

HOOFDSTUK 3 : VERS BETON

(p. 3)

Gladde oppervlakken worden meestal gerealiseerd met een bekisting van multiplexplaten ('gebakeliseerd' of voorzien van een coating), of met een stalen bekisting.
De nerftekening van houten bekistingsplanken is een 'klassieke' structuur. Echter, van om het even welk reliëf, patroon of motief kan met vloeibaar siliconenrubber een afgietsel worden gemaakt. Dit wordt als een flexibele mat in de bekisting geplaatst.

(p. 4)

Systeembekistingen verdringen meer en meer de traditionele plankenbekistingen. Ze zijn regelbaar, minder vervormbaar en minder arbeidsintensief; ze vergen minder schoorwerk, veroorzaken minder afval en kunnen meer hergebruikt worden.

(p. 5)

Verloren bekistingen blijven na verharding van het beton deel uitmaken van de constructie. Elementen van prefab beton zijn de meest gebruikte 'verloren' bekistingen. Ook kunststoffen worden ingezet: als thermische isolatie en/of om de constructie lichter te maken.

(p. 6)

Principe van verticaal bewegende glijbekisting. De bekistingspanelen worden tijdens het storten van het beton in een continue beweging langzaam omhoog gevijzeld. Er zijn bijgevolg geen hernemingsvoegen. Dit is wel het geval met een klimbekisting, waar het beton in fasen wordt gestort.
Met glijbekistingen is een stijgsnelheid van 6 m per 24 u mogelijk. De eisen inzake bevoorradingstempo en verwerkbaarheid zijn echter zeer strikt.

(p. 7)

Voorbeelden van horizontaal bewegende glijbekistingen.
Aan de achterzijde van de glijbekistingsmachine – 'slijpform paver' – bevindt zich de zgn. 'super-smoother', een afstrijkplaat die dwars op de as van de weg heen en weer glijdt.

(p. 8)

Voorbeelden van bekistingen uit de prefab industrie.
Straatstenen, metselblokken, tegels, enz. worden gemaakt in beton met een droge consistentie en kunnen onmiddellijk ontkist worden. Platen, panelen, balken, kolommen worden pas ontkist nadat het beton voldoende verhard is. Mallen die een groot aantal keer opnieuw moeten gebruikt worden, zijn in staal.
De meeste bekistingen voor elementen in sierbeton worden in hout gemaakt, met dezelfde precisie als die waarmee meubels worden vervaardigd.

(p. 9)

Deze typische fouten kunnen eenvoudig voorkomen worden...

(p. 10)

Ook deze fouten kunnen eenvoudig voorkomen worden...

(p. 11)

De stijfheid van de bekisting en dichtheid van hoeken en naden zijn des te belangrijker naarmate het beton vloeibaarder is (grotere druk onderaan in de bekisting).

(p. 12)

(Bovenste figuur:) De centerpengaten in het reeds verharde beton worden gebruikt om de bekisting voor de volgende stortfase vast te klemmen en zo lekken te voorkomen.
Toch is de kans groot dat de stortnaden zich na ontkisten op het betonoppervlak blijven aftekenen. De ontwerper kan hierop anticiperen door de te betonneren wand volgens een bepaald patroon op te delen. Met behulp van valse voegen worden de stortnaden gecamoufleerd (onderste figuur). Ook eventuele kleine tintverschillen tussen twee stortbeurten zullen in dat geval als minder storend ervaren worden.

(p. 13)

Ontkistingsmiddelen verhinderen de hechting van het beton aan de bekisting. Er mag geen ontkistingsmiddel op de wapening terecht komen ! Bekistingen moeten daarom worden behandeld vooraleer de wapening te plaatsen.

(p. 14)

Het bevochtigen van de bekistingsplanken voorkomt dat het aanmaakwater uit de betonspecie wordt weggezogen en doet het hout zwellen vóór het storten. Hierdoor is tijdens het storten minder kans op lekkage van cementmelk en op vervorming van de bekisting.

(p. 15)

Zeker bij traditionele houten bekistingen dient veel schoorwerk voorzien te worden.

(p. 16)

Sedert de opkomst van zeer vloeibare betonsoorten – 'zelfverdichtend beton' of 'self-compacting concrete' (SCC) – is dit niet langer een louter theoretische situatie !

(p. 17)

De reductiefactoren buigen de theoretische rechte lijn om naar een werkelijk drukverloop en gelden enkel voor gewoon beton – meer bepaald beton gemaakt met courante granulaten, zand en portlandcement, maar zonder hulpstof. Dus niet voor zelfverdichtend beton!

(p. 18)

Veronderstel een bekisting voor een muur van 30 cm dikte, een betontemperatuur van 10°C en een 'slump' van 75 mm (consistentieklasse S2). De stijgsnelheid waarmee het beton wordt gestort, bedraagt 1,5 m per uur. De druk waarmee moeten worden gerekend, is dan de kleinste van de volgende 3 waarden (zie grafiek) :

- 65 kN/m² voor de gegeven combinatie van temperatuur en slump (10 °C; 75 mm);
- 50 kN/m² voor de gegeven wanddikte van 30 cm;
- de maximum hydrostatische druk, namelijk (h x 24) kN/m².

(p. 19)

Het basisprincipe van gewapend beton : beton is in staat om grote drukkrachten op te nemen, maar voor trekkrachten is wapening nodig. De wapeningsstaven zijn gevlochten of gelast tot een stijf geheel (een net of een kooi), waardoor ze nauwkeuriger in de bekisting kunnen gepositioneerd worden.

(p. 20)

Voorgespannen vloerelementen moeten bij transport en montage op de juiste manier opgetild worden om breuk te voorkomen.

(p. 21)

Staalvezels worden ofwel op de transportband gelijkmatig over de granulaten uitgestrooid, ofwel in de menger of in de truckmixer geprojecteerd met een schut- en inblaasmachine. Ze verhogen de taatheid (ductiliteit) van het beton in verharde toestand, waardoor de scheurwijdte wordt beperkt. Om roestvlekken te vermijden kan het aangewezen zijn bedrijfsvloeren met een toplaag ('topping') af te werken.

(p. 22)

Kunststofvezels verminderen plastische scheurvorming en hebben bijgevolg indirect ook een gunstig effect op de duurzaamheid van verhard beton.

(p. 23)

De norm NBN B15-002 geeft de minimum betondekking in functie van de milieuklasse. Afstandhouder = minimum betondekking + tolerantie. De toleranties zijn kleiner bij prefab beton : tussen 0 en 5 mm.

(p. 24)

Onvoldoende betondekking : vaak een pijnpunt...

(p. 25)

Bij dwangmengers (fig. linksboven) draaien de schoepen rond een verticale as. Bij sommige types dwangmengers draait ook de kuip. Trogmengers (fig. rechtsboven) hebben een dubbele vaste kuip en twee horizontale assen met schoepen. Trog- en dwangmengers hebben een eerder beperkte capaciteit, maar ze mengen zeer grondig, ook relatief droge mengsels. Vullen en leegmaken gebeurt via schuiven. In vrije-val-mengers (onderste figuur) zitten de schoepen vast op een draaiende kuip. Menging gebeurt door de zwaartekracht, leegmaken door kantelen van de kuip en/of omkeren van de draairichting. Dit type heeft een grote capaciteit en is het meest geschikt voor beton met plastische of vloeibare consistentie.

(p. 26)

Afhankelijk van het mengertype en het type beton zijn verschillende volgordes van inbrengen mogelijk. Bijvoorbeeld, eerst de droge materialen, daarna het water. Of eerst het zand, het cement en het water, en daarna de grove granulaten...
De mengtijd verschilt telkens, de rotatiesnelheid van schoepen en/of kuip moeten worden ingesteld.

(p. 27)

Belangrijke normen bij transport over de weg :
- transportduur (= tijd tussen inbrengen aanmaakwater en storten van de specie) : max. 100 minuten;
- betontemperatuur : max. 30°C.
Met een truckmixer is het mogelijk vezels of een plastificeermiddel toe te voegen bij aankomst op de bouwplaats. (NB: Tijdens het innemen is een hogere rotatiesnelheid vereist.)
Vrachtwagen met kibak : enkel voor relatief droge mengsels. Afdekken bij regen of bij zeer droog weer.

(p. 28)

Een continue korrelverdeling met voldoende fijne bestanddelen (cement + fijne deeltjes + zand 0,08/0,25) voorkomt ontmenging en vermindert de wrijving ('smeermiddel').

(p. 29)

De grovere bestanddelen en de mortel hebben niet dezelfde inertie en gedragen zich bijgevolg verschillend wanneer ze bij het storten tegen de bekisting botsen, van een helling afglijden, enz.

(p. 30)

Beperking van de vrije valhoogte van de betonspecie tijdens het storten.

(p. 31)

Om de hechting van het beton op een reeds verharde laag te verzekeren wordt deze eerst opgeruwd, vervolgens schoongemaakt en tenslotte bevochtigd. Dit laatste voorkomt dat een deel van het aanmaakwater uit het verse beton wordt weggezogen, waardoor de hydratatie van het cement in de contactzone in het gedrang zou komen.

(p. 32)

Een wand in gewoon beton wordt niet vanuit één enkel vast punt gestort, maar in opeenvolgende lagen. In plaats van laagsgewijs kan ook simultaan worden gestort vanuit verschillende vaste punten (tussenaafstand 1 à 1,5 m).

(p. 33)

Pas gestort beton is niet compact en moet worden verdicht.
(Uitzondering : zelfverdichtend beton.)

(p. 34)

Verdichtingsmaterieel in de wegenbouw en voor bedrijfsverhardingen.
Trilbalken, trilplaten en 'helikopters' zijn oppervlaktetrillers. Ze hebben slechts een geringe dieptewerking en worden gebruikt voor lagen van 10 à 15 cm dikte.
Droge mengsels, bijvoorbeeld voor funderingen, worden verdicht door trillen en samendrukken (walsbeton). Een 'slipform paver' of glijbekistingmachine combineert verschillende verdichtingstechnieken (trilnaalden, trilbalk...)

(p. 35)

Trilnaald : werkingsprincipe en gebruiksaanwijzingen.
De trilnaald wordt snel tot op de juiste diepte in het beton geduwd en vervolgens traag omhoog getrokken. Getrilde zones moeten elkaar overlappen, zowel verticaal als horizontaal.

(p. 36)

Trilnaald : voorbeelden van verkeerd gebruik...

(p. 37)

Verdichtingstechnieken voor prefab beton:

- kolommen, balken : trilmotoren (hoge frequenties, kleine amplitude)
- grote panelen : triltafels (lage frequenties, amplitude ca. 1 mm)
- blokken, tegels : gelijktijdig persen en trillen (enkel voor zeer droge mengsels)

(p. 38)

Verdichtingstechnieken voor prefab beton:

- buizen : walsen (rond horizontale of verticale as)
- masten, palen : centrifugeren
- welfsels : extruderen

(p. 39)

Vlak na het storten en aan het begin van de verharding kan een aanzienlijk waterverlies optreden door het zuigeffect van een poreuze bekisting, en vooral door verdamping : bij zonnig en winderig weer tot 2 liter per m² en per uur !

Plastische krimp van beton is vergelijkbaar met krimp bij uitdrogende klei.

(p. 40)

Deze voorzorgsmaatregelen beletten dat de bekisting (of de ondergrond) een deel van het aanmaakwater opzuigt.

(p. 41)

(Figuur linksboven : het is aan te raden de balk ook nog af te dekken.)

Een 'curing compound' vormt een min of meer ondoordringbaar membraan dat verdamping tegengaat. De heldere kleur weerkaatst het zonlicht en maakt duidelijk welke zones nog niet behandeld zijn.

(p. 42)

In de praktijk wordt zelfs in gunstige omstandigheden een beschermingsduur van minimum 2 dagen toegepast. Welke voorzorgsmaatregel genomen wordt, is van minder belang.

(p. 43)

Vers beton : afhankelijk van de strengheid van de vorst zal het aanmaakwater tot op een bepaalde diepte bevroren. Dit verstoort de hydratatie van het cement. Het beton is nadien waardeloos.

Jong beton : de opgebouwde weerstand is te klein om de trekspanningen op te nemen, die ontstaan door het temperatuurverschil tussen het oppervlak en het inwendige van het beton. Het oppervlak schilfert af, een fenomeen dat ook 'scaling' wordt genoemd.

(p. 44)

De temperatuur van het blootgestelde oppervlak mag gedurende 3 dagen na de verwerking van het beton niet dalen onder 5°C.

Bij de hydratatie van het cement komt warmte vrij, maar die volstaat niet altijd. Behalve de in de figuur vermelde maatregelen zal uitzonderlijk ook geopteerd worden voor het opwarmen van het aanmaakwater (en eventueel de granulaten).

(p. 45)

De verwerkbaarheid van de betonspecie daalt in de tijd, en houdt op eenmaal het cement gebonden is (zwarte lijn). Het verloop van deze evolutie wordt beïnvloed door de temperatuur van het mengsel en het type cement. Beide factoren zijn interactief.

Met behulp van hulpstoffen kan in het verloop van dit proces drastisch worden ingegrepen : versnellers, vertragers, plastificeerders en superplastificeerders.

(p. 46)

Veronderstel een cementgehalte van 300 kg/m³ en consistentieklasse S2. Hoe de verwerkbaarheid verhogen ?

- Eerste optie : 30 liter water toevoegen. De verwerkbaarheid gaat van S2 naar S3. De W/C-factor stijgt echter met 0,1 waardoor de druksterkte daalt met 10 N/mm². Om de W/C-factor niet te laten oplopen moet het cementgehalte met 50 kg verhoogd worden. Dan dient wel het zandgehalte verminderd te worden.

- Andere (en betere) optie : een hulpstof toevoegen. W/C blijft constant; de verwerkbaarheid verbetert :

- met 1 klasse, door toevoeging van een plastificeerder (van S2 naar S3);
- met 2 klassen, door toevoeging van een superplastificeerder (van S2 naar S4).

(p. 47)

Ontmenging kan worden veroorzaakt door een verkeerde betonsamenstelling (bv. te veel aanmaakwater), verkeerd transport (bv. plastisch beton over grote afstand vervoeren in een vrachtwagen met kipbak) of verkeerde verwerking (bv. beton pompen dat zich daar niet toe leent).

Ontmenging heeft niet alleen gevolgen voor de materiaalstructuur (krimp, scheuren...), maar ook voor het uitzicht van het oppervlak.

(p. 48)

De gradering mag geen knikken vertonen: dit zou immers wijzen op het ontbreken van korrelfracties.

Hoe kleiner D_{max} , hoe groter de behoefte aan fijne deeltjes : voor een D_{max} dalend van 30 naar 10 mm stijgt het minimum gehalte aan fijne bestanddelen van 350 naar 500 kg/m³.

(NB: fijne bestanddelen = cement + vliegas + filler...)

Luchtbelvormers en watervasthoudende producten zijn voorbeelden van hulpstoffen die de samenhang van de betonspecie vergroten.

(p. 49)

Beton is een materiaal dat 'rijpt' met de tijd en in functie van de temperatuur. Als referentiewaarde wordt conventioneel de druksterkte genomen op 28 dagen, gemeten op proefstukken verhard bij 20°C en een relatieve vochtigheid (R.V.) van minstens 90 %. De norm NBN B15-002 geeft per cementtype aan hoe de druksterkte benaderend kan bepaald worden op een ander tijdstip (coëfficiënt β_{cc}) en bij andere temperaturen (correctiefactor). In het voorbeeld is de 'aangepaste' leeftijd berekend uitgaande van een cement CEM I 42,5 R en na 3 periodes met verschillende betontemperaturen : 16 dagen bij 8 °C, gevolgd door 7 dagen bij 20 °C, en tenslotte 5 dagen bij 25 °C. De werkelijke leeftijd is 28 dagen, de aangepaste slechts 22...

(p. 50)

Door de binding van het cement te versnellen ontwikkelt het jonge beton reeds in een vroeger stadium meer weerstand tegen vervorming en tegen mogelijke bedreigende invloeden.

Bij de hydratatie van cement komt warmte vrij. Deze warmte versnelt op haar beurt het hydratatieproces. Versnellen van de binding gebeurt dus door het beton op een gecontroleerde manier op te warmen of tegen afkoeling te beschermen. Het verloop van de thermische behandeling (zie grafiek) is vastgelegd in de norm.

(p. 51)

Duurzaam beton... bescherming op jonge leeftijd is essentieel !