

KRIMP IN JONG VERHARDEND BETON

De relatief korte overgang van betonspecie naar verhard beton is een kritieke fase waarin de duurzame eigenschappen van het materiaal geleidelijk tot ontwikkeling komen.

Betonspecie evolueert in een tijdspanne van ca. 2 uur ("**groen beton**") van een vloeibare naar een tixotrope fase met grote vervormbaarheid.

In de periode tot ± 24 uur ("**zeer jong beton**") neemt de vloeibaarheid gestadig af, net als de vervormbaarheid. Er is echter nog nauwelijks treksterkte, waardoor het risico op scheurvorming groot is. Daarna stijgt de sterkte en vandaar de bestandheid tegen trekspanningen ("**jong beton**").

Na enkele dagen spreekt men dan van "verhard beton".

In de fasen "zeer jong beton" en "jong beton" is de scheurgevoeligheid het grootst omwille van de diverse processen die zich in het beton zelf afspelen en de wisselwerking met de omgeving.

De problemen die zich in deze stadia manifesteren, kennen een grote belangstelling, en dit zowel in interdisciplinaire onderzoekskringen als in de dagelijkse bouwpraktijk.

Aldus zal hierna vooral aandacht worden geschonken aan het **plastisch scheurgedrag** en aan de **invloed van de hydratatiwarmte**. Vooral dit laatste aspect heeft de laatste jaren belangrijke nieuwe ontwikkelingen gekend, mede door de verregaande automatisering en industrialisering van het bouwproces, evenals onder impuls van een onvermijdelijk duurzaamheidsbewustzijn.

Implementatie in de praktijk is dan ook aan de orde.

Het toepassingsgebied van dit bulletin over het gedrag van nog jong beton heeft hoofdzakelijk betrekking op :

- vlakke **horizontale platen** (wegen, bedrijfsverhardingen en -vloeren, brugdekken,...) die aan sterke waterverdamping blootgesteld zijn;
- **massieve elementen** (kaaimuren, stuwdammen, tunnelelementen,...) waar de hydratatiwarmte tot vroegtijdige scheuren kan leiden.

De scheuren die in deze context kunnen optreden, zijn niet altijd onschuldig. Aan het oppervlak kunnen ze soms breed uitwaaiëren, waardoor agressieve stoffen min of meer vrij spel hebben.

Vakmanschap is hier de **eenvoudige**, maar ook **enige remedie**.

De genoemde scheurvorming heeft niets te maken met de functionele scheurvorming in gewapend en voorgespannen beton die door berekeningsregels gecontroleerd wordt.

		E12	(F47)
BBS/B			



HET HYDRATATIEPROCES

De exotherme reactie tussen water en cement levert, door binding van water, hydratatieproducten (gel) op die de cementkorrels doen aangroeien. Aanvankelijk zullen deze producten het reactieproces afremmen. Deze dormante periode kan door hulpstoffen (versnellers of vertragers) sterk beïnvloed worden. Maar na enige tijd versnelt de verkitting, vergroot het specifiek oppervlak aanzienlijk, en gaan de hydratatiefronten over in een doorlopende ("percolerende") structuur (fig. 1). Deze evoluerende microstructuur vormt de basis voor de zich ontwikkelende sterkte. Ze is tevens bepalend voor de toegankelijkheid voor agressieve stoffen en de stijfheid van het beton.



Fig. 1: Vorming van een "percolerende cluster" als gevolg van de hydratatie van cementkorrels

In moderne, computergesteunde modellen wordt dit proces gesimuleerd in het hydratatiegraadconcept, dat de verharding op een eenduidige manier beschrijft. De hydratatiegraad is hierbij de verhouding tussen de hoeveelheden reeds gehydrateerde en oorspronkelijk in het mengsel aanwezige cement.

De chemische hydratatiereacties zijn erg complex. Hierbij speelt de water-cementfactor (W/C) een voorname rol. Een deel van het aanmaakwater (ca. 40 % van de cementmassa) wordt chemisch en fysisch gebonden. Bij deze reacties ontstaan capillaire holten omdat het volume van de vaste percolatiecluster kleiner is dan de som van de afzonderlijke volumes van water en cement. Doordat echter meer water nodig is om de gewenste verwerkbaarheid te bekomen, worden de capillaire holten gevuld met "poriënwater" dat later eventueel kan verdampen (krimpen). Hoe meer water aanwezig is, hoe groter de afstand wordt tussen de hydraterende cementkorrels. De microstructuur evolueert trager en het beton wordt poreuzer.

De hydratatiwarmte die tijdens dit proces vrijkomt, stapelt zich op in massieve constructies; ze kan oorzaak zijn van temperatuurkrimp. De snelheid van de warmteontwikkeling is hierbij maatgevend.

Tijdens het hydratatieproces neemt de vervormbaarheid sterk af en bereikt de breukrek (de vervorming waarbij breuk optreedt) een minimum (fig. 2). In deze fase is de sterkte nog erg gering (kritieke periode), waardoor uitdroging en temperatuureffecten tot scheurvorming kunnen leiden.

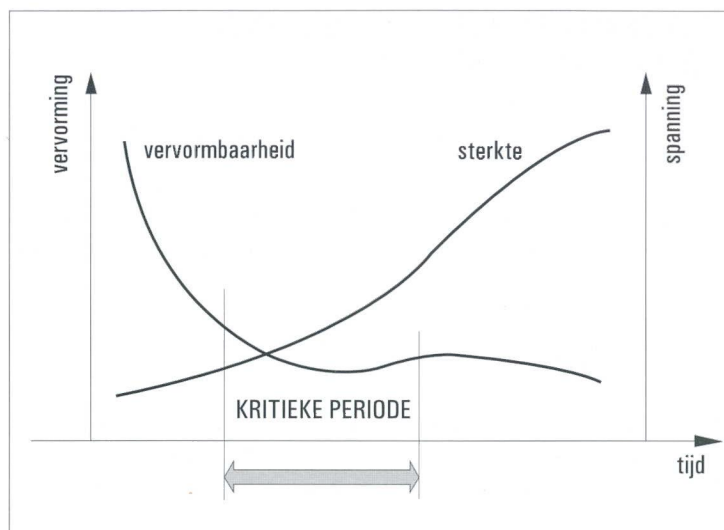
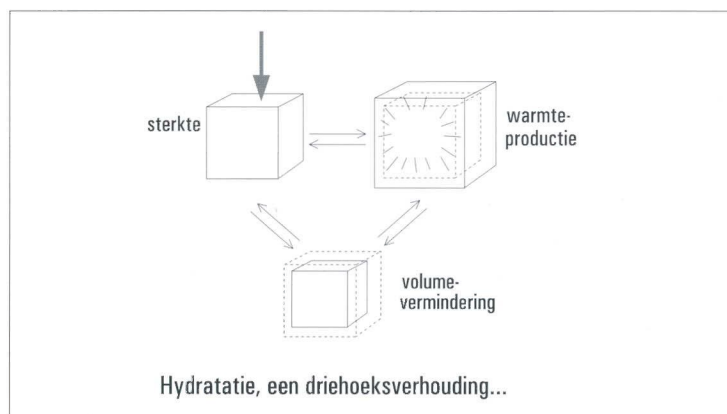


Fig. 2: Vervormbaarheid en sterkte gedurende het vroege hydratatieproces

KRIMPMECHANISMEN EN HUN OORZAKEN



Onder de term "krimpen" wordt meestal eenvoudigweg verstaan uitdrogingskrimpen (zie verder) van verhard beton dat is blootgesteld aan lucht met een relatieve luchtvochtigheid < 100 %.

In het kader van dit bulletin wordt niet verder ingegaan op dit verschijnsel omdat dan de wisselwerking met de sterkte-ontwikkeling dominerend is, wisselwerking die in de plastische fase nog maar weinig aan de orde is.

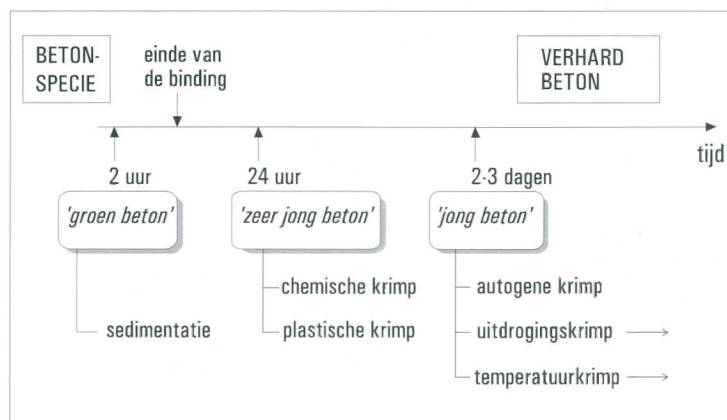


Fig. 3: Schematisch overzicht van de fenomenen die door wijzigingen in de vochthuishouding opgewekt worden.

De vermelde begrippen worden hierna gedefinieerd.

WATERUITSTOTING (BLEEDING)
DOOR SEDIMENTATIE

Pas gestort beton vertoont de neiging water af te scheiden. Onder invloed van de zwaartekracht en de verdichting zullen zwaardere betoncomponenten in de waterige cementlijm uitzakken, waardoor water naar boven wordt geperst. Een waterfilm ontstaat aan het oppervlak. De omvang ervan is vooral afhankelijk van de betonsamenstelling, de consistentie en het watergehalte van de betonspecie, en de hoogte van de speciekolom.

Dit verschijnsel kan leiden tot zetting in het betonskelet, en scheuren doen ontstaan (type A, B of C - fig.4). Zolang echter dat beton nog voldoende vervormbaar is, zijn geen typische scheuren te vrezen.

Bleeding en sedimentatie zijn geen gevolg van een slechte verdichting. De oorzaak zit hoofdzakelijk in het betonmengsel, in een onaangepaste betonsamenstelling. Andere invloedsfactoren zijn opgenomen in tabel 1.

Scheuren als gevolg van sedimentatie kunnen anderzijds wel geëlimineerd worden door **hververdichting** (tot onder het wapeningsnet). Dit mag echter niet te vroeg gebeuren. Een goede timing ligt rond het tijdstip waarop een trilnaald net nog geen sporen achterlaat. Dit kan nog het geval zijn tot 2 à 3 uur na het storten.

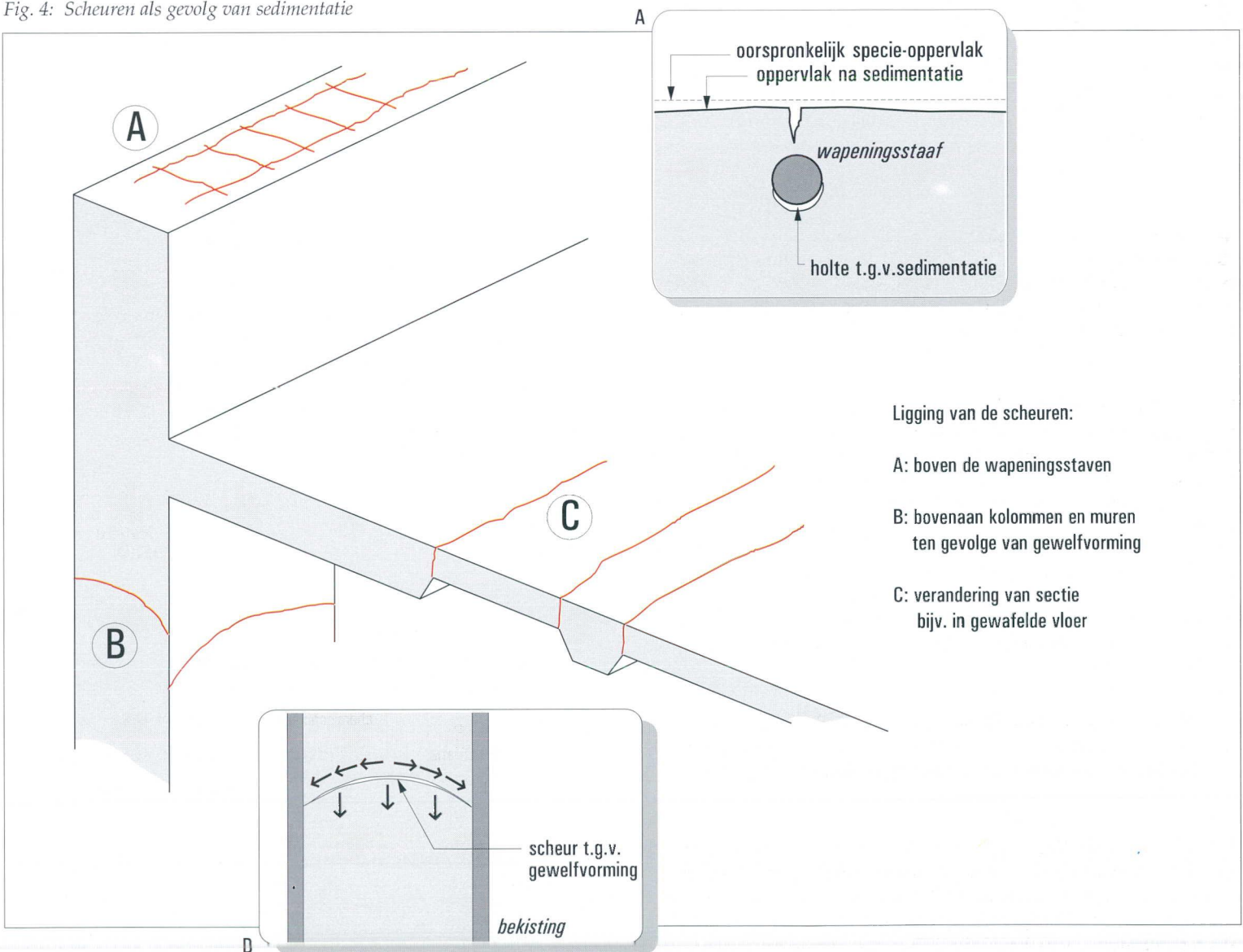
POSITIEF	NEGATIEF
• toevoeging van plastificeerder en/of luchtbelvormer • toevoeging van extra fijn materiaal • toevoeging van vezels (polypropyleen of staal) • EEN GOEDE (continue) BETONSAMENSTELLING	• hoge evaporatie aan het oppervlak • hoger watergehalte • toevoeging van vertrager • lage omgevingstemperatuur • massieve constructie

Tabel 1: Invloedsfactoren op bleeding en sedimentatie

Zettingsscheuren boven het wapeningsnet (type A - fig. 4) komen het meest voor, vooral bij dikke betonsecties. Een voldoende betondekking boven het staal vermijdt vele ongemakken. Soms kan bovendien horizontale delaminatie optreden (vorming van een horizontale scheur ter hoogte van de wapening) waardoor de hechting vermindert. Er dient in ieder geval op gelet te worden het wapeningsnet zelf niet direct in trilling te brengen.

Tot slot : sterke *bleeding* kan eventueel ook plastische scheurvorming tot gevolg hebben.

Fig. 4: Scheuren als gevolg van sedimentatie



PLASTISCHE KRIMP

Plastische krimp treedt op wanneer aanmaakwater verdampt uit de nog plastische betonspecie. Van zodra het *bleeding*-water verdwenen is, droogt het beton bovenaan uit. Dit resulteert in een onderdruk in de met water gevulde capillairen, waardoor het volume vermindert en trekspanningen in de verhardende massa ontstaan. Scheurvorming is er het mogelijke gevolg van.

Een gelijkaardig fenomeen kan veroorzaakt worden door een sterk absorberende ondergrond (funderingslaag, bekisting, ...).

De genoemde uitdroging gaat vanzelfsprekend nog lang door in het verharde beton; dan spreekt men van "uitdrogingskrimp" (zie verder). De plastische krimp kan echter 10 tot 20 maal zo groot zijn als de uitdrogingskrimp.

Het nomogram van fig. 5 illustreert ondermeer de erg significante invloed van de windsnelheid op de verdamping.

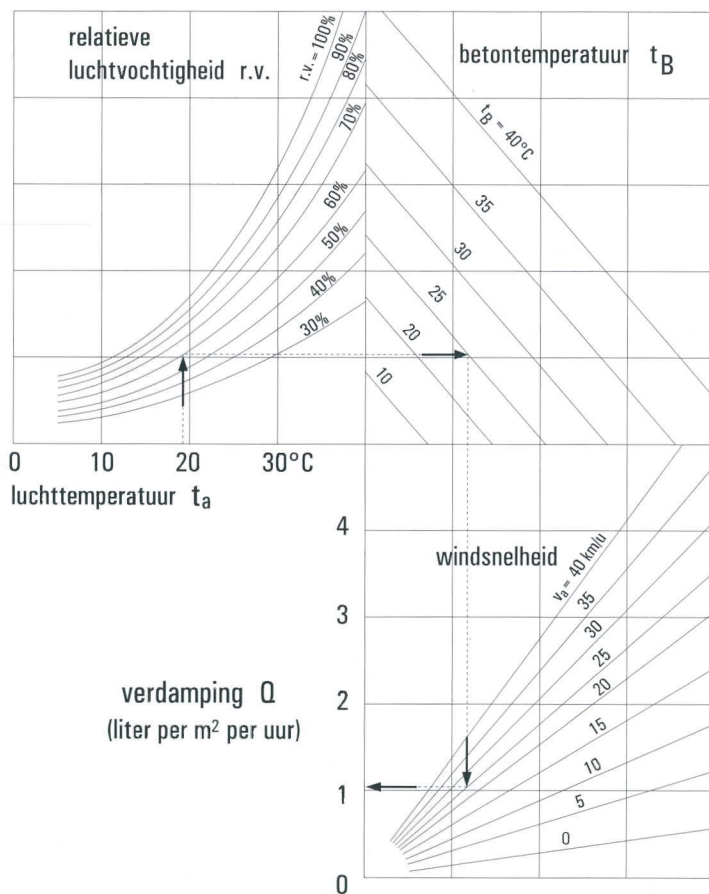


Fig. 5: Invloed van de omgeving op de verdampingssnelheid

Ook het temperatuurverschil tussen de lucht en het beton speelt een belangrijke rol. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn tijdens de winter, vooral na langdurige menging in de betonmixer. Plastische krimp moet dus zeker niet alleen in een hitteperiode gevreesd worden.

Uit figuur 6 (scheuren D en E) blijkt duidelijk dat vooral verhardingen in open lucht tegen plastische krimp moeten worden beschermd. Scheuren van het type D komen voor in verhardingen waar een dominerende windrichting haar invloed heeft doen gelden. Men spreekt dan van "windscheuren"; ze zijn in parallelle groepen gelocaliseerd, loodrecht op de - meestal westelijke - windrichting.

Opgelet : bedrijfsvloeren binnen hebben doorgaans evenveel met de windsnelheid af te rekenen (tocht !).

Het geschetste voorbeeld waarbij 1 liter water per m² per uur uit het beton kan verdampen, moet gerelateerd worden aan het feit dat het hierbij enkel gaat om de bovenlaag van enkele centimeter die slechts een viertal liter water per m² bevat.

De kritieke periode ligt, voor gemiddelde Belgische omstandigheden, rond 4 uur na het storten.

Alhoewel de genoemde scheuren er soms "lelijk" uitzien (opening bovenaan tot ca. 2 mm) en meestal doorlopen over de volledige sectie van het betonelement, vermindert hun opening zeer vlug in de diepte van het element. Wapening bovenaan kan aldus eventueel wel aan corrosie blootgesteld zijn. Verder kan de mogelijk gecumuleerde invloed van uitdrogingskrimp en thermische contractie meer ernstige gevolgen hebben.

Doorgaans lopen plastische krimp-scheuren niet door tot aan de rand van de plaat, omdat aldaar vrije beweging mogelijk is. Dit onderscheidt hen duidelijk van scheuren als gevolg van uitdrogingskrimp.

Plastische krimp-scheuren (type F - fig. 6) zijn niet altijd duidelijk te onderscheiden van sedimentatiescheuren. Scheuren over de gehele plaatdikte wijzen meestal wel op plastische krimp met door de wapening georiënteerde scheuren als gevolg.

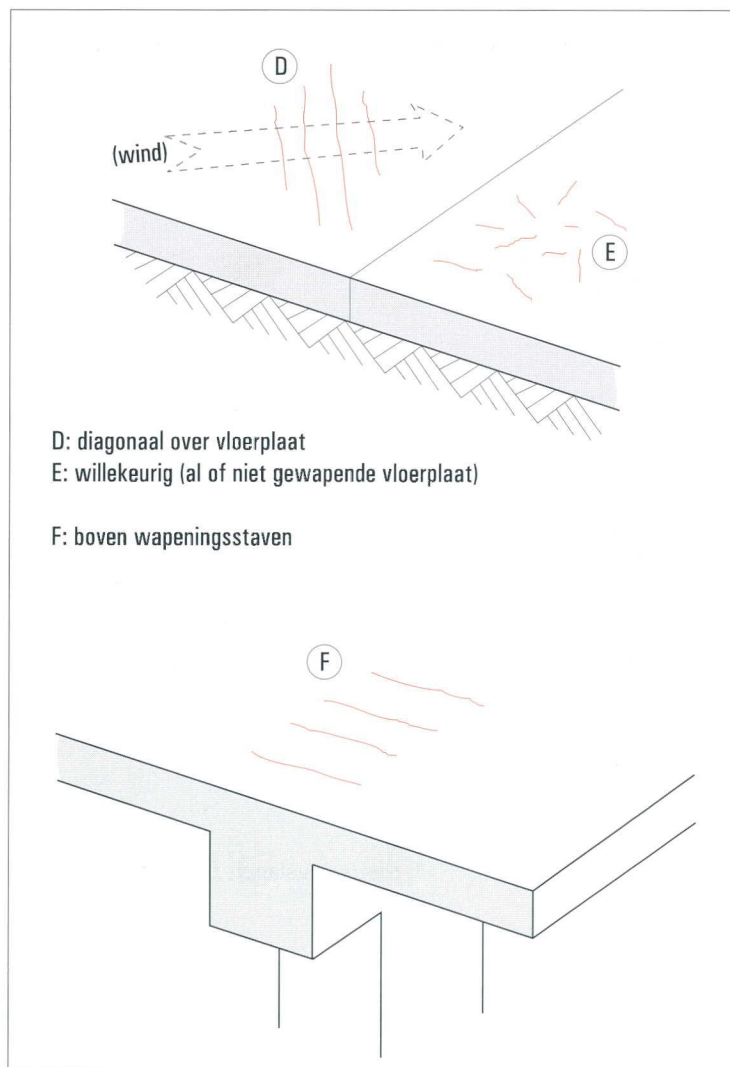


Fig. 6 : Scheurpatronen als gevolg van plastische krimp

Voorzorgsmaatregelen om plastische krimp te vermijden.

Plastische krimpscheuren kunnen op eenvoudige wijze voorkomen worden door :

- verdamping te beperken door een correcte, op tijd uitgevoerde **nabehandeling**. In de norm NBN B15-001 worden minimum nabehandelingstijden aangegeven als functie van de omgevingsomstandigheden, de betontemperatuur en de snelheid van de sterkteontwikkeling. In erg ongunstige omstandigheden kan het aantal dagen oplopen tot 8 à 10 !
- toevoeging van polypropyleenvezels, die de weliswaar beperkte breukrek in de kritieke periode toch met een factor 2 tot 3 verhogen; uitdrogingskrimp wordt er weinig of niet door voorkomen;
- toepassing van betonspecie met voldoende cohesie die zeker niet aan sedimentatie onderhevig is.

Voor betonoppervlakken die aan de weersomstandigheden zijn blootgesteld (grotendeels wegverhardingen en bedrijfsvloeren), wordt voornamelijk gebruik gemaakt van een op hars-basis samengesteld nabehandelingsproduct (*curing compound*). Het product vormt een weerkaatsende, dikwijls witte film.

De gebruikte hoeveelheid bedraagt bij voorkeur **minimum** 200 g/m² (in sommige gevallen zelfs 250 g/m²). De doeltreffendheidscoëfficiënt van het product wordt bepaald volgens de norm NBN B15-219; hij moet minstens 80 % bedragen. Dit betekent dat gedurende de genormaliseerde infraroodbestraling hoogstens 20 % waterverlies mag optreden.

Curing compounds op basis van hars dienen verstoven te worden op het ogenblik dat het *bleeding*-water nagenoeg verdreven is, omdat de beoogde film zich niet op een waterlaag kan vormen. Producten waar het hars door een wateremulsie wordt gedragen bieden in dit opzicht waarschijnlijk meer realistische mogelijkheden.

Al bij al is het aanbrengen van een *curing compound* film een belangrijke aangelegenheid waar ervaren vaklui echt aangewezen zijn. Het zou dan ook wenselijk zijn de nabehandeling in de besteksbepalingen uit de post 'aanleg' te trekken en als een afzonderlijk betaalde post te voorzien.

Andere nabehandelingsmethoden kunnen zijn :

- afdekken met een plastic folie (opgelet echter voor de wind en mogelijke beschadiging van de oppervlaktextuur).
- permanent vochtig houden van het betonoppervlak; dit is erg belangrijk bij gebruik van snelverhardend cement.
(Opgelet: zeer traag verhardende cementsoorten kunnen in een droge hitteperiode evenzeer aanleiding geven tot plastische scheuren.)
- bespuiten met een bitumen-emulsie (ca. 800 g/m²); deze methode wordt toegepast op funderingslagen van schraal beton en walsbeton.

Absorberende bekistingen of funderingslagen worden best vooraf bevochtigd.

Echt structurele **herstelling** is meestal wel niet aan de orde omwille van de minieme scheurbreedte over een groot deel van de sectie (overdracht van dwarskracht). Dikwijls wordt genoeg genomen met het inborstelen van droog cement of cementpasta de dag nadat scheuren verschenen zijn (!), op een ogenblik dat nog geen vervuiling heeft plaats gevonden. Scheuren boven de wapening zullen uiteraard op een meer efficiënte manier moeten worden afgedicht.



Curing compounds vormen een weerkaatsende film en beperken zodoende de verdamping.

Uitdrogingskrimp (op lange termijn)

Verdere langzame uitdroging van het nu verharde beton door verdamping resulteert in uitdrogingskrimp, "de krimp" (hydraulische krimp) waarover men het doorgaans heeft. Door verlaging van de relatieve vochtigheid in de poriënstructuur verhoogt de relatieve oppervlaktespanning van het overblijvende water in de poriën, waardoor de matrix samentrekt.

Uitdrogingskrimp wordt vooral bedwongen door een goede en dichte korrel-opbouw van het betonskelet, een aan de verdichtingsmiddelen aangepaste verwerkbaarheid, daadwerkelijke nabehandeling van het jonge beton, beheersing van schuifspanningen t.p.v. contactoppervlakken, voegconstructies, een wapeningsnet, aangepaste hulpstoffen, ...

Het verschijnsel uitdrogingskrimp wordt in de context van deze publicatie niet verder uitgediept.

VERHARDINGSKRIMP

In de betonmassa zelf treedt ook krimp op.

Chemische krimp is het gevolg van de hydratatiereacties zelf omdat het volume van de hydratatieproducten kleiner is. Er ontstaan micro-scheurtjes in de matrix, maar uitwendig is er nauwelijks sprake van enige vormverandering.

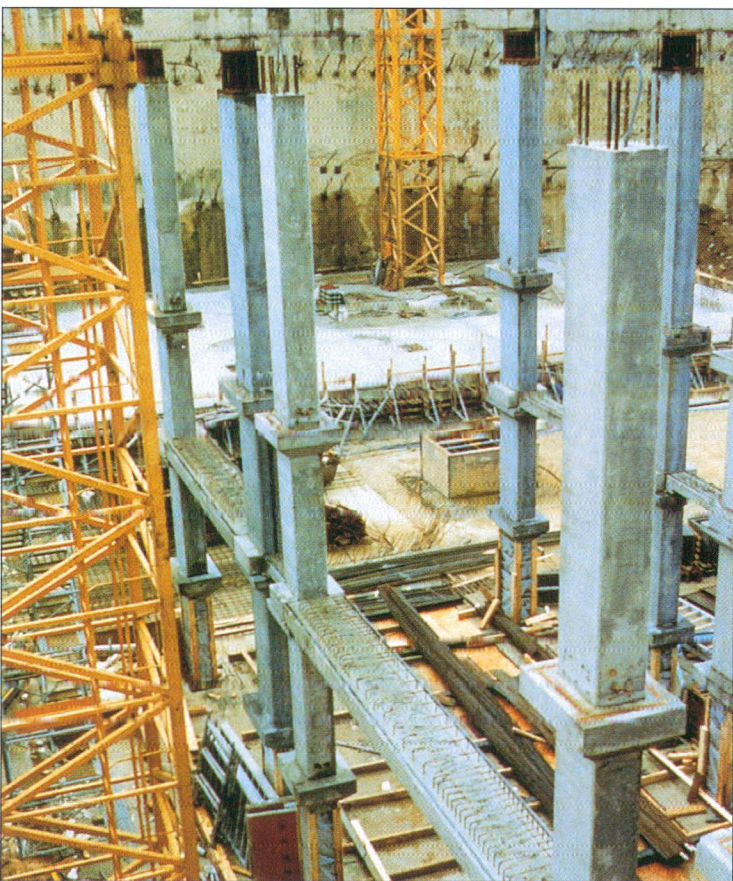
Fysische krimp in de betonmassa - **autogene krimp** (ook wel basis-krimp genoemd) - ontstaat bij verdere hydratatie van beton met lage W/C-factor ($< 0,45$) en hoog cementgehalte. Alsdan wordt het water verder opgebruikt, wordt het poriënsysteem leeggezogen en droogt het beton uit. Onderdruk in het poriënsysteem kan in dit geval tot wel degelijk merkbare uitwendige krimp leiden.

Voor normale betonmengsels ($W/C = 0,45$ en hoger) is autogene krimp beperkt. Voor hoge-sterktebeton (HSB) daarentegen dient met het verschijnsel rekening te worden gehouden. Het uit zich grotendeels door kleine scheuren in de betonmassa zelf. Interferentie met scheuren als gevolg van uitdroging (plastische krimp en uitdrogings-krimp) is uiteraard mogelijk.

HSB dient dus erg correct nabehandeld te worden. Immers :

- de minieme *bleeding* kan leiden tot plastische krimp;
- het hoge cementgehalte geeft aanleiding tot steile temperatuurgradiënten (gevaarlijk tijdens de afkoelingsperiode);
- de grote cementhoeveelheid leidt tot een snelle hydratatie, en van daar tot een grote volumevermindering.

Omwille van de erg lage W/C-factor volstaat een *curing compound* film niet om HSB daadwerkelijk tegen verdamping te beschermen. Natte nabehandeling door waterbesproeiing is dan ook essentieel !



Geprefabriceerde kolommen en balken van hoge-sterktebeton (parkeergebouw Leopoldswijk Brussel)

TEMPERATUURKRIMP

Bij de hydratatie komt warmte vrij die vooral in massieve constructies onvoldoende naar de omgeving kan worden afgevoerd. Er treden temperatuurgradiënten op die eventueel nog versterkt kunnen worden omwille van de versnelde hydratatiereactie bij hogere temperatuur. Aldus ontstaan inwendige spanningen in het beton, druk in de kern en trek aan de rand met scheuren tot gevolg (type G - fig. 7).

Tijdens de latere afkoelingsperiode kunnen ook scheuren ontstaan als gevolg van een uitwendige verhindering van de vervorming (type H - fig. 8). Dergelijke scheuren zouden bijvoorbeeld de waterdichtheid van tunnelwanden kunnen belagen.

Daar waar de tot nog toe beschreven krimpverschijnselen vooral in de hand worden gehouden door een oordeelkundige nabehandeling, ligt bij temperatuurkrimp de nadruk op de controle van het temperatuureffect tijdens de uitvoering.

Onderzoek rond temperatuurkrimp is nog in volle ontwikkeling. Het fenomeen wordt in het kader van dit bulletin dan ook slechts zeer algemeen behandeld.

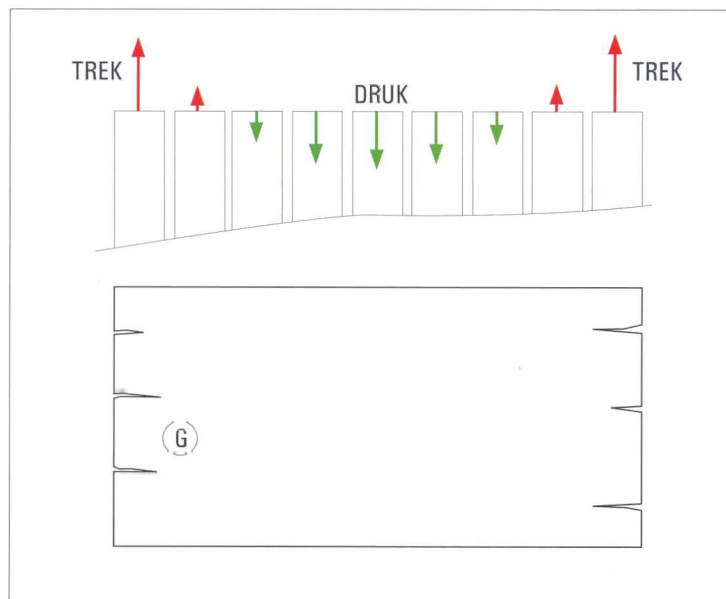


Fig. 7: Scheurvorming als gevolg van inwendige temperatuurspanningen

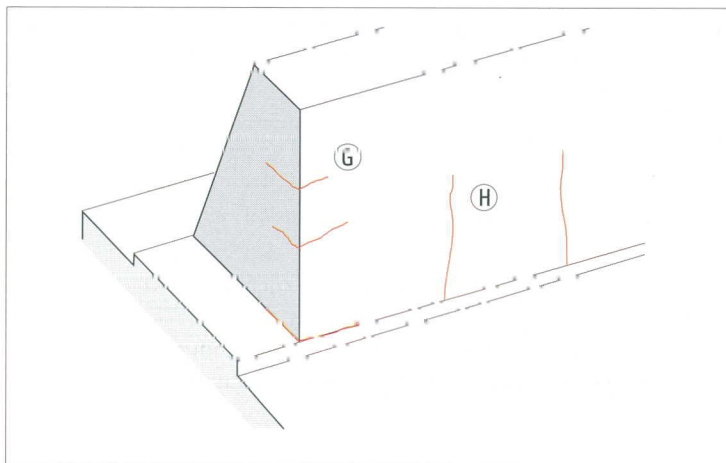


Fig. 8: Typische scheuren in een betonmassief als gevolg van verhinderde vervorming (H)

Technologische maatregelen om de temperatuurstijging in de hand te houden

- Keuze van cementtype en cementgehalte

Cementsoorten die een geringe hydratatiwarmte ontwikkelen, meestal hoogovencement (CEM III), zijn uiteraard het meest geschikt. Een laag cementgehalte - voor zover compatibel met duurzaamheids- en sterkte-eisen - zal de temperatuur lager houden.

Figuur 9 illustreert het temperatuur- en spanningsverloop in een dikke wand.

- Hulpstoffen en toevoegsels

De sterkteontwikkeling is, enerzijds, gebaat met een lage W/C, zodat plastificeerders nuttig kunnen zijn. Anderzijds zal alsdan de autogene krimp misschien groter zijn, hetgeen een hoger scheurrisico kan meebrengen.

Bindingsvertragers verlengen de verwerkbaarheid en worden dan ook vaak gebruikt. Ze stellen het eventuele probleem van het warmte-effect echter alleen maar uit. Sommige ontwikkelen na de vertraging zelfs een versnelde hydratatie.

- Omgevingstemperatuur

De invloed van een hitteperiode is evident. Maar ook in andere omstandigheden (lente, herfst) kunnen gevaarlijk grote temperatuurverschillen optreden.

- Betontemperatuur

Er dient rekening te worden gehouden met de betontemperatuur tijdens het storten (warme granulaten en warm water hebben een meer significante invloed dan warm cement), de wisselwerking met het bekistingsmateriaal (isolatiewaarde), de duur van de bekisting. Inbouw van koelbuizen kan desgevallend een oplossing bieden.

Ook het voegpatroon en de afmetingen en configuratie van het element (b.v. een in eindblokken ingeklemde voorgespannen balk of de flens van een I-balk) spelen een belangrijke rol.

- Uitvoeringsproces

Een goede bekistingsstrategie kan het maximaal temperatuurverschil tussen de kern en de buitenkant van het betonelement beperken, en vandaar ook het scheurrisico. Eventueel zal bij het ontkisten met een temperatuurschok moeten worden afgerekend.

Het reeds genoemde hydratatiegraadconcept biedt stilaan de mogelijkheid de zich tijdens de verharding ontwikkelende temperatuurvelden en de eraan gekoppelde materiaaleigenschappen, te simuleren, waardoor het risico op vroegtijdige thermische scheurvorming reeds in de ontwerpfase kan ingeschat worden (bekistingsstrategie).

De volgende vuistregels kunnen aangehouden worden:

- ☞ Scheuren als gevolg van temperatuurgradiënten zijn te vrezen als het temperatuurverschil tussen kern en zijkant minstens 10 tot 15°C beloopt.
- ☞ Scheuren die een externe vervormingsverhinderende oorzaak hebben, kunnen optreden bij een temperatuurverschil van minstens 8 tot 20°C.

Voor belangrijke werken verdient het aanbeveling een studie te maken van de mogelijke temperatuurspanningen en van de te nemen maatregelen.

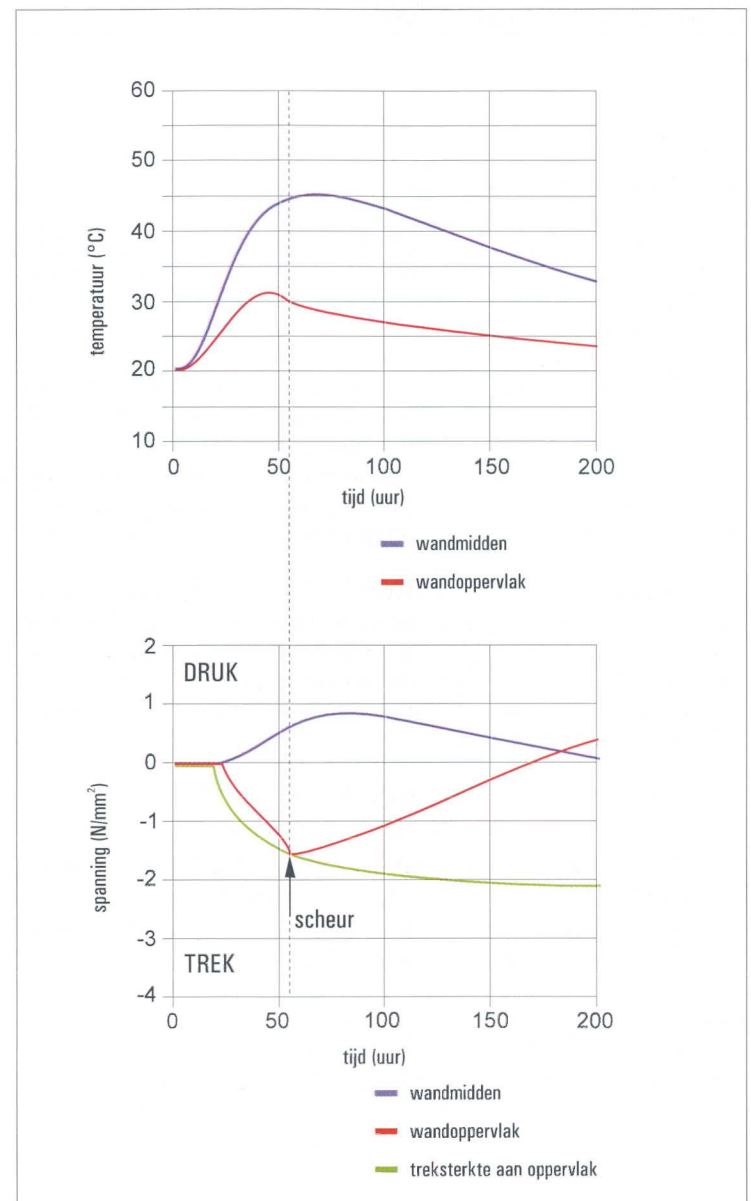


Fig. 9: Voorbeeld van temperatuur- en spanningsverloop in een dikke wand.



dit bulletin is een publicatie van:
FEBELCEM - Federatie van de
Belgische Cementnijverheid
Voltastraat, 8 - 1050 Brussel
tel. (02) 645 52 11
fax (02) 640 06 70
http://www.febelcem.be
e-mail: info@felbelcem.be

auteur:
Ir K. Verhoeven

verantw. uitgever:
J.P. Jacobs

wettelijk depot:
D/2001/0280/08
(herdruk, april 2001)



Bekisting van een tunnelement voor de Piet Heintunnel.

(kleine foto en voorpagina)

Het tunnelement na ontlasting, en de volledige reeks elementen, kort voor hun vertrek uit Beveren naar Amsterdam. Het droogdok wordt hiertoe onder water gezet, waarna de afgesloten elementen op het water drijvend door sleepboten ter bestemming worden gebracht.

(foto's G. Coolens)



BIBLIOGRAFIE

- DE SCHUTTER G.
Fundamentele en praktische studie van thermische spanningen in verhardende massieve betonelementen
Gent : Universiteit Gent, 1996 (Doctoraatsthesis)
- VAN BREUGEL K.
Het grijze gebied van het jonge beton
Cement, 6 overdrukken 1995/1996
- CONCRETE SOCIETY
Non-structural cracks in concrete
Wexham : Concrete Society, 1992
Technical Report nr. 22, Third edition 1992
- Krimp
Betoniek nr. 10/22, februari 1997
- Bepaling van de sterkteontwikkeling van jong beton op basis van de gewogen rijpheid
CUR Aanbeveling nr. 9, februari 1986
- Thermal Cracking in Concrete at Early Ages
RILEM-Symposium, München, 1994
- Temperatuurbeheersing van verhardend beton
Cursus Nederlandse Betonvereniging, 1997

EPILOOG

Ook met vroege vormveranderingen van betonelementen en -constructies moet, zowel in het ontwerp als tijdens de uitvoering, terdege rekening gehouden worden. De chemische en fysische processen die aan de basis liggen van de betrokken krimpverschijnselen zijn evenwel voldoende gekend. Zeker in de uitvoeringsfase moet er de nodige aandacht aan worden besteed.

- Een aan de constructie aangepaste **betonsamenstelling** beperkt sedimentatie.
- Een oordeelkundige **nabehandeling**, tijdig aangebracht en gedurende **minstens** 3 dagen effectief, voorkomt, in normale omstandigheden, plastische krimpscheuren.
- Bij een lage water-cementfactor ($W/C < 0,45$) wordt autogene krimp (basiskrimp) belangrijk. Voor hoge-sterktebeton (HSB) is nabehandeling door **besproeien met water** aangewezen.
- Temperatuurkrimp kan vooral door een goede **cementkeuze** en een realistische **bekistingsstrategie** in de hand gehouden worden.
- **VAKMANSCHAP** in het korte tijdsinterval van 2 à 3 dagen waarin de betonspecie zijn vervormbaarheid verliest en overgaat naar jong verhardend beton is essentieel voor de **duurzaamheid** van een constructie.