

Betoniek

Uitvoering

Rijpheid

Rijpheid in ontwikkeling

'Kan de kist er al af?' is daags na het betonstorten een veelgehoorde kreet op de bouwplaats. Hoe sterk het beton moet zijn voordat de bekisting eraf mag, staat in de betonvoorschriften of op de tekeningen van het betreffende werk. Maar wanneer het beton de gevraagde sterkte heeft, is een kwestie van voorspellen. De Voorschriften Beton Uitvoering (VBU 1988) geeft een aantal methoden waarmee een inschatting van de sterkte in het werk kan worden gemaakt. 'Gewogen Rijpheid' wordt daarbij slechts in een toelichting genoemd, terwijl deze methode in Nederland toch al jaren veelvuldig wordt toegepast. Onlangs verscheen de ontwerp-norm NEN 5970 waarin het werken met gewogen rijpheid wordt genormaliseerd. Hoog tijd voor Betoniek om een aantal zaken over deze methode weer eens op een rijtje te zetten.

Druiven hebben zon en warmte nodig om te rijpen. Om wijn te maken, is het van het grootste belang dat de druiven op het juiste moment worden geplukt. Daarom wordt de rijping van de druiven nauwkeurig gevolgd aan de hand van de ontwikkeling van het suikergehalte. In een slechte zomer met lage temperaturen zal er later worden geoogst dan in een warme zomer.

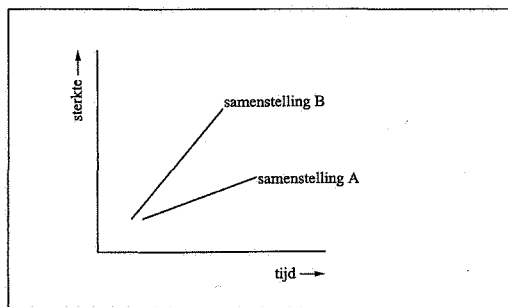
Ook bij de sterkteontwikkeling van beton spelen temperatuur en tijd een dominante rol. En net als bij druiven spreken we bij beton in dat geval ook van rijpheid. Rijpheidsmethoden worden gebruikt om de sterkte van jong beton in een constructie te bepalen. Voor de voortgang van het bouwproces is het vaak van belang te weten wanneer jong beton een bepaalde sterkte heeft bereikt. Bijvoorbeeld om te weten of de vereiste ontkistingssterkte al is bereikt of al kan worden voorgespannen.

Wat is rijpheid

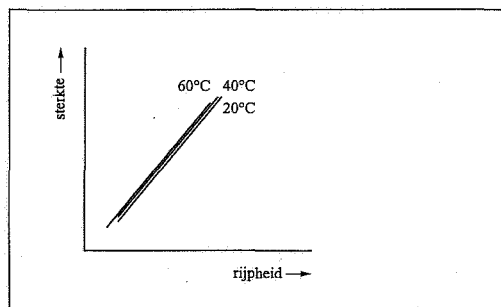
In het betonlaboratorium wordt de sterkteontwikkeling meestal gemeten bij een verhardingstemperatuur van 20°C. Elke betonsamenstelling kent dan haar eigen sterkteontwikkeling.

Wanneer de tijd op een logaritmische schaal wordt uitgezet, kan de sterkteontwikkeling in een beperkt gebied doorgaans met een rechte lijn worden beschreven (fig. 1).

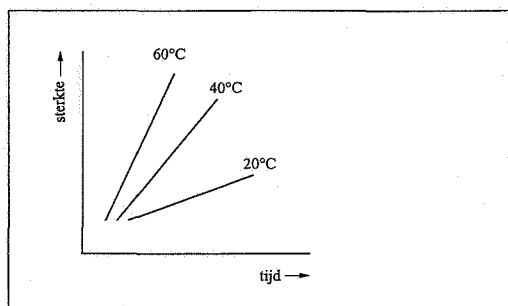
Een hogere verhardingstemperatuur geeft bij dezelfde betonsamenstelling een snellere sterkteontwikkeling (fig. 2). Hoeveel sneller het gaat, verschilt echter per betonsamenstelling.



1 Sterkteontwikkeling diverse betonsamenstellingen



3 Sterkteontwikkeling als functie van rijpheid



2 Sterkteontwikkeling van één betonsamenstelling bij verschillende verhardingstemperaturen

In de praktijk is de temperatuur van het beton in een pas gestorte constructie nooit op elke plek precies 20°C. Om toch iets over de sterkteontwikkeling bij andere temperaturen te kunnen zeggen, is het begrip rijpheid geïntroduceerd. Rijpheid is een rekenkundige grootheid, gebaseerd op de verhardingstijd en verhardingstemperatuur, waarvoor geldt dat binnen één betonsamenstelling dezelfde rijpheid dezelfde sterkte geeft, ongeacht de verhardingstemperatuur (fig. 3)

Door de sterkteontwikkeling van een betonsamenstelling in de tijd te volgen bij een bekend verloop van de verhardingstemperatuur kan de relatie rijpheid-sterkte worden bepaald. Deze relatie wordt de ijkgrafiek genoemd. In de praktijk hoeven we nu niets anders te doen dan tijdens de verharding de betontemperatuur in een constructie te registreren. Met de gemeten temperatuur en de verhardingstijd kan de rijpheid worden berekend. Uit de ijkgrafiek

kan dan de sterkte van het betreffende beton op elk moment worden afgelezen. Voorwaarde daarbij is wel dat de betonsamenstelling gelijk is aan die waarmee de ijkgrafiek is bepaald.

Rijpheidsmethode

Het effect van de verhardingstemperatuur op de sterkte kan dus variëren per betonsamenstelling. Met andere woorden de ene betonsamenstelling reageert sterker op verhoging/verlaging van de temperatuur dan de andere. Het is dan ook niet eenvoudig een rijpheidsmethode op te stellen die voor elke betonsamenstelling bruikbaar is.

Sinds begin jaren tachtig wordt in Nederland gewerkt met de methode 'Gewogen rijpheid volgens De Vree'. Deze methode is al uitgebreid beschreven in *Betoniek* 6/20 en in CUR-Aanbeveling 9. De definitie van gewogen rijpheid volgens deze methode luidt: De som van het product van verhardingstijd en betontemperatuur, rekening houdend met de invloed van de temperatuurgevoeligheid van het cement. Zoals de definitie al aangeeft, betekent in dit geval het begrip 'gewogen' dat verschillen in temperatuurgevoeligheid tussen verschillende betonsamenstellingen volledig worden toegeschreven aan het toegepaste cement. Die gevoeligheid wordt in rekening gebracht met behulp van de zogenoemde C-waarde. Hoe de gewogen rijpheid vervolgens wordt berekend, verklaren we in het kader op blz 3.

Berekening van de gewogen rijpheid

De rijpheid wordt berekend uit het oppervlak onder de lijn die het temperatuurverloop in de tijd weergeeft (vanaf -10°C), rekening houdend met de temperatuurgevoeligheid van het bindmiddel, de C-waarde. De berekening van het oppervlak onder de lijn die het temperatuurverloop aangeeft, is een ingewikkelde zaak. Om dit te kunnen automatiseren, bestond er behoefte aan een formule waarmee, na invulling van de temperatuur en de C-waarde, direct de gewogen rijpheid (per uur) kan worden berekend. Dit heeft geleid tot de volgende formule:

$$\text{waarin: } R_g = 10 \times \frac{(C^{(0,1T-1,245)} - C^{-2,245})}{\ln C}$$

R_g = de gewogen rijpheid over een periode van 1 uur, in °Ch;

T = de gemiddelde betontemperatuur in dit uur, in °C;

C = de C-waarde van het cement (c.q. bindmiddel)

Voordelen van werken met gewogen rijpheid

Het grote voordeel van het werken met gewogen rijpheid is dat er direct aan de betonconstructie wordt gemeten. Door een uitgekiende plaatsing van de voelers (thermokoppels) kan de temperatuur op een eenvoudige manier op iedere gewenste plaats in de constructie worden gevolgd. Bovendien krijgen we door de continue registratie van de temperatuur op elk moment informatie over de toename van de gewogen rijpheid, en dus indirect over de sterkteontwikkeling. De temperatuur is immers de belangrijkste invloedsfactor op de sterkteontwikkeling.

Een voorwaarde bij de methode gewogen rijpheid is dat we moeten beschikken over een ijkgrafiek. Voor het opstellen van de ijkgrafiek is doorgaans een vooronderzoek nodig. De grafiek wordt gemaakt op basis van de druksterkte van kubussen. De beton-specie voor deze kubussen is dus niet op hetzelfde moment vervaardigd als de specie voor de uiteindelijke constructie. Dat vereist uiterste zorgvuldigheid

Inmiddels is de toepassing van zogenoemde rijpheidscomputers op bijna alle Nederlandse bouwplaatsen gemeengoed geworden. Wanneer men niet over een rijpheidscomputer beschikt maar wel in staat is het temperatuurverloop in het beton vrij nauwkeurig te volgen, kan de gewogen rijpheid ook handmatig worden bepaald.

Hiertoe kunnen we gebruikmaken van de rijpheidstabellen uit **Betoniek 6/20**, CUR-Aanbeveling 9 en ontwerp-norm NEN 5970, waarin we, afhankelijk van de C-waarde, voor elke temperatuur tussen 1°C en 75°C de gewogen rijpheid per uur (bij die temperatuur) kunnen aflezen.

Door voor alle uren de aldus verkregen gewogen rijpheden bij elkaar op te tellen, kunnen we de gewogen rijpheid van een constructie eenvoudig bepalen.

bij het vervaardigen van de betonsamenstelling voor de constructie, want eventuele afwijkingen daarin worden door alleen het meten van het temperatuurverloop natuurlijk niet onderkend. Een voorbeeld hiervan is de toepassing van een vertragende hulpstof tijdens de uitvoering, terwijl deze niet in het vooronderzoek was meegenomen.

Behoefte aan meer kennis en regelgeving

Nu de methode gewogen rijpheid na 15 jaar goed is ingeburgerd, is het tijd om ervaringen en eventuele knelpunten te inventariseren. Dat is gedaan door Stutech Studiegroep 46. Deze boog zich over het onderwerp 'gewogen rijpheid' en signaleerde een aantal leemtes in de regelgeving en knelpunten in de werkwijze van de methode.

Met name op de punten:

- de bepaling van de C-waarde;
 - het opstellen van de ijklijn;
 - het gebruik van gewogen rijpheid in de praktijk.
- En laten deze drie punten nu ook precies de pijlers zijn onder de methode gewogen rijpheid.

Ontwerp-norm NEN 5970

De activiteiten van de Stutech-studiegroep leidden uiteindelijk tot de instelling van CUR-Voorschriftencommissie 48 'Gewogen Rijpheid'. Deze commissie had de opdracht een concept-beproevingnorm 'Bepaling van de druksterkteontwikkeling van jong beton op basis van de gewogen rijpheid' op te stellen. Hierin moest éénduidig worden aangegeven op welke wijze de C-waarde moet worden bepaald en op welke wijze een ijkgrafiek moet worden opgesteld. Inmiddels is het concept gereed en gepubliceerd voor commentaar.

Betoniek wil alvast aangeven op welke wijze CUR-Aanbeveling 9 wordt aangepast c.q. uitgebreid tot een nieuwe norm.

C-waarde

De rijpheid die per uur wordt opgebouwd is, naast de temperatuur, direct afhankelijk van de C-waarde van het cement of bindmiddel. De C-waarde geeft de gevoeligheid weer van een cement voor de invloed van de temperatuur op de sterkteontwikkeling. Dat er verschillen zijn tussen de diverse cementsoorten weten we natuurlijk al lang. In vergelijking met een portlandcement wordt een hoogovencement in een koudere periode een 'lui cement' genoemd. Wordt echter warmte van buitenaf aangevoerd, dan blijkt een hoogovencement daarop heftiger te reageren dan een portlandcement (zie fig. 4 en 5).

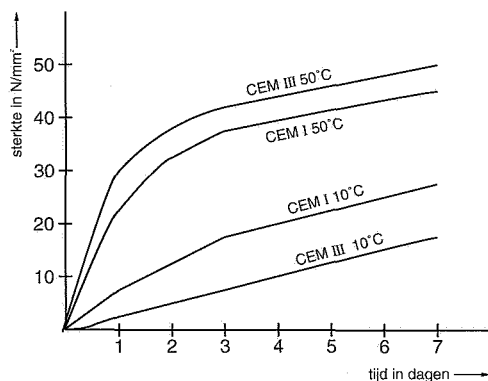
Voor de in Nederland geproduceerde cementen gelden de onderstaande C-waarden:

Cementsoort	C-waarde
ENCI CEM I 32,5 R	1,25
ENCI CEM I 52,5	1,25
ENCI CEM I 52,5 R	1,25
ENCI CEM II/B-V 32,5 R	1,25
ENCI CEM III/B 42,5 LH HS	1,65
ENCI CEM III/B 42,5 LH HS plus	1,60
ENCI CEM III/A 52,5	1,40
ENCI CEM V/A 42,5	1,40

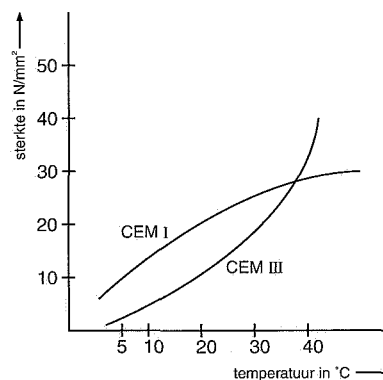
Zolang in een betonsamenstelling één cementsoort wordt toegepast, kunnen we simpelweg gebruikmaken van de door de cementleverancier opgegeven C-waarde. Steeds vaker worden echter om uiteenlopende redenen mengsels van cementen of poederkoolvliegias als bindmiddel toegepast. De vraag is welke C-waarde bij dergelijke toepassingen aangehouden moet worden.

Voor de C-waarde van een mengsel van twee cementsoorten kan niet zomaar rechtlijnig geïnterpoleerd worden, zo hebben ervaringen bij de cementindustrie al uitgewezen. Daardoor ontstond bij betonproducenten/-leveranciers de behoefte om voor hun specifieke situatie zelf de C-waarde van het bindmiddel te bepalen.

Om de meest geschikte bepalingsmethode hiervoor vast te stellen, is onder de vlag van de eerdergenoemde voorschriftencommissie een uitgebreid ringonderzoek in 12 laboratoria gedaan.



4 Invloed van temperatuur op sterkteontwikkeling van CEM I en CEM III



5 Invloed van temperatuur op sterkteontwikkeling (2 dagen) van CEM I en CEM III

De resultaten van het ringonderzoek bevestigen dat de cementsoort de grootste invloed heeft op de C-waarde. Maar ook de gekozen temperatuur, het sterktegebied en de water-cementfactor hebben invloed. Echter, wanneer we voor de duidelijkheid één C-waarde aan een cement willen toekennen, moeten we nauwkeurig afspreken hoe we de C-waarde bepalen. Want onduidelijkheid over de bepalingsmethode mag er niet toe leiden dat voor één cement twee verschillende C-waarden worden gevonden. Dit heeft er toe geleid dat in de ontwerp-norm eisen zijn gesteld aan de afmeting en de samenstelling van de proefstukken en aan het temperatuurregime op basis waarvan de C-waarde wordt bepaald. In het kader op blz. 6 is aangegeven hoe de C-waarde moet worden bepaald.

De beschreven procedure is bruikbaar voor het overgrote deel van de samenstellingen die door de betonmortelcentrales worden geleverd. Het is echter goed denkbaar dat een fabrikant van betonwaren/betonelementen betonspecie produceert met een duidelijk afwijkende samenstelling voor bijvoorbeeld water-cementfactor en toegepaste materialen. In dat geval is het voor de fabrikant wellicht zinvol om de C-waarde van het door hem gebruikte cement en/of bindmiddel te bepalen voor zijn specifieke situatie.

Wanneer mengsels van cementen worden toegepast of cement wordt gemengd met poederkoolvliegashanteert de ontwerp-norm voor het al dan niet opnieuw bepalen van de C-waarden de regels in de tabel.

Ijkgrafiek

De ijkgrafiek toont de relatie tussen de gewogen rijpheid en de druksterkte van een betonsamenstelling. Wanneer op basis van de gemeten betontemperatuur de gewogen rijpheid van het beton in een constructie is berekend, kan uit de ijkgrafiek van de gebruikte betonsamenstelling de bijbehorende sterkte worden afgelezen.

Voor betontechnologen is het wellicht een open deur, maar onderstaande factoren hebben een grote invloed op de relatie rijpheid-sterkte:

- cement: soort, sterkteklasse en fabrikaat;
- water-cementfactor of water-bindmiddelfactor;
- hulpstoffen, met name vertragers of lucht-inbrengende hulpstoffen;
- toeslagmateriaal: aard, korrelvorm en korrelgroep;
- vulstoffen.

Indien in een betonsamenstelling één van de genoemde factoren wijzigt, verandert de relatie rijpheid-sterkte waardoor een nieuwe ijkgrafiek noodzakelijk wordt.

Tabel. Regels voor het opnieuw bepalen van de C-waarde

Mengsel	Samenstelling	Maatregel
2 bindmiddelen met gelijke C-waarde	Bij elke samenstelling	Geen maatregel; C-waarde blijft gelden.
2 bindmiddelen met verschillende C-waarden	Verschil in C-waarde $\leq 0,2$	Geen maatregel; interpoleren tussen C-waarden.
	Verschil in C-waarde $> 0,2$	C-waarde opnieuw bepalen.
Een bindmiddel dat is versneden met een ander bindmiddel	Aandeel ander bindmiddel $\leq 5\%$	Geen maatregel; C-waarde blijft gelden.
	Aandeel ander bindmiddel $> 5\%$	C-waarde opnieuw bepalen
Cement en vliegash	k-waarde vliegash $\leq 0,2$ en bindmiddel samengesteld conform NEN 5950	Geen maatregel; C-waarde van het cement blijft gelden.
	Bindmiddel samengesteld conform NEN 5950 en k-waarde $> 0,2$	C-waarde opnieuw bepalen
	Andere mengsels van cement en vliegash	

Bepaling C-waarde

Proefstukken:

- minimaal 10 kubussen van 150 mm x 150 mm x 150 mm of;
- 2 series van 3 mortelprisma's van 40 mm x 40 mm x 160 mm.

Samenstelling proefstukken:

- bindmiddel: het bindmiddel waarvan de C-waarde moet worden bepaald;
- water-bindmiddelfactor: $0,50 \pm 0,02$;
- toeslagmateriaal: harde dichte toeslagmaterialen conform NEN 5905.

Bewaarcondities

De helft van de proefstukken in een waterbad van $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ en de overige proefstukken in een waterbad van $65^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$.

Per verhardingstemperatuur moet in het hart van minimaal één proefstuk de temperatuur worden geregistreerd. Er moeten minimaal drie temperatuurmetingen per uur worden uitgevoerd. Bij voorkeur in dat proefstuk welke het laatst wordt beproefd, zodat de temperatuur tot het laatst toe kan worden gemeten.

Bepaling druksterkteontwikkeling

De druksterkte van de proefstukken moet evenredig verspreid worden bepaald over het sterktegebied dat van toepassing is. Voor de bindmiddelen in de sterkteklassen 32,5; 32,5 R en 42,5 geldt het sterktegebied 5-25 N/mm², waarbij minimaal 2 waarden onder de 15 N/mm² en minimaal 2 erboven.

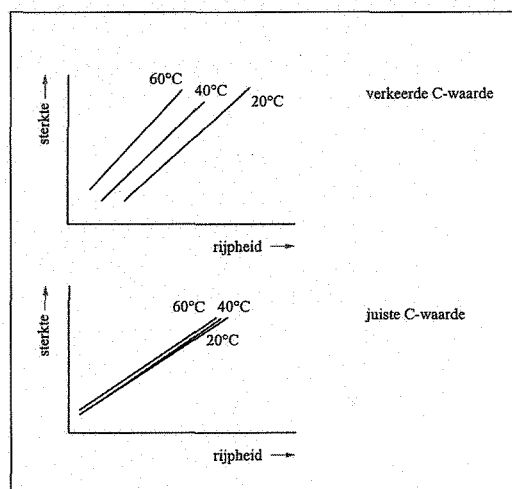
Voor de bindmiddelen in de sterkteklassen 42,5 R; 52,5 en 52,5 R geldt het sterktegebied 15-35 N/mm², waarbij minimaal 2 waarden onder en minimaal 2 waarden boven de 25 N/mm².

In CUR-Aanbeveling 9 wordt onder de ijklijn verstaan: de lijn die evenwijdig wordt getrokken aan de regressielijn door het laagste meetpunt. Omdat de ijklijn in eerste instantie wordt opgesteld op basis van vijf waarnemingen van één productiecharge, zal deze door de geringe spreiding binnen één charge nauwelijks naar onder verschuiven. Bij periodieke controle van de ijklijn (dus uit meerdere charges) zal de spreiding toenemen. Daarmee stijgt ook de kans op een wat lagere waarde, waardoor de ijklijn naar beneden schuift, zonder dat overigens de regressielijn wezenlijk verandert.

In de nieuwe opzet voor de bepaling van de ijklijn is besloten om de ijklijn niet meer door het laagste

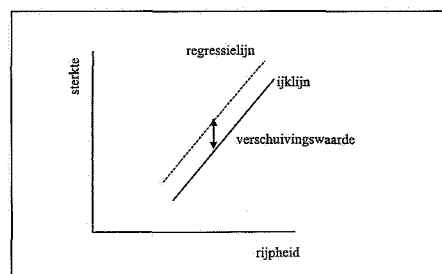
Berekening C-waarde

De definitieve C-waarde moet worden bepaald door voor potentiële C-waarden de gewogen rijpheid, bepaald op basis van de gemeten verhardingstijd en verhardingstemperatuur uit te zetten tegen de druksterkte. De gewogen rijpheid moet worden berekend op basis van meetintervallen van maximaal 1 uur. Op de x-as van de grafiek moet op logaritmische schaal de gewogen rijpheid worden weergegeven en op de y-as de druksterkte. Per grafiek moeten zowel de meetresultaten van de proefstukken die zijn verhard bij 20°C als bij 65°C worden weergegeven (fig. 6). Vervolgens moet met behulp van lineaire regressie de regressielijn door de tien resultaten worden berekend, inclusief de bijbehorende correlatiecoëfficiënt. De aan te houden C-waarde is de waarde waarbij de regressielijn de hoogste correlatiecoëfficiënt heeft. Deze C-waarde moet op 0,05 worden afgerond.



6 Bepaling C-waarde

punt te trekken, maar evenwijdig aan de regressielijn naar beneden te verschuiven over een afstand ter grootte van de zogenoemde verschuivingswaarde (fig. 7). Hoe de grootte van de verschuivingswaarde wordt bepaald, leest u in het kader op blz 7.



7 Verschuivingswaarde

Bepaling ijkgrafiek

Proefstukken

Minimaal 5 kubussen (150 mm x 150 mm x 150 mm) vervaardigd volgens NEN 5965

Conditionering

- Onder water, waarbij de watertemperatuur met een thermostaat wordt geregeld.
- Of in een waterbad terwijl de verhardingstemperatuur van de kubussen wordt geregistreerd door middel van een temperatuurmeting in het hart van de kubussen.

De temperatuur moet minimaal 3 maal per uur worden geregistreerd.

Bepaling druksterkte

De druksterkte van de proefkubussen wordt bepaald conform NEN 5968. Bepaal de druksterkte van de kubussen op zodanige tijdstippen dat een traject van maximaal 8 N/mm² onder tot maximaal 8 N/mm² boven de gevraagde sterkte wordt bestreken. Verdeel de waarnemingen gelijkmatig over het gebied, waarbij er minimaal twee meetwaarden onder en twee meetwaarden boven de gevraagde sterkte moeten liggen.

Opstellen regressielijn

Bereken per druksterkte de gewogen rijpheid van het beton, op het moment van drukken, uit de verhardingstijd en de verhardingstemperatuur. Zet de druksterkteontwikkeling uit tegen de gewogen rijpheid, met op de x-as, op logaritmische schaal, de gewogen rijpheid en op de y-as, op lineaire schaal, de druksterkte. Bereken en teken de regressielijn.

Bepaling standaardafwijking ijkgrafiek

Als de regressielijn is bepaald op basis van de druksterkte van minimaal 12 proefstukken die over minimaal 3 productiedagen verspreid zijn aangemaakt, moet voor de standaardafwijking van de ijkgrafiek (s_{ij}) de standaardafwijking van de gemeten druksterkte ten opzichte van de regressielijn worden aangehouden.

Gewogen rijpheid in praktijk

Op de bouwplaats wordt niet altijd op een goede manier met gewogen rijpheid omgegaan. De rijpheidsmethode is breed toepasbaar voor beton dat voldoet aan de eisen van NEN 5950. Maar juist bij

In alle ander gevallen moet de standaardafwijking van de ijkgrafiek (s_{ij}) worden berekend uit de processtandaardafwijking (s_p) van de productielocatie, met de volgende formule:

$$s_{ij} = \frac{f'_{c'ij} \times s_p}{f'_{c'p}}$$

waarin:

- s_{ij} = de standaardafwijking van de ijkgrafiek (N/mm²)
- $f'_{c'ij}$ = de gemiddelde waarde van de voor de ijkgrafiek gemeten druksterkten (N/mm²)
- s_p = de processtandaardafwijking van de productielocatie (N/mm²)
- $f'_{c'p}$ = de gemiddelde waarde van de druksterkte waaruit de processtandaardafwijking is berekend (N/mm²)

Opstellen ijklijn

Bereken en teken de ijklijn als de lijn die ofwel samenvalt met de regressielijn, ofwel evenwijdig loopt aan de regressielijn, maar dan in verticale richting omlaag verschoven.

Bij het verschuiven van de ijklijn over een bepaalde afstand kan een veiligheidsmarge in acht worden genomen. Deze afstand wordt gedefinieerd als $a \times s_{ij}$.

Welke waarde voor a wordt gehanteerd, zal vooral afhangen van het risico wat ermee gemoeid is.

Bijvoorbeeld: - periode van nabehandeling:	$a = 0$
- ontkisten	$a = 1$
- voorspannen	$a = 1,5$

Opmerking

De regressielijn geeft een gemiddelde waarde, zonder rekening te houden met spreiding in de betonsamenstelling en zonder rekening te houden met onzekerheden in de methode gewogen rijpheid.

Het verschuiven van de regressielijn over een afstand $a \times s_{ij}$ betekent een extra veiligheid tijdens de bouwfase.

Let op dat niet al in het bestek voor het ontwerp en de uitvoering op een andere wijze veiligheden zijn ingebouwd voor het hanteren van de (gemiddelde) kubusdruksterkte.

een brede toepasbaarheid worden mogelijkheden wel eens overschat, overschreden of loopt men onbewust toch tegen problemen aan. Hierna behandelen we een aantal van die praktische 'problemen'.

Geldigheidsgebied

De methode 'gewogen rijpheid' richt zich uitdrukkelijk op jong beton, maar er is geen duidelijk gedefinieerde grens waarbij beton niet jong meer is. In het voorschrift voor het opstellen van de ijkgrafiek wordt het sterkteniveau echter niet aangegeven.

Dat betekent dat we deze methode best nog kunnen toepassen bij een sterkteniveau waarop we eigenlijk niet meer van jong beton kunnen spreken. Alleen zal dit, omdat het in een ander meetbereik valt, een andere grafiek, met een andere helling, opleveren. Omdat extrapolatie van de ijkgrafiek van jong beton niet is toegestaan, moeten we als we in de praktijk op een later tijdstip met behulp van rijpheid nog iets over de sterkte willen zeggen, dat doen aan de hand van een ijkgrafiek die geldt in dat betreffende meetgebied (fig. 8).

Kritische plaatsen

Vaak willen we vooral de sterkteontwikkeling van kritische punten in de constructie bepalen. Afhankelijk van het doel van de meting, kunnen als kritisch worden aangemerkt die plaatsen waar:

- de laagste, of de hoogste temperatuurontwikkeling verwacht wordt;
- de hoogste spanningen zullen optreden.

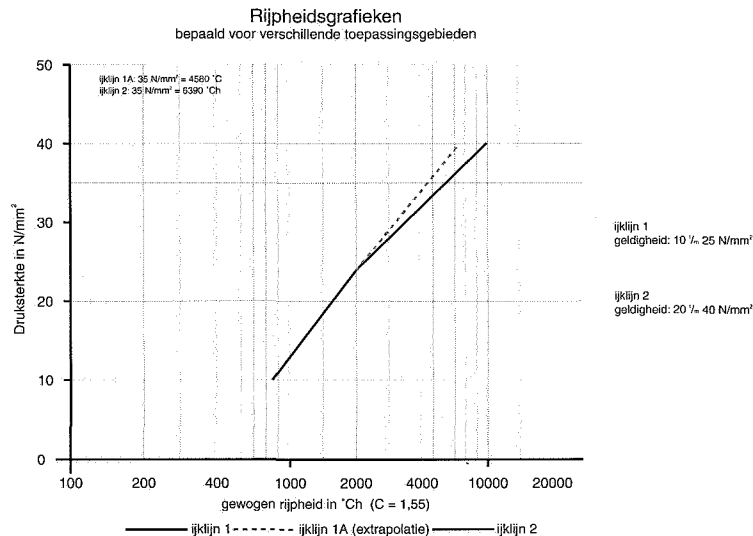
Het is van groot belang om vooraf, en eventueel in

overleg met de constructeur, de meetplaatsen vast te stellen. Uiteraard moet van deze meetplaatsen de beoogde sterkte bekend zijn. Bedenk hierbij dat niet op elke plaats in de constructie dezelfde sterkte nodig is.

Tijdstip van meten

Belangrijk is op welk tijdstip de rijpheidsmeting wordt gestart. Bij het opstellen van de ijklijn wordt de temperatuur vanaf het eerste uur geregistreerd. Het is daarom zaak, om nadat het betreffende element of onderdeel is gestort, de meting zo snel mogelijk te starten. Later starten betekent dat een stukje sterkteontwikkeling (rijpheid) niet in de meting wordt meegenomen, terwijl dat wel degelijk aanwezig is. Dit is met name van belang bij mengsels die heel snel sterkte ontwikkelen, zoals hogesterktebeton. In dit verband moet ook gedacht worden aan de stortvolgorde; met name bij grote storten kunnen meerder uren zitten tussen het begin en het einde van het stort.

Daarentegen moeten we ook opletten dat de meting niet te vroeg start. Immers, de lucht in een lege kist heeft ook een temperatuur (en dus rijpheid). En deze correspondeert niet met sterkteontwikkeling in de specie die nog gestort moet worden.



- 8** Extrapolatie van een ijklijn in geldigheidsgebied 10 t/m 25 N/mm² (ijklijn 1) naar geldigheidsgebied 20 t/m 40 N/mm² geeft een onjuiste waarde voor de gewogen rijpheid (ijklijn 1A). Deze lijn moet daarom altijd worden bepaald op basis van metingen in het betreffende meetgebied (ijklijn 2)

Grafiek bouwplaats $\neq$ grafiek betoncentrale

Bij grotere, langlopende werken is ook op de bouwplaats wel eens ruimte voor het vervaardigen en beproeven van kubussen. Het is goed mogelijk dat de aannemer in die gevallen zijn eigen ijklijn vervaardigd. Vaak zien we dan een verschil met de ijklijn van de betonleverancier. Dit komt doordat de meting op de bouwplaats altijd later start dan op de betoncentrale. Op het moment dat de aannemer zijn kubus heeft vervaardigd en de meting heeft gestart, is de kubus op de betoncentrale 'al enige tijd onderweg'. Omdat de hydratatiegraad in beide situaties wel vrijwel vergelijkbaar is, vindt men op de bouwplaats bij een vergelijkbare rijpheid een hogere sterkte.

Gebruik bij lage sterktes

Het opstellen van een ijkgrafiek volgens de nieuwe methode geeft praktische problemen als de gevraagde sterkte tussen circa 3 en 8 N/mm² ligt. De gangbare drukbanken missen namelijk voldoende nauwkeurigheid in het lage-sterktegebied onder circa 5 N/mm². Voor dit gebied wordt daarom een ijkgrafiek in het traject van 5-15 N/mm² gebruikt. De benodigde rijpheid voor sterkten lager dan 5 N/mm² wordt verkregen door de betreffende ijklijn te extrapoleren. Omdat dit eigenlijk niet mag, is voorzichtigheid geboden, zeker in dit gebied met hele lage sterkten. Dit geldt vooral bij lage temperaturen al dan niet in combinatie met een vertragende hulpstof. Ogenscheinlijk wordt er wel rijpheid opgebouwd, terwijl de dormante periode, de periode waarin nog absoluut geen sterkteopbouw plaats heeft, wel met uren kan worden verlengd.

Ijkgrafiek is uniek

Een ijkgrafiek hoort bij een specifieke betonsamenstelling. Toch gebeurt het maar al te vaak dat een afnemer veronderstelt dat elke betonsamenstelling met sterkteklasse B 25 in milieuklasse 2 dezelfde ijkgrafiek heeft. Een ijkgrafiek 'verhuist' nogal eens met de uitvoerder van het ene naar het andere werk. Dit kan en mag natuurlijk niet gebeuren.

Het leidt ook regelmatig tot onbegrip op de bouwplaats. Wanneer dragende bekisting (gemiddelde kubusdruksterkte nodig voor ontkisten ten minste 14 N/mm²) op een bepaalde bouwplaats volgens de betreffende ijkgrafiek bij een rijpheid van 1550°C_h verwijderd mag worden, is het een misvatting om te denken dat dan altijd ontkist mag worden bij 1550°C_h.

Dat geldt alleen voor één bepaalde betonsamenstelling afkomstig van één bepaalde betoncentrale. Op een ander werk, met een andere betonleverancier, geldt een andere ijkgrafiek met een andere relatie tussen druksterkte en gewogen rijpheid.

Hoge rijpheid $\neq$ hoge sterke

Een misvatting, die direct in het verlengde van het voorgaande ligt, is het idee dat een hoge rijpheid automatisch een hoge sterkte betekent. Dat kan natuurlijk wel, maar hoeft natuurlijk lang niet altijd zo te zijn. Een betonsamenstelling met een cement in een hoge sterkteklasse en een lage watercementfactor geeft een relatief hoge sterkte bij een relatief lage rijpheid.

Een betonsamenstelling met een cement in een lage sterkteklasse en een hoge watercementfactor kan zelfs bij een relatief hoge rijpheid nog heel weinig sterkte hebben.

Tot slot

Zoals we al eerder opmerkten, noemt de VBU de methode gewogen rijpheid slechts in een toelichting. Deze uitvoeringsnorm wordt inmiddels na ruim 10 jaar grondig herzien. In de nieuwe uitgave zal het bepalen van de ontkistingssterkte van beton door toepassing van de methode gewogen rijpheid de voorkeur krijgen boven de methoden die uitgaan van de vervaardiging van verhardingskubussen.

Werken met rijpheid vraagt niet alleen om kennis van de theoretische achtergronden. Het op de juiste wijze uitvoeren van de diverse metingen, en weten welke factoren de meting kunnen beïnvloeden, is minstens zo belangrijk.

Hoewel we ons moeten realiseren dat we niet altijd de exacte druksterkte kunnen berekenen, biedt de methode van de 'Gewogen Rijpheid' vooralsnog de best mogelijke schatting van de aanwezige sterkte in het werk.

Literatuur

- Betoniek 6/20: Gewogen Rijpheid
- CUR-Aanbeveling 9: Bepaling van de sterkteontwikkeling van jong beton op basis van de gewogen rijpheid.
- Stutech Rapport 19: Gewogen Rijpheid
TNO-rapport (98-BT-R0789/02): Ringonderzoek ten behoeve van de bepaling van de C-waarde van cement
- Ontwerp-norm NEN 5970: Bepaling van de druksterkteontwikkeling van jong beton op basis van de gewogen rijpheid

Beton
Daar maak je 't mee.

Betoniek oktober 1999

In onze volgende uitgave

2000 Jaar Beton

De overgang naar het nieuwe millennium is een hype. Ook **Betoniek** geeft daar op haar manier vorm aan. Door terug te blikken en vooruit te zien. In onze volgende aflevering de terugblik.

Colofon

Betoniek is een praktijkgericht voorlichtingsblad op het gebied van de betontechnologie en verschijnt 10 keer per jaar. In de redactie zijn vertegenwoordigd: de Nederlandse cementindustrie, MEBIN, CUR, vocBETONBOUW en de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

Uitgave: ENCI Media
postbus 3532, 5203 DM 's-Hertogenbosch
Redactie: 073 - 640 12 22
Abonnementen: 073 - 640 12 31
Adreswijzigingen per fax: 073 - 640 12 99

Overname van artikelen en illustraties is toegestaan, onder voorwaarde van bronvermelding.

Abonnementsprijzen:
Nederland f 32,50
België f 33,50
Andere landen f 47,50

Abonnementen lopen per kalenderjaar en worden automatisch verlengd, tenzij voor 1 december schriftelijk wordt opgezegd.
ISSN 0166-137x

Nederlands

uitgeversverbond

Groep vaktijdschriften