

Beton



Studenten: Maarten van Luffelen
Marjo de Baere
Bas Vrencken
Thomas Kleppe
Robin Hamers
Olaf Steenhuis
Ruud Kemper

Begeleiders: Guido Mollen
Kees Kampfraath
Jan de Gruijter

Opleiding: Lerarenopleiding Tilburg



Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	2
HOOFDSTUK 1: INTRODUCTIE.....	4
1.1 INTRODUCTIE BETON.....	4
1.2 PRODUCTIE VAN BETON	5
1.3 EIGENSCHAPPEN VAN BETONSPECIE.....	5
1.4 EIGENSCHAPPEN VAN BETON	5
1.5 DUURZAAMHEID	7
HOOFDSTUK 2: CEMENT.....	8
2.1 GESCHIEDENIS	8
2.2 PORTLANDCEMENT	9
2.3 HOOGOVCEMENT.....	10
2.4 PORTLANDVLIEGASCEMENT	10
2.5 CEMENTONDERZOEK.....	11
HOOFDSTUK 3: TOESLAGMATERIALEN.....	13
3.1 INDELING	13
3.2 VOCHTGEHALTE	13
3.3 CHEMISCHE EISEN	14
HOOFDSTUK 4: AANMAAKWATER.....	15
4.1 SOORTEN WATER	15
4.2 TE STELLEN EISEN EN ONDERZOEKEN	15
4.3 GEBRUIK VAN CEMENTSLIBWATER ALS AANMAAKWATER.....	16
HOOFDSTUK 5: HULPSTOFFEN.....	17
5.1 SOORTEN HULPSTOFFEN	17
5.2 HULPSTOFFEN DIE DE VERWERKBAARHEID VAN BETONSPECIE WIJZIGEN	17
5.4 GAS/SCHUIMVORMENDE HULPSTOFFEN	19
5.5 HULPSTOFFEN DIE DE BINDING EN VERHARDING BEÏNVLOEDEN	20
5.6 KLEURSTOFFEN.....	21
5.7 KEURING VAN HULPSTOFFEN	21
HOOFDSTUK 6: VULSTOFFEN	22
6.1 SOORTEN VULSTOFFEN	22
6.2 POEDERKOOLVLIEGAS	22
6.3 STEENMEEL.....	23
6.4 GEMALEN HOOGOVENSLAK	23
6.5 SILICAFUME	23
HOOFDSTUK 7: EIGENSCHAPPEN VAN BETONSPECIE	25
7.1 STRUCTUUR	25
7.2 VERWERKBAARHEID.....	25
HOOFDSTUK 8: HET VERHARDINGSPROCES.....	27
8.1 HYDRATATIE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
8.2 HET HYDRATATIEPROCES	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
8.3 HYDRATATIEWARMTE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
8.4 DE PORIËNSTRUCTUUR EN PERMEABILITEIT VAN BETON.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
HOOFDSTUK 9: EIGENSCHAPPEN VAN BETON	30

HOOFDSTUK 10: GRONDTOESLAGEN BEREKENINGEN BETONSAMENSTELLING	34
10.1 NORMATIEVE GRONDSLAGEN	34
10.2 CONSTRUCTIEVE GRONDSLAGEN	36
10.3 UITVOERINGSTECHNISCHE GRONDSLAGEN	37
HOOFDSTUK 11: KWALITEIT BETON.....	41
11.1 CONTROLE VAN BETONSPECIE	41
11.2 VERHARD BETON	42
HOOFDSTUK 12: BEOORDELEN VAN MEETRESULTATEN	44
12.1 METEN	44
12.2 BETROUWBAARHEID VAN MEETRESULTATEN	44
12.3 POPULATIES EN STEEKPROEVEN.....	44
12.4 SCHATTING VAN GEMIDDELDE EN STANDAARDAFWIJKING	47
12.5 KEURINGEN	47
12.6 KEUREN VOLGENS HET FAMILIECONCEPT	49
HOOFDSTUK 13: BEREKENEN VAN BETONSAMENSTELLINGEN.....	50
13.1 BEREKENINGSSHEMA BETONSAMENSTELLING	50
HOOFDSTUK 14: VAARDIGHEDEN VAN BETONSPECIE	55
HOOFDSTUK 15: VERWERKEN VAN BETONSPECIE	58
15.1 VOOR HET STORTEN	58

Hoofdstuk 1: Introductie

1.1 Introductie beton

Beton is een kunstmatig steenachtig materiaal, dat als bouw materiaal wordt gebruikt. Beton is samengesteld uit het bindmiddel cement en een of meer toeslagmaterialen. We beperken ons nu even tot cementsteen als verhard eindproduct. Dit is het steenachtige product van de chemische reactie tussen de grondstoffen cement en water. Deze reactie noemen we hydratatie. In de hydratatie hieronder is calcium(II)silicaat als cement gebruikt:



Om de reactie te beïnvloeden worden er soms hulpstoffen toegevoegd. In de beginfase is het mengsel plastisch tot vloeibaar. We spreken in dit geval van cementpasta of cementlijm. Cementsteen is het eindproduct. De beginfase is bepalend voor de kwaliteit van het eindproduct.

Zoals eerder vermeld zitten er in beton toeslagmaterialen. Er wordt veelal zand en grind gebruikt, maar ook andere steenachtige materialen. Wanneer er fijne materialen worden toegevoegd spreken we over vulstoffen. Voorbeelden van deze stoffen zijn: poederkoolvliegias en silicafume.

Wanneer beton nog niet hard is geworden spreken we van betonspecie. Het beton moet dan wel voor het grootste gedeelte uit toeslagmateriaal bestaan dat grover is dan 4 mm. Wanneer het toeslagmateriaal in zijn geheel kleiner is dan 4 mm, spreken we van mortel. De plastische fase hiervan is mortelspecie. In tabel 1 staat het nog een keer schematisch weergegeven.



Figuur 1: Mariabeeld in Den Bosch gemaakt van cementsteen.

Tabel 1: Benamingen en begrippen.

<i>Samenstellende delen</i>	<i>Vloeibaar</i>	<i>Verhard</i>
Cement en water	Cementlijm of cementpasta	Cementsteen
Cement + water + toeslagmateriaal ≤ 4 mm	Mortelspecie	Mortel
Cement + water + toeslagmateriaal $< \text{en } \geq 4$ mm	Betonspecie	Beton

1.2 Productie van beton

Het maken van beton start met het ontwerpen van de samenstelling. Daarbij moeten we niet alleen rekening houden met de gewenste eigenschappen van het verharde beton, maar ook met de omstandigheden bij het verwerken van de betonspecie. De betonspecie mag niet te plastisch zijn, wanneer men deze stort. In dat geval is er teveel water toegevoegd en dat gaat ten koste van de betonkwaliteit.

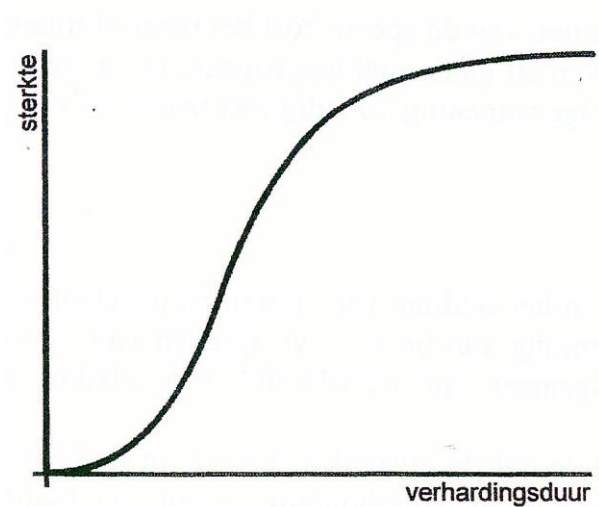
1.3 Eigenschappen van betonspecie

Plasticiteit en de verwerkbaarheid hebben samenhang met elkaar. De plasticiteit varieert van dun vloeibaar tot aardvochtig. Dit is afhankelijk van de toegepaste grondstoffen en hun mengverhouding. Afhankelijk van de plasticiteit van de specie kost het meer of minder moeite om de betonspecie in bepaalde constructievormen te storten. Behalve plasticiteit is ook de gevoeligheid van ontmenging van belang. In dat geval zakken vooral de zwaardere korrels in de betonspecie uit. Uiteindelijk kunnen de eigenschappen van het beton hierdoor in negatieve zin beïnvloed worden.

1.4 Eigenschappen van beton

Eén van de belangrijkste eigenschappen van beton is de materiaalsterkte die zich vanaf het mengen ontwikkelt. De sterkteontwikkeling staat in figuur 2 uitgezet tegen de tijd.

In het begin zullen de materialen in de betonspecie snel reageren. Al na een aantal uren is er een behoorlijke sterkte ontstaan. Naarmate het verhardingsproces vordert zal de hydratatie minder snel gaan, totdat het beton de maximale sterkte heeft bereikt.



Figuur 2: sterkteontwikkeling beton.

Sommige species, vooral aardvochtige mengsels, hebben na mengen al een zekere sterkte. Deze betonspecie kan zonder mal worden getransporteerd. We spreken dan van groene sterkte. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij de productie van bijvoorbeeld betonstenen en rioolbuizen.

Betonconstructies kunnen uitstekend drukspanningen verdragen. Trekspanningen vormen wel een probleem. Daarom worden in betonnen constructies vaak wapening ingebracht. We spreken over gewapend beton. Gewapend beton blijkt om de volgende redenen goed te functioneren:

- beton hecht zich goed aan staal;
- het staal wordt door het omringende beton beschermd tegen roesten;
- staal en beton hebben vrijwel dezelfde thermische uitzettingscoëfficiënt.



Figuur 3: Beton wordt gestort over de voorgespannen wapening.

Om beton nog sterker te kunnen belasten, wordt de wapening voorgespannen. Dit wordt gedaan door middel van hoogwaardige draden of staven.

1.5 Duurzaamheid

Een andere belangrijke eigenschap van beton is duurzaamheid. Duurzaamheid is het vermogen om weerstand te bieden tegen de inwerking van allerlei fysische en chemische invloeden. Voorbeelden van deze invloeden zijn:

- weer en wind (droog/nat, warm/koud);
- inwerking van vorst;
- hoge temperatuur (bij brand);
- inwerking van sulfaten;
- inwerking van zuren;
- inwerking van zeewater;
- erosie (verwering).

Als beton is gewapend of voorgespannen, speelt de duurzaamheid van het staal eveneens een rol. De duurzaamheid van beton wordt beïnvloed door de indringing van koolzuurgas en chloriden. Deze stoffen zorgen ervoor dat het staal in de betonconstructie gaat roesten.

De weerstand tegen al deze invloeden heeft een relatie met de sterkte. Over het algemeen zal beton met een hogere sterkte, een betere duurzaamheid vertonen. Sterkte is echter geen garantie voor duurzaamheid. Vooral de dichtheid of doorlaatbaarheid is bepalend voor de duurzaamheid van beton. De doorlaatbaarheid wordt ook wel permeabiliteit genoemd. Permeabiliteit is een materiaaleigenschap die beschrijft hoe snel een vaste stof een andere stof doorlaat.

Hoofdstuk 2: Cement

2.1 Geschiedenis

Vóór 1830 werd als bindmiddel gebrande kalk (CaO) gebruikt. Het verharden daarvan wordt voornamelijk veroorzaakt door inwerking van CO₂ uit de lucht op calciumhydroxide. Calciumhydroxide ontstaat door de volgende reactie:

Gebrande klak + water → calciumhydroxide
 $\text{CaO (s)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 \text{ (s)}$

Vervolgens reageert het gevormde calciumhydroxide met koolzuurgas:

Calciumhydroxide + CO₂ → calciumcarbonaat + water
 $\text{Ca(OH)}_2 \text{ (s)} + \text{CO}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{CaCO}_3 \text{ (s)} + \text{H}_2\text{O (l)}$

Het calciumcarbonaat kristalliseert uit en bindt zich met de overige aanwezige vaste bestanddelen.

De Romeinen gebruikten als bindmiddel stoffen van vulkanische herkomst (bijvoorbeeld tras). In aanwezigheid van gebrande kalk zorgt tras voor een verharding. Daarom zijn de bouwwerken van de Romeinen blijven staan.

Die vorm van verharden kennen we onder de naam puzzolane verharding.

Kenmerkend voor puzzolane stoffen is dat er altijd kalk aanwezig moet zijn om samen met het water de hydratatie te laten plaatsvinden. Deze hydratatie verloopt bij normale temperatuur erg langzaam.

Aan het eind van de 18^e eeuw kreeg men inzicht welke invloed verontreinigingen zoals zand (SiO₂) en klei (voornamelijk Al₂O₃) hebben op de grondstoffen van de kalkbranderijen. Dit inzicht vormde de basis voor de uiteindelijke industriële ontwikkeling van portlandcement.

In 1830 werd het huidige bindmiddel portlandcement uitgevonden.

Bij de aanwezigheid van aluminium-, silicium- en ijzeroxide ontstaan tijdens het branden (verhitten) zogenoemde hydraulische verbindingen.

Hydraulische verbindingen zijn stoffen die met water kunnen reageren tot een niet meer in water oplosbare substantie waarbij een verhard eindproduct ontstaat. De reactie van de hydraulische bindmiddelen met water noemen we een hydratatie. De ontstane producten noemen we hydratatieproducten of hydraten. Door de hydraten wordt de kalkmortel sterker.

2.2 Portlandcement

Portlandcement wordt verkregen door portlandklinkers te vermalen. Portlandklinkers bestaan voornamelijk uit cementmineralen. Cementmineralen zijn hydraulische verbindingen, bij hoge temperaturen verkregen verbindingen van aluminium-, silicium- en ijzeroxiden.

De grondstoffen van portlandcementklinker zijn kalksteen (CaCO_3) en/of mergel, zand, gips en klei.

Tabel 2: Overzicht cementmineralen (hydraulische verbindingen).

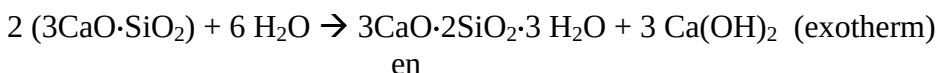
Naam verbinding	Formule	Afgekort
Tricalciumsilicaat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ *)	C_3S
Dicalciumsilicaat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Tricalciumaluminaat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetracalciumaluminaatferriet	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

*) Zulke formules zijn verwarrend; de coëfficiënt 3 hoort alleen bij CaO en niet bij SiO_2 .

De cementmineralen reageren met water waarbij hydratatieproducten en kalk ontstaan. De kalk komt vrij in de vorm van calciumhydroxide.

Cement + water $\rightarrow$ cementsteen + calciumhydroxide

Twee voorbeelden in formules:



en



Tijdens de bereiding van portlandcement wordt een kleine hoeveelheid gips mee gemalen. Zonder deze toevoeging heeft na menging met water portlandcement een zeer snelle binding (zeer snelle opstijving). Deze wordt veroorzaakt door de snelle reactie van het C_3A , één van de cementmineralen, met water.

Als gips wordt mee gemalen, reageert dit met het aanwezige C_3A en verhindert voorlopig de verdere reactie van C_3A met water en voorkomt zo een te snelle hydratatie dus een te snelle verharding.

Gips voegt men toe om de bindtijd te regelen. Gips is een bindtijdregelaar (BTR).

Tabel 3: Overzicht van reacties van diverse stoffen.

Stof	Reactie met	Tot	Opmerking	voorbeeld
Hydraulisch	Water	Een in water onoplosbaar stof	Snelle reactie	Portlandcement-klinker
Latent hydraulisch	Water	Een in water onoplosbare stof	Langzame reactie, moet geactiveerd worden	

2.3 Hoogovencement

Er zijn ook latent hydraulische stoffen. De meest bekende is gegranuleerde hoogovenslak. Kenmerkend voor hydraulische stoffen is dat die met water reageren tot niet meer in water oplosbare verbindingen, maar deze reactie verloopt zeer langzaam. Bij latent hydraulische stoffen komt de reactie met water pas goed op gang als er een activator aanwezig is.

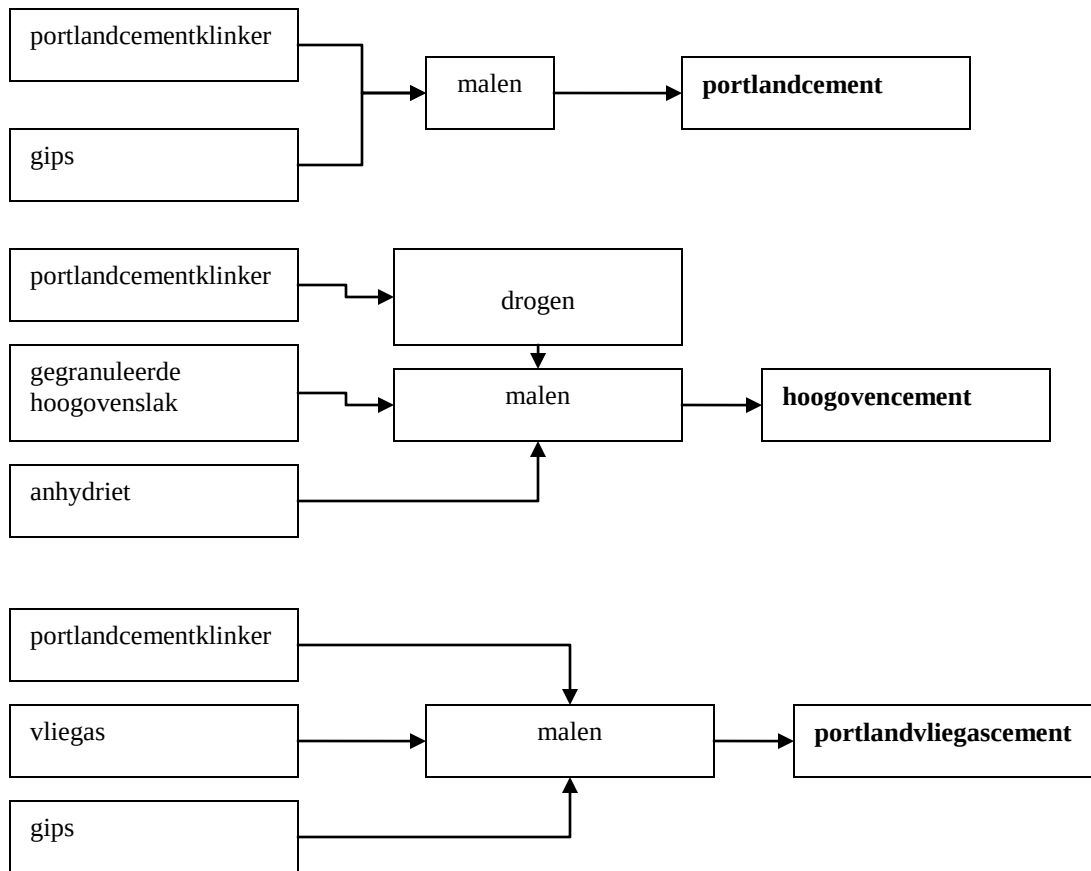
Hoogovenslak ontstaat in een hoogoven door het versmelten van de resten van gesteenten in ijzererts met calcium- en magnesiumhoudende toeslagen. De slak wordt met water sterk afgekoeld waardoor deze niet kan gaan uitkristalliseren. De ontstane stof wordt uiteengeslagen in kleine korreltjes met een glasachtige structuur. Dit proces noemen ze granuleren (gegranuleerde hoogovenslak).

Omdat de reactie met water zeer langzaam is, wordt gegranuleerde hoogovenslak samen met portlandcementklinker vermalen. Bij de hydratatie van deze klinker ontstaat altijd calciumhydroxide, verantwoordelijk voor een hoge pH van het water.

2.4 Portlandvliegascement

Portlandvliegascement wordt verkregen door een op kwaliteit geselecteerde poederkoolvliegascement te doseren in het maalcircuit van portlandcement. Poederkoolvliegascement is een fijn poeder dat elektrisch of mechanisch is afgescheiden uit de rookgassen van met poederkool gestookte ketels, het bevat veel SiO_2 (poederkool is fijn gemalen steenkool).

Portlandvliegascement lijkt op normaal portlandcement, maar na verloop van tijd krijgt beton met poederkoolvliegascement een dichtere structuur.



Figuur 4: Schematische weergave van de productie van 3 cementen.

2.5 Cementonderzoek

Cement wordt beoordeeld op:

- druksterkte (normsterkte en beginsterkte);
- begin van de binding;
- vormhoudendheid;
- samenstelling;
- hydratatiewarmte.

Druksterkte

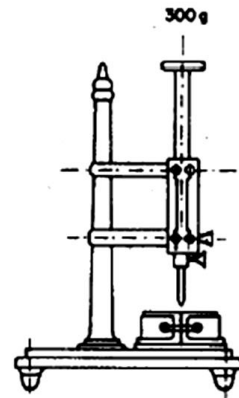
Eén van de belangrijkste eigenschappen van cement is de sterkteontwikkeling na aanmaak met water. Deze wordt bij een constante temperatuur van 20 °C, op gestandaardiseerd wijze gemeten aan prisma's, vervaardigd uit cement, zand en water. Een prisma is een standaard maat van cementsteen, mortel of beton. De sterkte wordt ook de normsterkte van het cement genoemd.

Begin van de binding

Op gestandaardiseerde wijze wordt van het cement met water een pasta gemaakt. Het opstijvingsgedrag van deze cementpasta wordt door middel van de indringdiepte van een naald vastgesteld (proef van Vicat).

Wanneer de indringing een bepaalde waarde niet meer overschrijdt, wordt het begin van de binding genoemd.

Er is ook nog een begrip 'einde van de binding'. Op het moment dat er gesproken wordt van 'einde van de binding' laat dezelfde naald nog nauwelijks een afdruk in de verharde massa achter.



Figuur 5: Proef van Vicat.

Een te korte bindtijd van cement kan betekenen dat het in de praktijk verwerkingsproblemen gaat geven.

Vormhoudendheid

Bepaalde bestanddelen van cement kunnen uitzettingsverschijnselen van het verharde materiaal veroorzaken. Dit komt doordat ze in een te grote hoeveelheid aanwezig zijn. In beton kan deze aanleiding geven tot ongewenste zwellen.

De uitzetting wordt gemeten met de 'proef van Le Chatelier'



Figuur 6: Proef van Le Chatelier.

Hydratatiewarmte

De hydratatiewarmte kan op 2 manieren worden bepaald.

De eerste methode bepaalt de hoeveelheid vrijgekomen warmte bij verharding bij constante temperatuur (20 °C) gedurende een periode van 7 dagen.

De tweede methode meet de hydratatiewarmte onder vrijwel adiabatische omstandigheden (er kan geen warmteuitwisseling plaatsvinden met de omgeving). Omdat hierbij de temperatuur oploopt en daardoor de verharding sneller plaatsvindt, kan al na 41 uur bepaald worden of het betreffende cement aan de eis in de norm voldoet.

Hoofdstuk 3: Toeslagmaterialen

Toeslagmaterialen zijn materialen die samen met cementlijm (water en cement) het uiteindelijke beton vormen. Je kunt bij toeslagmateriaal bijvoorbeeld denken aan grind. De cement ‘lijmt’ het grind aan elkaar. Meestal zijn toeslagmaterialen steenachtige materialen.

Toeslagmaterialen zijn alleen toeslagmaterialen als ze zelf *niet* deelnemen aan een reactie. De toeslagmaterialen hebben een grote invloed op de betonspecie en het verharde beton. In beton wordt het grootste deel van de drukkrachten door toeslagmaterialen opgevangen.

3.1 Indeling

De verschillende toeslagmaterialen worden ingedeeld naar ontstaanswijze.

- *Natuurlijke toeslagmaterialen.* Deze worden het meest toegepast. De natuurlijke toeslagmaterialen zijn weer onder te verdelen in stollinggesteenten (basalt, graniet, enz.), afzettingsgesteenten (vooral kalksteen), gesteenten die na het stollen weer even vloeibaar zijn geweest, deze noem je metamorfe gesteenten (kwartsiet) en verweringsgesteenten (grind, zand, enz.). In Nederland wordt vooral verweringsgesteente gebruikt, afkomstig uit rivieren.
- *Kunstmatige toeslagmaterialen.* Van klei en vliegas (vliegas is afkomstig van vuilverbranders) kun je bolletjes rollen. Deze worden in een oven gesinterd. De gesinterde bolletjes zijn vervolgens te gebruiken als licht toeslagmateriaal.
- *Reststoffen.* Sommige afvalstoffen uit andere industrieën zijn heel goed toepasbaar als toeslagmateriaal in beton. Afval van bijvoorbeeld de metaalindustrie en beton van gesloopte gebouwen kan samen gemalen worden, en vervolgens verwerkt in nieuw beton.

3.2 Vochtgehalte

Toeslagmateriaal is meestal een beetje vochtig. Denk maar aan het zand dat je op het droge en het vochtige deel van het strand kunt vinden. Omdat de verhouding water-cement aardig nauw ligt bij de productie van beton is het belangrijk om te weten hoeveel vocht het toeslagmateriaal bevat.

De absorptie en de adsorptie bepalen samen de totale wateropname. Dat is in figuur 7 weergegeven.



Figuur 7: Wateropname.

Het geadsorbeerde water noemt met ook wel aanhangend water. Het geabsorbeerde water zit in de korrel. Het oppervlak van de korrel is dan droog.

Bij de productie is het belangrijk het vochtgehalte te weten van de toeslagmaterialen. Het percentage water wordt als volgt berekend:

$$\text{percentage water} = \frac{\text{natte massa} - \text{droge massa}}{\text{droge massa}} \times 100\% = \frac{m_{\text{nat}} - m_{\text{droog}}}{m_{\text{droog}}} \times 100\%$$

3.3 Chemische eisen

Omdat de werking van cement op een chemische reactie berust is het natuurlijk belangrijk om geen storende factoren te hebben. Het is ook belangrijk dat het staal in gewapend beton niet gecorrodeerd wordt. Om de optimale sterkte te behalen zijn er strenge eisen aan de chemische samenstelling gesteld.

Het totale chloridegehalte van beton wordt bepaald in verband met het wapeningsstaal. De aanwezigheid van chloriden kunnen er voor zorgen dat het staal gaat roesten, dat is uiteraard funest voor de constructie. Veel toeslagmateriaal wordt gewonnen uit zee, denk maar aan zand. Zout water bevat veel chloride. Zodoende is ook in toeslagmateriaal dat uit zee gewonnen wordt het chloride gehalte zeer hoog. Daarom is het belangrijk om het chloridegehalte nauwkeurig te bepalen.

Zwavel en sulfaten kunnen in beton een reactie aangaan met C_3A . Hieruit ontstaat ettingriet en dat trekt water aan. Wanneer het ettingriet water aantrekt, gaat het uitzetten. Dit is niet goed voor het beton. Het gehalte aan sulfaten (SO_3) mag maximaal 0,8% m/m zijn. Wanneer sulfiden zich vlak onder het oppervlak van beton bevinden, kan verkleuring ontstaan.

Ijzer en vanadium zijn ook elementen die slecht zijn voor het beton. Ze kunnen ontsierende vlekken op het beton veroorzaken.

Hoofdstuk 4: Aanmaakwater

4.1 Soorten water

Nadat de twee belangrijkste grondstoffen voor beton, cement en toeslagmateriaal, zijn besproken, vragen we nu aandacht voor het aanmaakwater. Want zonder water vindt er geen hydratatie van cement plaats. Drinkwater kan voor de hydratatie gebruikt worden maar dat is erg duur. We gaan kijken welke soorten water wel gebruikt kunnen worden of dat er nog onderzoek plaats moet vinden.

Leiding- of drinkwater

Leiding- of drinkwater is in het algemeen bruikbaar als aanmaakwater. Er hoeft geen onderzoek te worden verricht om dit water te gebruiken.

Industrieel water

Industrieel water is ruw gezuiverd water, geleverd door de waterleidingsmaatschappij. Het water dient 1x per jaar te worden gekeurd.

Teruggewonnen water

Dit is water dat uit een industrieel proces wordt teruggewonnen. Dit teruggewonnen water moet tijdens de opslag beschermd worden tegen schadelijke vervuiling.

Oppervlaktewater en bronwater

Deze zijn doorgaans bruikbaar, echter voor toepassing als aanmaakwater dient vooronderzoek plaats te vinden.

Zeewater en brakwater

Zeewater en brakwater kan worden gebruikt bij ongewapend beton. Het is ongeschikt voor gewapend beton, omdat er chloride in het water zit. Chloride veroorzaakt corrosie van de bewapening.

Spoelwater

Spoelwater is afkomstig van het schoonspoelen van speciemen en truckmixers. Dit water bevat resten beton of metselspecie. In een spoelinstallatie bezinken de zware delen en zo ontstaat cementslibwater. Het bevat altijd nog wat cement, fijne delen zand, evenveel hulpstoffen en grof zand en grind. Over het algemeen is dit water bruikbaar.

Rioolwater

Dit water is uiterst ongeschikt als aanmaakwater voor beton.

4.2 Te stellen eisen en onderzoeken

Het aanmaakwater mag geen negatieve invloed hebben op de hydratatie van cement. Daarom worden er onderzoeken gedaan naar het aanmaakwater. Dit gebeurt in de volgende stappen:

Monsterneming

Het onderzoek begint bij het bekijken en het ruiken bij de monsterneming. Vies stinkend water zal al meteen niet gebruikt worden, omdat er dan verdere onderzoekskosten aan moeten worden besteed. Bekend moet zijn welke stof verantwoordelijk is voor de vieze reuk.

Visuele inspectie

Bij de monsterneming worden opvallende dingen vastgelegd in een rapport. Dit kan zijn:

- zwevende bestanddelen;
- kleur en/of geur;
- schuimvorming bij schudden, wat kan wijzen op aanwezigheid van bijvoorbeeld wasmiddelen;
- olieresten.

Chloridegehalte

Zoals eerder vermeldt, veroorzaken chloriden corrosie van wapeningsstaal. Wanneer het chloridegehalte te hoog is zal het aanmaakwater niet gebruikt worden.

Onderzoek naar schadelijke bestanddelen door chemische analyse

Met behulp van een chemische analyse kunnen schadelijke stoffen uit het aanmaakwater verwijderd worden. Bijvoorbeeld fosfaten en nitraten.

Invloed op bindtijd van cement

Het te onderzoeken aanmaakwater mag de bindtijd niet meer vertragen of versnellen dan 30 minuten ten opzichte van de bindtijd die we meten in de referentiepaste met gedestilleerd water.

Invloed op ontwikkeling druksterkte

Het aanmaakwater mag niet te veel invloed hebben op de druksterkte van beton. Dit onderzoekt men met behulp van twee series onderzoeken. Een serie met het te onderzoeken aanmaakwater en een serie met gedestilleerd water. De druksterkte van het beton vervaardigd met aanmaakwater moet minstens 90% bedragen ten opzichte van die van het referentiebeton.

4.3 Gebruik van cementslibwater als aanmaakwater

Truckmixers, mengers en andere apparatuur die met betonspecie in aanraking zijn geweest, worden regelmatig schoongespoeld met water. Dit spoelwater komt meestal terecht in een spoelput waar zwaardere delen, cementslib en zand, kunnen bezinken. Het schone water kan afvloeien. Dit water kan hergebruikt worden als aanmaakwater.

Hoofdstuk 5: Hulpstoffen

5.1 Soorten hulpstoffen

Hulpstoffen zijn vaak van organische oorsprong en worden toegevoegd om één of meerdere eigenschappen van de specie of van het verharde beton te beïnvloeden. De normale dosering hulpstof is qua volume meestal zo gering, dat deze ten opzichte van de overige bestanddelen van de specie kan worden verwaarloosd. Daarom wordt bij het berekenen van het volume van de betonsamenstelling de hoeveelheid hulpstof buiten beschouwing gelaten.

Maar bij hoge dosering van hulpstoffen, zoals bij zelfverdichtendbeton of hogesterktebeton wordt de hoeveelheid water in de hulpstof wel bij het totale watergehalte in beton meegerekend.

De hoeveelheid hulpstof in betonspecie moet steeds door middel van onderzoek worden vastgelegd. En de hulpstoffen worden ingedeeld in verschillende categorieën. Deze normenserie waaraan de hulpstof moet voldoen is onderverdeeld in verschillende delen en zijn sinds 2002 vastgelegd.

Hulpstoffen kunnen worden ingedeeld naar het effect dat het gebruik ervan in specie of beton veroorzaakt, dit wordt de *hoofdwerving* van de hulpstof genoemd. Deze zijn onder te verdelen in hulpstoffen die:

- de verwerkbaarheid van mortel- en betonspecie beïnvloeden [zogenaamde (super)plastificeerders en waterreductiemiddelen];
- het luchtgehalte van het beton verhogen (luchtbelvormers);
- de binding en verharding beïnvloeden (vertragers en versnellers);
- de weestand tegen fysische invloed verhogen;
- tijdens het verharden expansie (uitzetting) veroorzaken.

Naast deze *hoofdwerving* kan een hulpstof ook *bij- of nevenwerkingen* uitoefenen waardoor een combinatie van eigenschappen verkregen wordt. Voorbeelden daarvan zijn:

- (super)plastificeerder met verhardingsvertragende of –versnellende bijwerking;
- plastificeerder met geringe luchtbelvorming als bijwerking.

Het is natuurlijk mogelijk om meerdere *hoofd-, bij- of nevenwerkingen* van de hulpstof te combineren, maar dan moet er natuurlijk ook gelet worden op de onderlinge wisselwerking van de hulpstoffen.

5.2 Hulpstoffen die de verwerkbaarheid van betonspecie wijzigen

Afhankelijk van de samenstelling kan beton erg vloeibaar of stug zijn. Het kan een korrelige structuur hebben of juist makkelijk te verdelen zijn. Ook het mengen van de ene specie kost aanzienlijk meer tijd dan de andere. Al deze eigenschappen van een specie vatten we samen onder het begrip *reologie*. Het gedrag van een betonspecie zegt iets over de eigenschappen die beton kunnen hebben.

Een voorbeeld van een hulpstof is een plastificeerder. Deze bezit de eigenschap om:

- de verwerkbaarheid van betonspecie te verbeteren bij een gelijkblijvend watergehalte, of
- het watergehalte van een betonspecie te kunnen verlagen bij een gelijkblijvende verwerkbaarheid;
- de intensiteit van het beton te verbeteren wat er voor minder geluid overlast zorgt;
- de hoeveelheid vrijkomende hydratatiewarmte te beperken.

Naast deze eigenschappen wordt er ook onderscheid gemaakt tussen *gewone en super plastificeerders*.

Gewone plastificeerders (PL)

De gewone plastificeerders zijn over het algemeen zeepachtige stoffen, waarvan de moleculen zich hechten aan de deeltjes in de betonspecie. Deze stoffen verminderen de inwendige wrijving in de specie door:

- het verlagen van de oppervlaktespanning van het aanwezige water;
- onderlinge afstoting van de cementdeeltjes;
- verhoging van de plasticiteit wat als gevolg heeft dat de specie beter vloeit en zich gemakkelijker vervormt.

Een nadeel van plastificeerders is dat als gevolg van de verlaging van de oppervlaktespanning er ook extra lucht in de betonspecie wordt aangebracht. Daarom moet de dosering van de gewone plastificeerders beperkt blijven (tot maximaal 0,4% ten opzichte van de cementmassa).

Superplastificeerders (SPL)

Het grote verschil tussen een superplastificeerder en een gewone plastificeerder is de grootte van het effect dat zij op de betonspecie hebben. Bij superplastificeerders berust de plastificerende werking voornamelijk op de afstotende krachten tussen de ladingen die door de plastificeerder op het oppervlak van een deeltje in de betonspecie wordt aangebracht.

De werkduur is niet erg lang ten gevolge van het inkapselen in de gevormde hydratatieproducten. Bij normale speciетemperaturen moet gerekend worden op 30 tot 40 minuten (als de temperatuur hoger ligt, loopt de werkduur verder terug).

Naast deze (super/gewone) plastificeerders zijn er ook luchtbelvormers (zie paragraaf 5.3) en waterretentiemiddelen. Een waterretentiemiddel is opgebouwd uit natuurlijke polymeren. Ze 'verdikken' als het ware het water waardoor de beweeglijkheid van de fijne deeltjes aanmerkelijk afneemt. Daardoor wordt de samenhang van een specie zodanig sterk verhoogd dat ontmenging, ook in water, wordt tegengegaan.

5.3 Hulpstoffen die het luchtgehalte wijzigen

Het luchtgehalte of het gehalte aan holle ruimten in beton wordt om verschillende redenen verhoogd. Daardoor is er een aantal verschillende typen hulpstoffen beschikbaar die elk hun eigen toepassingsgebied hebben.

Luchtbelvormers

Een luchtbelvormer zorgt er voor dat een groot aantal, zeer kleine luchtbelletjes ontstaan. De diameter varieert van 0,5 tot 0,02 mm. Luchtbelletjes van deze diameter bezitten een grote stabiliteit en worden bijvoorbeeld door trillen van de specie niet verdreven. Daarnaast verhogen luchtbelvormers de bestendigheid van het beton voor vorst- en dooizout.

Verbeteren van de samenhang van specie

Gebleken is dat luchtbelletjes zorgen voor een waterafscheiding of tegen *bleeding* van de betonspecie.

Verbetering van de verwerkbaarheid

Luchtbelletjes verlagen de wrijvingsweerstand van de specie en verhogen dus de 'vloeibaarheid' daarvan (vergelijk de werking van kogellagers).

Dosering van een luchtbelvormer

de hoeveelheid luchtbelvormer in betonspecie om het gewenste effect te verkrijgen, is over het algemeen laag. Namelijk tussen de 0,1 of 0,2% van de cementmassa. De hoeveelheid massa % van de luchtbelvormer is wettelijk vastgesteld afhankelijk van de korrelgrootte van het toeslagmateriaal.

De volgende factoren hebben effect op de luchtbelvorming:

- De korrelgrootte van het toeslagmateriaal.
Bij gelijke dosering zal bij een fijne korrelgrootte het luchtgehalte afnemen;
- De fijnheid van het cement.
Bij gelijke dosering van de luchtbelvormer neemt het luchtgehalte af als de fijnheid van het gebruikte cement toeneemt. Ook als de hoeveelheid cement afneemt;
- Consistentieklasse.
Bij minder vloeibare specie/lage consistentieklasse moet er voor een gelijk luchtgehalte de dosering luchtbelvormer worden verhoogd;
- Specietemperatuur.
Bij een toename van de specietemperatuur zal bij gelijke dosering een afname van het luchtgehalte te zien zijn;
- Toevoeging van poederkoolvliegias.
Toevoeging van poederkoolvliegias heeft een verlagende werking op de luchtbelvormers.

5.4 Gas/schuimvormende hulpstoffen

Bij gasvormende hulpstoffen wordt kort na de menging door een chemische reactie gas ontwikkeld. Toepassing waarbij relatief weinig gas wordt gevormd zijn injectie- of ondersabelingsmortels. Ondersabelen is het opvullen van kleine ruimtes tussen constructieonderdelen. Bij deze toepassingen treedt geringe expansie op.

Naast gasvormende hulpstoffen heb je ook schuimvormende hulpstoffen. Een schuimvormende hulpstof brengt tijdens het mengen een grote hoeveelheid lucht in de specie aan.

Een toepassing van schuimvormende hulpstoffen is schuimbeton dat onder andere in de woningbouw en de wegenbouw wordt toegepast. Schuimbeton is lichter, maar toch sterk genoeg voor de genoemde toepassingen.

5.5 Hulpstoffen die de binding en verharding beïnvloeden

Hulpstoffen kunnen de reactie van cement en water beïnvloeden. De hydratatie kan vertraagd of versneld worden. Deze hulpstoffen worden daarom ook wel vertragers en versnellers genoemd.

Vertragers

Een vertrager wordt toegepast om de volgende redenen:

- de verwerkingstijd wordt verlengd;
- ten voorkoming van stortnaden (naden die ontstaan als naastliggend beton als is uitgehard, deze kenmerken zich door luchtinsluiting. Dit heeft als gevolg dat het beton niet goed aan elkaar hecht);
- ter voorkoming van scheurvorming in jong beton.

De chemische samenstelling van vertragers kan zeer verschillend zijn. Maar de meeste toegepaste vertragers bestaan uit één of verschillende onder genoemde stoffen:

- suikers;
- lignosulfaten;
- fosfaten;
- zouten van hydroxyalkaanzuur;
- boraten.

Vooralsuikers zijn erg effectief, want een hoog suikergehalte kan er toe leiden dat de binding en de verharding over zeer lange tijd wordt verstoord.

Deze vertragers zijn werkzaam doordat ze zich aan het oppervlak van de deeltjes afzetten en daar als het ware een hindernis vormen voor de hydratatie. Verschillen in oppervlakte leiden dan ook tot verschillende mate van vertraging, maar het uiteindelijke type en de dosering van de vertraging is afhankelijk van het doel waarvoor men het beton gebruikt.

Versnellers

De meeste stoffen die worden gebruikt als versneller hebben maar een gering effect. Versnellers hebben vooral effect op de beginsterkte van het beton en bijna niet op de sterkte op lange duur.

5.6 Kleurstoffen

Men kan het beton kleuren door een kleurstof door de betonspecie te mengen. De kleurstoffen moeten aan hoge eisen voldoen.

Enkele bekende kleurstoffen zijn:

- suikers;
- roetzwart;
- mangaanzwart;
- verschillende vormen van ijzeroxide (geel, rood en zwart);
- chroomoxide (groen);
- gebrande klei (bruin en geel).

5.7 Keuring van hulpstoffen

Alle normen voor de meeste hulpstoffen zijn vastgesteld en moeten aan bepaalde eisen voldoen. Er wordt vooral aangegeven dat door middel van een toelatingsonderzoek, uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van de producent, de hoofd- en nevenwerking dient te worden vastgesteld.

Als de hulpstof aan de eisen voldoet, kan de producent het 'EG-certificaat' voor de interne kwaliteitscontrole verkrijgen.

De producent van een hulpstof dient tevens een aantal kenmerkende grootheden van de hulpstof prijs te geven, onder anderen:

- de pH;
- de dichtheid;
- droge-stofgehalte;
- infraroodanalyse.

Hoofdstuk 6: Vulstoffen

6.1 Soorten vulstoffen

Een vulstof is een vrijwel inerte, dan wel puzzolane stof, meestal fijner dan 0,125 mm, die aan betonspecie kan worden toegevoegd ter aanvulling van het fijne materiaal dat in de specie zit. Dit om de samenhang van de specie te vergroten.

Kortom door de hoeveelheid fijn materiaal te verhogen wordt de onderlinge samenhang van specie groter.

Soorten vulstoffen:

- Inerte vulstoffen (type 1);
Inerte vulstoffen geven geen chemische reactie met het cement.
- Reactieve vulstoffen (type 2);
Reactieve vulstoffen kunnen puzzolane eigenschappen bevatten. Deze kunnen reageren met het Ca(OH)_2 of als ze latent zijn een structuur vormen met de cementmineralen.

Vulstoffen die in betonspecie kunnen zitten zijn:

- Poederkoolvliegias;
- Silicafume;
- Steenmeel;
- Specifieke kleisoorten zonder zwellende eigenschappen;
- Gemalen hoogovenslak.

6.2 Poederkoolvliegias

Poederkoolvliegias is een fijn poeder, dat hoofdzakelijk bestaat uit bolvormige, glasachtige deeltjes en dat vrijkomt bij de verbranding van poederkool. De as heeft puzzolane eigenschappen en bestaat voornamelijk uit SiO_2 en Al_2O_3 waarbij het gehalte aan reacties SiO_2 , minstens 25% (m/m) bedraagt.

Poederkoolvliegias ontstaat als reststof bij de verbranding van fijngemalen kolen in elektriciteitscentrales. Hij wordt naast vulstof ook gebruikt als grondstof voor klinkerbereiding of als grondstof voor het maken van portland-poederkool-vliegias-cement.

Je kunt de stof als een mineraal beschouwen. Poederkoolvliegias kan als mineraal een *glasachtige* en een *kristalachtige* structuur aannemen. Een glas structuur heeft direct invloed op de puzzolane eigenschappen.

Het toevoegen van kooldeeltjes kan in een te grote hoeveelheid ook een aantal nadelen veroorzaken.

- De grove korrels kunnen galvanische elementen vormen;
- Door adsorptie van de luchtbelvormer is het minder bestand tegen vorst en dooizouten.

De glasachtige structuur komt vaak voor als ‘bolletjes’ en kunnen een kogellager effect veroorzaken wat het beton meer plastisch maakt en er minder water nodig is om het mengsel te maken.

Ook kan er door de zeer fijne kool een zeer dichte structuur worden gevormd met de aanwezige fijn gemalen cementdelen. Het beton kan daardoor sterker worden.

Poederkoolvliegias kan in zowel gewapend als voorgespannen beton voorkomen. Het heeft op beide geen negatieve werking op duurzaamheid of corrosie.

Poederkool kan worden gezien als bindmiddel en als vulstof. Het bindmiddel wordt meegenomen in de hoeveelheid cement. Poederkool kan daardoor de water-cementfactor beïnvloeden. Er kan minder cement worden gebruikt maar dus meer poederkool om aan de factor te voldoen. Het bindend vermogen van poederkool mag pas na 28 dagen worden meegeteld. Vóór deze tijd is het bindend vermogen van poederkool te klein.

6.3 Steenmeel

Puzzolaan steenmeel

Meest bekende puzzolane steenmeel is tras. Tras is fijngemalen tufsteen (vulkanisch gesteente). Tras wordt vooral gebruikt bij waterwerken waar een lage concentratie van cement moet worden gebruikt.

Niet-puzzolaan steenmeel

Het meeste steenmeel dat we kennen wordt gemaakt door zand of kalksteen te vermalen. Steenmeel heeft geen chemische werking op het beton en wordt puur als vulstof gebruikt. Omdat het nergens mee reageert, wordt het gekenmerkt door het inert te noemen. Met kalksteen moet het CaCO_3 -gehalte en de korrelgrootte constant blijven. Het schommelen van de korrelgrootte heeft bijvoorbeeld een grote invloed op de klevigheid. Hoe fijner de stof des te kleviger het beton en des te meer water je nodig hebt.

6.4 Gemalen hoogovenslak

Voor gemalen hoogovenslak, een gemalen vulstof, is er minder normering dan voor andere vulstoffen. Maar de verhoudingen voor de grondstoffen van iedere betonmix kan worden vergeleken met die van poederkoolvliegias.

6.5 Silicafume

Silicafume is een restproduct bij de fabricatie van het element silicium.

Kwarts (SiO_2) wordt samen met koolstof verhit tot ongeveer 2000°C . Hierdoor ontleedt het kwarts waarna silicium als vloeistof uit de oven wordt afgetapt. De opstijgende lucht van het vloeibare silicium bevatten kleine siliciumdeeltjes die vervolgens reageren met de zuurstof in de lucht waarbij kiezelzuur ontstaat. Bij het afkoelen van deze damp slaan de kiezelzuurdeeltjes neer als super fijne glasachtige bolletjes, silicafume.

Doordat het vele malen fijner is dan bijvoorbeeld poederkoolvliegias wordt de interesse in silicafume de laatste jaren steeds groter. Het heeft een zeer positieve werking op de stevigheid van beton.

Hoofdstuk 7: Eigenschappen van betonspecie

7.1 Structuur

Om betonspecie werkbaar te houden worden vooral eisen gesteld aan het cement, de toeslagmaterialen en de toevoegingen. Elk aspect zorgt voor een gevarieerd betonmengsel. De variatie is nodig omdat betonspecie op zoveel verschillende manieren wordt verwerkt.

7.2 Verwerkbaarheid

Onder verwerkbaarheid verstaat alle eigenschappen van een betonspecie die bijdragen tot een juiste manier van verwerken onder de gegeven omstandigheden.

Plasticiteit

Aanmaakwater, cement, toeslagmateriaal en vulstoffen bij elkaar voordat het is uitgehard heet mortelspecie of betonspecie, afhankelijk van de grootte van het toeslagmateriaal. De specie is plastisch (vloeibaar), voornamelijk door het water. Er kan niet onbeperkt water worden toegevoegd want teveel water zorgt ervoor dat de pasta gaat ontmengen. Trouwens bij teveel water ontstaan heel vaak scheuren in de mortel of het beton.

Ontmenging

Ontmenging wordt zichtbaar omdat er vaste delen bezinken. Ook een suspensie als betonspecie zal na een tijd bezinken. De zware/grote delen eerst en de kleine delen daar bovenop. Bij de juiste bereiding van cementpasta of de betonspecie zal er geen ontmenging plaatsvinden en de samenstelling intact blijven. Voeg je bijvoorbeeld teveel water toe dan ontstaat er ontmenging waardoor het uiteindelijk beton niet in zijn optimale samenstelling is uitgehard.

De volgende factoren zijn van invloed op de verwerkbaarheid van betonspecie:

- *Mengbaarheid*

Het mengen van de specie moet gemakkelijk zijn en niet teveel tijd in beslag nemen.

- *Transporteerbaarheid*

Betonspecie moet transporteerbaar zijn maar elk mengsel vraagt om zijn eigen transport. Vergeet ook niet dat na het toevoegen van het aanmaakwater de hydratatie begint en het mengsel binnen een bepaalde tijd op de verwerkplaats moet zijn.

- *Vloeigedrag*

Betonspecie moet kunnen vloeien zonder dat de samenstelling verandert. Er mag geen ontmenging plaatsvinden.

- *Verdichtbaarheid*

Met verdichtbaarheid wordt bijna altijd het verdrijven van lucht uit de mengsels bedoeld. Daardoor verdicht je het mengsel. De apparaten die je kunt gebruiken hangen sterk af van de verwerkplaats maar nieuwe ontwikkelingen zorgen ervoor dat het verdichten van beton tegenwoordig zonder apparaten kan worden gedaan.

- *Stabiliteit*

Betonspecie heeft een goede stabiliteit als de specie overal in zijn ideale samenstelling blijft. Er mag bijvoorbeeld geen ontmenging plaatsvinden.

- *Verpompbaarheid*

Betonspecie wordt vaak verpompt. Betonspecie moet pompbaar zijn over een bepaalde afstand zonder te ontmengen.

- *Afwerkbaarheid*

Om beton het gewenste uiterlijk te geven moet de betonspecie afgewerkt worden. Wanneer en op welke manier hangt af van de soort beton en vaak ook van de droogtijd. Te vroege afwerking kan leiden tot lichte ontmenging waardoor de toplaag slechter wordt.

- *Groene sterkte*

De groene sterkte houdt in dat de specie voor uitharding een sterke onderlinge samenhang heeft. Dit is de aantrekkingskracht die alle hulpstoffen, vulstoffen en andere bestanddelen op elkaar hebben. Daarbij spelen zowel adhesie als cohesie een rol. Met de ideale verhouding aanmaakwater worden deze twee krachten groter maar een te grote hoeveelheid aanmaakwater zorgt weer voor ontmenging. Andere factoren die de groene sterkte beïnvloeden zijn korrelgrootte, hoeveelheid fijne stof en eventuele volledige verdichting.

Hoofdstuk 8: Het verhardingsproces

8.1 Hydratatie

Na het mengen van water en cement treedt er een chemische reactie op, hydratatie. Bij die reactie worden cement en water omgezet in cementshydraten (zie hoofdstuk 2). Na verloop van tijd ontstaat daardoor cementsteen. Het cement droogt dus niet op, het neemt het water op in zijn kristalstructuur. Bij de hydratatie van cement is water een reactant. Dit is anders als bijvoorbeeld het drogen/bakken van klei. Bij klei spreekt men van een fysische binding, het water zit de klei in de weg. Klei kan pas hard worden als het water, dat de fysische binding in de weg zit, is verdampt.

Het hydratatieproces van cement begint direct nadat het water en het cement gemengd zijn, dit wil echter niet zeggen dat het ook gelijk hard wordt. Na het mengen is er nog een rustperiode, 1 à 2 uur, waarin de cementpasta nog vormbaar is. Het uitharden begint pas na deze rustperiode. De lengte van deze rustperiode kan worden beïnvloed met een bindtijdregelaar (zie figuur 8).

Water-cementfactor (WCF)

De water-cementfactor geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid water die bij het cement gemengd wordt. Die verhouding is de massa van het water tegenover die van het cement.

$$WCF = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{cement}}}$$

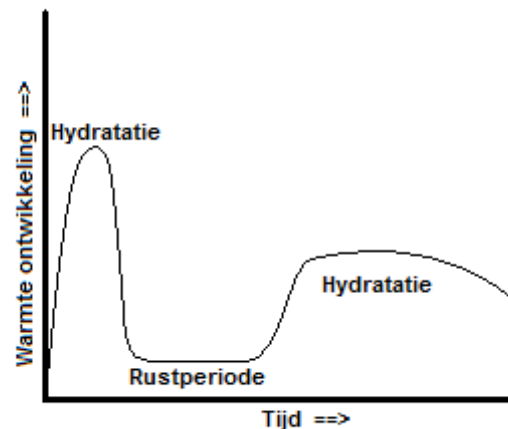
Bij menging van 100 gram cement met 50 gram water is de $WCF = 0,5$.

Water-bindmiddelfactor (WBF)

Naast cement zijn er ook andere materialen die een bindmiddelfunctie hebben. Dus als er naast cement ook een ander bindmiddel is, spreken we van een WBF in plaats van WCF.

$$WBF = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{cement}} + C \cdot m_{\text{bindmiddel}}}$$

Hierin is C een constante, de bindmiddelfactor. Daarnaast mag de massa van het bindmiddel niet groter worden als een derde van de massa van het cement.



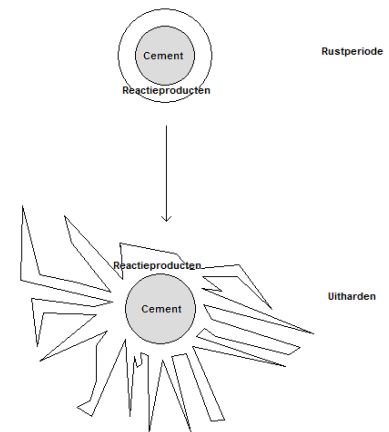
Figuur 8: Hydratatieproces.

8.2 Het hydratatieproces

Na het mengen van het water met het cement zal de hydratatie plaatsvinden. De reactieproducten vormen een laagje rond de cementkorrel, waardoor de reactie stopt. Dit is de rustperiode.

Na een tijd bezwijkt het laagje reactieproducten en is de rustperiode voorbij. Dan begint het beton uit te harden (zie figuur 8 en 9).

Daarbij worden tricalciumsilicaat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), dicalciumsilicaat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) en kalk omgezet in calciumsilicaathydraat ($x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$) en kalkhydraat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Er ontstaan grote kristallen, met een draderige structuur. Door de vorm kunnen deze kristallen veel water binden, dit komt omdat de kristallen een grote oppervlakte/inhoud verhouding hebben. Daardoor ontstaat de sterke structuur zoals we die van beton kennen.



Figuur 9: Uitharden beton.

Hydratatiegraad

De hydratatiegraad zegt welk deel van het cement al is gehydrateerd.

$$\text{Hydratatiegraad} = \frac{m_{\text{gehydrateerd cement}}}{m_{\text{totaalcement}}}$$

De hydratatiegraad geeft dus weer hoe ver het beton is gehydrateerd. Een hydratatiegraad van 0,6 betekent dus dat 60 % van het beton is gehydrateerd.

8.3 Hydratatiewarmte

Het hydrateren van cement of betonspecie is een exotherme reactie. Bij het vormen van de cementshydraten uit het water en het cement ontstaat warmte. Dit is een zichzelf versterkend proces. Door de warmteafgifte stijgt de temperatuur van het beton en zal de hydratatie sneller verlopen.

Te snelle temperatuurstijgingen in het beton kunnen leiden tot scheurvorming. Dit is vooral een probleem bij grote massa's beton, de warmte kan daar moeilijk ontsnappen. Daarom wordt bij grote massa's beton gekozen voor een cementsoort met een lage hydratatiewarmte.

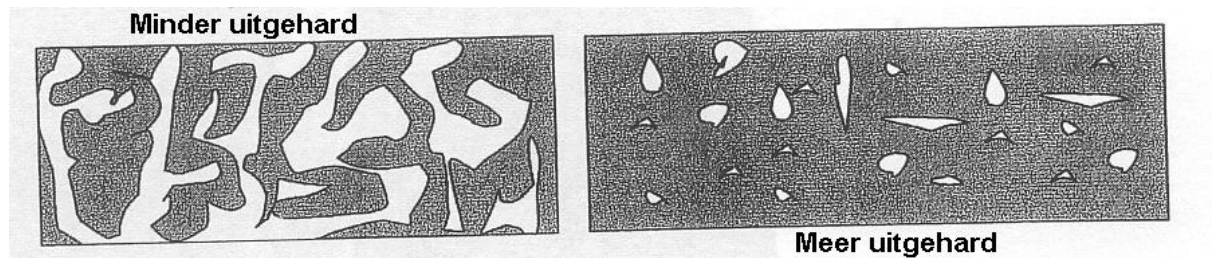
8.4 De poriënstructuur en permeabiliteit van beton

In beton zitten kleine ruimtes (poriën) waarin water en gassen zich kunnen verplaatsen. Dit komt de duurzaamheid van het beton niet ten goede. Er zijn allerlei manieren waardoor poriën kunnen ontstaan:

- *Gelporien (zeer klein)* Bestaan uit water dat gebonden is aan cementhydraten.
- *Capillaire poriën* Bevatten aanmaakwater dat nog niet bij de hydratatie is gebruikt.
- *Microscheuren* Scheurtjes die zijn ontstaan bij het uitharden van het cement.
- *Luchtbelletjes* Lucht dat bij het mengen van het cementmengsel is opgenomen.
- *Holten* Ruimtes die door slecht verdichten van beton blijven bestaan.

Al deze poriën zorgen voor de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van beton, dat wil zeggen, het gemak waarmee water zich door het beton kan bewegen. Dit wordt uitgedrukt in de snelheid (m/s) waarmee een constante waterstroom, onder druk van een kolom water van 1 m, zich door een laag van 1 m beton kan werken.

- Hoe meer poriën er in het beton zitten, hoe groter de permeabiliteit is.
- Hoe meer het beton uitgehard is, hoe lager de permeabiliteit is (zie figuur 10).
- Hoe groter de watercementfactor is, hoe hoger de permeabiliteit is.



Figuur 10: Permeabiliteit beton.

Porositeit van beton

De porositeit van beton geeft weer hoe groot het volume van de poriën in het beton is, ten opzichte van het totale volume van het beton. De porositeit wordt weergegeven in een percentage:

$$\text{Porositeit} = \frac{V_{\text{poriën}}}{V_{\text{totaal}}} \cdot 100\%$$

Hoofdstuk 9: Eigenschappen van beton

Beton kan je onder andere verdelen in cementbeton en asfaltbeton. Cementbeton heet in de volksmond beton en asfaltbeton gewoon asfalt. Andere betonsoorten hebben de naam van het bindmiddel nog wel in zich.

Enkele belangrijke soorten beton

<i>Soorten beton</i>	<i>Toepassingen/opmerkingen</i>
▪ <i>Vloeistofdichtbeton</i>	bijvoorbeeld bij een benzinstation; olie kan de grond niet verontreinigen
▪ <i>Waterdichtbeton</i>	water zal verdampen voordat het er doorheen is gekomen
▪ <i>Onderwaterbeton</i>	bijvoorbeeld de westerscheldetunnel
▪ <i>Hittebestendigbeton</i>	
▪ <i>Schoon beton</i>	beton dat er ‘mooi’ uit ziet; o.a. bij betonbouw
▪ <i>Slijtvast beton</i>	bijvoorbeeld op wegen waarop men met sneeuwkettingen rijdt

Het mengsel cement, water en korrels (groter dan 4mm) noem je betonspecie. Bij de reactie van cement en water worden cementhydraten gevormd; dit reactieproduct heet cementgel. Dit is nog een ‘vloeibaar’ product. Als het grotendeels uitgereageerd is, dan heet het cementsteen. Cementsteen bestaat uit verharde cementgel, capillaire poriën, gedeeltelijk gehydrateerde cementkorrels en andere fijne korrels.

Betonspecie heeft vanwege de samenstelling bepaalde potentiële eigenschappen, maar als de uitvoering niet volledig naar wens verloopt, zijn de gerealiseerde eigenschappen van het beton anders. De betontechnoloog doet zijn best om te zorgen dat de gerealiseerde eigenschappen zo dicht mogelijk bij de potentiële eigenschappen liggen. Hij kijkt naar de functie die het beton moet hebben en de omgeving waar het beton moet harden, of zich uiteindelijk zal bevinden.

De betontechnoloog houdt zich in eerste instantie bezig met de ‘sterkteklasse’ en de duurzaamheid (‘milieuklassen’) van het beton.

Hij kijkt pas in tweede instantie naar de volgende aspecten:

- verwerkbaarheid (voor en tijdens het storten);
- grootste korrelafmeting;
- temperatuurontwikkeling (tijdens het harden);
- sterkteontwikkeling (tijdens het harden);
- vertraagde binding (tijdens het harden) en
- de waterindringing (tijdens het harden, maar ook als het uitgehard is).

De massa van beton is soms uiterst belangrijk. Wanneer deze heel hoog is (zwaarbeton met een dichtheid van $>2600 \text{ kg/m}^3$), kan het geluiddempend werken, of een bepaalde stralingsbarrière verzekeren. In een tunnel wordt daarom met zwaar beton gewerkt. Is de massa van beton laag (lichtbeton met een dichtheid tussen de 600 en 2000 kg/m^3) dan heeft dat bijvoorbeeld de functie, de onderliggende laag minder te belasten of de

warmte-isolerende werking te versterken, ook kan het transport- en montagekosten besparen.

Uiteraard heb je ook normaalbeton (met een dichtheid van 2000 tot 2600 kg/m³).

Normaalbeton wordt het meest toegepast.

Soort beton	Dichtheid (kg/m ³)	eigenschappen	toepassing
Zwaar beton	> 2600	Geluiddempend, stralingsbarrière	tunnel opslag radioactief afval
normaalbeton	2000 - 2600		bouw
lichtbeton	600 - 2000	waterdicht	geluidschermen

Porositeit (zie o.a. hoofdstuk 8)

Zowel cementsteen als toeslagmateriaal heeft een eigen porositeit, de kleine holtes die in het beton voorkomen. Met luchtbelvormers kan de porositeit worden verhoogd.

Misschien raar, maar omdat water niet makkelijk van capillaire poriën naar een luchtbel zal gaan, zorgen luchtbellens ervoor dat beton ‘waterdichtbeton’ wordt. Omdat de capillaire poriën door de luchtbellens onderbroken worden, wordt de waterdoorlaatbaarheid verlaagd en blijft het water dus meer op zijn plaats.

Water verdampt dan simpelweg sneller, dan dat het door het beton heen kan gaan.

Lichtbeton bevat toeslagmateriaal, waarin ontoegankelijke holtes in zitten. Deze kunnen dus niet met water worden gevuld, vandaar de term ontoegankelijk.

Sterkte van beton

Beton is voornamelijk sterk omdat het drukkracht kan opvangen. Hoe groter de korrels van het toeslagmateriaal (tot op bepaalde grootte), hoe beter deze druk wordt opgevangen. Hoe kleiner de korrels, des te meer de druksterkte bepaald wordt door de cementsteen.

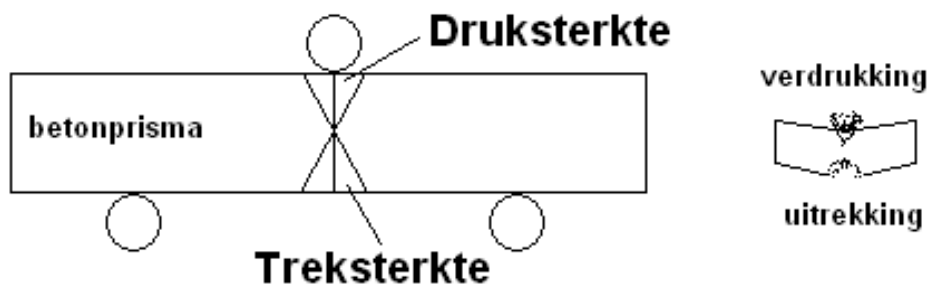
Binnen bepaalde grenzen geldt:

Hoe hoger de watercementfactor, hoe minder sterk het beton zal zijn.

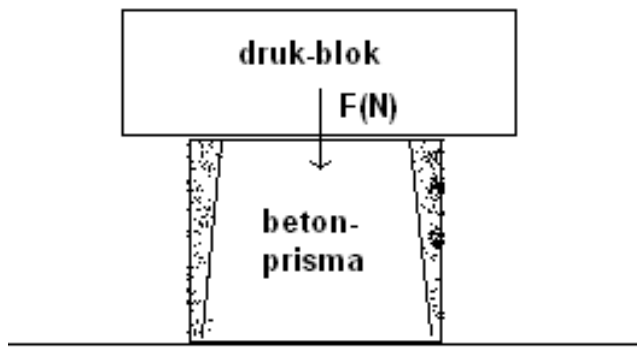
Hoe meer lucht er in beton zit, des te zwakker het beton.

De trekkracht van beton is in het algemeen heel laag. Met voorgespannen bewapening, kan dit verhoogd worden. De treksterkte is onder te verdelen in de buig-treksterkte, of de splijttreksterkte. Deze kunnen op onderstaande manieren worden gemeten:

Driepuntsproef



Figuur 11: Bepaling treksterkte beton met driepuntsproef.



Figuur 12: Splijttrek-sterkte.

Duurzaamheid van beton

De term ‘milieu’ heeft bij beton een andere betekenis dan normaal gebruikelijk. In de norm betekent het zo ongeveer elk gas, vloeistof of vaste stof waarmee het oppervlak van een betonconstructie gedurende zijn levensduur in de gebruiksfase langdurig aan zal zijn blootgesteld.

De permeabiliteit (doorlatendheid) van beton

Tijdens de hydratatie onttrekken de cementkorrels water aan hun directe omgeving en vormen daarmee cementgel. De cementgel vult geleidelijk de met water gevulde ruimten in het beton en hecht zich aan de toeslagmateriaalkorrels. Betonspecie bevat meestal meer water dan het cement nodig heeft voor de hydratatie, zodat er water overblijft in zeer kleine ruimten in het cementsteen, de capillaire poriën.

Invloed cementsteen

Naarmate de cementsteen een dichtere poriënstructuur (lagere permeabiliteit) heeft, zullen agressieve bestanddelen moeilijker het beton kunnen binnendringen, wat de duurzaamheid ten goede komt.

Invloed nabehandeling

Indien beton niet goed wordt nabehandeld, verdampt water aan het oppervlak dat eigenlijk nodig is voor de hydratatie. In de buitenlaag van het beton stopt de hydratatie en dus blijven de poriën groot en raken plaatselijk niet verstopt. Hoe slechter de nabehandeling, hoe groter de permeabiliteit in de buitenlaag van het beton.

Chemische aantasting

Zeer zuiver water en regenwater lossen kalk op. Als beton zich langdurig in stromend water bevindt, zal er pas sprake zijn van aantasting.

Zuren zullen het basische milieu van de cement aantasten. De zouten die door de zuuraantasting ontstaan zijn goed oplosbaar en zullen dus uit het cementsteen wegvloeien.

Sulfaten hebben de neiging wateronttrekkend te zijn. Samen met calciumaluminaat zal het een complex kristalzout vormen, waaraan enorm veel water is gebonden. Wanneer dit

gebeurt, zal het cementsteen desintegreren (uiteenvallen) en blijft er alleen nog los zand op. Sulfaten komen voor in bijvoorbeeld zeewater of sommige soorten grondwater.

Carbonatatie

Koolstofdioxide zal in beton reageren met het water tot een zwak zuur. Dit zuur vormt met de kalk calciumcarbonaat, de zogenoemde carbonatatie. Hoewel dit proces voor de sterkte geen betekenis heeft, zal er wel enigszins krimp optreden.

Ook de invloed van temperatuur kan krimp of juist uitzetting tot gevolg hebben.

Voornamelijk bij het hardingsproces kan dit nadelig zijn.

Inwerking van chloriden

Chloriden tasten de bewapening van beton aan. Verder reageren ze met de ijzerionen in de betonspecie, of zorgen ze ervoor dat er zoutzuur wordt gevormd, waardoor de pH drastisch wordt verlaagd!

Vorstbestendigheid

In capillaire poriën kan water bevriezen. Water zet uit als het bevriest. De druk binnen in het beton kan zo toenemen dat er scheuren ontstaan. Genoeg luchtbellens kan dit voorkomen.

Alkali-silicareactie

Alkaliën die altijd in beton aanwezig zijn, kunnen reageren met bepaalde, reactieve silica bevattende bestanddelen van toeslagmateriaal. Er ontstaat een gel, deze gel neemt meer ruimte in, waardoor er druk ontstaat. De mechanische eigenschappen zoals de treksterkte zal afnemen, waarna het beton kan gaan scheuren. In de afgelopen jaren zijn nogal wat viaducten in Nederland vervangen vanwege scheuren in het beton door de alkali-silicareactie.

Hoofdstuk 10: Grondtoeslagen berekeningen betonsamenstelling

In dit deel bespreken we grondtoeslag van beton. Hier behandelen we de eisen waaraan de eigenschappen van beton en betonspecie moeten voldoen. De normen bevatten een aantal uitgangspunten en classificaties waarmee we rekening moeten houden.

10.1 Normatieve grondslagen

De eisen en regels voor het produceren van beton zijn vastgesteld in Europese normen. Deze eisen zijn door Nederland overgenomen en zijn verder aangevuld om de kwaliteit te garanderen.

We bespreken een aantal normen, namelijk:

Sterkte

De sterkte van beton wordt weergegeven in druksterkte. Voor het aangeven van de sterkteklassen gebruiken we wel de officiële notatie. Een sterkteklasse begint voor normaal en zwaar beton met de letter C (van het Engelse *concrete*), en voor lichtbeton met de letters LC, gevolgd door twee getallen die de karakteristieke cilinderdruksterkte en de karakteristieke kubussterkte aangeven in N/mm^2 .

De karakteristieke druksterkte van een partij beton is de druksterkte die kenmerkend is voor meer dan 95% van de partij. De keuring vindt plaats door middel van steekproeven.

Duurzaamheid

De omgeving waar het beton aan wordt blootgesteld wordt ook wel het ‘milieu’ genoemd. De duurzaamheid is afhankelijk van de schadelijkheid van deze omgeving, de aantasting van de bewapening, de aantasting van het beton door vorst- en dooizouten en chemische aantasting.

Er zijn totaal 18 klassen en deze zijn gegroepeerd in 6 hoofdgroepen:

- geen risico op corrosie of aantasting (X0)
- corrosie ingeleid door carbonatatie (XC)
- corrosie ingeleid door chloriden, niet afkomstig uit zeewater (XD)
- corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater/aantasting door sulfaten (XS)
- aantasting door vorst/dooi wisseling met of zonder dooizouten (XF)
- chemische aantasting (XA)

De code van twee letters wordt, behalve bij X0, nog gevolgd door een cijfer dat verwijst naar een situatie die voor het beschouwde aantastingmechanisme en betreffende bouwdeel kenmerkend is.

Per milieuklasse moet voor de volgende parameters grenswaarden worden vastgesteld.

- de toegelaten soort en klassen grondstoffen;
- de maximale water-cementfactor;

- het minimale cementgehalte;
- het minimale luchtgehalte (indien van toepassing);
- de minimale sterkteklasse van het beton (optioneel).

De levensduur van beton is ook sterk afhankelijk van de pH waarmee het in aanraking komt, want geen enkel beton, hoe goed ook van samenstelling, kan op de lange duur weerstand bieden tegen zuuraantasting.

Maximale gehalte aan chloriden

Om corrosie van beton- en vooral voorspanstaal te voorkomen zijn er eisen gesteld aan het maximale chloridegehalte van beton. Deze eisen zijn afhankelijk van de aard van de constructie:

- gewapend beton;
- beton met ingestorte metalen;
- voorspanstaal;
- voorgespannen beton met voorgerekte voorspanstaal.

Voor beton zonder corrosiegevoelige materialen mogen we uitgaan van het chloridegehalte van ongewapend beton.

Cement

Ook aan het soort cement zijn eisen gesteld, en deze berust op basis van portlandcement met poederkoolvliegias als vulstof.

Korrelgrootteverdeling van het toeslagmateriaal

Er zijn geen eisen gesteld aan de korrelgrootteverdeling van het toeslagmateriaal. Dit geeft de betontechnoloog meer ruimte om een mengsel van diverse toeslagmaterialen samen te stellen. Maar hij moet natuurlijk wel rekening houden met de invloed van de korrelgrootte op de waterbehoefte van het mengsel.

Grootste korrelafmeting

Welke grootste korrelafmeting in een constructie toelaatbaar is, moet worden vastgesteld in de projectspecificatie en is afhankelijk van:

- de afstand van $1/5$ van de kleinste afstand tussen de bekistingwanden;
- de afstand van $3/4$ tussen de wapeningsstaven;
- de vrije ruimte tussen evenwijdige spankanalen;
- de afstand van $2/5$ van de vloerdikte/druklaagdikte indien het een in het werk gestorte vloer betreft.

Voor korrelgroepen die behoren tot het grove toeslagmateriaal zijn bepaalde eisen opgesteld waarbij 85% van de korrels binnen een bepaalde norm valt.

Minimumhoeveelheid fijn materiaal

Bij het storten en verwerken kan aan het oppervlakte waterafscheiding optreden. De meeste effectieve maatregel tegen waterafscheiding is betonspecie samen te stellen met

voldoende fijn materiaal.

Ontmenging kan worden voorkomen door:

- een zo droog mogelijke specie;
- gebruik een fijn gemalen cement;
- vergroting van het totale oppervlak van het mengsel door meer cement;
- poederkoolvliegass of een ander mineraal vulstof toe te voegen;
- een goede, continue korrelverdeling;
- gebruik van hulpstoffen.

Voldoende fijn materiaal maakt de betonspecie stabiel. Want in minder stabiele betonspecie kunnen uitzakkende grindkorrels zorgen voor scheuring in beton. En er kan zich een waterbel vormen die na verharen en drogen overgaat in een luchtbel. De ontbrekende hechting tussen beton en wapening zorgt voor onvoldoende bescherming tegen corrosie.

Zwaarbeton

De technologie voor het samenstellen van zwaarbeton verschilt niet van die voor normaal beton. Dit wordt bereikt door zwaarder toeslagmateriaal te gebruiken.

Enkele voorbeelden zijn:

- basalt;
- ijzererts;
- loodslakken.

Net als bij normaal beton hebben korrelvorm, korrelsterkte, en korrelgrootte invloed op de sterkte van het beton. Wel vraagt zwaarbeton om meer verwerking in verband met het verkrijgen van een goede verdeling/mening.

10.2 Constructieve grondslagen

Op basis van de verwachte belastingen bepaalt de ontwerper van het beton de afmetingen, de sterkteklasse, de hoeveelheid en de aard van de wapening. Hij kan variëren zodat het ‘perfecte’ mengsel voor zijn toepassing ontstaat. Hij kan bovendien eisen stellen aan de volumieke massa, de kleur en de structuur. Soms stelt hij ook aanvullende eisen betreffende volume of temperatuur variatie.

Sterkteklasse

Beton moet natuurlijk aan een bepaalde sterkte voldoen. En wordt dus onderverdeeld in bijbehorende klassen. Na 28 dagen wordt getest of het beton de vereiste klasse bezit. In bepaalde gevallen is een kortere verhardingsduur gewenst. Dan kan deze sterkte-eis al na 16 à 18 uur gelden.

Milieuklassen

Natuurlijk heeft het milieu (omgeving) van het beton een grote uitwerking op het beton. Daarom moet het beton aan bepaalde eisen voldoen, zodat het zijn functie goed kan vervullen.

Volumieke massa

Doorgaans stelt de maker geen bijzondere eisen aan de volumieke massa. In dat geval wordt normaal grindbeton gebruikt. Maar in bepaalde gevallen zal hij wel eisen aan de volumieke massa stellen, bijv. bij het bouwen van bruggen of wanneer er juist zeer zwaar beton noodzakelijk is.

Bovendien kan de maker ook eisen stellen aan geluids- en warmte-isolatie. Deze eisen hebben invloed op de volumieke massa en de dikte van het beton.

De volumieke massa is te variëren door het toeslagmateriaal te variëren.

Aanvullende bepalingen

Een aanvullende bepaling is bijv. de water-cementfactor. Deze is van invloed op de volumeverandering van verhard beton (uitzetting, krimpen en kruipen van beton).

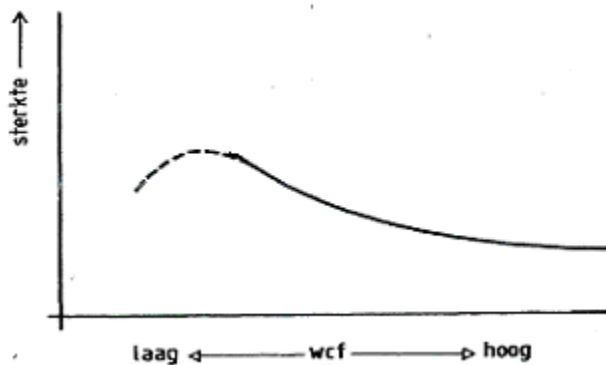
De maker zal daarom eisen stellen aan:

- gebruik van cement met lage hydratatiewarmte (minder scheur vorming);
- specietemperatuur;
- cementgehalte;
- korrelafmeting.

10.3 Uitvoeringstechnische grondslagen

Betontechnologische grondslagen

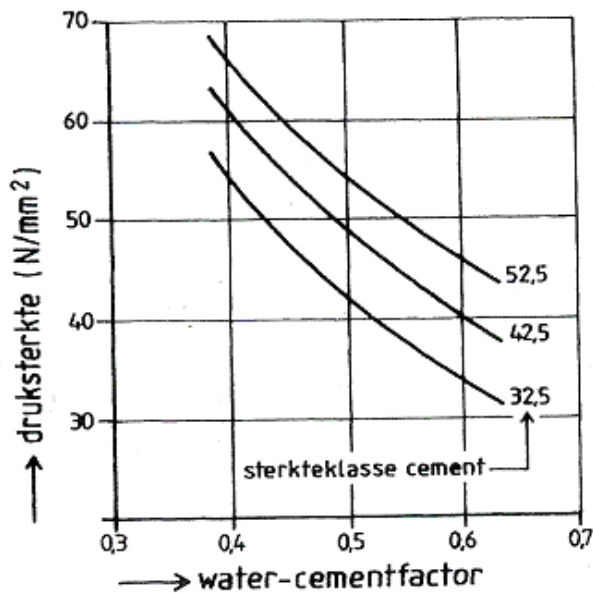
Zoals in hoofdstuk 8 staat vermeld heeft de water-cementfactor (WCF) een belangrijke invloed op de sterkte van beton. Het verlagen van de water-cementfactor betekent dat de hoeveelheid water in de betonspecie afneemt. Dit gebeurt tot een bepaald punt. Dan zal de sterkte weer afnemen, doordat het beton poreus wordt. Dit is te zien aan de stippellijn in figuur 13.



Figuur 13: Sterkte beton bij bepaalde WCF

Bij de productie van hoge sterkte beton weten betontechnologen de laatste jaren gebruik te maken van het sterk stijgende deel links in de grafiek. Door toepassing van veel hulpstoffen zijn zij erin geslaagd beton te maken met een zeer lage water-cementfactor en

een goede verwerkbaarheid. Dit beton bezit hierdoor een zeer hoge sterkte. Dit is te zien in figuur 14.



Figuur 14: Druksterkte beton bij verschillende water-cementfactor (WCF).

De relatie tussen de water-cementfactor en de druksterkte van beton kan ook worden weergegeven met de formule:

$$f_{cm(j)} = aN_j + \frac{b}{wcf} - c$$

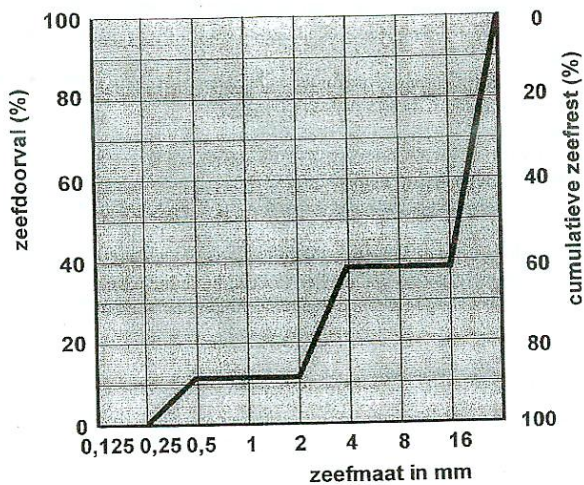
waarin:

- $f_{cm(j)}$ is de gemiddelde kubussterkte in N/mm^2 na j dagen verharding;
- a is een rekenfactor: 0,80 à 0,85, afhankelijk van de cementsoort;
- N_j is de normsterkte van het cement in N/mm^2 na j dagen;
- b is een rekenfactor 20 à 25, afhankelijk van de cementsoort;
- c is een rekenfactor 40 à 50, afhankelijk van het karakter van het cement, de invloed van de specietemperatuur op de eindsterkte en het soort toeslagmateriaal.

Wanneer men toeslagmateriaal in beton gebruikt moeten de korrels ongeveer van gelijke grootte zijn, anders kunnen die ernstige verstoring geven in het mengsel. We gaan uit van een discontinue korrelverdeling. Dit betekent dat de korrels aanzienlijk in grootte verschillen. We nemen een voorbeeldmengsel:

- 63% grind deeltjesgrootte 16/32 mm;
- 24% grof zand 2/4 mm;
- 12% fijn zand 0,250/0,500 mm.

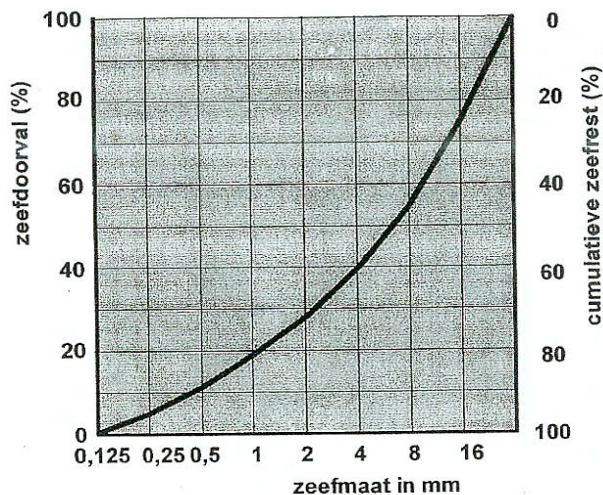
Wanneer we dit mengsel zouden zeven zou er een discontinue verdeling uitkomen die staat in figuur15.



Figuur 15: Zeefmaat discontinue verdeling.

Afhankelijk van de grootte van het toeslagmateriaal zal het door een bepaalde zeefmaat gaan. Omdat de verdeling discontinu is, zal de zeefdoorval in sprongen gaan. Dit blijkt ook uit de grafiek.

Men streeft naar een meer continue korrelverdeling. Hierbij zullen de toeslagmaterialen geleidelijk door een verhoogde zeefmaat komen. Dit is te zien in figuur 16.



Figuur 16: Zeefmaat continue verdeling.

Methode Fuller

De bepaling van de grootte van het toeslagmateriaal gaat met behulp van zeefmaten van gestandaardiseerde groottes (de methode van Fuller). Deze bepalingmethode leidt tot Fullerkrommen volgens de formule:

$$P = 100 \times \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}}$$

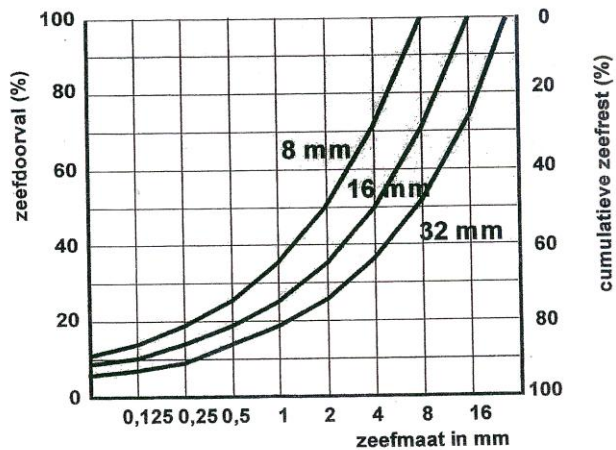
Waarin:

P = percentage van het toeslagmateriaal dat de zeef met opening d passeert;

d = opening van de zeef in mm;

$D_{\max}$ = maximale korreldiameter in mm.

De Fullerkrommen zijn afgebeeld in figuur 17.



Figuur 17: Enkele ideale fullerkrommen bij verschillende zeefmaten toeslagmaterialen.

Hoofdstuk 11: Kwaliteit beton

Om te bepalen of beton geschikt is om mee te bouwen zijn er een aantal verschillende kwaliteitsbepalingen ontworpen. Het interessante aan het begrip kwaliteit is dat deze erg subjectief is. Beton dat gemaakt wordt voor een vloer moet aan heel andere eisen voldoen dan aan beton dat in een brug verwerkt wordt. De manier van testen moet dus aangepast worden aan de eisen die gesteld worden aan het beton. Tests kunnen op gehard en ongehard beton uitgevoerd worden.

Tijdens de productie van het beton worden controles uitgevoerd. Als de gevonden waarden niet voldoen aan de gestelde waarden, zal er iets aangepast worden. Als bijvoorbeeld de temperatuur tijdens het productieproces niet goed ingesteld staat, kan deze aangepast worden. Aan het eind van het proces vindt meestal een keuring plaats. Wanneer deze keuring niet voldoende is, wordt de partij afgekeurd. Er is dus een duidelijk verschil tussen keuring en controle.

De grondstoffen van het beton moeten ook gekeurd worden. Omdat dit uiteraard een tijdrovend karwij is als elke betonfabrikant die keuring moet uitvoeren, leveren bedrijven van grondstoffen alleen onder CE-keurmerk. Een zekere garantie voor de kwaliteit is het KOMO certificaat. Wanneer grondstoffen geleverd worden met een KOMO certificaat hoeft er alleen een visuele controle plaats te vinden.

11.1 Controle van betonspecie

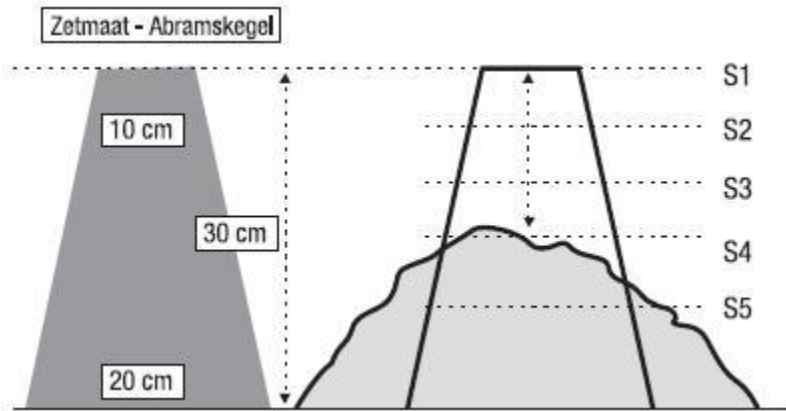
Het kan zijn dat op grond van de officiële controles en keuringen de specie geschikt is. Als de betontechnoloog op basis van zijn eigen waarneming het beton niet geschikt acht, zal de betonspecie alsnog afgekeurd worden.

De manier van keuren van de betonspecie hangt af van de verwerkbaarheid. Voor de consistenties van droog tot aardvochtig wordt de *verdichtingsmaat* gebruikt. Half plastisch tot plastisch wordt gekeurd met de *zetmaat*, en zeer plastisch tot vloeibaar wordt gekeurd met de *schudmaat*.

De verdichtingsmaat wordt als volgt toegepast. Een standaard-meetvat wordt voorzichtig met specie gevuld. De specie in het vat wordt dan zo volledig mogelijk verdicht door te trillen. De hoogte van het vat is 400 mm. Daarna wordt de hoogte van de verdichte specie gemeten. De verdichtingsmaat (c) wordt dan met de volgende formule bepaald. S is de gemiddelde verdichting of inklinking.

$$c = \frac{400}{(400 - s)}$$

De verwerkbaarheid van half plastische tot plastische betonspecie wordt bepaald met de zetmaat. Hierbij wordt 'de kegel van Abrams' in 3 lagen gevuld met specie. De bovenkant van de kegel wordt afgestreken en de kegel verwijderd. De hoogte van de ingezakte kegel ten opzichte van de oorspronkelijke hoogte is de zetmaat. In figuur 18 is de abramskegel getekend.



Figuur 18: Kegel van Abrams.

Voor specie met een lagere consistentie wordt de schudmaat gebruikt. De bepaling lijkt op die van de zetmaat. De te vullen kegel bij de schudmaat is wat lager in vergelijking met die van de schudmaat, waardoor de specie na het verwijderen van de kegel wat stabielier blijft. De kegel wordt vervolgens 15 maal geschokt, de specie verspreidt zich over de bak waarin de kegel staat. De gemiddelde diameter van de kegel is de schudmaat.

11.2 Verhard beton

Uiteraard is de bepaling van de eindsterkte van beton belangrijk. Voor de proeven worden kubussen gemaakt met een ribbe van 150 mm gemaakt. Deze worden onder zeer nauwkeurig bepaalde omstandigheden uitgehard.

Van deze kubussen wordt de druksterkte bepaald. De eenheid voor druksterkte is N/mm^2 . De splijtsterkte van het beton wordt ook bepaald.

Hoewel deze kubussen erg belangrijk zijn is het natuurlijk ook belangrijk om te weten hoe sterk het beton in de constructie is. Hiervoor worden, in geval van een nieuwe constructie, kubussen in de constructie geplaatst. De kubussen verhardten dan onder dezelfde omstandigheden als het beton in de constructie. Van deze kubussen wordt ook weer de druksterkte gemeten.

Wanneer het beton al verwerkt zit in een bestaande constructie en nagegaan moet worden of het beton nog sterk genoeg is om de constructie overeind te houden, kunnen er staven uitgezaagd worden. Deze staven kunnen dan onderworpen worden aan drukproeven. Een andere manier is de terugslaghamer. Een 'hamer' wordt aan de constructie gehangen, en wordt telkens met dezelfde snelheid tegen de constructie aan gegoooid. De mate van

terugveren zeggen iets over de sterkte van het beton. Hierbij maakt men gebruik van correlatietabellen

De meest nauwkeurige manier om de sterkte van beton in de constructie te bepalen is door de voortplantingssnelheid van geluid door beton te meten. Er worden dan geluidspulsen door het beton gezonden, een detector meet de voortplantingssnelheid. Wanneer er imperfecties in het beton zitten, zoals kleine scheurtjes zal het geluid vertraagd worden. Een hogere geluidssnelheid betekent dus een hogere sterkte. Om een compleet beeld van de sterkte van het beton te krijgen is het verstandig een combinatie van verschillende meetmethoden te gebruiken.

Hoofdstuk 12: Beoordelen van meetresultaten

In dit hoofdstuk gaat het om de nauwkeurigheid van meetresultaten. Vervolgens stellen we aan de orde waarom meetresultaten in principe onnauwkeurig zijn maar hoe we toch verantwoord over meetwaarden kunnen spreken en conclusies kunnen trekken.

12.1 Meten

Kwaliteit is de mate waarin een product of presentatie voldoet aan de daaraan gestelde eisen of, wat vaak nog belangrijker is, aan de verwachtingen van de opdrachtgever.

Er kan vaak volstaan worden door met het oog te meten. Dit houdt in dat de waarnemer inschat of het product voldoet.

V.b. het uitvloeien van betonspecie. De waarnemer kan door het kijken naar het vloeigedrag conclusies trekken zonder iets daadwerkelijk te meten. Er zijn echter twee nadelen aan deze ‘meting’:

- een exacte meting is meer betrouwbaar;
- de meting kan de opdrachtgever gemakkelijk overtuigen van de kwaliteit.

12.2 Betrouwbaarheid van meetresultaten

Hoe betrouwbaar is een meting? Er kan sprake zijn van een systematische fout. Een foutmarge die elke meting heeft ten opzichte van de ‘echte’ waarde. Pas je de meetapparatuur aan en wordt de systematische fout zo klein, dan is het nog mogelijk om een afwijking te krijgen door bijv. op een ander tijdstip te meten of op een andere plek.

De gemeten waardes horen thuis in de zogenaamde populatie. Een populatie is de verzameling van alle theoretisch te verwachten meetresultaten. De gemeten waardes worden ook wel een steekproef genoemd.

12.3 Populaties en steekproeven

Alleen in uiterst bijzondere gevallen kan een populatie volledig worden beschreven. Meestal moet een steekproef voldoen.

Dit houdt in dat de kans dat waardes vanuit de steekproef terugkomen in de populatie voor elke waarde hetzelfde is. Dit noemen we representatief. Naarmate de steekproef groter wordt komen de waarden dichterbij die van de populatie.

Voorbeeld van een steekproef.

Stel er worden 150 metingen gedaan van een sterkte van beton. Deze waarden wil je indelen en overzichtelijk maken. Een manier om dit te doen is te turven hoe vaak een bepaalde waarde voorkomt. Waardes op deze manier indelen noemt men indelen in klassen.

Het aantal klassen wordt aangegeven door de $\sqrt{n}$ te nemen, waarbij n het aantal metingen is. In het geval van 150 is dit dus een indeling in 12 klassen.

Om de grenzen van een klasse aan te geven pak je het verschil tussen de maxima en de minima. Dit getal deel je in je aantal gewenste klassen.

$$\text{Max} = 42,2$$

$$\text{Min} = 21,7$$

$$\sqrt{n} = 12$$

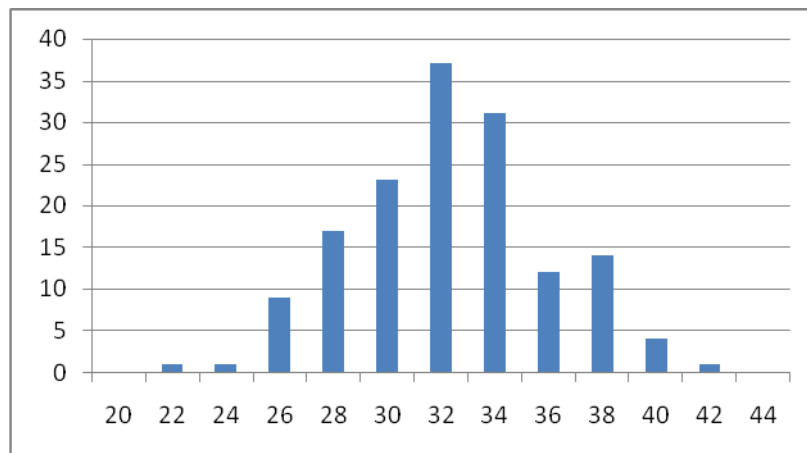
$$42,2 - 21,7 = 20,5$$

Verdeel je deze waarde in 12 gelijke delen krijg je per klasse een verschil van 2. De waarde van een klasse wordt daarna gesteld op het gemiddelde van de klasse.

Na deze indeling kun je de verschillende klassen gaan turven.

Je krijgt daardoor een opstapeling van het voorkomen van klassen. Dit wordt frequentie genoemd. Zet je die uit in een tabel dan krijg je een frequentietabel of histogram.

Je kunt uit een histogram of frequentietabel aflezen welke waarde je het meest zult vinden en welke weinig tot niet. Ook blijkt het dat naarmate je de steekproef groter maakt de verschillen groter worden en dus het resultaat nauwkeuriger.



Figuur 19: Op de horizontale as is de druksterkte in N/mm^2 van een kubus beton weergegeven. De verticale as geeft de frequentie weer.

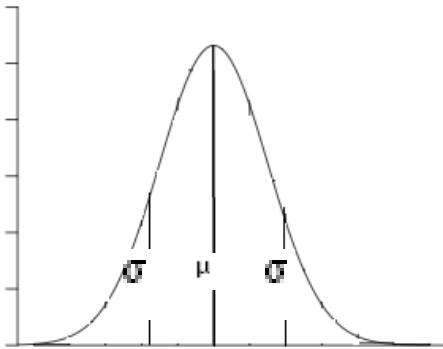
De afwijking van de centrale waarde kan afhankelijk zijn van verschillende factoren. Factoren die bijv. bij een betonkubus horen zijn:

- verschil in water-cementfactor;
- andere korrelvorm van het toeslagmateriaal;
- unieke rangschikking van het toeslagmateriaal;
- andere verdichtinggraad;
- meer of minder luchtinsluitingen op kritieke plaatsen;
- afwijkende temperaturen tijdens de verharding;
- afwijkingen in de drukbank;
- afronden bij het aflezen van de drukbank;

De som van al deze factoren zorgt voor een verdeling zoals al zichtbaar was in figuur 19.

Normaalverdeling

Uiteindelijk zullen de meeste van zulke proeven leiden tot een normaalverdeling. Dit is een vloeiende kromme lijn die de vorm heeft van een klok.



Figuur 20: Grafiek normaalverdeling.

Deze normaalverdeling geeft een gemiddelde die wordt weergegeven door het symbool μ en de standaarddeviatie met het symbool σ . De standaarddeviatie geeft de standaardafwijking aan.

Bij een normale verdeling zal de standaarddeviatie variëren. Deze variatie geeft de mate van betrouwbaarheid aan waarin we verwachten dat een waarde binnen de standaarddeviaties valt.

Er is nog een extra factor waar je rekening mee moet houden als je een normaalverdeling afleest.

De excentriek. Dit is de afstand van het gemiddelde tot een willekeurige waarde uit een steekproef. Deze afstand wordt verrekend met de standaardafwijking waardoor er een verhouding ontstaat. Een vaste verhouding die elke waarde uit de steekproef of populatie heeft. Hij hoort bij een waarde voor betrouwbaarheid van je uitkomst.

Voorbeeld

Is een gemeten waarde 1,5 keer zo groot als de standaardafwijking, dan is de excentriek 1,5.

De excentriek zoeken we op. De excentriek is gekoppeld aan de betrouwbaarheid die we willen hebben. Een betrouwbaarheid van 95% zal ons een excentriek opleveren van 1,64. Stel dat het gemiddelde 35 is en de standaarddeviatie 2,5 dan geldt voor 95% zekerheid $35 + 1,64 * 2,5 = 39,1$ en $35 - 1,64 * 2,5 = 30,9$.

Conclusie: Met 95% zekerheid kunnen we stellen dat alle waarden tussen 30,9 en 39,1 zullen liggen.

12.4 Schatting van gemiddelde en standaardafwijking

In het voorgaande gedeelte zijn we ervan uitgegaan dat het gemiddelde en de standaardafwijking zijn gegeven. In de praktijk is dit echter niet vaak. Hier komt een ander probleem bij kijken. Een steekproef levert bij een te klein aantal geen gemiddelde van de populatie weer. Deze steekproef krijgt daarom niet het symbool μ maar het symbool $\bar{X}$.

Dit geldt hetzelfde voor de standaardafwijking. In plaats van het symbool σ krijgt het de letter S.

Formules en hun betekenis.

Het gemiddelde van een steekproef is gelijk aan de som van de meetresultaten gedeeld door het aantal metingen.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Je telt alle gemeten waarden op en deelt het door het aantal metingen. Dit levert het gemiddelde op.

Berekening van de standaarddeviatie van een steekproef.

$$s = \sqrt{\left(\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \right)}$$

S = standaarddeviatie

x_i = willekeurige waarde

$\bar{x}$ = gemiddelde

n = aantal metingen.

Maar deze test is wel een steekproef. Een andere steekproef zal voor een andere $\bar{x}$ en s zorgen. Meer metingen geven een grotere betrouwbaarheid. Hoe groter de steekproef des te dichter waarden bij de populatie zullen liggen.

12.5 Keuringen

Er kan op twee vlakken worden gekeurd.

- Op afzonderlijke aspecten. Denk bij beton bijvoorbeeld aan de water-cementfactor. We spreken van keuring op basis van attributen.
- Gaan we uit van gemiddelde waarden dan is het een keuring op basis van variabelen.

Bij keuringen zijn er twee opties. Die vanuit de producent en die vanuit de consument. Beide willen voorkomen dat hun product niet door hen gestelde eisen wordt afgekeurd.

We onderscheiden.

- het afkeuren van een product terwijl het wel voldoet aan de eisen noemen we het producentenrisico;
- het goedkeuren van het product terwijl het niet voldoet aan de eisen noemen we het consumentenrisico.

De kans dat één van deze twee voorvallen plaatsvindt wordt weergegeven door de keuringskarakteristiek.

Kijkend naar de risico's voor producenten of consumenten is het mogelijk dat theoretische grenzen niet overeenstemmen met praktische grenzen.

Het verschil tussen μ en X .

Wanneer uit een steekproef blijkt dat alle waardes en dus producten voldoen, kan een populatie aangeven dat de steekproeven buiten de eisen valt. Zo kan het zijn dat beton dat door steekproeven wordt goedgekeurd, wordt afgekeurd door de populatie.

Bij elke keuringsgrens wordt uitgegaan van een boven en/of ondergrens. Het percentage van de meetresultaten van een populatie die de grens(zen) overschrijden wordt het ondeugdelijkheidspercentage genoemd.

Vb.

Werken met een betrouwbaarheid van 95% van geeft een ondeugdelijkheidspercentage van 5%.

Er is een verband tussen ondeugdelijkheid en goedkeuringskansen. Deze kun je voor elke steekproef weergeven. Zo wordt inzichtelijk zien hoe groot de kans is dat een product wordt afgekeurd.

Variaties in de standaardafwijking.

De standaardafwijking kan in veel gevallen ook incorrect zijn. Als dit zo is kun je hem bijstellen maar wat vele malen belangrijker is, is het feit waarom deze afwijking incorrect is. Het opzoeken van de fout is een belangrijk onderdeel van het testen.

Een voorbeeld

Mocht in het begin van het productieproces een fout worden geconstateerd dan moet er allereerst worden gekeken of de fout het product negatief beïnvloedt.

“Is het te hoge watergehalte uiteindelijk schadelijk voor de sterkte?”

Om dit te testen wordt gekeken naar de verschillende standaardafwijkingen die elk attribuut mag hebben maar ook elke variabele.

12.6 Keuren volgens het familieconcept

Het familieconcept is een keuring die er van uitgaat dat verschillende mengsels door middel van een omrekeningsfactor toch op dezelfde manier te keuren zijn. Ze worden beschouwd als afkomstig te zijn van dezelfde familie.

In de meeste zaken gaat dit om de water-cementfactor. Hier hebben ze ook een omrekenfunctie voor.

Vb.

Een specie met water-cementfactor van 0,53 en een specie met water-cementfactor van 0,48.

$$\text{Verskil} = 25/0,48 - 25/0,53 = 4,9 \text{ N/mm}^2$$

Die 4,9 staat voor aantal Newton per vierkante millimeter. Je kunt nu stellen dat het mengesel met water-cementfactor 0,48 een factor van $4,9 \text{ N/mm}^2$ zwakker is en daarmee kun je toch uitgaan van de meetgegevens van het mengsel met water-cementfactor 0,53. (De factor van 25 is specifiek voor een betonproducent. Het gaat om de verhouding water-cementfactor ten opzichte van de sterkte).

Hoofdstuk 13: Berekenen van betonsamenstellingen

Bij het berekenen van betonsamenstellingen maken we gebruik van richtwaarden. Bijvoorbeeld richtwaarden voor de gemiddelde normsterkte van cement.

Voor het berekenen van betonsamenstellingen is een schema opgezet, zodat er geen dingen over het hoofd gezien kunnen worden.

Schema mengsel ontwerp

Fase 1. Inventarisatie van de besteisen en de uitvoeringseisen:

- sterkte;
- duurzaamheid;
- volumieke massa;
- verwerkbaarheid;
- bijzondere eigenschappen (sterkteontwikkeling, warmteontwikkeling).

Fase 2. Keuze van de materialen

- beschikbare cementsoorten;
- gebruik van hulp- en vulstoffen;
- beschikbare toeslagmaterialen.

Fase 3. Samenstelling van de cementlijm

- gemiddelde sterkte;
- vaststellen normsterkte cement;
- bepalen water-bindmiddelfactor, op basis van
 - sterkte;
 - milieuklasse;
- streefwaarde luchtgehalte;
- inschatting waterbehoefte;
- berekening cementgehalte.

Fase 4. Berekening van het toeslagmaterialenmengsel

Fase 5. Uitleveringsberekening

Fase 6. Controleberekeningen

- gradering toeslagmateriaal;
- gehalte aan fijn materiaal ($\leq 0,250$ mm);
- chloridegehalte (indien noodzakelijk).

13.1 Berekeningsschema betonsamenstelling

Fase 1: inventarisatie bestekseisen en uitvoeringseisen

Van te voren moet bekend zijn aan welke eisen de betonspecie moet voldoen.

Tot die eisen rekenen we niet alleen die in het bestek staan, maar ook die voortvloeien uit de wijze van transport van de betonspecie, de stort- en verdichtingsmethode en de eisen die mogelijk aan de beginsterkte worden gesteld.

Fase 2: keuze van de materialen

Als de betontechnoloog alle eisen op een rijtje heeft, kan hij de betonsamenstelling bepalen en de grondstoffen kiezen.

Fase 3: Samenstelling van de cementlijm

Cementlijm bestaat uit cement, water en lucht. De hoeveelheden moeten we zodanig kiezen dat we aan de eisen van sterkteklasse en milieuklasse voldoen. Vervolgens moeten we nagaan of de gekozen milieuklasse eisen stelt aan het luchtgehalte in het beton, omdat dit invloed heeft op de kubusdruksterkte.

De uitvoering stelt eisen aan de consistentie van de betonspecie, die weer van invloed is op de waterbehoefte van die specie. Als de water-cementfactor en de waterbehoefte bekend zijn, kunnen we het cementgehalte berekenen. De berekening van de samenstelling van de cementlijm is in 6 stappen verdeeld.

Stap 1. gemiddelde sterkte

De sterkteklassen wordt goedgekeurd wanneer wordt voldaan aan het volgende keuringscriterium:

$$\bar{x}_{15} - 1,48\sigma \geq f_{ck}$$

De populatiestandaardafwijking (σ) wordt bepaald vanuit het aanvangsonderzoek door de standaardafwijking te bepalen over de eerste 35 meetresultaten.

De standaardafwijking moet aan het volgende voldoen:

$$0,63\sigma < s_{15} < 1,37\sigma$$

Als grondslag voor het bepalen van de betonsamenstelling is het voldoende om nu aan te geven met welke waarde de gevraagde karakteristieke kubusdruksterkte moet worden verhoogd om met de nodige zekerheid aan het keuringscriterium te kunnen voldoen.

Er worden 2 manieren gebruikt:

1. uitgaande van een bekende standaardafwijking van de populatie σ en een goedkeurkans van 95% is de na te streven gemiddelde kubusdruksterkte:

$$f_{cm} = f_{ck} + 2,33 \cdot \sigma$$

2. Uitgaande van een onbekende standaardafwijking van de populatie.
Hier moet een veilige marge aangenomen worden tot het moment dat er meer

inzicht is in de spreiding van de meetresultaten.
In dit geval wordt de na te streven gemiddelde kubusdruksterkte:

$$f_{cm} = f_{ck} + 9$$

Stap 2. normsterkte cement

Elk cement bezit een eigen normsterkte. Deze is hoger dan de waarde die als minimumeis in de cementnorm is vermeld.

Als we de water-cementfactor willen berekenen die na j dagen verharden nodig is, moeten we naast de gemiddelde kubusdruksterkte tevens weten wat de normsterkte van het cement is na n dagen verharden.

Stap 3. water-cementfactor (wcf)

Deze is afhankelijk van de vereiste sterkte en de milieuklasse. De laagste van deze twee is bepalend.

- *vanuit sterkte*
De berekening voeren we normaliter uit voor een verhardingstijd van 28 dagen, zonodig aangevuld met een verhardingstijd van j dagen. Op deze manier vinden we één of wellicht twee waarden van de water-cementfactor, waarvan de laagste maatgevend is.
De wcf heeft grote invloed op de sterkte. Wanneer de kubusdruksterkte het uitgangspunt is, kunnen we de wcf berekenen met de volgende formule:

$$f_{cm,j} = 0,8 \cdot N_j + \frac{25}{wcf} - 45$$

Waarin:

$f_{cm,j}$ = gemiddelde kubusdruksterkte in N/mm² na j dagen verharding
 N_j = normsterkte cement in N/mm² na j dagen

Om de sterkte te berekenen moeten we de gemiddelde kubusdruksterkte van het beton en de normsterkte van het cement kennen.

- *vanuit duurzaamheid/milieuklasse*
de wcf is ook afhankelijk van de eis voor de milieuklasse.
- *in ontwerp aan te houden wcf*
we vinden dus een waarde voor de wcf uit de eis(en) voor de sterkte en uit de eis voor de milieuklasse. De laagste waarde is maatgevend!

Als de eis voor de sterkte maatgevend is, rekenen we verder met de berekende waarde van de wcf.

Als de milieuklasse bepalend is dan wordt de wcf die we in het ontwerp aanhouden iets lager aangehouden, bijv. 0,02 om het risico te verkleinen dat bij keuring van de wcf een te hoge waarde wordt gevonden.

Stap 4. Luchtgehalte

We rekenen met een luchtgehalte in het beton van ongeveer 1% (V/V). De invloed van deze hoeveelheid lucht wordt niet meegenomen bij de berekening van de wcf.

Als er gebruik wordt gemaakt van een luchtbelvormer, dan moet de lucht wel mee worden berekend in de wcf.

De extra lucht moeten we in de formule voor de wcf in de teller (water + lucht) in rekening brengen. De hoeveelheid lucht in liters wordt in rekening gebracht als ware het water. (alleen lucht boven 2%)

Stap 5. Waterbehoefte

Afhankelijk van de soort toeslagmateriaal is per consistentieklasse een hoeveelheid water nodig. Deze hoeveelheid water wordt verder beïnvloed door de cementsoort en het eventuele gebruik van een vulstof.

Stap 6. Cementgehalte

Cementgehalte wordt berekend volgens deze formule:

$$wcf = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{cement}}} \rightarrow m_{\text{cement}} = \frac{m_{\text{water}}}{wcf}$$

m_{water} en wcf zijn bekend, dus kan m_{cement} berekend worden.

Fase 4: berekenen van het toeslagmaterialenmengsel

Het toeslagmaterialenmengsel kan pas berekend worden als de verhouding tussen de fracties fijn en grof toeslagmateriaal bekend is.

In H 10 hebben we gezien dat aan de korrelverdeling eisen worden gesteld afhankelijk van de grootste korrelafmeting. Deze eisen leiden tot de grenswaarden van ontwerpgebied I of I+II, waarbinnen de korrelverdeling van het toeslagmaterialenmengsel moet komen te liggen. Deze methodiek heet de ‘methode van de begrensde gebieden’.

Als de graderingen bekend zijn, is het tamelijk eenvoudig om rekenkundig de verhouding tussen het fijne en grove toeslagmateriaal te berekenen.

Fase 5: uitleveringsberekening

Na het kiezen van wcf, de richtwaarde voor de waterbehoefte en het berekenen van het cementgehalte en de mengverhouding van grof en fijn toeslagmateriaal kan een uitleveringsberekening worden gemaakt.

$$\rho_a = \frac{m}{V} [kg/m^3]$$

We berekenen het volume van alle samenstellende grondstoffen, nodig voor 1 m³ betonspecie. Daarna vermenigvuldigen we de volumes met de respectievelijke volumieke massa's en vinden de massa's. De massa's hebben betrekking op droge materialen.

Fase 6: Controleberekeningen

De mengselberekening moeten we afsluiten met de volgende controleberekeningen:

- Controle op het ontwerpgebied
Je moet controleren aan de hand van de mengverhouding van de fracties van fijn en grof toeslagmateriaal van het mengsel in het ontwerpgebied ligt dat je gekozen hebt. Dit is nodig omdat de waterbehoefte aanzienlijk hoger kan zijn als de gradering van het toeslagmateriaal.
- Controle op de hoeveelheid fijn materiaal
De hoeveelheid fijn materiaal mag niet lager zijn dan de voorgeschreven waarden of nodig is voor de gekozen verwerkingsmethode.
- Controle op chloridegehalte
om de aantasting van betonstaal en vooral van voorspanstaal te voorkomen moet het maximum chloridegehalte van beton gecontroleerd worden. Dit gehalte wordt berekend uit het chloridegehalte van de grondstoffen waaruit het betonmengsel is samengesteld.

Voor voorbeeldberekeningen zie Betontechnologie voor Onderwijs & Praktijk

Hoofdstuk 14: Vaardigheden van betonspecie

Het realiseren van een goede betonconstructie moet in de praktijk altijd beginnen met het beschrijven van de optimale betoneigenschappen voor de beoogde toepassing. Bijna letterlijk elk beton is anders, omdat er met veel rekening gehouden dient te worden.

We kunnen een betonleven opdelen in verschillende fasen. Het begint met de fase waarin beton nog betonspecie is, de verwerkingsfase. De daarop volgende fase is de verhardingsfase, waarin beton zijn eigenschappen ontwikkelt. Ten slotte de laatste fase als verhard beton, die de gehele levensduur van de betonconstructie bestrijkt. Voor elk van deze fasen kunnen de betoneigenschappen optimaal worden gekozen.

Eigenschappen betonspecie

In de verwerkbare fase kunnen we denken aan species die extreem vloeibaar zijn of juist een grote samenhang of stabiliteit vertonen.

Een voorbeeld is zelfverdichtendbeton. Bij zelfverdichtendbeton worden de eigenschappen bereikt door een zorgvuldige mengselopbouw, een hoog pasta-aandeel (cement + vulstof + water) en het gebruik van plastificerende hulpstoffen.

Eigenschappen verhardend beton

De fase waarin beton hard wordt is er een die ten onrechte vaak te weinig aandacht krijgt! Toch is te kiezen voor een mengsel met een snelle sterkteontwikkeling of eentje die juist is ontworpen op een sterkte op langere termijn.

Op de grens tussen verwerkbaarheid en verhardende beton ligt het opstijfgedrag van betonspecie. Deze eigenschap is van groot belang voor het afwerken, na het storten.

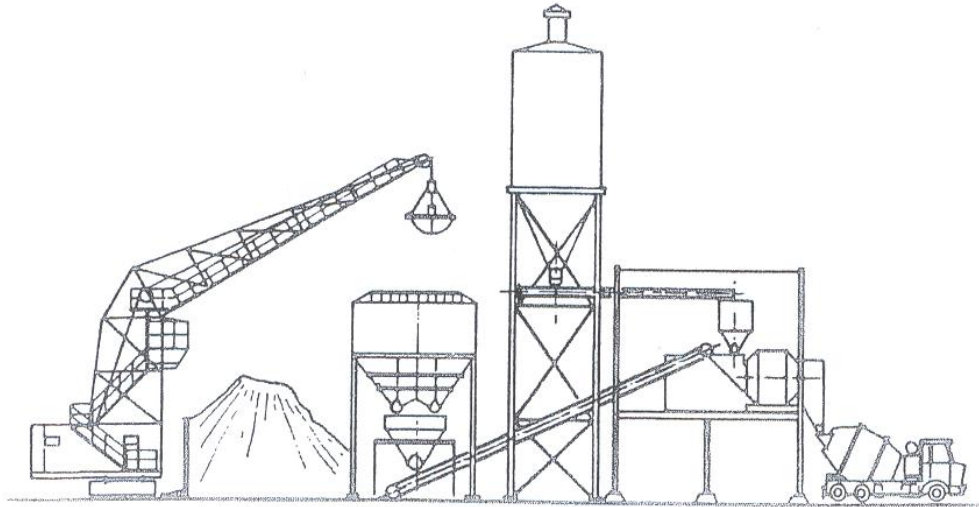
Eigenschappen verhard beton

Bij verhard beton spelen de sterkte en duurzaamheid een hoofdrol. De duurzaamheid kan steeds beter worden afgestemd op specifieke belastingen vanuit de omgeving. Het milieu waarin beton wordt toegepast bepaalt vaak de keuze van de cementsoort en de noodzaak om bijvoorbeeld een luchtbelvormer in te zetten.

(Zie ook H9).

De betoncentrale

Een betoncentrale moet voldoen aan regelgeving op het gebied van arbeidsomstandigheden en milieu. Verder zal bij de selectie van de opzet en inrichting van een betoncentrale een aantal uitgangspunten gelden, zoals de benodigde capaciteit, welke betonsterkteklassen geproduceerd moeten worden en welk grondstoffenpakket daarbij hoort.



Figuur 19: Aanvoer en opslag van de grondstoffen.

Toeslagmateriaal

Toeslagmaterialen worden meestal per schip aangevoerd. Zowel bij het laden als het lossen moeten we ervoor zorgen dat toeslagmaterialen niet kunnen ontmengen. Ook moet verontreiniging van de materialen worden voorkomen. Dit betekent in de praktijk dat het schip goed schoon moet zijn gemaakt van zijn vorige lading en ook de kraan met knijper mag niet nog ‘oude lading’ op zich hebben.

De oude ladingen, die wellicht nog langer niet gebruikt zijn, worden vaak in de openlucht opgeslagen, naast de nieuwe. Deze twee moeten goed gescheiden zijn. Niet alles kan dus op een hoop! Tevens moet worden opgelet dat alles laagsgewijs wordt opgestapeld, omdat anders de korrels gaan rollen en er dus ontmenging ontstaat. Het mengsel moet zo goed als mogelijk homogeen blijven.

Om alles homogeen van de opslag naar de betoncentrale te brengen kan wederom gebruik worden gemaakt van de kraan met knijper, of van transportbanden. De laatste heeft lichte ontmenging tot gevolg. Tevens moeten de korrels vanuit het midden in de menginstallatie worden gebracht.

Bij de opslag is tevens belangrijk dat de vochtigheidsgraad en de temperatuur bijgehouden worden. Het kan immers niet zijn dat er een te nat/droog of koud/warm toeslagmateriaal gebruikt wordt. Alles heeft invloed op het eindproduct.

Bepaalde hulpstoffen zullen, wanneer ze in grote silo's zitten die niet direct gebruikt worden, moeten worden geroerd door mechanische roerders of luchtinjectie.

Opslag van cement

Cement heeft de goede eigenschap met water te reageren tot het harde cementsteen! Maar tijdens het vervoer of de opslag wil je dit niet hebben. Bij het vervoer dient daar rekening mee te worden gehouden. Vaak wordt het cement vanuit het vervoermiddel naar de silo geblazen. Uiteraard moeten de leidingen vochtvrij zijn! De opslag van cement moet onder droge omstandigheden gebeuren.

Elke soort cement moet in een eigen silo worden bewaard.

Hulpstoffen

Hulpstoffen worden onder andere in jerrycanvaten of in bulk aangevoerd en worden in vorstvrije ruimtes opgeslagen. Belangrijk is dat alles goed gescheiden is en goed gelabeld.

Productie

Alle ingrediënten goed gelabeld, van elkaar gescheiden en op juiste wijze opgeslagen, garanderen toch nog niet altijd een goed eindproduct. Vrijwel altijd wordt er een kwaliteitscontrole gedaan, en wordt er een klein deel van de cementspecie onderzocht, en tevens een prisma van het eindproduct.

Goed gecontroleerde weeg- en meetapparatuur zorgen dat alles in de juiste hoeveelheden in de menger terechtkomt. Dosereren kan volumetrisch of via een massadosering. Beide zijn bij toeslagmaterialen toegestaan mits ze een onnauwkeurigheid hebben van maximaal 2%.

Elke stof dient afzonderlijk te worden gemeten, soms op grof en fijn toeslagmateriaal na. Dit kan ook cumulatief.

Mengen

Het doel van het mengen is de grondstoffen zo gelijkmatig mogelijk over het mengsel te verdelen opdat een homogene structuur ontstaat. Vaak wordt het mengen in stappen gedaan. Eerst fijn materiaal, cement en water en vloeibare of fijne hulpstoffen, vervolgens zand en eventueel grind of grovere toeslagmaterialen. Soms wordt een stof ook gedoseerd toegevoegd, om geen 'ballen' te creëren, waardoor het mengproces bemoeilijkt wordt. Toevoegingen in de volgorde van fijn naar grof zorgt er ook voor dat weinig lucht wordt meegenomen. En de menging moet intensief zijn waardoor een homogene betonspecie ontstaat.

Er zijn verschillende soorten mengers die elk weer een voordeel kunnen hebben bij bepaalde cementen, we gaan hier niet dieper op in.

Hoofdstuk 15: Verwerken van betonspecie

15.1 Voor het storten

Bekistingen

Beton wordt vaak gestort in een mal of een bekisting. Om beton vervolgens onbeschadigd uit de bekisting te kunnen halen moet er gebruik worden gemaakt van een ontkistingsmiddel. Daarbij moet wel worden opgepast dat het ontkistingsmiddel niet op de wapening komt, dan hecht het beton niet aan de wapening. Daarnaast moet er voor worden gezorgd dat de naden van de bekisting goed zijn afgedicht. Anders stroomt er water uit de bekisting en kan een plaatselijke ontmenging optreden.

Betonstaal

De constructeur bepaalt hoeveel wapening er voor een constructie nodig is. Het kan voorkomen dat er zoveel staal wordt gebruikt dat het toeslagmateriaal niet meer tussen het staal past. Dan komt de betontechnoloog om de hoek kijken. Hij past het beton aan op de wapening.

Daarnaast is het ook heel erg van belang dat het betonstaal goed wordt afgedekt. De technoloog spreekt van betondekking. Dit is om het roesten van het betonstaal te voorkomen; gebeurt dit niet dan krijgt men betonrot.

Voorspanstaal

Voorspanstaal ligt dieper in het beton als betonstaal.

Je hebt systemen die vooraf op spanning worden gebracht, en systemen die na het storten op spanning worden gebracht. Bij vooraf spannen heb je een vormvaste constructie nodig, bij het naspannen moet er voor gezorgd worden dat er uitsparingen in het beton zijn om het staal te spannen.

Vorbewerken van stornaden en -voegen

Betonconstructies worden meestal in delen gemaakt. Dat kan op twee manieren:

- de constructie bestaat uit losse betononderdelen. De voegen tussen de betononderdelen heten dilatatievoegen;
- de constructie bestaat uit een geheel. Alle onderdelen zijn aan elkaar gestort, dan spreken we van een monolitische verbinding, de naden noemen we stornaden.

Bij stornaden moet het oppervlak ruw gemaakt worden. Dit kan op een aantal manieren:

- haringgraatstaal gebruiken;
- een oppervlaktevertrager gebruiken. De bovenste laag cement kan dan worden weggespoten en je houdt een ruw oppervlak over;
- het oppervlak stralen met water, grit, enz.;
- boucharderen, met een naaldhamer het oppervlak ruw maken.

Omvang van het stort

Van te voren moet uitgerekend worden hoeveel betonspecie er nodig is. Daarbij moet de inhoud van de betonmassa bepaald worden. Daarbij wordt gelet op het volume van het beton en voorspanstaal.

Daarnaast kijken ze naar de stortsnelheid. Wat is de capaciteit van de betoncentrales in de buurt, en hoe krijg je het van de betoncentrale op de bouw. Daarbij wordt bijvoorbeeld ook rekening gehouden met het aantal vrachtwagens en filegevoelige trajecten.

Controle voor het storten

Voor je kunt gaan storten moet je controleren dat de wapening en de bekisting goed zijn.

De bekisting moet vrij zijn van:

- houtdelen;
- zand;
- restjes binddraad;
- restjes betonstaal;
- sneeuw en ijs.

Er mag geen hout meer aanwezig zijn in de bekisting. Als er hout in het beton komt kan het beton gaan scheuren (hout dat water opneemt zwelt op).

Er mogen ook geen stukjes binddraad meer in de bekisting liggen, dit levert lelijke roestplekken aan de buitenkant van het beton op.

Daarnaast moet er te allen tijde op gelet worden dat er veilig gewerkt wordt.