraagt (er zijn nog enkele andere criteria) mag het beton als waterdicht worden beschouwd. Bij wanden en vloerplaten met een dikte van 30 cm zullen dus doorgaans geen waterdichtheidsproblemen ontstaan door buiging.

Wanneer een ter plaatse gestorte kelder wordt uitgevoerd zal men noodzakelijker wijze eerste de vloerplaat storten, en pas daarna de wanden op de vloerplaat aanbrengen. Gezien de onvermijdelijke krimp van beton, zal de vloerplaat reeds een zekere krimp ondergaan hebben alvorens de wanden worden uitgevoerd. Na het storten van de wanden, zullen deze laatste dus normaal gezien nog meer krimpen dan de vloerplaat waarmee ze star verbonden zijn. Hierdoor ontstaan in de wand trekspanningen en in de vloerplaat drukspanningen. Indien

door deze trekspanningen scheuren ontstaan, zullen dit doorgaans doorgaande scheuren zijn (verticale scheuren, dwars door de wand).

Tenslotte is het een gegeven dat de binding van het cement een exotherme chemische reactie is. Jong beton warmt op tijdens de binding. Hierdoor ontstaan drukspanningen in de wand. Bij het afkoelen probeert het beton dan te krimpen, waardoor ook weer trekspanningen ontstaan.

Bovenstaande uiteenzetting laat toe te begrijpen dat volgende maatregelen de kans op doorgaande scheuren zullen beperken:

- + Beperken van het krimpverschil tussen vloerplaat en wanden
- + Beperken van de temperatuurstijging van het beton tijdens de binding van het cement
- + Opdrijven van de treksterkte van het beton

In het bestek van SEC bvba wordt op al deze factoren ingespeeld.

### ***Beperken van het krimpverschil tussen vloerplaat en wanden***

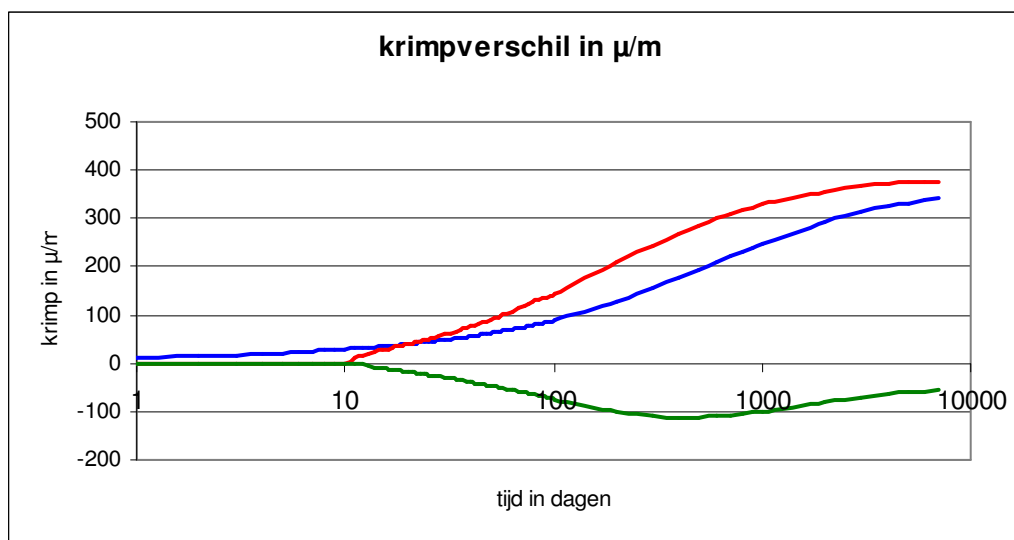
De hydraulische krimp van beton is de som van twee componenten. De drogingskrimp is het gevolg van het verdwijnen van water uit het beton. Deze krimp kan uitgesteld worden door de “uitdroging” van het beton uit te stellen. Beton die zich onder water bevindt ondergaat geen drogingskrimp. De tweede component is de autogene krimp, die het gevolg is van de chemische binding van het cement. Deze krimpcomponent is veel minder gemakkelijk zonder nadelige effecten uit te stellen.

Bepaalde cementsoorten vertonen een grotere krimp dan andere cementsoorten. Daarom wordt in het bestek van SEC bvba systematisch gekozen voor cement van het type : CEM III/B 42,5 N LH HSR LA. Door de band kan gesteld worden dat cement van een lagere sterkteklasse (32,5) minder krimp zal vertonen. Met cement van het type CEM III/B 32,5 N LH HSR LA kan echter geen beton van de sterkteklasse C30/37 (zie verder) geproduceerd worden. De letter N slaat op een “normale” bindingssnelheid. Cement van het type L (lage bindingssnelheid) zou een kleinere krimp met zich brengen, maar is in deze categorie niet courant leverbaar. Dit cementtype kan evenwel niet bij kans op vorst gebruikt worden. Vandaar dat in het bestek is opgenomen dat betonnen kelders niet mogen uitgevoerd worden bij kans op vorst binnen de 72 uur na het storten van het beton.

Het krimpverschil kan ook beperkt worden door de gepaste timing en curing. De norm NBN EN 1992-1-1 laat toe het effect van deze ingrepen te berekenen. Daarenboven dringt het toepassen van een aangepaste curing op dit betontype zich op om stofvorming te vermijden.

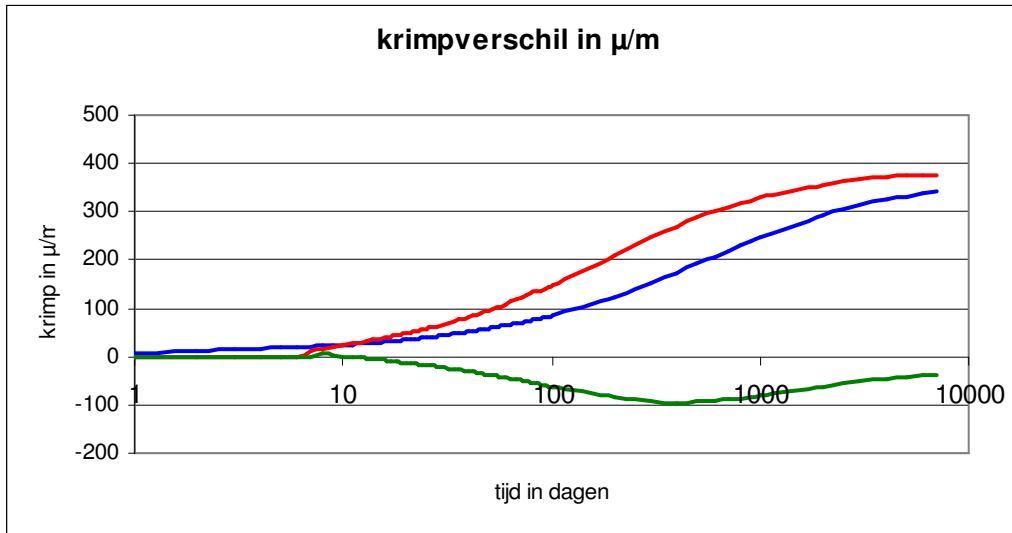
Onderstaande grafiek geeft de totale krimp aan van de vloerplaat (blauwe lijn) en de wanden (rode lijn) van een kelder waarbij de wanden 10 dagen na het uitvoeren van de vloerplaat worden uitgevoerd. Er is geen curing voorzien. We stellen vast dat het krimpverschil direct

na het storten van de wanden stijgt. De wand krimpt namelijk sneller dan de vloerplaat, en er ontstaan trekspanningen in de wand en drukspanningen in de vloerplaat. Doordat de wand tweezijdig blootstaat aan de lucht zal de drogingskrimp vlugger plaatsvinden. Dit leidt ertoe dat het verschil in krimp dat aanleiding geeft tot spanningen in het beton (groene lijn) na ongeveer 400 dagen terug begint af te nemen. Het grootste krimpverschil zal dan ongeveer  $120 \mu/m$  bedragen of  $0.12 \text{ mm/m}$ .



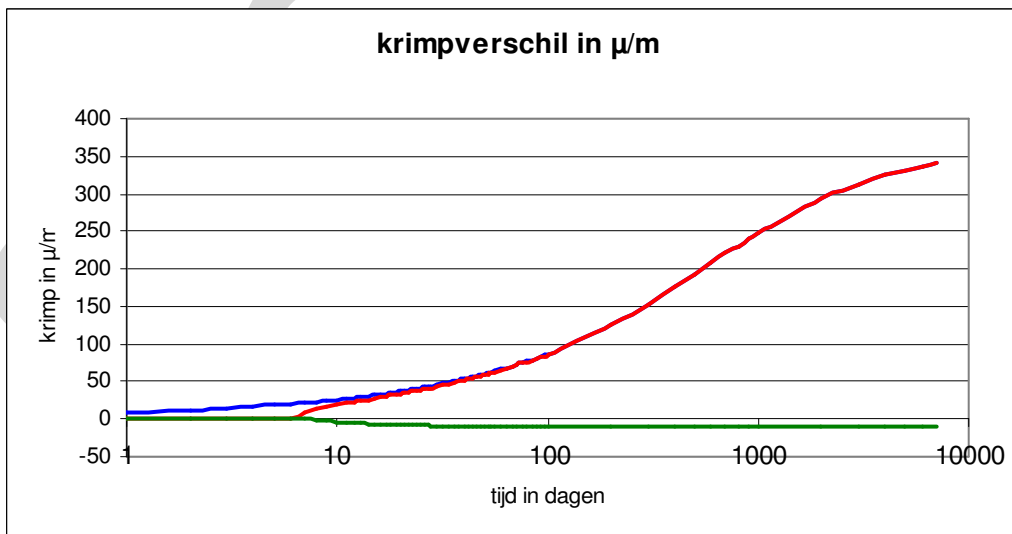
Door de wanden reeds 2 dagen na het uitvoeren van de vloerplaat uit te voeren zal het hierboven beschreven krimpverschil na 400 dagen  $0.10 \text{ mm/m}$  bedragen, wat reeds een reductie is van 20%.

Voert men de wanden 10 dagen na het storten van de vloer uit, maar houdt men de vloer tussentijds permanent nat dan zal het grootste krimpverschil na 400 dagen  $0.10 \text{ mm/m}$  bedragen.



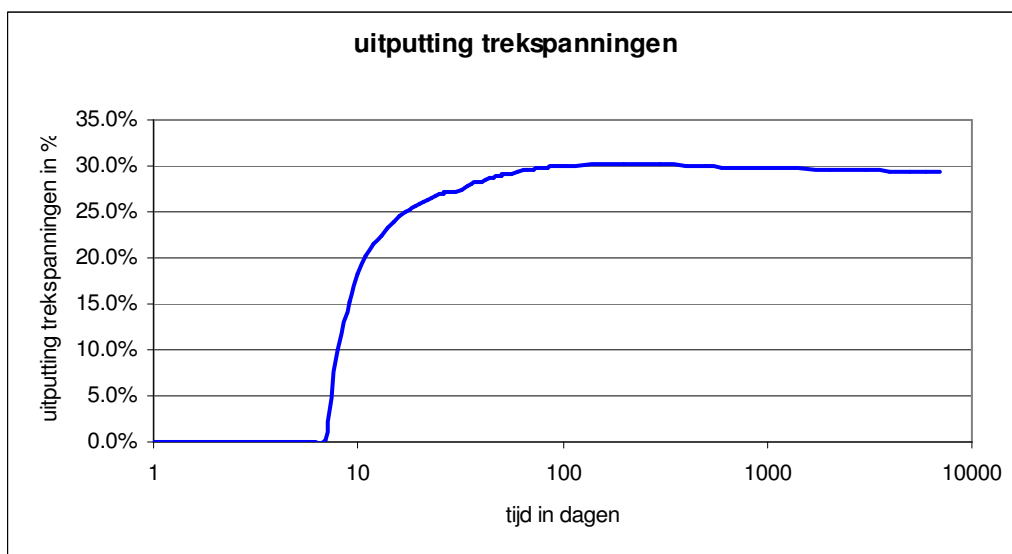
Hieruit kan dus besloten worden dat het nat houden van de vloer een positieve invloed heeft op het beperken van het krimpverschil tussen vloer en wanden.

Indien men de wanden 6 dagen na het uitvoeren van de vloerplaat zou uitvoeren, en deze direct na het ontkisten langs de buitenkant met een PVC of PE-folie zou afdekken, kan de droging maar langs een kant optreden. Als men in de periode tussen het storten van de vloer en de wanden de vloer permanent vochtig houdt, blijkt uit onderstaande grafiek dat het krimpverschil dat aanleiding geeft tot spanningen zeer klein wordt.

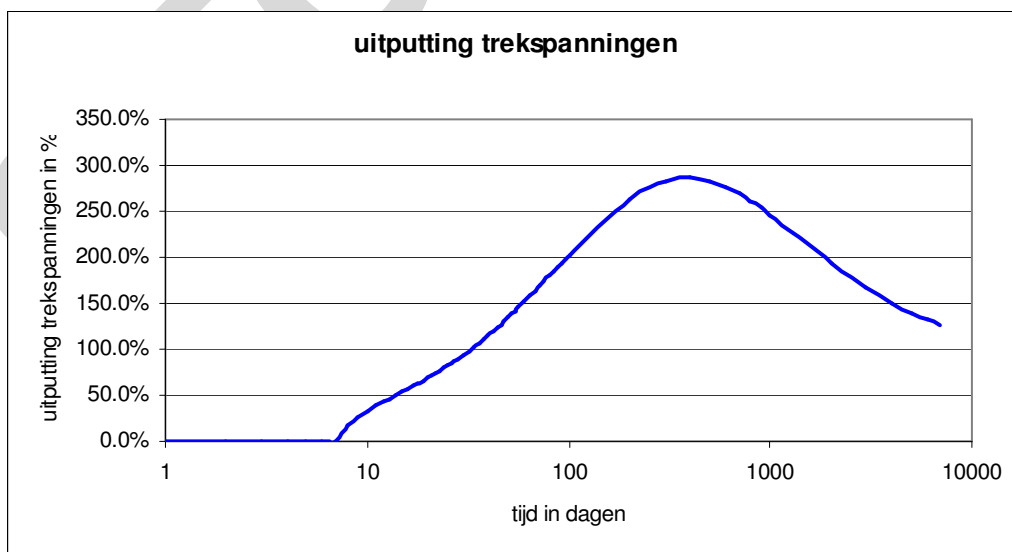


Na 400 dagen zal het berekende krimpverschil ongeveer 0.01 mm/m bedragen. Daarom wordt deze techniek ook voorgeschreven in het bijzonder bestek van SEC bvba.

Op zich zijn het niet de opgelegde vervormingen die bepalend zijn, maar wel de graad van uitputting van de trekspanningen. Uitgaande van de 5% ondergrens van de trekspanningen, en rekening houdend met de in de norm opgelegde partiële veiligheidsfactoren, kan afgeleid worden dat de methode waarbij de wanden eenzijdig worden afgedekt met een folie en de vloer in de tijdspanne tussen het storten van de vloer en de wanden permanent wordt nat gehouden, leidt tot een uitputting van slechts 30 % van de trekspanningen.



De techniek waarbij de folie niet wordt aangebracht op de buitenkant van de wanden zal reeds na ongeveer 1 maand aanleiding geven tot de overschrijding van de rekenwaarde van de treksterkte.



Deze techniek laat dus met geringe kosten toe doorgaande scheuren in de wanden te voorkomen. Hierdoor is aan de eisen gesteld in NBN EN 1992-3 met betrekking tot de maximale scheurbreedte vrij gemakkelijk te voldoen.

### ***Beperken van de temperatuurstijging van het beton tijdens de binding van het cement***

De verharding van beton is het resultaat van een chemische reactie. Deze reactie is exotherm, wat wil zeggen dat bij deze reactie energie onder de vorm van warmte wordt vrijgegeven. Hierdoor zal het bindend beton opwarmen. De geproduceerde warmte wordt ook wel de hydratatiwarmte genoemd. Hierdoor zal het jong beton ook thermisch gaan uitzetten. Doordat de wanden stijf verbonden zijn met de vloerplaat, zal dit aanleiding geven tot drukspanningen in de wand. Cement met het kenmerk LH (low heat) is gekenmerkt door een verlaagde productie van hydratatiwarmte. De meeste cementtypes van de klasse CEM III voldoen aan dit criterium. Hierdoor zal ook de thermische uitzetting kleiner zijn, en uiteraard ook de hierdoor gegenereerde drukspanningen in het beton. Het berekenen van de exacte temperatuurstijging is – gezien niet alle parameters gekend of gemanipuleerd kunnen worden – quasi onmogelijk. Evenwel kan uit de literatuur opgemaakt worden dat een temperatuurstijging in de wanden van ongeveer 10 à 15°C realistisch is. De grootte van de drukspanningen die hierdoor ontstaan kunnen geraamd worden op 2.2 tot 3.0 N/mm<sup>2</sup>. Op zich stelt dit geen probleem. Na enkele dagen begint het beton weer af te koelen, en verdwijnen ook deze drukspanningen. Wel kunnen er door differentiële afkoeling residuele druk- en trekspanningen ontstaan. De totale druk- en trekkracht die hierdoor ontstaat zullen elkaar compenseren. Het is wel belangrijk dat het aangevoerd beton ongeveer de omgevingstemperatuur heeft. In het bestek van SEC bvba wordt hieraan aandacht besteed. Indien het aangevoerd beton warmer is dan de omgevingstemperatuur zullen er na het afkoelen nl. trekspanningen ontstaan in de wanden. Door de opwarming ten gevolge van het hydratatieproces zullen er tijdelijk ook trekspanningen ontstaan in de vloerplaat, ter hoogte van de aansluiting met de wand. Hiermee wordt rekening gehouden bij het ontwerp van de wapening.

### ***Opdrijven van de treksterkte van het beton***

Ondanks het feit dat het gebruik van gebroken kalksteen in België zeer gebruikelijk is, wordt er in het bestek van SEC bvba de nadruk op gelegd aangezien beton op basis van gebroken kalksteen een grotere treksterkte vertoont dan beton op basis van kiezel. Daarenboven is de lineaire thermische uitzetingscoëfficiënt van kalksteenbeton tot 25% kleiner dan deze van kiezelbeton.

### ***Beperken van de waterdoorlatendheid van het beton***

Ook door capillariteit van het beton kan de waterdichtheid in het gedrang komen. Men moet er zich wel bewust van zijn dat de infiltratiedebieten ten gevolge van de capillariteit van het

beton vele malen kleiner is dan de lekdebieten door barsten in het beton. Niet tegenstaande dat laat de norm NBN B15-001 toe de grootte van de capillariteit van het beton te beperken door een WAI klasse toe te kennen aan het beton. Er zijn twee WAI-classes voorzien in de norm : WAI(0.50) en WAI(0.45). In het bestek is de klasse WAI(0.50) voorzien. Dit impliceert dat het beton minstens van de sterkteklasse C30/37 moet zijn.

### ***Hygrothermische aspecten***

Kelderwanden kunnen niet alleen natte zones vertonen door infiltraties, maar ook door oppervlaktecondensatie. De beschrijving en de beperkingen opgelegd in NBN EN1992-3 hebben geen betrekking op dit type van vochtvlekken, daar zij niet op te vangen zijn door betontechnologische ingrepen. De gemiddelde temperatuur van grondwater bedraagt nl ongeveer 10°C. Een betonnen wand biedt op zich geen goede thermische isolatie, zodat kan worden aangenomen dat de oppervlaktetemperatuur van de kelderwanden niet veel hoger zal zijn dan de temperatuur van het grondwater. Lucht met een temperatuur van 17° en een relatieve luchtvochtigheid van 60% heeft evenwel een dauwpunt van 11.5°C. Het moge duidelijk zijn dat bij ongeïsoleerde kelders, waarin leefruimtes worden gecreëerd, oppervlaktecondensatie niet uit te sluiten is. Het is evenwel niet de bedoeling dit probleem hier uit te diepen. Het voorkomen van oppervlaktecondensatie in kelders vergt dan ook een afzonderlijke studie.

### ***Ongewapende wanden***

Gewapend betonnen wanden die voornamelijk aan buiging onderworpen zijn moeten volgens de norm NBN EN 1992-1 berekend worden als volle platen. De minimale trekwapening die uit de regels voor massieve platen volgen, bedraagt:

C25/30	0.135%
C30/37	0.151%

Voor wanden met een breedte van 300 mm impliceert dit onderstaande minimumwapeningen:

C25/30	405 mm <sup>2</sup> /m
C30/37	453 mm <sup>2</sup> /m

In de praktijk stellen we vast dat veel kelderwanden worden uitgevoerd met een netwapening van 150.150.8.8. Een dergelijke netwapening vertegenwoordigt een wapeningssectie van 335 mm<sup>2</sup>/m. Dergelijke wanden moeten dan ook beschouwd worden als bestaande uit ongewapend beton. Men kan nl. aantonen dat bij dergelijke lage wapeningspercentages het staal zal vloeien voor het ontstaan van de eerste scheur. De voorwaarde dat het staal niet vloeit bij het ontstaan van de eerste trekscheur is evenwel essentieel bij de berekening van gewapend beton.



In dat geval zou de norm ENV 1992-1-6 (constructies in ongewapend beton) van toepassing zijn. Volgens paragraaf 1.1.2 (106) van deze norm vallen kelderwanden evenwel niet onder zijn toepassingsdomein daar het constructies betreffen die voornamelijk aan buiging zijn onderworpen. Bij een kelder, waarvan de betonwanden, ook ter hoogte van de erop rustende vloerplaat, met wapeningsstaven is verbonden, en die zich in het grondwater bevindt, zijn buigende momenten van 28 kNm/m niet uitzonderlijk. Dit impliceert trekbuigspanningen van 1.9 N/mm<sup>2</sup> bij de onderkant van de wanden (in het geval de wanden bovenaan niet verankerd zijn zal de trekbuigspanning ongeveer 4.8 N/mm<sup>2</sup> bedragen). De rekenwaarde van de treksterkte van het beton bedraagt evenwel:

C25/30	1.50 N/mm <sup>2</sup>
C30/37	1.67 N/mm <sup>2</sup>

Hieruit mag blijken dat wanden met een dubbele netwapening van 150.150.8.8 doorgaans zelfs niet in aanmerking komen voor het waterdichtheids criterium 0.

### ***Andere maatregelen***

Zelfs als de hierboven beschreven maatregelen genomen worden is het niet uit te sluiten dat er toch nog verticale scheuren ontstaan onderaan de wand. De ervaring leert dat deze kans zeer klein is. De bijkomende kosten om deze restkansen te verkleinen zijn vrij hoog (zwaardere wapening, staalvezels, ...) en zullen de kans tot optreden van deze scheuren nooit volledig uitsluiten. Vandaar wordt in het bestek van SEC bvba voorzien in de uitvoering van injecties in deze scheuren, maar dan wel onder de strikte voorwaarde dat de hierboven vermelde en de in het bestek vermelde maatregelen genomen werden. De kosten die gepaard gaan met deze injecties zijn ten laste van de bouwheer.

### ***Infiltraat en afwerkingsgraad***

Enkel in de klasse 3 van de norm NBN EN 1992-3 wordt als eis gesteld dat er geen lekken toegestaan zijn. In alle andere klassen worden wel lekken (in meerdere en mindere mate) geaccepteerd. Theoretisch zou het mogelijk zijn het infiltraat te schatten. Het zou in theorie volstaan het aantal scheuren van welbepaalde breedte te bepalen, en het infiltraat door elke scheur te berekenen. Diverse theorieën laten toe een scheurpatroon te bepalen. In het CUR-rapport 85 stelt men evenwel dat “*exacte en juiste resultaten kunnen slechts worden verwacht bij de nu nog niet mogelijke oplossingen van de differentiaalvergelijkingen voor gescheurde schijven. De hiervoor nodige bewerkingen zijn evenwel dusdanig gecompliceerd, dat het mechanisme onbegrepen blijft ...*”. Op basis van de nieuwe norm kan de grootte van het werkelijke infiltraat dan ook geen criterium zijn voor de beoordeling van de waterdichtheid van een kelder, maar wel de vaststelling of men alle maatregelen genomen heeft om aan de eisen van een bepaalde klasse te voldoen.

De vaststelling dat beperkte lekken zelf in klasse 2 toegestaan zijn, leidt er toe te moeten besluiten dat hiermee rekening moet worden gehouden bij de afwerking van vloer en wanden. Dit impliceert niet dat deze steeds zichtbaar moeten blijven, maar wel dat de afwerking zo moet worden opgevat dat de eventuele (al dan niet beperkte) lekken geen schade veroorzaken aan de afwerking. Wenst men elke mogelijke lek te voorkomen, dan moet men noodzakelijkerwijze overstappen op constructies van de klasse 3 (voorgespannen beton), wat uiteraard weinig courant is en zal zijn, en de kostprijs zeer sterk zal verzwaren.

### ***Besluit***

Ondanks de strenge eisen opgelegd in de nieuwe normen kan via eenvoudige ingrepen toch nog steeds voldaan worden aan de gestelde criteria. De kostprijs die gepaard gaat met de maatregelen die het voorkomen van doorgaande scheuren, blijken al bij al wel mee te vallen.

De veel voorkomende praktijk waarbij kelderwanden worden uitgevoerd met een dubbele netwapening van 150.150.8.8 blijkt zelfs niet te leiden tot de laagste waterdichtheidsklasse volgens NBN EN 1992-3.

### ***Dankwoord***

Bij deze gelegenheid wens ik ing. Van de Sande W. (WTCB) te bedanken voor het nalezen van deze tekst. Ir. Cauberg N. (WTCB) wens ik te bedanken voor de kritische lectuur van dit artikel, de aangebrachte suggesties en de nuttige informatie die ik van hem mocht ontvangen (voornamelijk betreffende de temperatuursontwikkelingen in jong beton). Ir. Rens L. (Febelcem) wens ik eveneens te bedanken voor zijn bereidwillige kritische lectuur en de opbouwende aanvullingen en opmerkingen die ik van hem mocht ontvangen.

Deze dankbetuiging houdt geen enkele verantwoordelijkheid in van de vermelde personen of de instanties waar ze werkzaam zijn.

Van den Bossche Tom  
27/01/2007