

8 VERWERKEN VAN BETONSPECIE

In de voorgaande hoofdstukken is er veel aandacht besteed aan het samenstellen en vervaardigen van betonspecie. Om een goed eindproduct te verkrijgen moet het verwerken van de betonspecie op de bouwplaats of in de fabriek met dezelfde aandacht gebeuren.

De verwerkbaarheid van betonspecie is een veelomvattend begrip in de betontechnologie. Daarom wordt eerst stilgestaan bij de eigenschappen van betonspecie die te maken hebben met de verwerkbaarheid.

Naast de verwerkbaarheid van betonspecie spelen ook andere aspecten een belangrijke rol. Enige belangrijke aspecten voor het verwerken van betonspecie zijn:

- stortmethode;
- omgevingstemperatuur;
- methode van verdichten van de betonspecie;
- stortsnelheid;
- methode van afwerken;
- toegankelijkheid van wapening;
- schoonmaken van bekisting en stortnaden;
- ontkisten;
- nabehandelen;
- opleiding en begeleiding van uitvoerend personeel.

Deze aspecten worden in dit hoofdstuk nader toegelicht.

De betontechnoloog speelt bij de verwerking van betonspecie een adviserende rol.

INHOUDSOPGAVE

Pag.

8.1	Inleiding.....	8-3
8.2	Verwerkbaarheid	8-4
8.2.1	Transporteerbaarheid.....	8-4
8.2.2	Verpompbaarheid	8-6
8.2.3	Verdichtbaarheid	8-6
8.2.4	Afwerkbaarheid	8-6
8.3	Betontechnologische aandachtspunten.....	8-7
8.3.1	Vóór het storten	8-7
8.3.1.1	Bekistingen.....	8-8
8.3.1.2	Betonstaal.....	8-10
8.3.1.3	Voorspanstaal	8-10
8.3.1.4	Voorbewerken van stortnaden en -voegen	8-11
8.3.1.5	Omvang van het stort	8-11
8.3.1.6	Controle voor het storten.....	8-12
8.3.2	Tijdens het storten	8-12
8.3.2.1	Stortvoorzieningen	8-12
8.3.2.2	Het transport van betonspecie	8-12
8.3.2.3	Het storten van betonspecie	8-15
8.3.2.4	Het verdichten van betonspecie	8-16
8.3.2.5	Het afwerken van betonspecie.....	8-18
8.3.3	Na het storten (nabehandelen en beschermen)	8-20
8.3.3.1	Nabehandelen	8-20
8.3.3.2	Ontkisten	8-23
8.3.3.3	Aandachtspunten betonproductenindustrie	8-24
8.3.4	Bijzondere omstandigheden	8-24
8.3.4.1	Winteromstandigheden / vroege voorjaar	8-24
8.3.4.2	Zomeromstandigheden.....	8-26
8.3.4.3	Verhardingsbeheersing.....	8-27
8.3.4.4	Massabeton.....	8-27
8.3.4.5	Verhinderde vervorming	8-28
8.4	Speciale betontechnieken	8-28
8.4.1	Betonstenen, -tegels, banden, dakpannen e.d.	8-28
8.4.2	Vooraf vervaardigde elementen.....	8-29
8.4.3	Lange-banksysteem	8-29
8.4.4	Spuitsbeton.....	8-30
8.4.5	Onderwaterbeton	8-33
8.4.6	Vezelversterkt beton.....	8-34
8.5	Hoge betonconstructies	8-35
8.5.1	Klimbekisting	8-35
8.5.2	Glijbekisting	8-36

8.1 Inleiding

Vooraf de uitvoerende mensen op de bouwplaats of in de fabriek bepalen hoe het betonproduct er uiteindelijk zal uitzien. Van hen wordt verwacht dat ze de betonspecie zorgvuldig verwerken en afwerken. Als er in het oppervlak grindnesten of stortnaden zichtbaar zijn, is dat in veel gevallen het gevolg van het op een verkeerde wijze verwerken en/of verdichten van de betonspecie. Ook betonspecie die niet geschikt is voor het beoogde doel kan leiden tot teleurstellende resultaten.

Als er problemen zijn, wordt de betontechnoloog vaak geraadpleegd en verwacht men van hem een advies. Daarom is het belangrijk dat hij zich de aspecten die in dit hoofdstuk worden besproken, eigen maakt.

In de bouw wordt een principiële verschil gemaakt tussen het verwerken van beton op de bouwplaats en het vervaardigen en verwerken van vooraf vervaardigde (prefab) beton-elementen. Tijdens de voorbereiding van een bouwwerk moet het besluit worden genomen de betonspecie ter plaatse te verwerken of te werken met prefab elementen.

In geval van ter plaatse gestort beton kan meestal vrij snel na de start van een bouwwerk worden begonnen met bekistingen plaatsen, wapening vlechten en beton storten. Voor het storten en verdichten van de betonspecie moeten soms in de bekisting speciale voorzieningen worden aangebracht om het verdichten mogelijk te maken. Het beton heeft voor het opnemen van de trekkrachten wapening nodig, maar dit kan soms hinderlijk in de weg zitten voor het storten van de betonspecie. Als het beton is gestort en afgewerkt, moet het zorgvuldig worden nabehandeld om de hydratatie van het cement optimaal door te laten gaan, opdat de constructie zijn sterkte en duurzaamheid krijgt. Daarna volgt voor elk gemaakt onderdeel dat moet worden gewacht op het bereiken van de benodigde sterkte alvorens men verder kan gaan met het bouwwerk.

Bij het gebruik van prefab-betonelementen is tijd nodig geweest om de elementen in een fabriek te vervaardigen.

Het verwerken van de betonspecie is nog enigszins te vergelijken met het verwerken op de bouwplaats, alhoewel in de fabriek met een andere consistentie wordt gewerkt. Steeds meer fabrieken zijn overgegaan op het gebruik van zelfverdichtend beton. Voor die tijd maakte men gebruik van aardvochtige of half-plastische mengsels, die door intensief te verdichten goed te verwerken waren. Het intensief verdichten had veelal plaats met trilmotoren die aan de mallen waren bevestigd. De mensen in de fabriek ondervonden zeer veel overlast van het lawaai van die trilmotoren. De overgang naar zelfverdichtend beton is voor veel fabrieken de oplossing geweest om van die geluidsoverlast verlost te raken.

Fabrieken die dagelijks hetzelfde product maken, houden vaak een cyclus van een aantal uren aan: dat betekent dat een mal elke dag (of soms meer keren op één dag) opnieuw wordt gebruikt voor een volgend element. Het beton moet voldoende snel verharderen om die cyclus mogelijk te maken. Verwarmen van de omgeving (waaronder het gebruik van klimaatkamers) en/of de mallen is een goed middel om dat te realiseren. Na het ontkisten worden de prefab elementen op het terrein van de producent opgeslagen en bewaard tot ze door de uitvoerder van het bouwwerk worden afgeroepen. In de opslag verharderen de elementen verder. De omgevingstemperatuur kan daarin een (negatieve) rol spelen, vooral in de winter.

Als de betonelementen gereed zijn en voldoende sterk, kan de uitvoerder van het bouwwerk de (vaak) verschillende elementen in de door hem gewenste volgorde afroepen.

Het plaatsen van de elementen gaat vaak zeer snel. Wat rest is het onderling bevestigen van de elementen en het verwerken van gietmortel in de verbindingsvoegen.

Er is geen eenduidig advies te geven welke methode de voorkeur heeft. Dit moet per bouwwerk door de aannemer worden onderzocht.

In de meeste gevallen is het beton de draagconstructie van een gebouw of kunstwerk en wordt het door het gebruik van andere materialen, zoals metselwerk, aan het blote oog onttrokken. Er zijn ook architecten die willen dat het beton in zijn pure vorm in het zicht blijft. We spreken dan van *schoon beton*. Bij het verwerken van beton op de bouwplaats vraagt dit extra aandacht bij het inzetten van bekistingen, stortvoorzieningen e.d. Bij prefab elementen kan al bij afname van de elementen worden vastgesteld of het beton aan de esthetische eisen van schoon beton voldoet. Speciale aandacht is nodig voor de bevestigingsmiddelen en stornaden tussen de elementen. Denk ook aan het gebruik van centerpennen voor de bekisting. Richtlijnen voor het toepassen van schoon beton zijn opgenomen in CUR-Aanbeveling 100.



Voorbeeld in het werk gestort schoon beton.

8.2 Verwerkbaarheid

In 2.4.1 is genoemd dat de verwerkbaarheid verschillende aspecten omvat. De aspecten die daar nog niet zijn besproken worden in dit hoofdstuk behandeld:

- transporteerbaarheid;
- verpompbaarheid;
- verdichtbaarheid;
- afwerkbaarheid.

8.2.1 Transporteerbaarheid

Het transport van betonspecie naar de plaats van verwerking kan op verschillende manieren gebeuren. Elke transportmethode stelt zijn eigen specifieke eisen aan de plasticiteit en de samenhang van de betonspecie. Tijdens het transport van de specie moet deze zijn homogene opbouw behouden. Daarom moet de betontechnoloog de te gebruiken transportmethode kennen voordat hij de speciesamenstelling maakt. In tabel 8.1 worden de meest voorkomende transportmethoden genoemd met een aantal toepassingsgebieden.

Tabel 8.1 *Transportmethoden van betonspecie naar en op het werk en de toepassingsgebieden.*

	transportmethode	toepassingsgebieden
1.	schokkende transportmiddelen: monorail, laadschop, vorkheftruck e.d.	De meeste soorten betonspecie zijn geschikt, maar deze transportmiddelen vragen extra aandacht voor de stabiliteit. Door het schokken kan droge specie uiteenvallen en natte specie ontmengen.
2.	open kiepwagen	Alleen betonspecie met lage consistentie en grote samenhang is hiervoor geschikt, aangezien vloeibare specie ontmengt. Bescherm bij langere rijafstanden de specie tegen weersinvloeden (vorst, regen en zon).
3.	truckmixer	Vooral geschikt voor half-plastische en plastische species. De kans op ontmenging is klein. De menger moet gedurende de gehele rijtijd de specie in beweging houden (agiteren). Ook geschikt voor ZVB.
4.	kubel en kraan	Vooral geschikt voor plastische en vloeibare species. De kans op ontmenging is klein. Ook geschikt voor ZVB.
5.	betonpomp	Alleen geschikt voor stabiele mengsels bij middelmatige en hogere plasticiteit. Discontinue gradering van het toeslagmateriaal is af te raden. Ook geschikt voor ZVB.
6.	transportband	Alleen geschikt voor betonspecie met een geringe plasticiteit en goede samenhang.

Figuur 8.1 toont een kubel aan een monorailbaan in een betonproductenfabriek.



Figuur 8.1 *Monorail met kubel.*

De uitvoeringsnorm NEN-EN 13670 geeft aanwijzingen over de maximaal toe te laten transporttijd. Normaal moet betonspecie binnen één uur verwerkt zijn. Als de specie in beweging wordt gehouden mag een verwerkingstijd van maximaal twee uur worden aangehouden. Door het toepassen van vertragers die de binding uitstellen mag hiervan worden afgeweken.

8.2.2 Verpompbaarheid

Onder verpompbaarheid van een specie verstaan we het gemak waarmee een specie door middel van een pompinstallatie over aanzienlijke afstanden kan worden verplaatst, zonder dat intussen ontmenging optreedt. Hiervoor moet de specie voldoende vloeibaar, maar vooral ook voldoende stabiel zijn. Bij het mengselontwerp wordt in het algemeen gerekend met een verhoogd aandeel fijne delen.

8.2.3 Verdichtbaarheid

De verdichtbaarheid van betonspecie kan worden omschreven als: de totale hoeveelheid energie die nodig is om een gegeven volume-eenheid van die specie te verdichten.

Verdichtbaarheid is een belangrijk aspect van de verwerkbaarheid. In de praktijk noemen we een specie goed verdichtbaar als we deze met gangbare apparatuur in redelijk korte tijd en zonder overmatige ontmenging volledig kunnen verdichten. Door het trillen wordt de wrijvingsweerstand tussen de korrels opgeheven en vormen de korrels een dichte pakking. De cementpasta fungeert daarbij als glijmiddel. Goed verdichten is een absolute voorwaarde voor het verkrijgen van dichte, sterke en duurzame betonconstructies.

Verdichtbaarheid is dus geen absoluut begrip, maar een subjectieve beoordeling en afhankelijk van de mogelijkheden bij de verwerking. Daarom kan de verdichtbaarheid van een zeer stugge specie in een fabriek voor betonproducten, waar men met veel verdichtingsenergie werkt, positief worden beoordeeld, terwijl dezelfde speciesamenstelling op een bouwplaats, waar trilnaalden worden gebruikt, als niet-verdichtbaar wordt omschreven.

8.2.4 Afwerkbaarheid

Het afwerken van een betonoppervlak moet leiden tot een vlak, hard, dicht en slijtvast beton. Naast de mengselsamenstelling, het moment en de wijze van afwerken, zijn de wijze van nabehandelen en de duur ervan bepalend voor het resultaat.

Het moment waarop kan worden gestart met het afwerken, is afhankelijk van de manier van afwerken, de mengselsamenstelling en omgevingstemperatuur. Bij een aardvochtige specie kan vrijwel direct na het verdichten worden gestart met het afrijen en dichtschuren van het oppervlak. Voorbeelden hiervan zijn het aanbrengen van dekvloeren in woningen en het machinaal aanleggen van betonwegen met een slipformpaver (figuur 8.2).

In andere gevallen, bijvoorbeeld bij monoliet afgewerkte betonvloeren, kan het afwerken van het specieoppervlak pas beginnen als de specie is begonnen met opstijven.



Figuur 8.2 Slipformpaver.

8.3 Betontechnologische aandachtspunten

In de volgende paragrafen worden aandachtspunten genoemd die van invloed kunnen zijn op de kwaliteit van het beton(product). Ze zijn onderverdeeld in:

- vóór het storten;
- tijdens het storten;
- na het storten (incl. nabehandelen en beschermen).

Voor de meeste aandachtspunten is de uitvoering verantwoordelijk. Op de bouwplaats is dat de uitvoerder met zijn personeel, in de fabriek is dat de halbaas met zijn personeel. Deze punten worden alleen genoemd, zonder dat ze verder zijn uitgewerkt.

De aandachtspunten voor de betontechnoloog worden uitgebreider beschreven.

8.3.1 Vóór het storten

Bij het maken van een constructiedeel, zowel op de bouwplaats als in de fabriek, zijn de voorbereidende werkzaamheden van belang voor het eindresultaat.

Op de bouwplaats zal in de meeste gevallen een constructiedeel moeten aansluiten op een eerder gestort deel. Als de constructeur is uitgegaan van een monolitische verbinding vraagt dit speciale aandacht voor de voegbehandeling van het bestaande constructiedeel. Andere mogelijkheden zijn dilatatievoegen of alleen contactvoegen.

Het vervaardigen van prefab elementen gebeurt altijd in mallen, waarbij er voorzieningen moeten worden ingestort waarmee de elementen kunnen worden gehesen en met elkaar kunnen worden verbonden. De hierna genoemde aandachtspunten zijn beschreven voor de

bouwplaats, maar kunnen met enige fantasie ook voor de prefab industrie worden beschouwd.

8.3.1.1 *Bekistingen*

Om het beton in de vorm te maken zoals op tekening is aangegeven, moet gebruik worden gemaakt van *bekistingen* of mallen.

Bekistingen worden in het algemeen op de bouwplaats gebruikt en worden ter plaatse in elkaar gezet. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in een traditionele wijze van bekisten met platen, baddingen en gordingen en in systeembekistingen.



Figuur 8.3 Bekisting voor een tunnel.

Een *tunnelbekisting* is een benaming voor een systeembekisting die men zowel in de tunnelbouw als in de woningbouw gebruikt.

In de civiele betonbouw wordt met de term bedoeld een bekisting voor de bouw van een tunnel (figuur 8.3).

In de Burgerlijke en Utiliteitsbouw (B&U) wordt met de term een bekisting bedoeld, waarmee in de “warme en koude gietbouw” cyclusmatig verdiepingen in de ruwbouw worden gestort. Warme en koude gietbouw zijn benamingen voor de manier waarop met temperatuurbeheersing de verharding van het beton wordt beïnvloed (figuur 8.4).



Figuur 8.4 Tunnelbekisting, toegepast voor de warme of koude gietbouw in de woningbouw.

Mallen worden in fabrieken gebruikt voor het maken van prefab-betonelementen.

Bekistingen moeten de belasting van het beton kunnen dragen. Het is de taak van de constructeur een bekisting te ontwerpen die voldoende sterk en stijf is.

Bekistingen moeten ook zodanig worden gemaakt, dat ze de kwaliteit van de betonspecie niet nadelig beïnvloeden. Bij het vervaardigen van de betonspecie is immers veel aandacht besteed aan de samenstelling ervan en die moet niet veranderen als het beton in de bekisting is gebracht. Daarom vragen de volgende aspecten extra aandacht:

- aanbrengen ontkistingsmiddel, dat geschikt is voor gebruikte bekisting;
- afdichten van naden tussen bekistingsplaten;
- afdichten van spoel- en stortluiken;
- aansluiten van conussen van centerpenen;
- zijn uitgangspunten voor bekistingontwerp bekend?

Een betontechnologisch aspect bij vooral een hoge bekisting (zoals een kolom of wand) is de grootte van de horizontale speciedruk. De volgende factoren zijn van invloed op de horizontale speciedruk:

- consistentie van de specie;
- stijgsnelheid en hoogte van de specie;
- methode en intensiteit van verdichten;
- temperatuur van de specie;
- temperatuur van de omgeving;
- gebruik van vertragende hulpstof;
- volumieke massa van de specie.

In principe moeten we uitgaan van het hydrostatisch verloop van de horizontale speciedruk. Deze wordt echter verlaagd na verdichting en begrensd zodra begin binding van het cement is bereikt. Hoe sneller het cement reageert, des te eerder wordt de grenswaarde bereikt. Dat houdt in dat bijvoorbeeld in de zomer met een hogere stijgsnelheid kan worden gestort dan in de winter. Of dat bij toepassing van een vertrager rekening moet worden gehouden met een vertraagde binding en dus met een hogere speciedruk. Bovengenoemde invloedsfactoren zijn in detail in de NEN-EN 13670 aangegeven.

Het is voor de uitvoerder, maar ook voor de betontechnoloog, belangrijk dat de uitgangspunten, die de constructeur heeft aangenomen, bekend zijn.

In de vervolgcursus voor betontechnoloog wordt dit aspect uitgebreid behandeld.

8.3.1.2 *Betonstaal*

De constructeur bepaalt de hoeveelheid wapening in een betonconstructie. Als in een constructiedeel zoveel betonstaal bij elkaar komt dat er nauwelijks betonspecie kan worden ingebracht, is het raadzaam contact op te nemen met de constructeur opdat hij kan vaststellen of de wapening veranderd kan worden. Als laatste mogelijkheid kan worden overwogen om de speciesamenstelling aan te passen. De meest voor de hand liggende oplossing is het gebruik van toeslagmateriaal met een kleinere grootste korrelafmeting: in de praktijk is het gebruik van 'spramex-beton' (met een $D = 16$ mm) een begrip geworden. Toeslagmateriaal met een kleinere grootste korrelafmeting heeft een groter oppervlak per volume en vraagt daarom meer water om dezelfde verwerkbaarheid te verkrijgen. Om eenzelfde sterkte te verkrijgen mag de water-cementfactor niet veranderen en dat betekent dat er ook meer cement nodig is. Voor betonconstructies waarin grenzen zijn gesteld aan de temperatuurontwikkeling, kan dit bijvoorbeeld tot gevolg hebben dat de kans op scheurvorming groter wordt.



Wapeningsstaal of betonstaal
Zou daar nog specie tussen passen?



Voorspanstaal

8.3.1.3 *Voorspanstaal*

Voorspanstaal ligt in het algemeen dieper in de constructie dan betonstaal. De duurzaamheid is dus gewaarborgd. Er wordt onderscheid gemaakt in systemen met en zonder aanhechting. Voorspanning met aanhechting kan worden onderscheiden in systemen met vooraf (vóór het storten) gespannen draden en systemen met achteraf (na het storten) gespannen draden en staven. Voorspanning zonder aanhechting wordt altijd achteraf gespannen.

Voor systemen waarin de draden vóór het storten worden gespannen, is een zware vormvaste constructie nodig om de spankracht in de draden op te vangen. Denk hierbij aan de productie van betonpalen in zeer lange bekistingsmallen.

Voor het achteraf spannen van draden en staven moeten buizen in het beton worden ingestort waarin de voerspandraden en -staven na het ontkisten kunnen worden geplaatst. Deze buizen noemen we omhullingsbuizen. Het gebruik van de omhullingsbuizen vraagt extra aandacht bij het aanbrengen ervan. Voorkomen moet worden dat de buizen verplaatsen (denk aan opdrijven) en dat door lekkage de buizen vollopen met specie of cementwater. Dat vraagt om speciale aandacht bij het doorkoppelen van de buizen.

Speciale aandacht moet bij voorspanstaal uitgaan naar het goed beschermen van de verankeringen. Deze worden meestal verdiept in sparingen aangebracht. Na het plaatsen van de verankeringen en het spannen van de voorspanelementen, moeten de sparingen worden opgevuld. De verankering wordt dan in hetzelfde beschermende milieu gebracht als de rest van de voorspanning.

Voor het vullen van de sparingen wordt vaak gebruikgemaakt van een krimparme mortel (en soms van een spuitmortel). De spankanalen worden in de meeste gevallen gevuld met een injectiespecie.

8.3.1.4 *Voorbewerken van stortnaden en -voegen*

Betonconstructies worden bijna altijd in gedeelten gemaakt. De contactvlakken tussen de constructiedelen kunnen op twee manieren zijn ontworpen: zonder of met vaste verbinding tussen de delen.

Als de constructiedelen onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen, hebben we te maken met een *dilatatievoeg*. Deze wordt vooral in constructies van grote lengte (denk aan tunnels) aangebracht. We hebben dan te maken met normaal bekiste oppervlakken.

Als de constructiedelen vormvast met elkaar worden verbonden, is er sprake van een monolitische verbinding. De naad ertussen noemt men een *stortnaad* (of stortvoeg). In het eerst gestorte beton zijn stekken ingestort, terwijl het stortfront ruw wordt afgewerkt. Daardoor ontstaat een goede hechting tussen oud en nieuw beton.

De belangrijkste methoden voor het ruw maken van een stortnaad zijn:

- het gebruik van haringgraatstaal (alleen bij verticale stortnaden);
- het gebruik van een oppervlaktevertrager (bij horizontale stortnaden);
- het stralen van het oppervlak;
- het boucharderen (= het opruwen met behulp van een naaldhamer) van het oppervlak;
- het onder hoge druk met water stralen van het oppervlak.

Ook voor prefab-betonelementen geldt veelal dat deze monolitisch met andere onderdelen moeten worden verbonden. Door middel van verankeringen en mortelvoegen worden deze verbindingen gecreëerd. De contactvlakken van de betonelementen met de voegmortels worden dan van de cementhuid ontdaan (tot de grindkorrels zichtbaar zijn). Daarvoor kunnen dezelfde technieken als voor een ter plaatse gestorte constructie worden gebruikt.

8.3.1.5 *Omvang van het stort*

Ruim voor de stortdatum moet bekend zijn hoeveel betonspecie moet worden geleverd. Dit vraagt, vooral bij complexe constructies, soms veel rekenwerk. In die berekening wordt de theoretische hoeveelheid beton bepaald, zonodig met aftrek van het beton- en voorspanstaal.

Voor betonproducten die in een mal worden gestort, is de inhoud meestal wel bekend.

Naast de omvang van het stort moet de stortsnelheid worden bepaald. De uitvoerder bepaalt in overleg met de leverancier de stortcapaciteit, afgestemd op de mengcapaciteit van de betoncentrale en de verwerkingssnelheid op het werk. Op grond van de rijtijd en eventuele filegevoeligheid van het traject, bepaalt de leverancier hoeveel truckmixers hij inzet.

8.3.1.6 *Controle voor het storten*

Voorafgaand aan het storten moeten bekisting en wapening worden gecontroleerd. In elk geval moeten verwijderd zijn:

- houtdelen;
- zand;
- restjes binddraad (verwijderen met magneet);
- resten betonstaal;
- en alles wat niet in de bekisting thuishoort zoals plastic bekertjes, labels, poetslappen, piepschuim e.d.;
- eventueel sneeuw en ijs van bekisting en betonstaal.

De hierboven genoemde aandachtspunten zijn vooral van toepassing op de bouwplaats. Bij het vervaardigen van prefab elementen worden de wapeningskorven meestal buiten de mal samengesteld. Na het aanbrengen van het ontkistingsmiddel kan men de wapeningskorf in de mal plaatsen. Dit resulteert in nagenoeg geen verontreiniging van de mal en de wapening.

8.3.2 Tijdens het storten

8.3.2.1 *Stortvoorzieningen*

Bij het betonstorten moet de specie zo dicht mogelijk op de plaats van bestemming worden gebracht. Dit vraagt speciale voorzieningen zoals stortgoten voor het horizontaal verplaatsen van de specie en stortpijpen voor het vullen van wanden en kolommen. De vrije val van de betonspecie moet beperkt blijven tot circa 1 m. Bij het storten van grotere hoogte kan de specie uiteenvallen en dus ontmengen (grindnesten). Zelfverdichtende betonspecie kan door de enorme samenhang een grotere valhoogte hebben.

Bij het gebruik van een betonpomp moet de stortslang door het betonstaal worden gestoken. Liggen de staven te dicht bij elkaar, dan moeten speciale sparingen worden gemaakt. Als rollend materieel zoals kruiwagens wordt ingezet, moeten over de vloerwapening rijbanen worden gemaakt. Verzakking van de bovenwapening moet worden voorkomen door bijvoorbeeld extra supportliggers te gebruiken.

8.3.2.2 *Het transport van betonspecie*

Het transporteren van betonspecie op de plaats van verwerken kan op verschillende manieren gebeuren, met:

- *een betonpomp*
Een vaste of mobiele pomp met een leiding van staal of kunststof brengt de specie rechtstreeks in de bekisting (figuur 8.5). De voorkeur gaat uit naar betonspecie in consistentieklasse S3. Maar ook betonspecies in de consistentieklassen S2 en S4 zijn goed te verpompen. Om ontmenging en daardoor verstoppingen te voorkomen, is een

doeltreffende controle op de betonspecie noodzakelijk. Wisselingen in korrelopbouw van het mengsel en in de consistentie moeten we vermijden.



Figuur 8.5 Betonpomp.

Het verpompen stelt aanvullende eisen aan de betonsamenstelling, zoals een verhoging van de hoeveelheid fijn materiaal en een goede gradering van het toeslagmateriaal. Bedenk dat beton met extra lucht moeilijker of geheel niet te verpompen is. Er bestaan diverse typen speciepomp die elk aparte eisen stellen aan de eigenschappen van de specie.

We onderscheiden de volgende typen pomp:

- plunjerpomp, geschikt voor species in consistentieclassen S2, S3 en F4;
 - slangenpomp, geschikt voor (dun) vloeibare species;
 - wormpomp, geschikt voor vloeibare species, zoals schuimbeton;
 - pneumatische pomp, geschikt voor aardvochtige species.
- *een kubel*
Deze wordt gevuld vanuit een silo of direct vanuit de menger of de truckmixer. Alle plastische consistenties zijn te verwerken, hoewel we bij zeer plastische species aandacht moeten besteden aan het verlies van cementwater (figuur 8.6).



Figuur 8.6 Kubel.

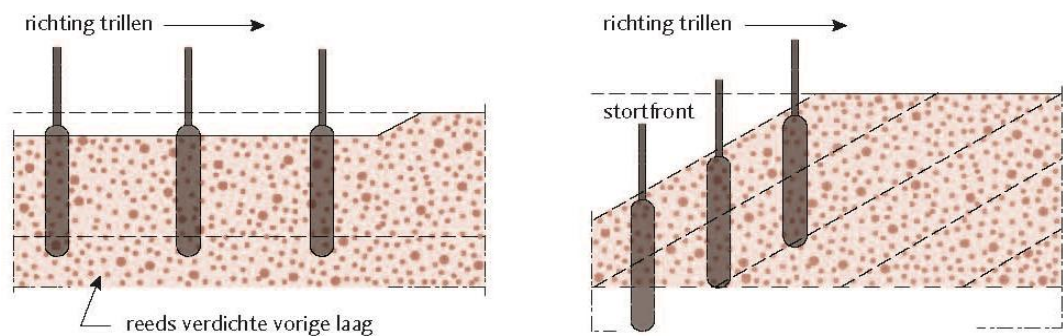
- *een stortgoot*
Hiermee wordt betonspecie eenvoudig en snel in het werk gebracht. Bij gebruik van een stortgoot geen te plastische specie toepassen, omdat de kans op ontmenging dan groot is. Om toch voldoende uitstroom van de specie te krijgen, moet de goot voldoende steil worden opgesteld. De specie moet een relatief hoog gehalte aan fijn materiaal bezitten.
- *een transportband*
Deze is alleen geschikt voor het transporteren van aardvochtige of half-plastische specie. Als de transportweg te lang wordt, moeten we de specie bovendien beschermen tegen uitdrogen, bijvoorbeeld met een overkapping. Ook als het regent, is een dergelijke bescherming noodzakelijk. Op bouwwerken komen de transportbanden weinig voor; de grootste toepassing is in de betonproductenindustrie, waar vaak de betonspecie door grote fabriekshallen moet worden verplaatst (figuur 8.7).
- *rollend materieel zoals (motor)japanners of vrachtauto's voorzien van speciale kiepbakken*
Bij deze transportmiddelen is de kans op ontmenging groter. We kunnen ontmenging tegengaan door de consistentie laag te houden, te zorgen voor goede, vlakke transportwegen op het werk en de transportafstand te beperken.
- *stortbakken via monorail*
Deze worden vooral in de betonproductenindustrie toegepast en zijn geschikt voor betonspecie in consistentieclassen C1, S2 of S3. Als ze voor zelfverdichtend beton worden gebruikt, moeten ze zijn voorzien van een roerwerk.



Figuur 8.7 Transportband

8.3.2.3 *Het storten van betonspecie*

Het storten van wanden, vloeren en hoge balken kan op twee manieren worden uitgevoerd: in lagen of met een stortfront (figuur 8.8).



Figuur 8.8 *Storten in lagen en met stortfront.*

Bij het storten in lagen is het raadzaam de laagdikte te beperken tot circa 300 mm. De verdichting moet snel gebeuren, opdat de nieuwe laag een homogeen geheel vormt met de eerder gestorte laag. De trilnaald zal daartoe 100 tot 150 mm in de diepere laag moeten worden gestoken. De stortsnelheid moet zo worden gekozen, dat een nieuwe laag wordt gestort op de vorige voordat de binding in de reeds verdichte laag optreedt. Met behulp van een vertrager in de betonspecie kan de tijd tussen de opeenvolgende lagen worden vergroot.

Bij storten *met stortfront* stort men de specie geleidelijk, onder voortdurend verdichten, tot de volle hoogte bij het begin van een balk, vloer of wand. Het talud dat zich vormt, zal ook steeds moeten worden verdicht. Deze wijze van storten is gevoeliger voor ontmenging dan het storten in lagen. De consistentie van de specie mag dan ook niet groter zijn dan volgens consistentieklasse S2. De stortsnelheid bij het werken met een stortfront kan aanzienlijk groter zijn dan bij laagsgewijs storten.

Als laatste ontwikkeling noemen we het storten van zelfverdichtende betonspecie, die ondanks de vloeibaarheid toch voldoende samenhang heeft. Deze samenhang krijgen we door vulstoffen in combinatie met een derde-generatie superplastificeerder te gebruiken. De betonspecie wordt meestal in het werk gebracht met een pomp. Ze is zo vloeibaar, dat ze zichzelf verdicht, zodat verdichten met trilnaalden niet nodig is. Deze specie is duurder dan normale betonspecie, maar de besparing van personeel maakt veel goed. Ze wordt op de bouwplaats vooralsnog alleen bij moeilijk toegankelijke constructies toegepast, doch is in principe geschikt voor alle constructies met een horizontaal bovenvlak.

In de betonproductenindustrie is de toepassing van zelfverdichtend beton inmiddels wijd verspreid, vooral vanwege de gunstigere arbeidsomstandigheden. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met de lagere productiecapaciteit in verband met een langere mengtijd.

8.3.2.4 *Het verdichten van betonspecie*

Bij het storten van de betonspecie ontstaan, ten gevolge van ingesloten lucht, holten in de specie en tussen de specie en de wand van de bekisting. De vloeibaarheid van de specie is in het algemeen niet zodanig dat deze holten zonder verder ingrijpen en alleen onder invloed van de zwaartekracht worden opgevuld. De inwendige wrijving van de specie staat een volledige verdichting in de weg.

De betonspecie is opgebouwd uit delen met een verschillende volumieke massa. Onder invloed van de zwaartekracht bestaat er daarom een neiging tot ontmenging. Dat wil zeggen dat de zwaardere delen (het grove grind) willen uitzakken. Inwendige wrijving gaat de ontmenging tegen. Hoe groter de inwendige wrijving, des te geringer de ontmenging. Het verdichten vermindert de inwendige wrijving, waardoor de neiging tot ontmengen weer toeneemt.

Wanneer een vloer of wegdek wordt verdicht met behulp van een oppervlaktetriller, worden alle fijne delen opgeschud. Na het trillen bezinken de zandkorrels na enkele seconden, terwijl de cementdeeltjes veel langzamer zakken. Het betonoppervlak bestaat daardoor vaak overwegend uit cementpasta, terwijl de laag eronder weinig cement bevat. Bij het uitdrogen van het beton kan de buitenste laag gemakkelijk afschilferen en komt het schrale beton, dat een slechte duurzaamheid en slijtweerstand heeft, aan het oppervlak. Het is daarom van groot belang dat de mengselsamenstelling wordt afgestemd op de wijze van verdichten, zodat het ontmengingsproces niet of nauwelijks kan plaatshebben.

Het verschijnsel bleeding of waterafscheiding staat in nauwe relatie tot de verwerkbaarheid. Een specie die een grotere plasticiteit heeft dan noodzakelijk is in verband met de beschikbare verdichtingscapaciteit, zal tijdens het verdichten een sterke waterafscheiding vertonen. Een zeer plastische specie met in rusttoestand nog juist voldoende stabiliteit, mag zeker niet worden getrild! Het glanzen van het specieoppervlak, dat veelal een kenmerk is van voltooiing van het verdichten, is feitelijk ook een eerste symptoom van waterafscheiding. Uiteraard komt waterafscheiding tot stilstand door het opstijven van de specie, dus door de binding.

Uit dit alles volgt dat de verdichtingsenergie (dus de verdichtingsmethode) en de verwerkbaarheid van de specie precies op elkaar moeten zijn afgestemd. Onvoldoende verdichting leidt tot ongewenste holle ruimten in het beton, teveel verdichting kan leiden tot het ontmengen van de betonspecie. Er bestaan talrijke verdichtingsmethoden met zeer verschillende intensiteit. Voor verdichten van betonspecie op de bouwplaats komt voornamelijk het trillen met trilnaalden of met bekistingstrillers in aanmerking.

Schokken, centrifugeren, persen en walsen zijn methoden die alleen in de betonproducten-industrie worden toegepast.

Verdichten met de hand

Methoden die in de praktijk nauwelijks nog worden gebruikt zijn *porren*, *kloppen* en *stampen*. De invloedssfeer van deze methoden is beperkt, maar voor dunne constructies zijn ze nog wel toepasbaar. Daarbij is het porren en kloppen geschikt voor plastische species, terwijl het stampen voor de stijvere species geschikt is.

Mechanisch verdichten

Het *stampen* met een persluchtstamper is alleen geschikt voor vloeren met een geringe dikte.

Bij het *trillen* van de betonspecie worden de vaste bestanddelen, bijvoorbeeld met behulp van zogenoemde *trilnaalden*, in een snelle, heen en weer gaande beweging gebracht (figuur 8.9). Hierdoor loopt de inwendige wrijving zeer sterk terug. De eerst betrekkelijk stijve specie wordt hierdoor als het ware vloeibaar en vult de aanwezige holten op.



Figuur 8.9 Foto van verdichten met een trilnaald.

Voor een goede overdracht van de trillingen op de specie is een goed contact tussen de trilapparatuur en de specie noodzakelijk. In betonproductenfabrieken is het mogelijk zeer droge specie te verwerken door intensieve verdichting en eventueel een gelijktijdig aanbrengen van bovendruk (bijvoorbeeld bij de productie van stenen, tegels en trottoirbanden). Op het bouwwerk moet de te verwerken betonspecie meer water bevatten. Bij het gebruik van een trilnaald is de plasticiteit van de specie goed, wanneer het trilgat net sluit als de trilnaald er langzaam wordt uitgetrokken.

Door te trillen kan beton van grote sterkte en duurzaamheid worden vervaardigd. We moeten dan wel een specie gebruiken die is afgestemd op het trillen, dat wil zeggen een specie met een betrekkelijk lage water-cementfactor en een relatief hoog grindgehalte. Zo mag een zeer plastische specie eigenlijk alleen via porren worden verdicht. Het trillen van een dergelijke specie geeft grote kans op ontmenging.

Door het trillen wordt de horizontale betonspeciedruk op de bekisting plaatselijk groter dan normaal. De bekisting moet daarop zijn ontworpen.

We onderscheiden de volgende trilapparaten:

- trilnaalden;
- oppervlaktetrillers (figuur 8.10);
- bekistingstrillers;
- triltafels;
- trilplaten en trilbalken.



Figuur 8.10 Verdichten met oppervlaktetriller.

Bijzondere verdichtingsmethoden

Bijzondere methoden van verdichten zijn:

- schokken;
- centrifugeren;
- vacuümbehandelen;
- persen;
- walsen.

8.3.2.5 *Het afwerken van betonspecie*

Het horizontale oppervlak van gestorte constructiedelen of -elementen (vloeren en platen) moet worden afgewerkt. Daartoe wordt het oppervlak na het verdichten van de specie 'afgerijd' met behulp van een goede rechte afrijplank. Niet te plastische betonspecie kan daarna direct worden afgewerkt met behulp van een houten schuurbord (figuur 8.11).

Als bij het storten een vrij hoge zetmaat wordt aangehouden, laat men de betonspecie na het afrijen gewoonlijk enige tijd met rust. Veelal heeft zich dan op het oppervlak een dunne laag water gevormd, die vrij snel (vaak binnen 1 uur) weer verdwijnt. Als de specie enigszins is opgestijfd, kan het oppervlak worden afgewerkt met een schuurbord.



Figuur 8.11 Houten en stalen schuurbord.

Vooral bij vloeren, maar ook wel bij andere constructiedelen, kan het nodig zijn het betonoppervlak ook nog af te pleisteren met een stalen spaan. Als dit vakkundig gebeurt, kan een zeer glad en dicht betonoppervlak ontstaan. Het afwerken van vloeren kan ook mechanisch geschieden met schuur- en pleistermachines (het zogenoemde 'vlinderen'). Als we de specie verdichten met een trilbalk, kunnen we de gehele tril- en afwerkfase mechaniseren (figuur 8.12).



Figuur 8.12 Mechanisch vlinderen.

Gebruik van specie met een lage consistentie voor vloeren heeft als bijkomend voordeel dat snel kan worden ontkist vanwege de hoge aanvangssterkte. Het betonoppervlak kan pas worden afgewerkt als de waterafscheiding nagenoeg is beëindigd.

Dit betekent dat alleen bij gebruik van een specie waarin na het verdichten praktisch geen waterafscheiding optreedt, de afwerking vrijwel direct na het verdichten kan plaatshebben.

8.3.3 Na het storten (nabehandelen en beschermen)

8.3.3.1 *Nabehandelen*

In betonspecie is water aanwezig dat voor de chemische reactie tussen cement en water nodig is. Maar er zit meestal meer water in, omdat de sterkte en milieuklasse dat toelaten en om de specie te kunnen verwerken, afhankelijk van de gekozen consistentie. Na het verdichten en afwerken kan water verdampen, tenzij maatregelen worden genomen om dit tegen te gaan. De verdamping wordt groter als de relatieve vochtigheid van de lucht afneemt en de temperatuur stijgt. Bij veel zon, harde wind en een hoge buitentemperatuur is de verdampingsnelheid zeer hoog.

Bij constructies met een groot oppervlak zoals vloeren, kan de verdamping zo ver gaan dat daardoor in het oppervlak te weinig water overblijft voor een reactie met het cement. Daar ter plaatse wordt het oppervlak dus niet hard, maar blijft het zanderig. Vaak komen er scheuren in het beton. Dit soort vloeren gaat stuiven en het oppervlak is weinig slijtvast. Als de snelle uitdroging al in het plastische stadium optreedt, zal het oppervlak een onregelmatig scheurenpatroon vertonen. Dit zijn plastische krimpscheuren.

Scheuren die het patroon van de bovenwapening volgen, zijn een typisch verschijnsel bij vloeren die met een te hoge consistentie zijn gestort en/of niet goed zijn verdicht. Al deze scheuren in het plastische stadium kunnen bij snel ingrijpen door opnieuw schuren worden weggewerkt, maar er moet op worden gelet dat niet alleen de buitenzijde wordt dicht geschuurd; de scheuren lopen vaak door tot onder de wapening en een diepere krimpscheur mag daarom ook niet blijven bestaan.

Om te voorkomen dat water voortijdig uit het beton kan verdampen, moeten we een doeltreffende *nabehandeling* uitvoeren. Dat kan door:

- de bekisting te laten staan;
- voortdurend natspuiten;
- onder water zetten (van een vloer of een weg);
- afdekken met nat zand, natte jute, kunststof folie of dekzeilen;
- opspuiten van een 'curing compound' (figuur 8.13).

Aan het water dat hiervoor wordt gebruikt, worden minder strenge eisen gesteld dan aan aanmaakwater (zie hoofdstuk 4). Het contact met het beton is immers alleen aan het oppervlak.

Ongeschikt voor nabehandeling zijn:

- water dat de hydratatie van cement sterk vertraagt; het zou de oppervlaktekwaliteit nadelig kunnen beïnvloeden;
- water met een hoog chloridengehalte, bijvoorbeeld zeewater, omdat de chloriden het beton kunnen binnendringen met kans op corrosie van de wapening;
- sulfaathoudend water, gezien de invloed op de chemische reactie van cement;
- ijzerhoudend bronwater, omdat dit lelijke vlekken op het betonoppervlak kan veroorzaken;
- water met grote temperatuurafwijking ten aanzien van het te behandelen oppervlak.



Figuur 8.13 Nabehandelen met curing compound.

De duur van de nabehandeling hangt af van:

- de mengsamenstelling:
 - water-cementfactor;
- de verhardingssnelheid:
 - cementsoort en -klasse;
 - vulstoffen;
 - water-cementfactor;
 - specie- en omgevingstemperatuur;
 - hulpstoffen / vertragers;
- de verdampingssnelheid:
 - luchttemperatuur;
 - relatieve vochtigheid van de lucht;
 - windsnelheid;
 - zonbestraling.

De invloed van enkele van deze factoren is complex. Zo geeft een hogere water-cementfactor beton met meer capillaire poriën. Dit beton is daardoor meer permeabel en vraagt daarom een langere nabehandeling.

Een hogere betontemperatuur versnelt de hydratatie, maar als warm beton voortijdig aan koude lucht wordt blootgesteld, kan het ernstig afkoelen waardoor er ten gevolge van de temperatuurschok scheurvorming kan ontstaan. Vooral bij versnelde verharding moeten we hierop bedacht zijn. Dit geldt trouwens ook voor het nabehandelen met koud water.

Een ander risico is het voortijdig uitdrogen van het betonoppervlak, waardoor het beton meer permeabel wordt. Dit is vooral riskant bij beton dat in de gebruiksfase aan de buitenlucht is blootgesteld.

De nabehandelingsduur moet worden verlengd als de verhardingssnelheid lager is. Dus bij lage temperatuur en bij gebruik van een traag cement moet langer worden nabehandeld. Zo is de nabehandelingstijd voor beton met CEM III/A of B langer dan voor beton met CEM I in dezelfde sterkteklasse.

In de NEN-EN 13670 en de NEN 6722¹ is vastgelegd, hoelang we het beton moeten nabehandelen. De nabehandelingsduur is een functie van de ontwikkeling van de betonsterkte in het betonoppervlak. De betonsterkte meten we als kubusdruksterkte.

¹ Binnenkort verschijnt naar verwachting een herziene versie van de NEN 6722, de NEN 8670, als Nationale bijlage bij de Europese Uitvoeringsnorm NEN-EN 13670.

Het beton moet worden nabehandeld tot het bereiken van een betonsterkte in het oppervlak van ten minste 50% van de voorgeschreven sterkteklasse (dit is afhankelijk van de gekozen uitvoeringsklasse; voor uitvoeringsklasse 2 geldt de 50%). Dit is niet van toepassing op beton in milieuklassen X0 en XC1, want daarvoor geldt een minimale nabehandelingsduur van een halve dag.

Om de druksterkte van de betonconstructie te bepalen, is de methode van de gewogen rijpheid het meest voor de hand liggend. Dit vraagt om een rijpheidsgrafiek (zie NEN 5970) waarin het verband wordt aangegeven tussen enerzijds het product van de verhardingstijd en de temperatuur (rijpheid) en anderzijds de daarbij horende sterkte van het jonge beton.

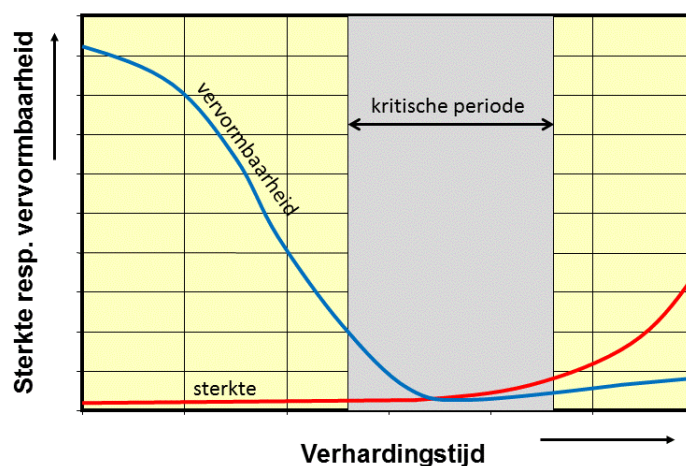
Toch zullen er aannemers zijn die geen gebruik willen maken van de methode van de gewogen rijpheid of van een van de andere methoden voor het bepalen van de verhardingssterkte (zoals het bepalen van de druksterkte van verhardingskubussen).

Deze zullen dan volgens NEN-EN 13670 voor de nabehandelingsduur moeten uitgaan van een in tabellen vastgestelde tijd, die afhankelijk is van de sterkteontwikkeling van het beton en de gekozen uitvoeringsklasse.

Voor het nabehandelen van stortnaden is het gebruik van een curing compound niet toelaatbaar, omdat curing compound de hechting aan het betonoppervlak vermindert. Voor stortnaden kiest men vaak voor het gebruik van een oppervlakervertrager, die echter niet als nabehandelingmethode mag worden gezien. Aanvullende maatregelen zijn nodig om verdamping tegen te gaan.

Naast de nabehandeling die bedoeld is om uitdroging van het jonge beton te voorkomen, moet dit beton ook worden beschermd tegen mogelijke beschadiging door temperatuurschokken of belastingen. Dit wordt dan ook het beschermen van jong beton genoemd.

Hetzelfde geldt voor het beschermen tegen trillingen. Jong beton kent een kritische periode van geringe vervormbaarheid en nog zeer lage sterkte. Na verwerken en verdichten blijft de specie eerst gedurende een aantal uren nog redelijk vervormbaar en heeft nauwelijks sterkte. Daarna neemt de sterkte langzaam toe terwijl de vervormbaarheid juist vrij snel afneemt (zie figuur 8.14). Hierdoor is na enkele uren de vervormbaarheid al sterk verminderd en de sterkte nog heel laag. In de praktijk betekent dit dat beton in de periode tussen ca. 5 en 20 uur na aanmaak gemakkelijk kan scheuren.



Figuur 8.14 Ontwikkeling sterkte en vervorming van jong beton.

8.3.3.2 *Ontkisten*

De bekisting kan worden verwijderd als het verhardende beton voldoende sterkte bezit om de spanningen op te nemen die door het eigen gewicht van de constructie en door windbelasting (vooral bij wanden) optreden. Bij het verwijderen van de bekisting moet de constructie zichzelf gaan dragen.

Het beton moet ook voldoende sterkte bezitten om de plaatselijke krachten op te vangen die soms moeten worden uitgeoefend om de bekisting te lossen. Daarbij wordt ook van het bouwplaatspersoneel extra aandacht gevraagd om beschadigingen te voorkomen.

Het is de taak van de constructeur om, op basis van de stabiliteit van het constructiedeel en de vervormingen die erin kunnen optreden, aan te geven bij welke sterkte mag worden ontkist. Vooral niet-dragende onderdelen worden nogal eens in een te vroeg stadium van de verharding ontkist.

Uit oogpunt van stabiliteit en vervorming is de sterkte dan ruim voldoende, maar een ruwe behandeling tijdens het ontkisten kan dan toch tot schade aan het beton leiden.

Ontkistingssterkte

In NEN-EN 13670 zijn regels voor het ontkisten vastgelegd; daarbij zijn er twee mogelijkheden. De sterkte van het verhardende beton kan worden gemeten, waarna dit kan worden ontkist, óf voor het ontkisten kan een zekere wachttijd in acht worden genomen. Deze laatste methode kan worden toegepast wanneer het tijdstip van ontkisten er in het totale bouwproces niet toe doet: dus wanneer het niet uitmaakt of de bekisting een dagje langer moet staan.

In alle andere gevallen moet de sterkte van het beton in de bekisting worden gemeten. Als deze groter is dan of gelijk is aan de door de constructeur berekende minimaal benodigde sterkte, mag worden ontkist. De ontkistingssterkte wordt altijd opgegeven als gemiddelde kubusdruksterkte van drie waarnemingen.

Methoden om de sterkte te bepalen

De NEN-EN 13670 noemt de methoden die kunnen worden gebruikt om de verhardingssterkte te bepalen. Deze methoden worden in hoofdstuk 10 behandeld. De traditionele *verhardingsproef* gebruikt men vooral bij het vervaardigen van dunwandige constructies. De *verhardingsproef met temperatuurregeling* is favoriet bij het vervaardigen van constructies van massabeton. Daarbij kunnen in de kern van de dikke constructiedelen hoge verhardingstemperaturen ontstaan, terwijl de oppervlakte veel meer de temperatuur van de omgeving aanneemt. Voor dergelijke constructies is sterktemeting met verhardingskubussen weinig representatief. De kubussen verharderen namelijk in een omgeving waarin de temperatuur vaak achterblijft bij die van de constructie. Hierdoor zijn de gemeten verhardingssterkten in de kubussen aanmerkelijk lager dan de bereikte sterkte in de constructie.

Door de kubussen in een waterbak met temperatuurregeling te plaatsen, kunnen deze onder dezelfde omstandigheden verharderen als de constructie. De meest geschikte, en ook toegepaste methode is die van de *gewogen rijpheid*; hieruit kunnen representatieve waarden voor de verhardingssterkte worden afgeleid.

Bij de productie van prefab elementen wordt de verhardingssterkte ook vaak gemeten met behulp van de terugslaghamer. Voor bouwplaatsen leent dit instrument zich minder, door de grote diversiteit in betoneigenschappen. Prefab elementen worden vaak dagelijks met de zelfde betonspecie en onder gelijke omstandigheden vervaardigd. Het is dan mogelijk voor de terugslaghamer een betrouwbare correlatie tussen terugslagwaarde en druksterkte te verkrijgen.

Beoordelen van betonoppervlak na ontkisten

Nadat de bekisting is verwijderd, kan het betonoppervlak worden beoordeeld op eventuele onvolkomenheden. Veel voorkomende onvolkomenheden zijn grindnesten, zandstrepen, luchtblazen, scheuren en dergelijke. Bij het storten en verdichten heeft men natuurlijk zijn uiterste best gedaan om dergelijke onvolkomenheden te voorkomen, maar ondanks al die inspanning kunnen ze blijven ontstaan. Als hiervan wordt uitgegaan kan men bij voorbaat al bepalen hoe dergelijke onvolkomenheden moeten worden hersteld. Dit is meer een taak voor de betontechnologisch adviseur.

8.3.3.3 *Aandachtspunten betonproductenindustrie*

Ontkisten van elementen

Producenten van betonproducten richten hun productieproces zo in, dat de producten zo snel mogelijk kunnen worden ontkist. Vaak wordt gewerkt met een productiecyclus van minder dan één dag.

Dit betekent dat in één bepaalde mal elke dag één of meer elementen worden gemaakt.

Bij het ontkisten moet een element meestal uit de mal worden gehesen. Het moet dus voldoende sterkte hebben om het eigen gewicht te kunnen dragen. Ook in dit geval moet de constructeur aangeven bij welke gemiddelde kubusdruksterkte het element mag worden opgehesen.

In- en extern transport

Betonproducten worden binnen de fabriek van de ene naar de andere plek vervoerd (intern transport) en van de fabriek naar de klant (extern transport).

Het intern transport gebeurt meestal over een geringe afstand: van de fabriek (binnen) naar de opslag (buiten). Omdat het beton nog jong is, vereist dit uiterste voorzichtigheid om beschadigingen te voorkomen.

In de winter vraagt dit transport speciale aandacht. De producten kunnen dan een zodanige temperatuurschok krijgen, dat ze scheuren. Dit kan worden voorkomen door ze bijvoorbeeld een dag langer binnen te bewaren, waardoor ze langzamer kunnen afkoelen. Ook kunnen de producten van een isolatie worden voorzien voordat ze naar buiten gaan.

Bij het extern transport staan de producten aan relatief zware stootbelastingen bloot. Dit betekent dat de sterkte bij het extern transport aanzienlijk hoger moet zijn dan bij het intern transport. Het komt dan ook zelden voor dat elementen de dag na het storten naar de klant kunnen worden gebracht.

8.3.4 *Bijzondere omstandigheden*

De aandachtspunten die in paragraaf 8.3 zijn besproken, zijn allemaal afgestemd op een normale temperatuur van gemiddeld 15 ± 5 °C. In Nederland kennen we zowel hogere als lagere temperaturen. In het buitenland kunnen de verschillen nog groter zijn. In de volgende paragrafen wordt de invloed van hoge en lage temperaturen op beton besproken en de gevolgen van temperatuurverschillen in en tussen constructiedelen.

8.3.4.1 *Winteromstandigheden / vroege voorjaar*

Bevriezing van betonspecie en verhardend beton

Aanmaakwater in betonspecie gedraagt zich niet anders dan gewoon water. Het bevroert bij temperaturen beneden 0 °C. Bevriezend water zet uit: het neemt toe in volume.

Dit gebeurt ook als het aanmaakwater in betonspecie bevriest. In dat geval worden de korrels uit elkaar gedrukt, waardoor de kwaliteit van het beton aanzienlijk achteruit kan gaan.

Ongebonden betonspecie gedraagt zich min of meer als een dikke vloeistof: als het bevriest, zet het water in de massa uit. Bovendien verhardt de specie niet, omdat de chemische reactie tussen cement en water bij specietemperaturen beneden 0 °C nagenoeg stilstaat.

Als de specie na verloop van tijd weer ontdooit, wordt het ijs omgezet in water. Wanneer de betonspecie dan weer wordt verdicht, is het mogelijk dat het beton nog een goede kwaliteit en sterkte krijgt. Dit kan alleen bij dunne constructies.

Bij dikke constructies zal de specie aan de buitenzijde bevroren, terwijl de reactie tussen cement en water inwendig doorgaat. In het algemeen moet ervoor worden gezorgd dat de betonspecie niet bevriest.

In Nederland hebben we zelden lange, aaneengesloten vorstperioden. Meestal is er enige nachtvorst en stijgt de temperatuur overdag weer boven het vriespunt. Dit betekent dat het bovengenoemde verschijnsel in ons land zelden voorkomt.

In landen als Zweden, Finland en Rusland, waar elke winter langdurige vorstperioden voorkomen, komt het opnieuw verdichten van ontdooide betonspecie wel voor.

Bij *gebonden betonspecie* moet men in Nederland wel alert zijn op temperatuurschommelingen rond het vriespunt. Als overdag bij temperaturen boven het vriespunt betonspecie wordt gestort, zal de chemische bindingsreactie tussen cement en water op gang komen, vooral als er vanuit een betoncentrale verwarmde betonspecie wordt aangevoerd. Wanneer dit beton, dat al een zekere vaste structuur bezit, ten gevolge van nachtvorst bevriest, kan het onmogelijk opnieuw worden verdicht, want dit soort beton gedraagt zich niet meer als een vloeistof. De uitzetting die is ontstaan door de bevroering van het water, is niet meer te herstellen. De kwaliteit van het beton zal hierdoor aanmerkelijk lager zijn dan bij normale verharding. Vooral de sterkte heeft te lijden van vorstschade: deze kan afnemen tot een kwart van de sterkte die onder normale omstandigheden kan worden behaald.

De gevolgen kunnen zo ernstig zijn dat ook de duurzaamheid van de betonconstructie ernstig is gereduceerd. In dat soort situaties zal de constructie worden afgekeurd, waarna hij moet worden gesloopt.

Als het beton al enige dagen oud is op het moment dat de vorst intreedt, hebben we te maken met bevroering van *gedeeltelijk verhard beton*. Door het bevroeren van het water ontstaan in het beton krachten, die de korrels uit elkaar willen drukken. De korrels zijn echter door de cementsteen aan elkaar gekit. Als de kracht van het bevroerende water groter is dan de (trek)sterkte in het beton, dan worden alle korrels uit elkaar gedrukt. In dat geval ontstaat een ernstige kwaliteitsvermindering, vergelijkbaar met die bij bevroering van nog niet verhard, maar reeds gebonden beton.

Maatregelen tegen vorstschade

De beste methode om vorstschade te voorkomen is: verwarmde betonspecie gebruiken, deze zo snel mogelijk verwerken en direct na het afwerken een isolerende laag op de specie aanbrengen. Dat kan bijvoorbeeld in de vorm van geïsoleerde dekzeilen of (minerale wol)dekens. Zo kan de temperatuur geruime tijd boven het vriespunt worden gehouden. Dat moet zo blijven totdat het beton voldoende sterk is. Lukt dat niet, dan zal de betontemperatuur kunstmatig op peil moeten worden gehouden met toegevoerde warmte.

Meestal wordt er dan een tent geplaatst op of om de constructie, met een of meer heaters daarin.

In de winter geldt dus: zorg dat de temperatuur van het beton niet beneden 0 °C daalt totdat het voldoende vorstbestand is. Dit punt is bereikt wanneer het beton een druksterkte heeft van ten minste 5 N/mm². Daarnaast kunnen maatregelen worden genomen die een snelle ontwikkeling van de beginsterkte bevorderen, zoals verlaging van de water-cementfactor (zie hoofdstuk 4). Ook kan een deel van het cement worden vervangen door cement met een hogere sterkteklasse. Vooral dit laatste wordt in de praktijk veel toegepast, zolang maar aan de gestelde eisen voor duurzaamheid voor het cement wordt voldaan.

Het gebruik van een versneller is natuurlijk ook mogelijk, maar van deze mogelijkheid wordt weinig gebruikgemaakt. Men moet wel rekening houden met hogere eindsterktes en de constructeur laten toetsen of het wapeningspercentage nog wel voldoende is.

Als wordt besloten om in de winterperiode door te werken, is de aanwezigheid van stoom op het betonwerk onontbeerlijk. Het betonstaal en de bekisting kunnen met behulp van stoomlansen van ijs worden ontdaan. Zo kan de temperatuur van het staal worden opgevoerd, zodat een snelle afkoeling van de betonspecie wordt tegengegaan.

Vorstschade is vrij eenvoudig te constateren. Beton met vorstschade vertoont zowel aan het oppervlak als in de afdrukken van de grindkorrels het soort ijskristallen dat ook op be-ijsde ruiten voorkomt. Deze kristallen kunnen met het blote oog worden waargenomen. Bij geringe beschadiging zal alleen het bovenste betonlaagje bevroren zijn. Vaak is het dan voldoende dit laagje te verwijderen en het beton goed schoon te maken door het te ontdoen van losliggende deeltjes. Hierna kan een nieuwe laag beton op de oude worden aangebracht. Gewoonlijk zal een betononderhoudkundige een onderzoek naar de vorstbeschadiging moeten instellen.

Een ander aandachtspunt in de winter is het voorkomen dat er water op het beton blijft staan: zorg dus voor een goede afwatering. Ook verhard beton waarvan de poriën verzadigd zijn met water, kan vorstschade oplopen. Als het water in de poriën bevriest, ontstaan inwendige spanningen. Dergelijke schade beperkt zich meestal tot de buitenste millimeters, direct onder het oppervlak. We noemen dat '*scaling*'. Het gebruik van dooizout versterkt deze scaling enorm.

8.3.4.2 *Zomeromstandigheden*

Bij lage temperaturen verloopt de hydratatie langzaam, bij hoge temperaturen snel. Niet alleen de verharding gaat sneller bij hogere specietemperaturen, ook de binding van de cementpasta zal sneller intreden. De beschikbare tijd voor het verwerken van de betonspecie neemt daarmee af.

Een ander effect van een hoge specietemperatuur is de grotere waterbehoefte voor een bepaalde verwerkbaarheid. Bij het verwerken van betonspecie in de warme maanden is dit van belang. De kortere tijd die beschikbaar is om de specie te verwerken, maakt het nodig transport- en verwerkingstijden zoveel mogelijk te bekorten. Om te snel teruglopen van de consistentie te vermijden, kan worden overwogen een vertrager toe te passen.

Laat nooit betonspecie in een kubel of een ontvangtsilo (van een pomp) in de zon staan. Bescherm de specie tegen verdamping van water. Begin zo spoedig mogelijk met de nabehandeling. Dek de specie direct na het afwerken af. Het afdekmateriaal kan, bijvoorbeeld met latten, vrij worden gehouden van het specieoppervlak.

Een nadeel van de hogere specie- en betontemperatuur en de grotere waterbehoefte van het mengsel is, dat een lagere eindsterkte wordt bereikt. Bij levering van betonspecie op sterkte is het zaak daarmee rekening te houden.

8.3.4.3 *Verhardingsbeheersing*

In de betonproductenindustrie en bij gietbouwwerken wordt vaak gebruikgemaakt van het effect dat de aanvangssterkte toeneemt bij hogere betontemperatuur. Om te kunnen beoordelen hoe groot de versnelling in de verharding ongeveer zal zijn, kunnen we gebruikmaken van de zogenoemde 'rijpheidsmethode' (zie NEN 5970).

De verhardingssnelheid van beton kan worden opgevoerd door de temperatuur van de betonspecie te verhogen. Dit kan door bijvoorbeeld warm aanmaakwater te gebruiken of het beton na het verdichten in de bekisting te verwarmen, bijvoorbeeld met behulp van stoom, warme lucht, infraroodlampen, buizen met warm water of elektriciteit. In de betonproductenindustrie wordt veel gebruik gemaakt van stoomverharding. Daarvoor zijn vaak aparte stoomkamers ingericht. Een voordeel van stoomverharding is dat het betonoppervlak door de aanwezigheid van met water verzadigde lucht niet kan uitdrogen.

Op gietbouwwerken wordt vaak warme lucht toegepast om de verharding te versnellen. Een voorwaarde daarbij is, dat het betonoppervlak goed wordt afgedekt, niet alleen uit oogpunt van nabehandeling maar ook ter isolatie.

In de betonproductenindustrie wordt ook wel gewerkt met warme betonspecie die in een isolerende bekisting wordt gestort. Bij deze methode zijn zeer korte ontkistingstijden mogelijk, omdat er geen sprake is van een opwarmtijd, zoals bij stoomverharding.

Een versnelde verharding wordt ook bereikt door gebruik te maken van een cement dat zelf meer warmte produceert, zoals een portlandcement in sterkteklasse 52,5. Ook kan worden gekozen voor een mengsel van cementen, waarbij het cement met de hoogste sterkteklasse als 'versneller' dienst doet. Ook hier geldt dat voor de combinatie van cementen voldaan moet worden aan de duurzaamheidseisen.

Het verwarmen van het beton geeft in tegenstelling tot sterkere cement geen hogere eindsterkte.

8.3.4.4 *Massabeton*

Bij het storten van betonconstructies met grote afmetingen moet rekening worden gehouden met grote temperatuurverschillen tussen de binnen- en buitenzijde van het beton. Hierdoor ontstaan spanningen, die scheurvorming kunnen veroorzaken. De temperatuurverschillen worden voor een belangrijk deel veroorzaakt door de hydratatiewarmte van het cement. Het ligt daarom voor de hand het cementgehalte zo laag te kiezen als voor de sterkte en de dichtheid van de constructie toelaatbaar is. Bij een laag cementgehalte bestaat wel kans op een te hoge water-cementfactor wanneer voor de plasticiteit van het betonmengsel een grote hoeveelheid water is vereist. Daarom verdient het aanbeveling de grofste korrelgroep van het toeslagmateriaal zo groot mogelijk te kiezen. Hierdoor zal het oppervlak per volume van het mengsel kleiner zijn, waardoor ook de waterbehoefte vermindert.

Verder heeft de toepassing van hoogovencement in dergelijke gevallen de voorkeur boven portlandcement, omdat de hydratatiewarmte van hoogovencement lager is dan die van portlandcement. De keuze voor een cement met lage hydratatiewarmte verdient aanbeveling. De snelheid waarmee deze warmte vrijkomt en daarmee de hoogte van de temperatuur in de constructie, kan worden beperkt door een zo laag mogelijke uitgangs-

temperatuur van de betonspecie te kiezen. Dit kan worden gerealiseerd door de samenstellende materialen te koelen.

In het algemeen moet ervoor worden gewaakt dat in het beton grote temperatuurverschillen ontstaan of dat het beton wordt blootgesteld aan grote temperatuursprongen. Met het oog hierop moeten we de constructie zo laat mogelijk ontkisten. Dit onderwerp wordt uitgebreid behandeld in CUR-rapport 19 'Temperatuuressen in zware betonconstructies ten gevolge van de hydratatie-warmte van cement'.

8.3.4.5 *Verhinderde vervorming*

Als constructiedelen op elkaar worden gestort, zoals een wand op een vloer, krijgen we te maken met een wand die als gevolg van de hydratatie in temperatuur toeneemt, om na een paar dagen weer af te koelen, terwijl de vloer niet of nauwelijks in temperatuur verandert. Dat betekent dat de wand eerst langer wil worden, om daarna korter te willen worden. Dit kan niet omdat de wand als gevolg van de wapening aan de vloer vastzit. Het verhinderen van de vervormingen ten gevolge van de verschillen in temperatuur veroorzaken spanningen die zo hoog kunnen oplopen dat de treksterkte wordt overschreden en scheuren ontstaan in de onderzijde van de wand.

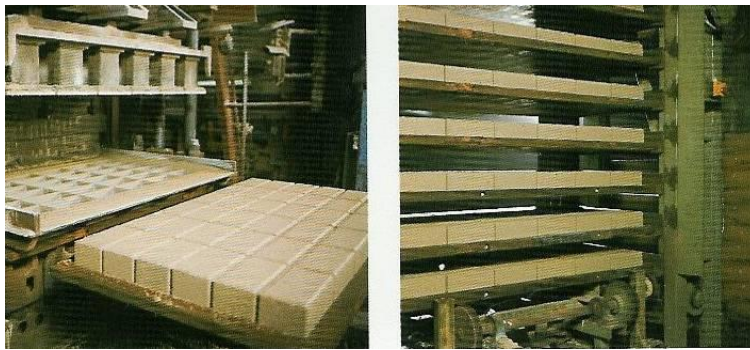
8.4 **Speciale betontechnieken**

In de vorige paragrafen is uitgebreid ingegaan op het verwerken van betonspecie op de bouwplaats. De methoden van storten, verdichten, afwerken, nabehandelen en beschermen zijn daarbij behandeld. Hierop is zo uitgebreid ingegaan, omdat ze zonder dat het is genoemd ook van toepassing zijn op andere uitvoeringsmethoden, die hierna worden besproken. Deze uitvoeringsmethoden zijn een willekeurige greep uit veel mogelijkheden en staan model voor veel andere methoden.

8.4.1 Betonstenen, -tegels, banden, dakpannen e.d.

Bij het vervaardigen van dit soort producten wordt gewerkt met zeer droge betonspecie. Dergelijke specie vraagt veel verdichtingsenergie om een egaal oppervlak te verkrijgen. De combinatie van veel verdichtingsenergie en zeer droge specie draagt ertoe bij dat gebruik kan worden gemaakt van de *groene sterkte* van het beton, waardoor direct na het verdichten de mal kan worden verwijderd, zonder dat het gevormde product inzakt.

De ontkiste producten gaan meestal direct daarna in een verhardingskamer (figuur 8.15). Deze kamers hebben een hoog vochtgehalte, waardoor de sterkte van het beton bij het verlaten van de kamer al zo hoog is, dat nabehandelen niet meer nodig is. Bij uitsluitend verharderen in de fabriekshal is nabehandeling geen overbodige actie.



Figuur 8.15 Vervaardiging van betonstenen

8.4.2 Vooraf vervaardigde elementen

Bij het produceren van vooraf te vervaardigen elementen staat de methode van storten, verdichten, afwerken en nabehandelen het dichtst bij het verwerken van beton op de bouwplaats.

De consistentie van de specie lag veelal in consistentieklasse S2, alhoewel men ook andere consistenties gebruikte. De keuze van de consistentie is sterk afhankelijk van de eisen die men aan het beton en specifiek aan het uiterlijk ervan stelt. Gelet op de dikte van de elementen stort men de betonspecie in één laag. Voor het verdichten gebruikte men trilmotoren die onder de bekistingstafels zijn aangebracht. Tegenwoordig worden dergelijke elementen vaak met verdichtingsarme of zelfverdichtende betonspecie geproduceerd.

Het nabehandelen is nog wel eens een punt van discussie. Door de snelheid van het productieproces en de snelle sterkteontwikkeling is nabehandeling na het ontkisten meestal overbodig.

Omdat men de prefab elementen in mallen op bekistingstafels vervaardigt en die mallen en tafels de volgende dag weer wil gebruiken voor de volgende elementen, moeten de elementen na een dag voldoende sterkte hebben om te kunnen worden verplaatst. Men moet het verhardingsproces dan zo sturen, dat de volgende dag het beton sterk genoeg is om het element uit te mal te hijsen en in de opslag te plaatsen. Dit vraagt om afstemming tussen de betontechnoloog en de halbaas: de betontechnoloog is verantwoordelijk voor de betonsamenstelling, de halbaas voor het verhardingsproces.

8.4.3 Lange-banksysteem

Een kenmerkend productieproces is het vervaardigen van betonproducten met behulp van het lange-banksysteem. Producten die daarmee worden vervaardigd zijn onder meer betonnen funderingspalen, kanaal- en breedplaatvloeren (zie figuur 8.16).

Wat houdt deze methode precies in? De producten worden in een lange mal achter elkaar of aaneengesloten gemaakt. Achter elkaar betekent dat er op vastgestelde plaatsen kopschotjes worden geplaatst. Aaneengesloten wil zeggen dat er een product van grote lengte wordt gemaakt, dat na verharding op de gewenste plaatsen op lengte wordt gezaagd.



Figuur 8.16 Lange-banksysteem.

De producten worden altijd van een voorspanning voorzien. De voorspandraden worden vóór het storten op de vastgestelde plaats gebracht en aan het uiteinde van de lange bank gespannen. Dat betekent dat er tijdens het storten over de volle lengte voorgespannen draden aanwezig zijn, waaromheen de betonspecie wordt gestort.

Omdat het productieproces dagelijks wordt herhaald, stuurt men het verhardingsproces zodanig dat de volgende dag de sterkte van het beton voldoende is om de voorspankracht op te kunnen nemen. Het gebruik van een CEM I 52,5 R en het verwarmen van het verhardende beton door middel van verwarmingselementen hebben dan de voorkeur, maar uit duurzaamheidsoverwegingen zijn ook combinaties van CEM I met poederkoolvliegias en/of CEM III te overwegen, waarbij CEM III het voordeel heeft dat dit cement meer sterkte ontwikkelt bij temperatuurverhoging.

Bij het ontlasten van de voorgespannen draden wordt de trekkracht in de draden door middel van aanhechting door het beton overgenomen. De voorspandraden moeten dus worden doorgeslepen. Daarbij is waarneembaar dat de draden iets in het beton worden getrokken. Bij een goede aanhechting blijft dit beperkt tot enige mm.

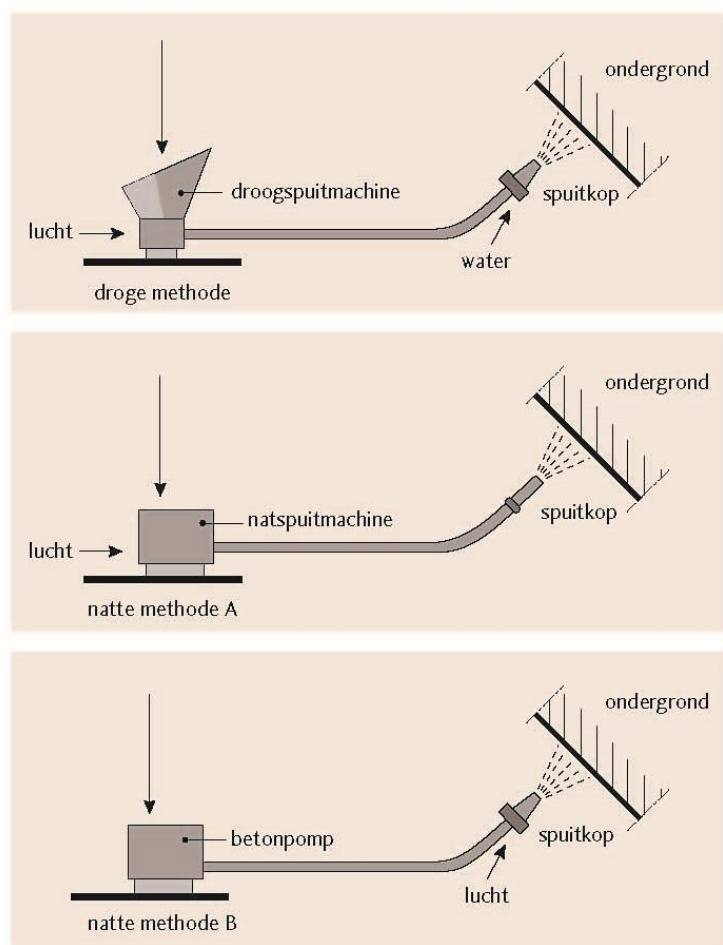
Als de voorspanning excentrisch van het midden is geplaatst, is waarneembaar dat bij het ontlasten van de draden de elementen krom gaan staan. De kromming is afhankelijk van de excentriciteit van de voorspankracht en van de kruip van het beton.

8.4.4 Spuitbeton

Spuitbeton is een mengsel van cement, toeslagmateriaal, water en eventuele hulpstoffen, dat met hoge snelheid met behulp van perslucht op een ondergrond wordt gespoten en daarbij tegelijkertijd wordt verdicht. Omdat spuitbeton meestal in dunne lagen wordt aangebracht, heeft het toeslagmateriaal gewoonlijk een kleinere grootste korrelafmeting dan normaal beton; meestal is deze niet groter dan 8 mm.

Spuitsbeton werd ontwikkeld om nieuwe constructies met veelzijdige vormen te kunnen maken. Naast architectonische overwegingen kan toepassing van spuitsbeton ook bij constructies waarbij de kosten van een bekisting relatief hoog zijn, een goede oplossing bieden (b.v. schaaldaken). De toepassing in ons land is hoofdzakelijk beperkt gebleven tot oppervlaktereparaties bij schade aan betonconstructies. In landen zoals Duitsland en Zwitserland wordt spuitsbeton in grote hoeveelheden toegepast voor de binnenbekleding van tunnels door bergen. In de Westerscheldetunnel is met spuitsbeton een brandwerende bekleding aangebracht.

Er zijn twee methoden voor de verwerking van spuitsbeton: de droge en de natte. Het onderscheid tussen de droge en de natte methode is gebaseerd op de plaats waar water aan het uitgangsmateriaal wordt toegevoegd.



Figuur 8.17 Schematische voorstelling van spuitsbeton.

Figuur 8.17 geeft een schematische voorstelling van beide methoden, waarbij de natte methode nog verder is onderscheiden naar wijze van transport van het spuitmengsel.

De droge methode wordt in ons land het meest toegepast, omdat daarmee relatief dikke lagen beton van goede kwaliteit kunnen worden gemaakt. Nadelen van deze methode zijn stofontwikkeling en terugslag van materiaal (figuur 8.18).



Figuur 8.18 Sputten van beton.

De natte methode wordt steeds vaker toegepast. De voordelen van deze methode zijn: minder verneveling van water en cementdeeltjes tussen de spuitkop en het te maken werk en minder terugslag van zwaardere korrels op de te bespuiten ondergrond. De voordelen wegen nauwelijks op tegen de nadelen van een minder goede hechting en een grotere gevoeligheid voor uitzakken.

Meer nog dan bij normaal gestort beton, is de kwaliteit van spuitbeton afhankelijk van de vakkbekwaamheid van de persoon die het materiaal aanbrengt: de spuiters. De totale dikte van de spuitbetonlaag is betrekkelijk gering. Daarom is een goede nabehandeling bij spuitbeton nog belangrijker dan bij normaal beton. Bij vakkundig verwerken en doeltreffend nabehandelen kunnen met spuitbeton een grote dichtheid en hoge sterkte worden bereikt.

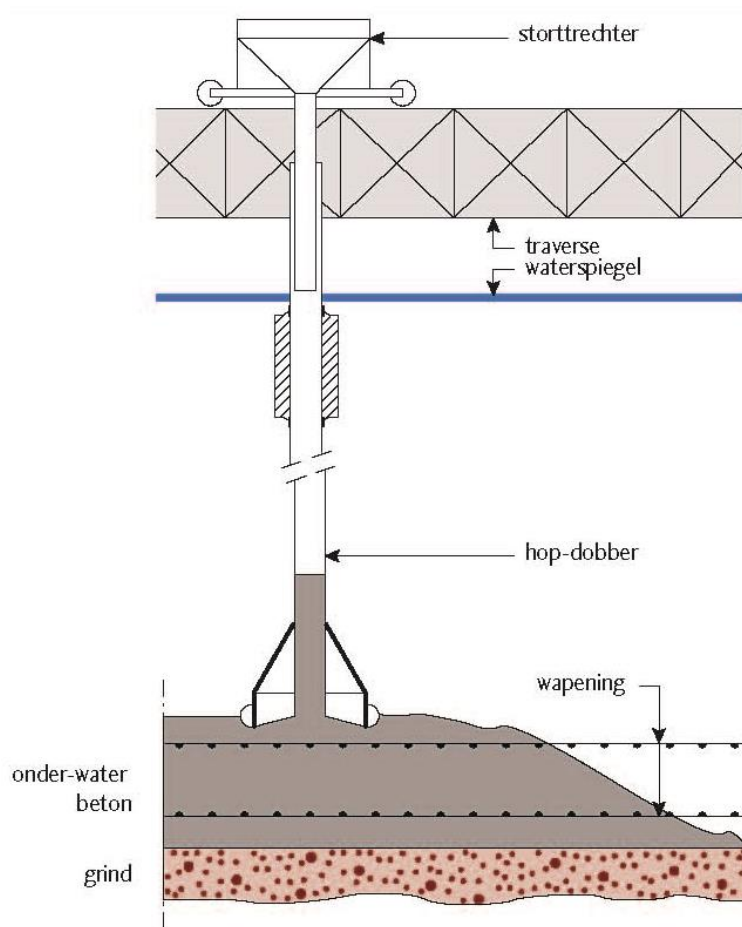
Voor het controleren van de kwaliteit van spuitbeton zijn speciale mallen in de vorm van balkjes ontwikkeld, waarin de betonspecie kan worden gespoten. Na het verharderen worden de proefstukken onder water bewaard en na 28 dagen verharding zodanig gezaagd, dat er kubusvormige proefstukken ontstaan die op sterkte en op waterindringing kunnen worden beproefd.

De aanvangssterkte van vers gespoten beton wordt bepaald door het indrukken van een naald in de verse specie. Ook kan een schiethamer met stalen spijkers worden gebruikt. De spijker wordt in het beton geschoten en er later, na verhardingstijd, weer uitgetrokken.

8.4.5 Onderwaterbeton

Bij de bouw van bruggen, tunnels en andere werken die gedeeltelijk in het water worden uitgevoerd, komt het voor dat beton onder water moet worden gestort, het zogenoemde *onderwaterbeton*. Daarbij doet zich het probleem voor dat de betonspecie ontmengt als het onbeschermd in contact zou komen met stromend water (of doordat betonspecie valt in stilstaand water).

Toch zijn er verschillende methoden om onder water betonspecie te storten zonder dat de specie in contact komt met stromend water. Deze methoden zijn te verdelen in twee groepen: methoden waarbij de specie boven water kant-en-klaar wordt aangevoerd en methoden waarbij een grof toeslagmaterialenpakket, dat onder water is aangebracht, wordt geïnjecteerd met een zand-cementmortelspecie.



Figuur 8.19 Hop-dobber.

Van de eerste groep, die in de praktijk het meest wordt toegepast, volgt een aantal voorbeelden:

- *contractor*- of buismethode, waarbij de betonspecie in consistentieklasse F4 of hoger door stalen buizen met een diameter van 250 tot 300 mm wordt gestort. Om ontmenging te voorkomen mag de specie niet in contact komen met het water in de buis. Dit wordt bereikt door bij de start een rubberen bal in de buis te plaatsen. De onderzijde van de stortpijp moet altijd in de specie blijven om het toestromen van water te voorkomen.
- *pomp*methode, als variant op de contractormethode, waarbij de slang van de betonpomp in de stalen buis wordt gebracht.
- *kubel*methode, waarbij de specie vlak boven het stort uit de kubel wordt gelost. Hierdoor ontstaat wel veel morsspecie.
- *Hop-dobber*, een verplaatsbare stalen buis met aan de onderzijde een schotel die op het betonoppervlak rust en met een drijflichaam langs de schacht om het dobbereffect te verkrijgen (figuur 8.19). Met deze methode zijn toleranties van minder dan 100 mm te bereiken.
- *colloïdaal beton*, waarbij aan de betonspecie een waterretentiemiddel is toegevoegd om ontmenging te voorkomen. Deze betonspecie kan vanaf de waterlijn worden losgelaten zonder te ontmengen.

8.4.6 Vezelversterkt beton

Om de buigtreksterkte van beton te verhogen, kan als aanvulling op beton- of voorspanstaal gebruik worden gemaakt van vezelachtige materialen. Dit heet *vezelversterkt beton* of kortweg vezelbeton. Dit kan in bepaalde situaties uitkomst bieden, bijvoorbeeld als het gebruik van betonstaalnetten of -korven de productie bemoeilijkt. Staalvezels zijn tot op heden de meest gebruikte vezels voor versterking.

Ook non-ferrovezels zoals alkalibestend glas, polypropyleen, basalt en aramide kunnen hiervoor worden gebruikt. De toepassing van basalt- en aramidevezels verkeert nog in een experimenteel stadium, terwijl glas- en polypropyleenvezels vrijwel uitsluitend worden verwerkt in betonelementen.

De toepassing van met staalvezels versterkt beton heeft in de laatste jaren sterk opgang gemaakt. Doel is de buigstijfheid van het beton te vergroten. Belangrijke toepassingsgebieden zijn bedrijfsvloeren, rioolbuizen en kluisruimten. Ook de combinatie staalvezel-spuitsbeton is aantrekkelijk, omdat hiermee constructievormen kunnen worden gerealiseerd die lastig te bekisten zijn.

Staalvezels worden meestal in de betonmortelcentrale aan het mengsel toegevoegd, maar ze kunnen bij zorgvuldig werken op de bouwplaats ook in de truckmixer worden toegevoegd. Het verwerken van kunststof vezels kan beter in de betonmortelcentrale plaatshebben. Dat houdt in dat de vezels moeten worden toegevoegd aan een compleet beschikbare betonsamenstelling. Om dit te realiseren moeten de vezels voorzichtig worden toegevoegd, terwijl de mixer met hoog toerental ronddraait.

Als de staalvezels in te grote hoeveelheid tegelijk worden toegevoegd, bestaat de kans op de vorming van ballen (egels) met een overmaat aan vezels. De vezels zijn dan dus niet homogeen verdeeld door de specie.

8.5 Hoge betonconstructies

Bij hoge betonconstructies moet worden gekozen tussen in fasen of continu te storten. De specifieke aandachtspunten van beide methoden worden hierna besproken.

8.5.1 Klimbekisting

Als in fasen wordt gestort, moet steeds worden gewacht tot de vorige fase voldoende is verhard. De bekisting voor het volgende stort kan pas worden geplaatst als de ingestorte bevestigingsmiddelen de krachten van de bekisting kunnen dragen. Denk hierbij vooral aan de horizontale speciedruk.

Een dergelijke bekisting noemen we een *klimbekisting*. Voordat kan worden gestort, moet het constructiedeel in zijn geheel gereed worden gemaakt (figuur 8.20).



Figuur 8.20 Klimbekisting.

Aandachtspunten hierbij zijn:

- stortnaad ruw maken (eventueel cementhuid verwijderen);
- stekken recht buigen;
- betonstaal en supporten aanbrengen;
- eventueel koelbuizen aanbrengen om temperatuurgradiënten te beperken;
- bekisting plaatsen;
- stortvoorzieningen aanbrengen zoals stortrechtters, stortkokers en steigers;
- voorzieningen aanbrengen om de werkzaamheden veilig uit te kunnen voeren, zoals bordessen met leuningen, trappen en verlichting.

8.5.2 Glijbekisting

Schoorstenen, silo's en liftschachten in hoge gebouwen worden vaak uitgevoerd met behulp van een *glijbekisting*. In een dergelijk systeem wordt een bekisting, die de hele te storten constructie omgeeft, door middel van hydraulische apparatuur voortdurend langzaam opgetrokken (figuur 8.21). De hoogte van de bekisting bedraagt circa 2 m; de stijgsnelheid kan 6 m per etmaal bedragen. Afhankelijk van de stijgsnelheid en de hoogte van de bekisting zal de specie al na 6 tot 10 uur vrijkomen van de bekisting. De sterkte moet dan zodanig zijn dat geen uitzakking optreedt. Uitvoering in glijbekisting stelt niet alleen hoge eisen aan de betonsamenstelling, maar ook aan de regelmaat in de aanvoer en in de consistentie van de betonspecie. Het beton dat onder de bekisting vrijkomt, moet worden beschermd tegen uitdroging. Daarom zijn glijbekistingen vaak aan de onderzijde voorzien van een afdichtingscherm van enkele meters hoog.



Figuur 8.21 Toren met glijbekisting.

In feite werkt de betonindustrie bij het maken van sommige vloerplaten en in de wegenbouw ook met glijbekistingen, maar hierbij worden machines horizontaal verplaatst. De betonspecie moet kort na het verdichten op zichzelf blijven staan, zonder dat de vorm verandert. Om voldoende stabiliteit - groene sterkte - te krijgen, moet worden gezorgd voor een goede gradering, een voldoende hoeveelheid fijn materiaal, een lage consistentie en een goede verdichting. Om een goede verharding van het beton te bereiken is een adequate nabehandeling nodig.

Het voordeel van een glijbekisting boven een klimbekisting is, dat er geen stortvoegen zijn. Bij elke stortvoeg ontstaat een overgang van verhard beton naar verhardend beton. Op deze overgang kunnen scheuren ontstaan vanwege het temperatuurverschil tussen verhardend en verhard beton. Bij een glijbekisting doen deze temperatuurverschillen zich niet voor.