

# Brouwsel Onder Spanning

Het Constructieverslag van de ConcepTkano



Het Brouwsel wordt u aangeboden door:

[NAAM]

Daniël Tollenaar  
Sevrien Ferree  
Frank Aarns  
Robin Maatjes

[FUNCTIE]

Voorzitter  
Secretaris  
Penningmeester  
Externe betrekkingen

[ALIAS]

Chef Mécanique  
Timonier/Propulseur  
Chef du Propulsion  
Dirigeant d'équipe

## Vooraf aan wat komen gaat,

willen wij u graag nog eens schetsen welke bergen werk er verzet zijn door de BetonBrouwers en iedereen die BetonBrouwen een warm hart toedraagt. Het is nu vijf voor twaalf, of beter gezegd 31 juli, wat mij doet realiseren dat we alweer 20 weken aan de slag zijn. En hoe...

Het begon allemaal met een beetje experimenteren met vezelbeton, waarbij we goed doorkregen dat er veel roem te halen valt met het brouwen van (vezel)beton. Ook kregen we door dat deze roem alleen te behalen valt met bloed, zweet en tranen...

Toen kwam dhr. Verhagen in ons leven, die ons enthousiast maakte voor voorgespannen beton. Helaas vielen hier geen flessen champagne mee te verdienen. Wel was het een stuk beter toepasbaar in kano's, hetgeen waar het allemaal om te doen was...

Het idee van voorgespannen beton is verder uitgewerkt in een haalbaar ontwerp. Het realiseren hiervan is nog steeds in volle gang. Waar anderen genieten van de vrije tijd, is er door de BetonBrouwers en enkele vrienden afgelopen twee maanden keihard gewerkt aan een mal en het betonmengsel. Tijdens het schrijven van dit verslag zijn er al twee kano's ontkist en wordt een derde gestort. Het zal dus Nachtwerk worden om het project op tijd af te krijgen, maar het resultaat des te meer een Sterk Staalje...

Van deze gelegenheid gebruik makend, willen we beroepsbrouwers Götz Husken en Martin Hunger hartelijk te bedanken voor de vele dagdelen die we met hun in het betonlab hebben mogen doorbrengen. Ook de begeleiding van dhr. Snellink en Brouwers is erg nuttig gebleken.

Rest ons niets anders dan de lezer veel plezier te wensen.

De BetonBrouwers,

Daniël Tollenaar (Voorzitter)

Sevrien Ferree (Secretaris)

Frank Aarns (Penningmeester)

Robin Maatjes (Externe betrekkingen)

Een ode aan de sponsors...



## Inhoudsopgave

Vooraf aan wat komen gaat, .....	2
Een ode aan de sponsoren.....	3
Inhoudsopgave .....	4
Inleiding .....	2
1 Eisen aan het Brouwsel en het doel van de Brouwers .....	3
1.1 Prestatie-eisen.....	3
1.2 Functionele eisen.....	3
1.3 Doel der BetonBrouwers.....	3
2 Het ConcepT Brouwsel.....	4
2.1 Schetsontwerp .....	4
2.2 Belastingen op de kano.....	4
2.3 Enkele mechanische modellen .....	5
2.3.1 Het lengtemodel.....	5
2.3.2 Het doorsnede-model.....	6
2.4 ConcepT voorspanning.....	7
2.4.1 Wapening.....	7
2.4.2 BetonBrouwsel .....	8
3 Vorm en constructie .....	10
3.1 Bouwtekening CT-BB-07.....	10
3.2 De staat van het materiaal .....	11
3.3 Het Brouwproces – Brouwen onder (voor)spanning .....	12
3.3.1 De mal.....	12
3.3.2 Het kano b(r)ouwproces.....	14
4 Het Slotstuk.....	17

## Inleiding

Voor u ligt het constructieverslag van de Bouwcommissie 2007 van Studievereniging ConcepT. Deze commissie, genaamd 'BetonBrouwers', heeft sinds eind maart 2007 met zeer veel inzet gewerkt aan drie prachtige kano's. Dit verslag is tot stand gekomen om de organisatie van de BetonKanoRace 2007 een goed inzicht te geven in zowel de gekozen constructie als de gevolgde uitvoering. Ook geeft het de sponsors en overige geïnteresseerden een indruk van de wijze waarop de betonkano's gebouwd zijn. Tevens dient het als documentatie voor toekomstige Bouwcommissies.

Jaarlijks wordt onder auspiciën van de Betonvereniging de BetonKanoRace georganiseerd. In deze race nemen studenten van verschillende civieltechnische en bouwkundige ROC's, hogescholen en universiteiten het tegen elkaar op in hun zelfgebouwde kano's. Het doel van dit fantastische evenement is het promoten van het zeer veelzijdige product BETON. Dit jaar zal het voor S.V. ConcepT een thuisrace worden aangezien de race zal plaatsvinden op de campus.

Bij het BetonBrouwen moet aan veel dingen gedacht worden. Het maken van een ontwerp, krachten in de kano, stabiliteit in het water en financieel rond komen om er maar een paar te noemen. In dit constructieverslag, 'Brouwsel Onder Spanning', worden de eisen, berekeningen en bouwbeschrijvingen van het bouwen van een betonnen kano beschreven. Als eerste worden de eisen aan het brouwsel en het doel van de Brouwers beschreven. Deze eisen bestaan uit prestatie-eisen en functionele eisen. Vervolgens wordt uitgelegd wat het ConcepT BetonBrouwsel 2007 inhoudt. Ook worden de ideeën en de berekeningen achter het BetonBrouwsel uitgelegd. Als laatste wordt uitgebreid naar de vorm en constructie gekeken. Het Brouwproces wordt met veel details beschreven en toegelicht met foto's. Verder zijn er bouwtekeningen te vinden van het ConcepT BetonBrouwsel 2007.

## 1 Eisen aan het Brouwsel en het doel van de Brouwers

*In dit hoofdstuk worden de eisen aan het vaartuig behandeld. Deze omvatten prestatie-eisen, opgelegd door de reglementen van de BetonKanoRace en functionele-eisen, opgelegd door nautische wetten en die van de mechanica. Dit hoofdstuk zal worden afgesloten met een duidelijke doelstelling van de BetonBrouwers*

### 1.1 Prestatie-eisen

De eisen die te destilleren zijn van de reglementen van de BetonKanoRace zijn hieronder weergegeven:

- Bemanning. De kano dient bevaren te worden door twee man met enkelbladige peddels
- Lengte van het vaartuig. De lengte van de kano moet ten minste 4 meter zijn en mag maximaal 6 meter bedragen.
- Hoogte van het vaartuig. De hoogte van het vaartuig mag niet groter zijn dan 1 meter.
- Materiaalgebruik. De sterkte van de kano moet volledig ontleend worden aan het beton en de daarin opgenomen wapening. Het beton moet een samenstelling hebben van cement, steenachtige toeslagmaterialen en eventuele hulpstoffen welke niet de bindende werking van het cement over mogen nemen. De keuze van wapening is vrij, mits deze niet plaatvormig is.
- Afdichting vaartuig. Voor de afdichting van de boot mag maximaal 2 kilo kunststof gebruikt worden.

### 1.2 Functionele eisen

Hieronder worden de eisen aan het brouwsel behandeld die volgen uit de varende functie.

- Drijvend vermogen. De kano moet voldoende opdrijvend vermogen hebben om met een belasting van twee kanoërs te blijven drijven en daarbij voldoende vrijboord over te houden om geen water te maken.
- Stabiliteit. Bij de vormgeving van de kano dient rekening te worden gehouden met de stabiliteit van de constructie in het water.
- Veiligheid. Er dienen luchtkamers in de constructie te zijn aangebracht, zodanig dat de kano blijft drijven bij een mogelijke breuk van de romp of het kapseizen van de kano.
- Waterdichtheid. De huid van de kano dient een dermate lage poreusiteit te hebben, dat deze onder nautische condities waterdicht beschouwd kan worden.
- Mechanische eisen. Vanuit de verwachte krachten op de constructie kan een inschatting gemaakt worden van de dimensies van de constructie. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met eventuele veranderlijke belastingen, volgend uit de nautische functie van de constructie.

### 1.3 Doel der BetonBrouwers

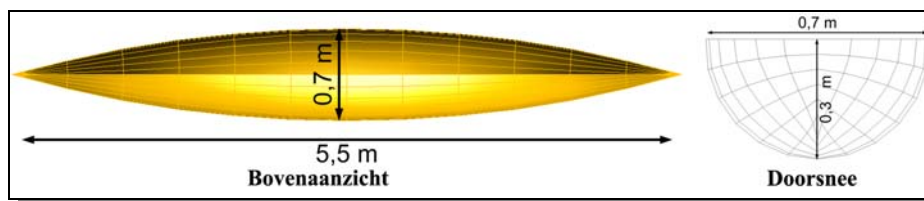
Wanneer een duidelijk beeld verkregen is van het raamwerk waarin de kano geconstrueerd dient te worden, blijven er nog veel vrijheden over waarin toekomstig ingenieurs zich kunnen uitleven. Vroeg in het project dient er daarom een duidelijke keuze gemaakt te worden: het doel van de commissie. Deze is binnen het raamwerk van de gestelde eisen op zoek te gaan naar een snel, innovatief en robuust ontwerp, welke uiteraard het krachtenspel moet kunnen doorstaan.

## 2 Het ConcepT Brouwsel

In dit hoofdstuk wordt ConcepT voorspanning, de werktitel van het brouwsel bedraagt, uit de doeken gedaan. De eerste stap in het ontwerpen van de kano's is het formuleren van het uitgangspunt. Dit is de eerste stap in het realiseren van het doel van de commissie en leidt tot een schetsontwerp. Vanuit een schetsontwerp kunnen de belastingen op het vaartuig bepaald worden en mechanica modellen worden opgesteld. Dit leidt tot een verantwoording van het ontwerp, welke aan het einde van dit hoofdstuk nog verder uitgewerkt zal worden.

### 2.1 Schetsontwerp

Vanuit de doelstelling volgt een rank en efficiënt ontwerp. De breedte/lengte verhouding, oftewel de romphoek, moet hierbij zo laag mogelijk zijn. Verder moet er zo efficiënt mogelijk omgegaan worden met de verhouding tussen de lengte van de kano en het gewicht. De verhouding tussen het gewicht en de lengte dient dus tevens zo laag mogelijk te zijn. Dit alles afwegend wordt gekomen tot een schetsontwerp gegeven in Figuur 1.



**Figuur 1 – Aanzichten schetsontwerp**

De lengte van de kano  $L_k$  is 5,5m en de breedte,  $B_k$  0,7m. De hoogte van de kano is 0,3m. Het oppervlak van de romp  $A_r$  wordt geschat op  $3,5\text{m}^2$  en de dikte  $D_r$  op 0,01m.

### 2.2 Belastingen op de kano

De belastingen op de constructie worden bepaald door drie componenten;

1. het gewicht van de kanoërs  $F_{\text{pers}}$  [N];
2. het gewicht van de kano  $F_k$  [N];
3. de opwaartse waterdruk  $q_w$  [N/m].

Van de laatste twee wordt aangenomen dat deze tegenovergesteld zijn aan elkaar, waarbij de resultante wordt gegeven door  $q_{\text{res}}$ .

Voor het gewicht wordt aangenomen dat twee kanoërs niet zwaarder zullen zijn dan 850N. Topsporters worden immers verondersteld in topconditie te zijn, geen doping te gebruiken en slechts een biertje per dag te drinken.

Het gewicht van de kano is te bepalen uit het romppoppervlak, de rompdikte en het soortelijk gewicht van het betonbrouwsel. De eerste twee zijn bekend, voor de laatste,  $\rho_b$  wordt een waarde van  $25\text{kN/m}^3$  aangehouden. Dit alles leidt tot een  $F_k$  van 875N. Het gewicht van de kano per meter lengte  $q_r$  is 159 N/m.

De waterdruk onder de kano wordt bepaald door de som van de reeds berekende componenten ( $2 \times F_{pers} + F_k$ ). Hierbij moeten deze nog in de juiste eenheid gezet worden door te delen door de lengte van de kano. Op deze wijze wordt een waterdruk  $q_w$  verkregen van 468 N/m.

Bij de berekening van momenten speelt vooral de resulterende druk een belangrijke rol. Deze wordt bepaald door het eigen gewicht per meter lengte  $q_k$  en de resulterende waterdruk  $q_w$ . Deze is gelijk aan 309N/m. Tabel 1 geeft de belastingen op de kano weer. Deze dienen als input voor de mechanicamodellen verderop in dit hoofdstuk.

Component		Waarde [eenheid]
$F_{pers}$	Kanoërs	850 [N]
$q_k$	Eigen gewicht	159 [N/m]
$q_w$	Waterdruk	468 [N/m]
$q_{rep}$	Resulterende druk	309 [N/m]

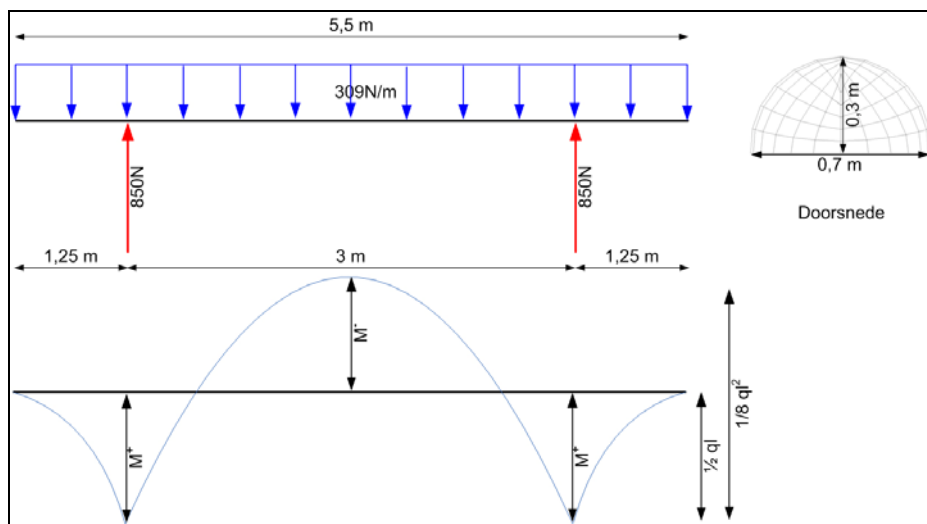
Tabel 1- Krachtenspel op het brouwsel

## 2.3 Enkele mechanische modellen

Om inzicht te krijgen in de weerbarstige werkelijkheid wordt een inschatting gemaakt van de momenten in de kano met behulp van twee modellen. Ten eerste wordt de kano in de lengte beschouwd, waarbij gekeken wordt naar de momenten als gevolg van het gewicht van de kanoërs en de resulterende waterdruk. Daarnaast wordt gekeken wat het effect is van de waterdruk op de zijkant van de kano, met behulp van een model van de dwarsdoorsnede.

### 2.3.1 Het lengtemodel

Figuur 2 geeft het lengtemodel weer van de kano. Hierbij zijn de kanoërs op 1,25m van de boeg en de steven geplaatst.



Figuur 2 – Model van de lengterichting

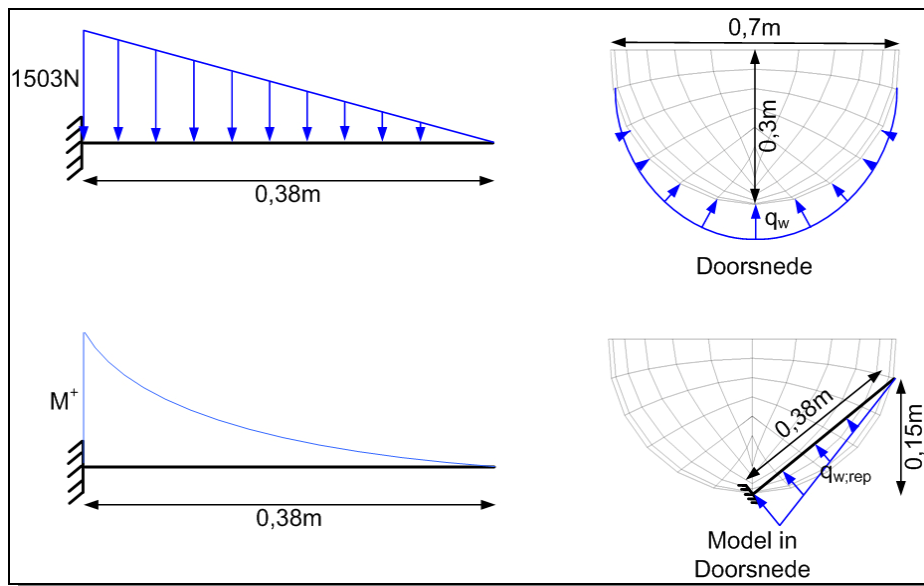
De bovenste ligger geeft het omgekeerd lengteprofiel van de kano weer. Hierbij zijn de belastingen door de kanoërs omhoog gericht en de waterdruk neerwaarts. De doorsnede die geldt



voor dit figuur is ook gegeven. Het onderste figuur geeft de momenten weer die gelden onder een dergelijke belasting. Via vuistregels, tevens weergegeven in het figuur, kan met een dergelijk model het positief en negatief moment bepaald worden:  $M^+$  is 241Nm en  $M^-$  is 155Nm.

### 2.3.2 Het doorsnede-model

Met het doorsnede-model wordt het maximale moment dwars op de lengterichting bepaald. Het model is schematisch weergegeven in Figuur 3. In de rechterhelft van de figuur zijn de relatie tussen de dwarsdoorsnede en het model weergegeven. De linkerhelft van de figuur geeft de belasting en het moment weer.



**Figuur 3 – Model op de dwarsrichting**

De belasting op de zijkant van de kano wordt bepaald door de waterdruk die oploopt vanaf de waterlijn tot de maximale waterdiepte. De maximale waterdiepte wordt bepaald door een globale schatting te maken van het oppervlak over het bovenaanzicht, gegeven in Figuur 1. Dit wordt berekend met behulp van vergelijking 1.

$$A_{rep} = \frac{2}{3} \cdot L_k \cdot B_k = 2,57m^2 \quad (1)$$

De diepgang kan worden bepaald door vergelijking 2. Hierbij wordt de totale belasting van de kano plus kanoërs gedeeld door het oppervlak, waarbij gecorrigeerd wordt met een factor  $3/2$  voor de parabolische vorm van de romp. Een waterdruk van 1503N/m<sup>2</sup> komt hierbij overheen met een diepgang van 0,15m.

$$P_w = \frac{3}{2} \cdot P = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_k + 2 \cdot F_{pers}}{A_{rep}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{875 + 2 \cdot 850}{2,57} = 1503N / m^2 \quad (2)$$

Nu de belasting over de dwarsrichting bekend is, rest niets anders dan een inschatting van de momenten te geven. Deze is gegeven in vergelijking 3.

$$M^+ = \frac{1}{6}ql^2 = 36Nm \quad (3)$$

## 2.4 Concept voorspanning

Elk Brouwsel bestaat natuurlijk minimaal uit beton en de daarin opgenomen wapening. In dit geval zijn dit zelfs de enige ingrediënten van de kano. In dit hoofdstuk zal er aan de hand van wat berekeningen bekeken worden welke wapening er in de kano gestopt moet worden. Als de wapeningsconstructie bekend is, kan ook het betonbrouwsel ontworpen worden.

### 2.4.1 Wapening

Hoewel de uitvoer van de modellen in paragraaf 2.3 slechts een indicatie geven van de momenten in de kano's kan het toch gebruikt worden om de wapening te ontwerpen. Als goed ingenieur moet je natuurlijk wel iets hebben als houvast.

#### *Wapening in langsrichting*

In de lengterichting wordt gekozen om de trekkrachten weg te nemen door het toepassen van voorspanning. Hierbij moet gekeken worden naar de grootte van de door het moment veroorzaakte trekspanning  $\sigma_m$ . Deze kan berekend worden met vergelijking 4, waarbij het moment  $M$  bekend is van paragraaf 2.3. Voor  $I_{zz}$  wordt de waarde  $62 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$  aangenomen, welke is bepaald door het dwarsprofiel te modelleren met een halve cirkel. De waarde voor  $e$  is 175mm bij het negatieve moment,  $M$ , en 105mm bij het positieve moment,  $M^+$ .

$$\sigma_m = \frac{M \cdot e}{I_{zz}} \quad (4)$$

In Tabel 2 zijn de spanningen in het beton weergegeven. De trekspanningen bij de kanoërs en in het midden van de kano is rond de  $0,4\text{N/mm}^2$ . Tabel 1

Moment	Positie	$M$ [Nm]	$E$ [mm]	$I_{zz}$ [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
$M^+$	Boven	241	-175	$62 \cdot 10^6$	-0,68
	Onder	241	105	$62 \cdot 10^6$	0,41
$M^-$	Boven	-155	-175	$62 \cdot 10^6$	0,44
	Onder	-155	105	$62 \cdot 10^6$	-0,26

**Tabel 2 – Spanningen in het beton**

De trekspanningen worden opgevangen door een normaalspanning die wordt gegeven door spandraden. Naar beoordeling van experts is besloten een 40 tal kabels te spannen over de kano, wat een spacing tussen de draden geeft van 1cm in de boeg en steven tot 2,5cm in het midden van de romp. De draden dienen onder een dergelijke spanning te staan dat de normaalspanning over

de betondoorsnede  $\sigma_N$  groter is dan  $0,4N/mm^2$ . Het betonoppervlak van de doorsnede gegeven in Figuur 1 met een dikte van 10mm zal een ongeveer  $9000mm^2$  bedragen.

Met vergelijking 5 kan nu de bijbehorende voorspankracht  $N$  bepaald worden. Het blijkt dat wanneer voor de spanning per draad 250N gekozen wordt, de voorspankrachten ruim voldoende zijn om trekspanningen op te vangen.

$$\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{250 \cdot 40}{9000} = 1,1N/mm^2 \quad (5)$$

#### Wapening in dwarsrichting

Om de momenten in dwarsrichting op te vangen wordt conventionele wapening toegepast. Er is gekozen om hiertoe een glasvezelmat met een maaswijdte van 5mm over de spankabels aan te brengen aan de buitenkant van de huid. Een indicatie van de trekspanning veroorzaakt door het moment is gegeven in vergelijking 6. De kracht die opgenomen kan worden door een glasvezelmat zijn onbekend, maar dergelijke waarden als volgend uit vergelijking 6 moet geen enkel probleem zijn.

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot h \cdot D_r^2} = \frac{0,036}{\frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 0,01^2} = 2160kN/m^2 = 2,16N/mm^2 \quad (6)$$

### 2.4.2 BetonBrouwsel

Bij het ontwerpen van het BetonBrouwsel is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten en wenselijke eigenschappen:

- Sterkte. Het beton moet voldoende sterk zijn om de druk aan te kunnen berekend in de voorgaande paragrafen;
- Porositeit. Gegeven het voorgaande punt dient het zo'n laag mogelijke porositeit te hebben, om een waterdichte kano te kunnen garanderen.
- Verwerkbaarheid. De verwerkbaarheid van het beton hangt samen met een aantal zaken. Allereerst moet er rekening gehouden worden met de spacing van de wapening. De spacing van de wapening bepaalt mede de korrelverdeling van het BetonBrouwsel. In ons geval is de maaswijdte van de glasvezelsmat, 5mm, maatgevend. Naast de spacing moest het beton zelfverdichtend zijn. Het beton kan namelijk niet aangetrilt worden en aandrukken wordt bemoeilijkt door de vooraf aangebrachte spankabels. De laatste eis die aan de verwerkbaarheid wordt gesteld is dat het beton smeerbaar moet zijn, maar toch dusdanig stijf dat het tegen de wanden van de mal op blijft zitten.
- Vezels. Aangezien in de boeg en steven grotere krachten op kunnen treden, bijvoorbeeld door een aanvaring, is ervoor gekozen om deze te maken van vezelbeton. Op het gebied van vezelbeton was immers al enige kennis opgedaan en het leek ons tevens een innovatieve manier om de boeg en steven te verstevigen. Bij de bouw van de eerste kano heeft de toepassing van vezelbeton echter tot dusdanige problemen geleid op het gebied van de verwerkbaarheid dat ervoor is gekozen om het niet meer toe te passen. Bij de overige kano's zijn de boeg en steven daarom gewoon met de glasvezelmatten verstevigd: niet innovatief, wel effectief.

- Gewicht. Om ervoor te zorgen dat de kano ook mee kan doen voor een snelle tijd dient het BetonBrouwsel een zo laag mogelijk soortelijk gewicht te hebben.

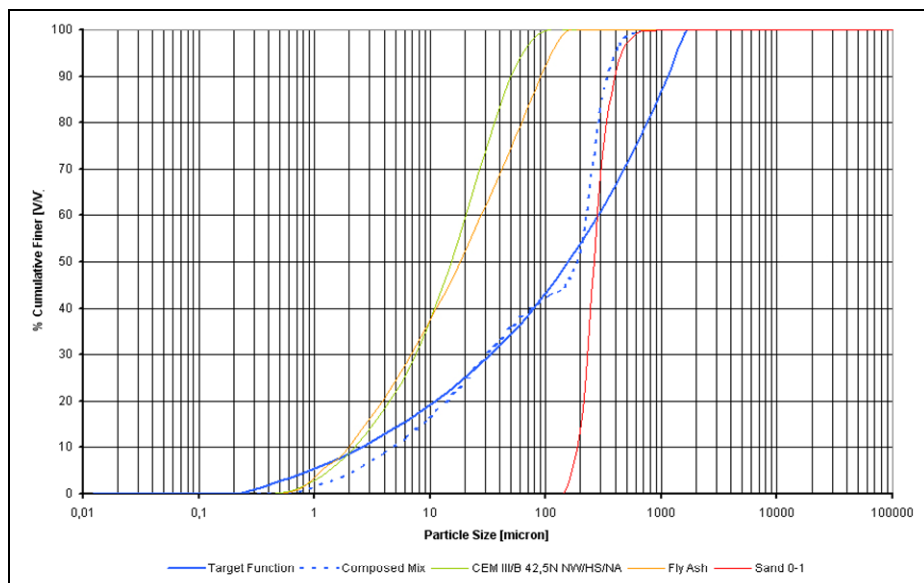
Vanuit het voorgaande blijkt dat de krachten in het beton dermate laag zijn, dat zelfs met een B10 sterkteklasse volstaan zou kunnen worden. Om deze reden is er gekozen te zoeken naar een zo'n compact mogelijk betonbrouwsel met een zo goed mogelijke korrelverdeling. De nominale korrel is vastgesteld op 1mm, wegens de geringe afstand tussen de voorspankabels, de fijnmazigheid van de glasvezelmat en een goede hechting aan de voorspankabels.

Materiaal	Volume [dm <sup>3</sup> ]	Massa [kg]	Dichtheid [kg/dm <sup>3</sup> ]
CEM III/B 42,5 NW/HS/NA	120,0	346,6	2,9
Fly Ash	199,9	442,0	2,2
Sand 0-1	399,3	1052,7	2,6
Water	272,1	272,1	1,0
Air	8,7		
<b>Total</b>	<b>1000,0</b>	<b>2113,4</b>	

**Tabel 3 – Het BetonBrouwsel**

Tabel 3 geeft het receptuur weer welke is toegepast in de kano's. Als binder is een CEM III/B hoogovencement gekozen. Deze is duurzaam en heeft een tragere reactietijd, wat de scheurvorming tijdens het uitharden tegengaat. Bovendien was het in overvloed aanwezig in het betonlab, dat nodig opgeruimd diende te worden.

Als aggregaten zijn zand met een nominale korrel van 1mm en vliegas toegevoegd. De toevoeging van superplastificeerder is vermeden ten behoeve van de verwerkbaarheid. De hoeveelheid water is bepaald door experimenten met de verwerkbaarheid en de beoordeling van enkele proef 'slabs' na 7 dagen uitharding. De zeefcurve van de verschillende componenten en de betonmix is weergegeven in Figuur 4.



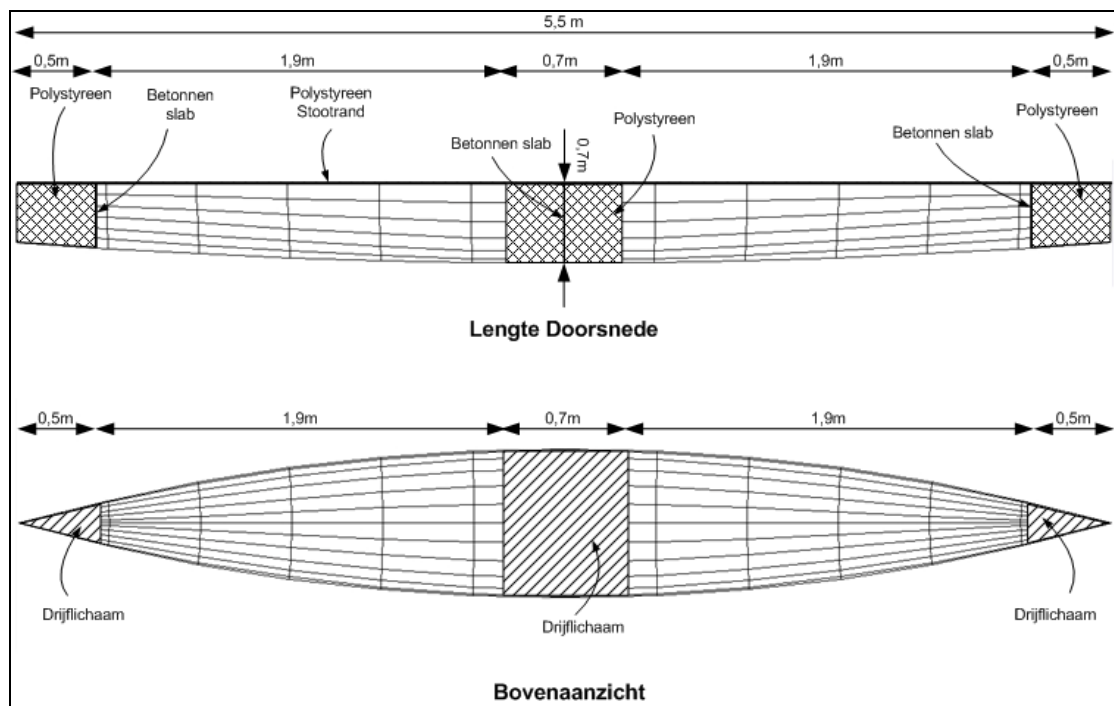
**Figuur 4 – korrelverdeling betonmengsel (volgens UT mixdesign)**

### 3 Vorm en constructie

In voorgaande hoofdstukken is van een doelstelling binnen een bepaald programma van eisen gekomen tot een schetsontwerp. Vervolgens is aan de hand van mechanische input het hele samenspel tussen wapening en het betonbrouwsel behandeld. Dit hoofdstuk dient om het geheel samen te voegen tot iets wat is gaan heten Concept BetonBrouwsel 2007, afgekort CT-BB-07.

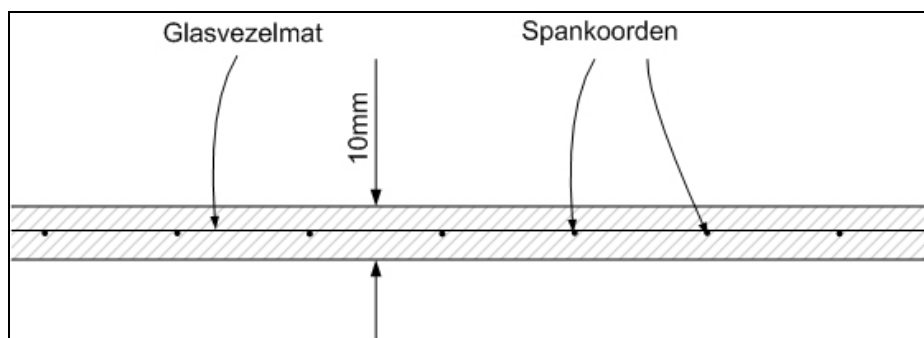
#### 3.1 Bouwtekening CT-BB-07

Figuur 5 geeft de bouwtekening van de kano, zoals ontworpen door de BetonBrouwers. Op 0,5m van de boeg en de steven, alsmede in het midden van de boot zijn betonnen slabs aangebracht om extra stevigheid te geven aan de kano. Deze zullen een gedeelte van het moment opnemen wat berekend is met het dwarsprofiel. In de boeg, steven en het midden zijn tevens polystyreen drijflichamen aangebracht, welke voldoende opwaartse kracht geven mocht de kano breken of kapseizen.



Figuur 5 – Bouwtekening CT-BB-07

In Figuur 6 is een tekening van de wapening opgenomen. Hierbij is te zien dat de glasvezelmat direct op de voerspankabels wordt gelegd. De spacing tussen de kabels zal variëren van 25 mm in het midden tot 10mm in de boeg en de steven.



Figuur 6 - Wapeningstekening

### 3.2 De staat van het materiaal

In tabel 4 is de materiaalstaat gegeven van het Concept BetonBrouwsel 2007. Aangezien het merendeel van het gewicht wordt bepaald door de gebruikte hoeveelheid beton kan hieruit afgeleid worden dat de kano ongeveer 90 kg zal wegen.

Onderdeel	Materiaal	Aantal per eenheid	Aantal eenheden	Totaal
Beton	CEM III/B 42,5 NW/HS/NA	0,347 kg/l	40 l	13,88 kg
	Fly Ash	0,442 kg/l	40 l	17,68 kg
	Sand 0-1	1,053 kg/l	40 l	42,12 kg
	Water	0,272 kg/l	40 l	10,88 kg
Wapening	Steelcord 3x0.22/9x0.20+0.15 CC	5,5 m/st.	40 st.	220 m
	Glasvezelmat 5x5	3,2 m <sup>2</sup> /st.	1 st.	3,2 m <sup>2</sup>
Luchtkamers <sup>1</sup>	Polystyreen blokken	0,125 m <sup>3</sup> /st	1 st.	0,125 m <sup>3</sup>
	Vloeibaar polystyreenschuim	nihil		nihil
	Noppenfolie	0,3 m <sup>2</sup> /st	1 st.	0,3 m <sup>2</sup>
Afwerking <sup>1</sup>	Betonverf	1,5 l/st.	1 st.	1,5 l
	Isolatiebuis	5,5m/st.	2st.	11m
	Duck tape	nihil		nihil

Tabel 4 – Materiaalstaat CT-BB-07

<sup>1</sup> Op dit moment zijn deze nog niet aangebracht. De hoeveelheid is daarmee een wat ruime schatting

### 3.3 Het Brouwproces – Brouwen onder (voor)spanning

Nu het ontwerp bekend is kan worden gekeken naar het belangrijkste gebeuren binnen het hele proces van het ontstaan van een betonkano: het daadwerkelijke ‘bouwen’ van de kano’s. In de volgende alinea’s zal worden ingegaan op het bouwproces van de kano’s en alles wat daarbij om de hoek kwam kijken. De tekst zal opgebouwd zijn in de vorm van een verslag van het maken van de mal en kano nummer één.

#### 3.3.1 De mal

Zonder mal géén kano. Iedere betonkanobouwer moet deze zin wel bekend in de oren klinken. Voor de bouw van de ConcepTkano is gekozen voor het gebruik van een (positieve) binnenmal. Het beton zal dus aan de buitenkant van de mal worden gestort. De gebruikte mal is een ‘gepimpte’ K2 kano (zie figuur 7) die eind juni in het bezit van de BetonBrouwers kwam. Aangezien het een kano betrof met een gesloten bovenzijde, werd besloten dit gedeelte van de kano af te zagen waardoor alleen de romp overbleef. Hiermee was het begin voor de mal gemaakt.



**Figuur 7 – De K2**



**Figuur 8 – Het houten raamwerk**

Omdat de overgebleven romp bijna geen stijfheid bevatte werd begonnen om de romp te verstevigen en te verhogen. Dit laatste om te zorgen dat de kano hoog genoeg werd om te garanderen dat de bovenkant van de kano niet onder de waterlijn zou liggen. Een houten raamwerk werd aan de binnenkant van de romp bevestigd (zie figuur 8). Deze constructie werd later verstevigd door in de hele mal een aantal liters gips te verwerken met daarbinnen een wapening van kippengaas. Wat resulteerde was een zeer stijve kano die tijdens het storten in geen gevallen zou gaan bezwijken. Een groot nadeel van het gebruik van het gips was echter wel dat de massa van het geheel erg groot werd met het gevolg dat voor het optillen van de mal plus kano minstens acht mensen nodig waren. Dit gebeuren komt later nog aan bod. Het verhogen van de kano werd verwezenlijkt door aan de binnenkant van de mal tegen de rand houten schotten te plaatsen.

Hiertegen kon vervolgens gips worden aangebracht zodat de kano uiteindelijk ongeveer 5cm hoger zou worden. Afvlakken en opschuren was de laatste stap binnen het bouwproces van de mal (zie figuur 9 op de

volgende pagina).

Om de zorgen dat bij het ‘ontkisten’ van de kano’s geen grote problemen zouden ontstaan en om flexibel met de mal te kunnen werken, werd de mal in drieën gedeeld. De indeling van deze drie delen komen overeen met het in figuur 5 getoonde bovenaanzicht van de kano. Hierbij kan het drijflichaam in het midden van de kano als het middelste deel worden opgevat. Voor een goede verbinding tussen de delen werden doormiddel van een boutverbinding aan elkaar bevestigd. Deze verbinding zou dan ook gemakkelijk verbroken kunnen worden door de bouten en moeren te verwijderen.



**Figuur 9 – Het opschuren van de mal**



**Figuur 10 – Het houten raamwerk**

Zoals eerder in dit verslag gemeld werd, zou gebruik worden gemaakt van voorgespannen wapening. Om de wapening echter voor te spannen zijn krachten nodig die door een bepaalde constructie moeten worden opgenomen. In samenwerking met een welwillende WB'er van studievereniging Isaac Newton is een stalen constructie in elkaar gelast die de gewichten (waarmee de stalen koorden werden voorgespannen) moest gaan bergen. Het resultaat was een stalen constructie van kokers en strippen met een totale lengte van ongeveer 6,5 meter en een breedte van 0,8 meter. Hierbij werd ook deze constructie in een aantal delen gebouwd zodat het transport van de bok werd vergemakkelijkt en de kniklengte van de stalen onderdelen verminderd. De in elkaar gezette stalen constructie en de positieve mal zijn te zien in figuur 10.

Om uiteindelijk de staalkabels voor te kunnen spannen met de benodigde 250N zijn twee methoden overwogen. De eerste methode was met behulp van spanwartels en unsters en de tweede methode was met behulp van gewichten. Gezien het aantal en de kosten hebben wij gekozen voor de gewichten. Gelukkig bleek het, via de heer Verhagen, mogelijk om 80 gewichten van 25kg op te halen bij de KMA in Breda. In figuur 11 is het transport van de 2 ton aan gewichten te zien.

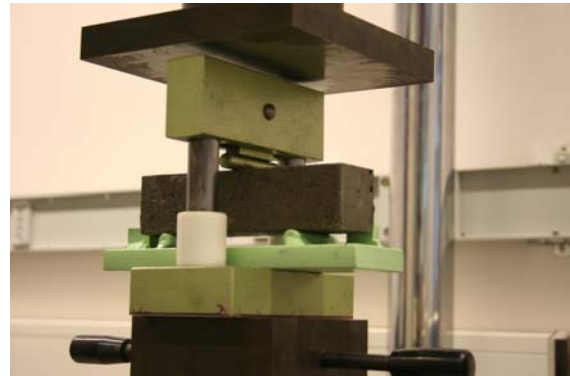


**Figuur 11 – Transport van de gewichten**



### 3.3.2 Het kano b(r)ouwproces

Voordat er beton op de mal kon worden aangebracht moest uiteraard eerst nagedacht worden over het betonrecept. Dit proces verliep parallel met het maken van de mal en bok. Aan de hand van enige ervaring in het betonlab en vanwege de ondersteuning van de twee promovendi Götz Husken en Martin Hunger zijn we op zoek gegaan naar een betonrecept wat precies aan onze eisen voldeed. Hiervoor zijn in kleine proporties (1,5 liter) van verschillende mengsels gemaakt. Deze mengsels zijn vervolgens getest op trek- en drukkracht, op hun verwerkbaarheid en op de verdichting. Aan de hand van deze testjes, waarvan een voorbeeld te zien is in figuur 12, is het beste recept gekozen: het CT-BB-07.



**Figuur 12 – Testen van het beton**

Toen de werkzaamheden aan de mal, de stalen constructie en het betonrecept waren afgerond, kon worden begonnen met het bouwen van de eerste kano.

Een eerste stap was het oliën van de mal. Dit werd gedaan met motorolie en het doel was om te zorgen dat het aan te brengen beton niet aan de mal zou gaan hechten. Hetgeen bij het ontkisten op een drama uit zou zijn gelopen. Op de laag olie werd vervolgens een laag afdekfolie aangebracht en werd net als de mal ook met olie besmeerd. Het was bij het aanbrengen van het folie zaak om voor zo weinig mogelijk luchtballen en rimpels te zorgen. Dit zou zijn sporen namelijk nalaten in de te storten kano.



**Figuur 13 – Afstandhouders ‘at work’. In detail (links) en gezien over de hele mal.**

De stalen koorden waren inmiddels allemaal op maat geknipt en konden rond de kano worden bevestigd. Één voor één werden de staaldraden aan ieder uiteinde bevestigd aan een gewicht van 25 kg die moesten zorgen voor de spanning in de draden. De draden werden hierbij over de mal geplaatst en doormiddel van betonnen afstandhouders van de met het folie afgedekte mal ‘afgehouden’ (zie figuur 13). Onder afstandhouders worden betonnen reepjes van +/- 1 x 1 x 0,3 cm bedoeld die zijn verrijkt met stalen en kunststof vezels voor extra stevigheid en een betere hechting. Deze betonnen stukjes werden tussen de staaldraden en de mal geplaatst om te zorgen dat het te storten

beton goed rond de draden zou vloeien. Omdat de afstandhouders ook van beton werden gemaakt zouden deze uiteindelijk één geheel vormen met de rest van het beton. Om de staaldraden tenslotte op een

gelijkmatige manier over de mal te verdelen werden, waar nodig, koordjes van katoen gebruikt die later in het beton zouden oplossen.



**Figuur 14 – Aanbrengen van het beton**

Met het afronden van het plaatsen van de wapening kon een begin worden gemaakt met het ‘brouwen’ van het beton. Het beschreven CT-BB-07 werd voorbereid en in een aantal batches van 5 liter aangemaakt. Met de hand en plamuurmessen werd het beton eerst in een dunne laag van 5mm rond de staaldraden aangebracht (zie figuur 14). Het matje van glasvezel werd daarna op de eerste laag beton gelegd waarna een tweede laag van 5mm beton door een zespaar handen werden aangebracht. Om het beton mooi glad te krijgen werd er gebruik gemaakt van een (verf)roller en een vochtige spons. Al het werk resulteerde in een mooie gladde laag beton van +/- 10mm dik en vormde daarmee de eerste kano (zie figuur 15). De inmiddels gestorte kano werd aan het einde van het b(r)ouwproces afgedekt met een afdekfolie, dit om uitdroging te voorkomen en stof buiten de deur te houden.

Na ongeveer een week was de (grote) dag van het ontkisten aangebroken. Een, al voor het storten van het beton aangebrachte, houten draagconstructie moest zorgen dat de mal + kano verplaatst konden worden zodat op een aantal matrassen het uiteindelijke ontstapen plaats kon vinden. Maar liefst acht (!) personen waren nodig om het paar honderd kilo wegende geheel van mal en kano te verplaatsten. De gebruikte matrassen zorgden voor een gelijkmatig verdeelde ondersteuning van de boot. Het besluit om de mal in drie delen in te delen bleek goud waard tijdens het ontstapen. De boutverbinding tussen de onderdelen van de mal werd verbroken, waarna met vereende krachten het middelgedeelte van de mal uit de kano kon worden getrokken. Nu het middelgedeelte verwijderd was, was het zaak om dit te verstevigen aan de hand van piepschuim blokken. Deze piepschuim blokken hadden een dubbele functie. Allereerst zouden ze ervoor zorgen dat de wanden niet naar binnen zouden komen wanneer de overige twee stukken van de mal werden verwijderd. Ten tweede diende ze als een soort mal voor de betonnen slab die in het midden gestort moest worden. De betonnen slab zou de krachten op gaan nemen zodat het piepschuim weer verwijderd kon worden. Na het aanbrengen van de piepschuim blokken konden de twee resterende delen van de mal van de kano afgehaald worden. Dit werd bereikt door één persoon de het malgedeelte op te tillen en één persoon en aan te laten trekken zodat de boeg van de kano vrijkwam van de boeg van de mal. Wat overbleef was een betonnen kano.



**Figuur 15 – Gestorte kano nr. 1**

In de dagen na het ontstapen was het zaak de kano goed te bevochtigen zodat uitdroging van de boot niet aan de orde zou zijn. Een laag afdekfolie moest daarbij zorgen dat stof en vuil de kano niet aantaste.

In de figuren hieronder ziet u het ontkisten van de kano (figuur 16) en de ontkiste kano (figuur 17).



**Figuur 16 – Het ontkisten van de kano. Het middenstuk en de boeg zijn reeds verwijderd.**



**Figuur 17 – De ontkiste kano**

## **4 Het Slotstuk**

Inmiddels zijn er twee kano's ontkist en is de derde gestort. De mal heeft het gehouden, kabels zijn niet onder de trekkracht van 25 kilogram geknapt en de ontkistingsmethode werkt. Wat ons nu nog rest is de afwerking: het aanbrengen van luchtkamers, het maken van de slab, een likje verf en het afwerken van de randen met isolatiebuizen. Wij hopen dat aan de hand van dit constructieverslag voldoende duidelijkheid is verkregen in de manier waarop wij onze kano's hebben gebouwd en de achterliggende ideeën.

Volgens de in dit verslag behandelde berekeningen moeten de kano's de optredende krachten kunnen trotseren en blijven ze drijven. Nu hopen dat de theorie overeenkomt met de praktijk!