

HOOFDSTUK 2 : BETON MAKEN

(p. 3)

Constructieve eisen hebben vooral betrekking op het bouwwerk na ingebruikneming, en dus op het beton in verharde toestand: sterkte, bestandheid tegen krimp, vorst en agressieve stoffen, waterdoorlatendheid, brandweerstand... Deze eisen worden vastgelegd door de ontwerper, in samenspraak met de opdrachtgever. Er zijn talloze betonsamenstellingen. Keuze, dosering en eigenschappen van de afzonderlijke bestanddelen liggen aan de basis van de uiteindelijke kwaliteit van het beton. Maar de bestanddelen beïnvloeden elkaar ook onderling. Het op punt stellen van een goede betonsamenstelling is daarom meestal een iteratief proces.

(p. 4)

Uitvoeringseisen hebben betrekking op het beton in verse toestand (betonspecie). Bij het formuleren van de betonsamenstelling moet rekening worden gehouden met de vorm van de constructie, de aanwezigheid van wapening, omstandigheden op de bouwplaats, enz. In vergelijking met andere bouwmaterialen ligt de uiteindelijke kwaliteit van beton ook in belangrijke mate in handen van de uitvoerder, d.w.z. de aannemer en zijn personeel.

(p. 5)

Het zand vormt samen met de grove granulaten het 'steenachtig skelet' van het beton in verharde toestand. Tijdens het mengen en verwerken van de betonspecie maakt het zand echter samen met de cementpasta deel uit van de mortel, die fungeert als smeermiddel tussen de grove granulaten.

(p. 6)

De basisregel voor kwaliteitsbeton!

Een zo laag mogelijke water-cementfactor betekent in de praktijk grosso modo een halve liter water per kilo cement, met inbegrip van het vochtgehalte van de granulaten (zand!) en het water waarin eventuele hulpstoffen zijn opgelost. Slechts ongeveer de helft van dat water wordt chemisch gebonden met het cement. De rest is nodig om de betonspecie vlot te kunnen mengen en verwerken.

Elk teveel aan water dat tijdens de verharding in het beton wordt ingesloten, geeft aanleiding tot een minder compacte materiaalstructuur, en dus een geringere sterkte en minder weerstand tegen agressieve stoffen.

(p. 7)

De W/C-factor laag houden door het beperken van het watergehalte is moeilijk realiseerbaar wanneer het zand veel fijne deeltjes bevat. Er is immers meer water nodig om fijn zand te bevochtigen dan eenzelfde massa grover zand.

(p. 8)

De W/C-factor laag houden door het opvoeren van het cementgehalte is slechts in beperkte mate mogelijk, omdat beton met een zeer hoog cementgehalte krimpgevoeliger is.

(p. 9)

Een continue en gespreide korrelverdeling betekent een steenachtig skelet (grove granulaten + zand) met :

- 1) zo weinig mogelijk op te vullen holtes tussen de korrels, m.a.w. een goede gradering van klein naar groot;
- 2) zo weinig mogelijk te bevochtigen en te omhullen oppervlakken, d.w.z. een zo groot mogelijke hoeveelheid grof granulaat, liefst met een compacte vorm (kubus- of bolvormig).

De figuur toont referentiekrommes voor 3 courante maximum korrelgroottes (D_{max}): 8, 16 en 32 mm. Hoe groter D_{max} , hoe minder zand (en dus mortel) nodig is.

(p. 10)

Een typisch vraagstuk voor een betoncentrale. De figuur toont slechts één van de vele mogelijke oplossingen. Hoe deze oplossing tot stand komt, wordt op de volgende pagina's geïllustreerd.

(p. 11)

Deze figuur toont de gekozen oplossing voor de grove granulaten. Het aandeel van het grofste granulaat (8/22) werd vastgelegd op 45 %. De combinatie van de beschikbare 2/8 en 8/22 sluit hierdoor goed aan bij de onderste referentiekromme.

(p. 12)

De figuur toont de gekozen oplossing voor de zandfractie. Het zand 0/2 is op zich te grof. Zijn zeefkromme wijkt te zeer af van de referentiekromme; de pompbaarheid komt in het gedrang. Daarom is geopteerd voor een combinatie met zand 0/1.

(p. 13)

De norm voorziet de mogelijkheid om in lastenboeken 'beton op samenstelling' voor te schrijven. De ontwerper/voorschrijver neemt in dat geval de rol van betontechnoloog op zich, die met kennis van zaken granulaten, zand, cement, eventuele hulpstoffen en toevoegsels kiest, uitrekent hoeveel van elk bestanddeel per m³ betonspecie nodig is, de water-cementfactor vastlegt, enz. Desgevallend houdt hij rekening met bijzondere uitvoeringsomstandigheden.

(p. 14)

Beton voorschrijven op samenstelling vergt kennis en ervaring...

(p. 15)

Beton voorschrijven op basis van prestatie-eisen ('beton met gespecificeerde eigenschappen') betekent :

- (1) eisen dat het beton aan beide normen voldoet : NBN EN 206-1 : 2001 en NBN B 15-001 : 2004 ;
- (2) sterkteklasse, gebruiksdomein, omgevingsklasse, consistentieklasse en max. korreldiameter aanduiden ;
- (3) eventueel aanvullende gegevens vermelden.

Alleen deze methode laat toe beton voor te schrijven dat drager is van het BENOR-merk. Omdat het BENOR-merk garandeert dat het beton beantwoordt aan de gespecificeerde eigenschappen, moet de gebruiker enkel nog de leveringsbonnen controleren, en (uiteraard) de uitvoering van het werk.

(p. 16)

Een 'karakteristieke' drukweerstand is een getal afgeleid uit een statistische analyse van drukproefresultaten : de opgemeten waarden liggen in minstens 95 % van de gevallen boven dat getal.

Beide aanduidingen zijn belangrijk : de cilinderdruksterkte $f_{ck,cyl}$ wordt gebruikt bij de berekening van de betonconstructie, de kubusdruksterkte $f_{ck,cube}$ bij de controle van de betonkwaliteit (drukproeven).

Vooraleer de druksterkteklasse vast te leggen moet worden nagegaan welke minimale sterkteklasse impliciet omwille van duurzaamheidscriteria vereist is. Zie verder bij het voorschrijven van de omgevingsklasse.

(p. 17)

Het 'gebruiksdomein' geeft aan of het beton ongewapend, gewapend of voorgespannen is. Voor elk gebruiksdomein legt de norm het maximum toegelaten gehalte aan chloride-ionen vast. Chloriden kunnen aanwezig zijn in cement, hulpstoffen, granulaten, enz. Het gehalte aan chloride-ionen moet worden begrensd, omdat zijn wapeningscorrosie kunnen veroorzaken.

(p. 18)

De normen definiëren 13 'omgevingsklassen' (E-). De afkortingen verwijzen naar de Engelse termen 'environment' (E), 'interior' (I), 'exterior' (E), 'sea' (S) en 'aggressive' (A).

Doorgaans volstaat één klasse om de omgeving te karakteriseren waaraan het beton zal worden blootgesteld. In het geval van een agressieve omgeving zal de voorschrijver echter twee klassen moeten opgeven.

(p. 19)

De normen definiëren voor elke omgevingsklasse, en per toepassingsdomein, duurzaamheidseisen. Combinaties van maximum W/C-factor, minimum cementgehalte, minimum sterkteklasse, en (eventueel) minimum luchtgehalte worden uitgedrukt in 'betontypes'.

Daarnaast kunnen nog andere eisen worden toegevoegd, bijv. cementtype, vorstbestendigheid van de granulaten, voorwaarden bij het gebruik van vliegias...

(NB : Wanneer de minimum sterkteklasse van een betontype hoger blijkt te zijn dan de aanvankelijk gekozen sterkteklasse, dan moet deze keuze herbekeken worden !)

(p. 20)

In bepaalde gevallen impliceren de voorgeschreven sterkte- en/of omgevingsklasse een lage water-cementfactor en hoog cementgehalte. Om alsnog de gewenste verwerkbaarheid te verkrijgen zal een hulpstof (bv. superplastificeerder) aan het beton moeten worden toegevoegd.

(NB : Deze proeven zijn niet geschikt om de verwerkbaarheid van zelfverdichtend beton te meten.)

(p. 21)

Een kleine D_{max} impliceert een hogere morteldosering en dus een groter cementgehalte. Dit betekent dat de hoeveelheid cement soms groter zal zijn dan het gehalte vereist door de sterkte- of omgevingsklasse.

(p. 22)

Veel van deze eisen zijn interactief. Er dient aan iedere eis afzonderlijk te worden voldaan, én er moet een beton tot stand komen dat aan alle voldoet.

De aanvullende eisen moeten betontechnologisch verenigbaar zijn met de basiseisen.

(p. 23)

Voor sommige betonconstructies moeten aanvullende kwaliteitseisen worden opgelegd, hetzij aan de specie, hetzij aan het verharde beton.

(p. 24)

Voorbeeld van een betoncentrale. Varianten zijn mogelijk. De volgende productiestappen komen echter in elke centrale voor: opslag (1) en dosering (2) van de granulaten, dosering van de overige bestanddelen (cement, water, hulpstoffen) (3), mengen van de specie, vullen van de truckmixers (4).

De nodige uitrusting voor de recyclage van het restbeton (5) en onderhoud van het materieel (6) dienen eveneens aanwezig te zijn.

(NB : Niet aangeduid is het laboratorium voor kwaliteitscontrole, bv. drukweerstand, waterabsorptie...)

(p. 25)

Grind, steenslag en zand worden per boot of met vrachtwagens aangevoerd. In de afgebeelde situatie bevindt zich onder de voorraden een ondergrondse transportband. In andere centrales liggen de verschillende types granulaten in stervorm rond de menginstallatie en worden met een sleepschoep in de doseereenheid gebracht.

(p. 26)

Dosering, meestal in gewicht, soms in volume, van grind en zand gebeurt hier vanuit werksilo's. De materialen vallen op een weegband. Een correcte dosering van grind en zand vergt een nauwkeurige kennis van hun vochtgehalte.

Ook automatische installaties dienen regelmatig gecontroleerd te worden.

(p. 27)

De cementsilo's worden pneumatisch bevoorrad. De cementweegbak wordt gevuld via een archimedesschroef.

Hulpstoffen worden meestal in opgeloste vorm gestockeerd in tanks.

(p. 28)

Afhankelijk van het type menger ligt de nuttige capaciteit begrepen tussen 50 en 75 % van het volume van de kuip. De doseervolgorde wordt door de constructeur van de menger opgelegd en moet strikt worden gerespecteerd.

De ideale mengtijd is de tijd nodig voor het verkrijgen van een homogeen mengsel. Die hangt af van verschillende factoren, o.a. het type beton en zijn bestanddelen. Maar ook de properheid van de kuip en de mate van slijtage van de schoepen spelen een rol.

(p. 29)

Om grondstoffen uit restbeton te kunnen recycleren dienen deze met zorg geïdentificeerd, gesorteerd en gestockeerd te worden.

Residu's van hulpstoffen in gerecycleerd aanmaakwater kunnen ongewenste neveneffecten hebben.

(p. 31)

Productie-eenheid van voorgespannen welfsels, vanaf de voorbereiding van de bekisting (1) tot de stockage van de afgewerkte producten (5). Een fabriek beschikt over haar eigen betoncentrale (2). Welfsels worden aan één stuk gestort in metalen bodems met een lengte van 120 à 150 m (3), en pas na verharding op lengte gezaagd (4). Eén cyclus vanaf het storten tot en met het ontkisten duurt doorgaans 24 uur.

De fabricage van voorgespannen balken en kolommen gebeurt op kortere bodems (bv. 80 m). In tegenstelling tot welfsels worden de elementen afzonderlijk gestort: de kolom- of balkuiteinden worden bekist door middel van tussenschotten met openingen waarlangs de voorspanwapeningen doorlopen.

(p. 32)

De bodem wordt met perslucht gereinigd. De machine die wordt gebruikt voor het uitlijnen van de wapening voorziet de bodem met een laagje ontkistingsolie. De wapening wordt met vijzels voorgespannen en vervolgens vastgezet. De vijzels bevinden zich in een verankeringsmassief.

Bij kolommen en balken omvat de wapening ook beugels. Voor de verbinding met andere structurelementen moeten eventueel wachtstaven, wachtkokers, ankerplaten enz. voorzien worden. Voor het transport en de montage kunnen hijslussen nodig zijn.

(p. 33)

Het gebruikte beton is een normaal beton met een vrij hoge druksterkte, bijvoorbeeld minimum 55 N/mm². De water-cementfactor is laag, waardoor het verse beton zijn vorm bewaart.

(p. 34)

De randen van de bekistingsbodem fungeren als rails waarop de betonneermachine rijdt. Het beton wordt uit de machine geperst.
De bodem kan worden verwarmd om het verhardingsproces te versnellen.
Bij kolommen en balken zijn op de zijvlakken van de bekisting trilmotoren bevestigd.

(p. 35)

Wanneer uit controleproeven blijkt dat het beton voldoende sterkte heeft ontwikkeld, worden de wapeningsstrengen gelost. Hun spanning wordt zodoende overgebracht op het beton, dat nu voorgespannen is. De elementen worden vervolgens op lengte gezaagd.

(p. 36)

De elementen worden van de bekistingsbodem opgetild om te worden gestockeerd tot ze naar een bouwplaats worden vervoerd.

(p. 37)

Een fabriek van betonstraatstenen omvat een betoncentrale (1), een betonneerinstallatie (2), een beschutte opslagruimte waarin de verse producten uitharden (3) en eventueel diverse machines voor de afwerking (4). Nadat de producten zijn verpakt en 'gepalettiseerd' kunnen ze in open lucht worden opgeslagen (5).

(p. 38)

Aardvochtig beton heeft een zeer lage water-cementfactor : hij is niet hoger dan 0,45 en bedraagt in bepaalde gevallen slechts 0,28. Dergelijk beton vergt veel verdichtingsenergie.
Sommige producten bestaan uit twee betontypes : de kern is van gewoon beton, de toplaag bevat bv. speciale granulaten, kleurpigmenten, een ander cementtype, enz.

(p. 39)

Het productieproces is volledig geautomatiseerd: de mal wordt op een plateau gepositioneerd, met beton gevuld en afgestreken. Door persen en trillen wordt het beton krachtig verdicht en vervolgens onmiddellijk ontkist.

(p. 40)

De plateaus met de pas ontkiste producten glijden naar een tochtvrije hall, waar ze in rekken gestapeld worden. Omwille van het zeer lage watergehalte moet in dit stadium uitdroging zorgvuldig worden vermeden. Dit zou immers leiden tot onvolledige hydratatie van het cement, met kwaliteitsverlies als gevolg : zanderig oppervlak, afbreken van de hoeken, hogere waterabsorptie...
(NB : Wegens het risico van kalkuitslag is nabehandeling door het vernevelen van water niet aan te raden.)

(p. 41)

Zandstralen, hameren, trommelen zijn bewerkingen die tot doel hebben de stenen kunstmatig te verouderen, waardoor ze een ambachtelijk uitzicht krijgen.

(p. 42)

Jong beton is gevoelig voor kalkuitslag. Het betonoppervlak mag niet nat worden door regen of sneeuw. Opgelet bij het gebruik van plastic zeilen : bevochtiging door condenswater vermijden !

(p. 43)

Sierbeton wordt gekenmerkt door speciale vormen, texturen en kleuren. De figuur toont een overzicht van de typische productiestappen : constructie van bekisting en wapening (1), vervaardiging van betonspecie (2), storten van het beton (3), afwerking van het betonoppervlak (4/5), stockage in afwachting van transport en montage (6).

(p. 44)

Elementen in sierbeton vereisen soms ingewikkelde bekistingen en wapeningen, bv. voor trappen, gevelelementen, kroonlijsten... De bekistingsonderdelen moeten in een zodanige volgorde geassembleerd worden, dat ze bij het ontkisten van het beton gemakkelijk gedemonteerd kunnen worden. Voegprofielen, druiplijsten e.d. mogen bij het ontkisten niet afbreken.

(p. 45)

In overleg met de ontwerper/opdrachtgever kunnen bijzondere betonsamenstellingen op punt gesteld worden. Voorraden grondstoffen dienen afgestemd te zijn op de grootte van de productiereeksen. Gebruik van grondstoffen uit verschillende leveringen kan aanleiding geven tot ongewenste tintverschillen in de afgewerkte producten.

(p. 46)

Het storten van het beton vereist een zorgvuldige voorbereiding. Bijvoorbeeld, een sandwich-gevelpaneel omvat een buitenspouwblad, een laag isolatie en een binnenspouwblad. Beide spouwbladen zijn voorzien van wapening en onderling verankerd. In het binnenspouwblad zitten wachtwapeningen, hijslussen, en eventueel kokers en uitsparingen voor leidingen, bedradingen, stopcontacten... Het buitenspouwblad is doorgaans opgebouwd uit een kern en een oppervlaktelaag in een andere betonsoort (of zelfs in een ander materiaal, bv. natuursteen, baksteen...)

(p. 47)

Polijssten gebeurt in sommige gevallen in een computergestuurde inrichting, bijvoorbeeld voor platte of cilindrische oppervlakken. Ingewikkelder vormen worden manueel gepolijst.

(p. 48)

Dient het oppervlak naderhand uitgewassen te worden, dan wordt de bekisting vóór het storten van het beton ingestreken met een bindingvertrager. Het niet-verharde oppervlaktelaagje wordt na ontkisting met een waterstraal weggespoeld, zodat de grove granulaten zichtbaar worden. Door het element in te smeren met een zuurgel lost de cementsteen gedeeltelijk op. Het oppervlak moet overvloedig afgespoeld worden. Het eindresultaat is een mat oppervlak. Een eveneens mat, maar ruwer oppervlak ontstaat door het oppervlak te zandstralen.

(p. 49)

Voor stockage, transport en montage moeten de nodige maatregelen worden getroffen om beschadiging en vervuiling te voorkomen. Jong beton is gevoelig voor kalkuitslag en mag daarom niet nat worden door regen, sneeuw, condenswater... Gevelementen worden meestal behandeld met een beschermend product (waterafstotend, anti-graffiti ...).

(p. 50)

Afhankelijk van het buistype (formaat, toepassingsgebied...) zijn verschillende procédés mogelijk. De figuur toont de productiestappen van verticaal gevormde gewapende buizen: fabricage van de spiraalvormige wapeningskooien (1), aanmaken van de betonspecie (2), betonneren (3), voorlopige opslag en afwerking (4), kwaliteitscontrole (5), stapeling op de stockageruimte (6). Bij elk buistype horen nog een aantal accessoires zoals verbindingen, verloopstukken,...

(p. 51)

Buizen met kleinere diameters en die geen grote mechanische belastingen moeten ondergaan, bestaan ook in ongewapend beton. Voor sommige toepassingen wordt staalvezelbeton gebruikt.

(p. 52)

Bij elk type buis hoort een specifieke betonsamenstelling. Beton voor buizen blootgesteld aan agressieve stoffen moet aan strenge eisen voldoen inzake korrelverdeling, cementsoort en -dosering. Een compact beton veronderstelt een zo laag mogelijke W/C-factor.

(p. 53)

Voorbeeld van een installatie om buizen te maken. Nadat de stalen onderring met rubberen dichting en de wapening (niet afgebeeld) zijn klaargezet (a), wordt de buitenmal neergelaten (b). Terwijl het beton wordt gestort, komt de binnenmal draaiend omhoog (c). Op deze binnenkern staan trilmotoren. Tenslotte wordt de buitenmal weer opgetild (d). Bramen worden verwijderd. De juiste vorm van de spie wordt gewaarborgd door middel van een beschermende stalen ring.

(p. 54)

De pas ontgaste buizen worden verticaal opgesteld in een beschutte ruimte. Tijdens het verplaatsen moet elke beschadiging van de buisuiteinden vermeden worden. Om uitdroging van het aanmaakwater te voorkomen, kan het aangewezen zijn de buizen met een nabehandlungsproduct te besproeien. Na één dag, d.w.z. nadat het beton voldoende verhard is, mogen de ringen verwijderd worden. Na grondige reiniging en controle van vorm en afmetingen kunnen ze in een volgende cyclus opnieuw worden gebruikt.

(p. 55)

De buizen worden onderworpen aan een vacuümtest.

(p.56)

Laagsgewijze stapeling van buizen op te jonge leeftijd kan leiden tot scheurvorming.

(p. 57)

Met kleine hoeveelheden wordt bedoeld: minder dan 1 m³ beton.

Grind, steenslag en zand worden op een verhard en schoongemaakt oppervlak gestockeerd en met een zeil afgedekt.

Zakken cement worden bewaard in een droge ruimte.

(p. 58)

Wanneer cement als eerste in de betonmolen wordt gegoten, zullen zich klonters vormen.

(p. 59)

Het is praktisch onmogelijk hulpstoffen correct te doseren op een bouwplaats en voor kleine hoeveelheden beton. In ieder geval is het gebruik van alternatieve 'hulpstoffen', zoals detergenten, stellig af te raden.