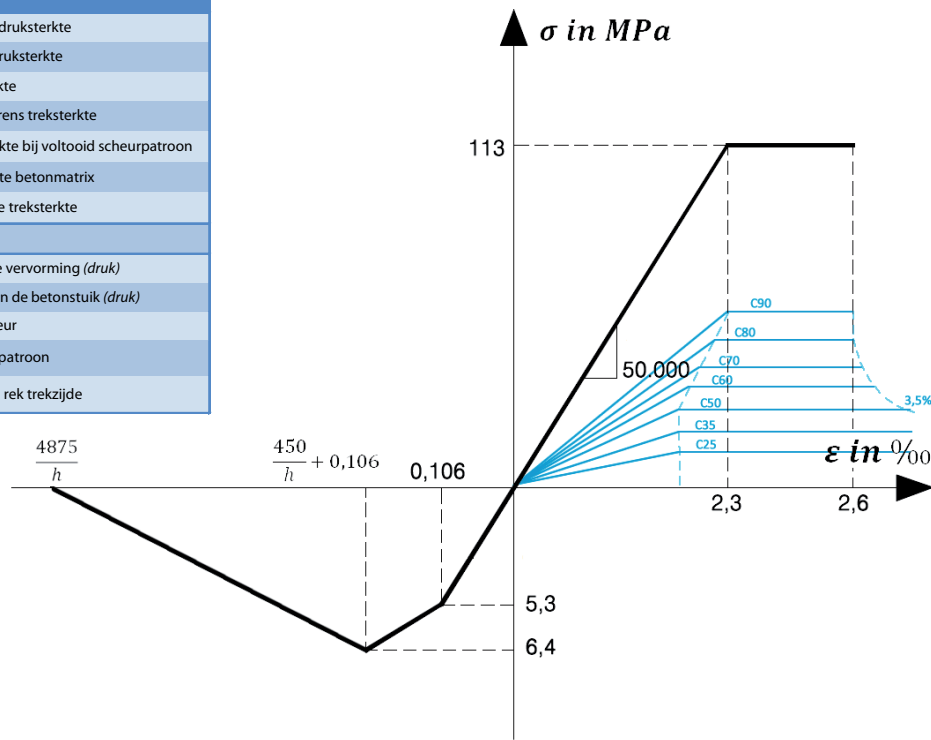


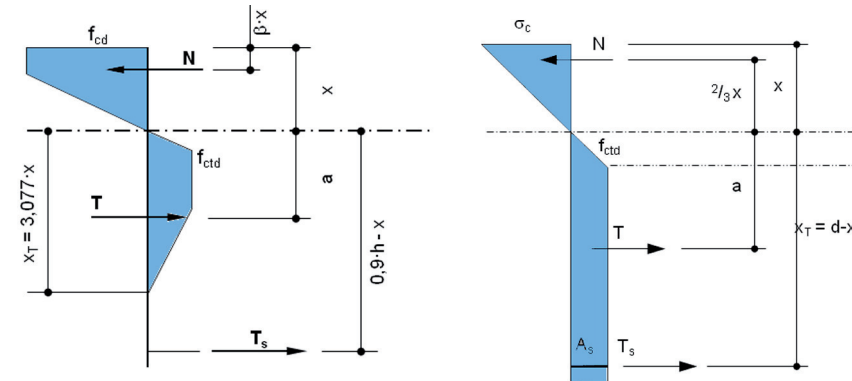
7. Spanning-rek diagram Ductal FM C170/200

Symbol	Waarde	Benaming
f_c	170	Karakteristieke cilinderdruksterkte
$f_{c,ube}$	200	Karakteristieke kubusdruksterkte
f_t	113	Rekenwaarde druksterkte
$f_{t,0.05}$	8	Karakteristieke ondergrens treksterkte
$\sigma_{w,3}$	14,9	Karakteristieke treksterkte bij voltooid scheurpatroon
$f_{t,1}$	5,3	Rekenwaarde treksterkte betonmatrix
$f_{t,2}$	6,4	Rekenwaarde maximale treksterkte
E	50 GPa	Elasticiteitsmodulus
ϵ_3	2,3	Rek bij begin plastische vervorming (druk)
ϵ_3	2,6	Rek bij grenswaarde van de betonstuik (druk)
ϵ	0,106	Rek bij ontstaan 1 ^e scheur
ϵ	$\frac{450}{h} + 0,106$	Rek bij voltooid scheurpatroon
ϵ	$\frac{4875}{h}$	Maximaal opneembare rek trekzijde



Bijzonder aan dit spanning-rek diagram is dat aan de trekzijde een **variabele** zit. Deze variabele is de **hoogte van het element**. Deze variabele is in het leven geroepen omdat de maximale rek afhankelijk is van de vezellengte en de scheurwijdte welke gekoppeld is aan de elementhoogte.

8. Reken figuren belast op zuivere buiging



STERKTE

TOETSING IN ULS (UGT)

Voor de toetsing van een ligger belast op zuivere buiging is het volgende spanningsfiguur opgesteld. Al snel was duidelijk dat bij belasting op buiging extra conventionele wapening benodigd was.

- N = Normaaldrukkracht in drukzone
- T = Normaaltrekkkracht in trekzone beton (beton inclusief vezels)
- T_s = Normaaltrekkkracht in wapeningstaal

SCHEURVORMING

TOETSING IN SLS (BGT)

De scheurwijdte mag gecontroleerd worden in de SLS. De maximale scheurwijdte bedraagt 0,3 mm. Volgens de AFGC-Setra 2002 wordt de maximale toelaatbare scheurwijdte bereikt op het moment dat er een voltooid scheurpatroon wordt bereikt. Hierop is het bovenstaande spanningsfiguur gebaseerd. Hieruit blijkt dat scheurvorming bijna altijd maatgevend is.

BELASTINGSTADIUMS

WAAROM DE VOLGORDE VAN OPTREDEN VOOR UHPFRC NIET EENVOUDIG IS

Door een lagere sterkteverhouding tussen het wapeningsstaal en UHPFRC is de optredende volgorde van de verschillende stadiums (bij conventioneel beton: *scheurmoment, vloeien wapening, betonstuik, bezwijkmoment*) moeilijk te voorspellen. Wapeningsstaal B500 is ongeveer 4 keer zo sterk als UHPFRC en 23 keer sterker dan C28/35. Hierdoor wordt in sommige gevallen het bezwijkstadium zoals gewoonlijk ($\epsilon_{cd} = \epsilon_{cu3}$) niet bereikt, doordat de wapening eerder bezwijkt.

In de berekeningen is voor de optredende stadiums de volgende volgorde aangehouden. Een extra controle is nodig om te kijken of aan deze voorwaarden wordt voldaan.

1. Vloeien wapeningstaal
2. Bereiken betonstuik
3. Bereiken bezwijkmoment uiterste grens vezels
4. Bereiken grenswaarde betonstuik (bezwijkmoment)

9. Constructieve conclusies over UHPFRC toegepast in bouwkundige constructies

Voor onderstaande belatingsgevallen zijn rekenmodellen opgesteld. Hieronder volgen korte voorbeelden met daaruit een conclusie...

BELAST OP BUIGING

CONCLUSIE

UHPFRC toegepast in een element belast op buiging vertoont, bij het toepassen van eenzelfde wapeningspercentage, geen opmerkelijk hogere opneembare momenten in vergelijking met conventioneel beton. De winst wordt echter behaald doordat in UHPFRC een hoger maximum wapeningspercentage toelaatbaar is zonder verlies van het waarschuwingseffect. Ook is het door de hoge opneembare druk perfect voor toepassing met voorgespannen wapening.

UITGANGSPUNTEN BEREKENING

- Balkafmetingen : 400 x 600 mm
- Nuttige hoogte : 0,9 x h = 540 mm
- Wapening : Maximaal toelaatbaar met behoud van het waarschuwingseffect

RESULTATEN BEREKENING

	Wapening	Percentage	Conventioneel beton C28/35	UHPFRC C170/200
Opneembare moment	3115 mm ²	1,3 %	604 kNm	708 kNm
	6392 mm ²	2,7 % (meer is mogelijk)	Niet haalbaar	1503 kNm

BELAST OP DRUK

CONCLUSIE

UHPFRC wordt het meest efficiënt gebruikt bij belasting op druk. Daardoor is het een perfect materiaal voor kolommen waarbij zelfs onder grote drukkrachten slank geconstrueerd kan worden.

UITGANGSPUNTEN BEREKENING

- Kolomafmetingen : 400 x 400mm vierkant
- Knik lengte : 4000 mm
- Wapening : Maximaal toelaatbaar dus 4%

RESULTATEN BEREKENING

	Conventioneel beton C28/35	UHPFRC C170/200
Opneembare normaalkracht N_{Ed}	1405 kN	5435 kN
Opneembaar 2 ^o orde moment M_{Ed}	442 kNm	1068 kNm
Totaal wapeningspercentage ρ	4 %	4 %

BELAST OP TREK

CONCLUSIE

Een UHPFRC element belast op axiale trek kan ondanks de vezels en de verhoogde treksterkte van de betonmatrix weinig kracht opnemen. De treksterkte is al flink verbeterd maar is het nog steeds niet geschikt voor axiale trekbelasting.

UITGANGSPUNTEN BEREKENING

- Kolomafmetingen : 400 x 400mm vierkant
- Wapening : 0%

RESULTATEN BEREKENING

	Conventioneel beton C28/35	UHPFRC C170/200
Opneembare trekkracht zonder vezels	206 kN	848 kN
Opneembare trekkracht met vezels	n.v.t.	1024 kN
Totaal wapeningspercentage ρ	0 %	0 %

BELAST OP DWARSKRACHT

CONCLUSIE

De dwarskrachtweerstand van UHPFRC is aanzienlijk hoger dan van conventioneel beton. Dit wordt veroorzaakt door een kleine toename van de dwarskrachtweerstand van de betonmatrix, maar vooral door de toevoeging van vezels. Door de invloed van de vezels is zelfs zonder voorspanning zelden dwarskrachtwapening benodigd.

UITGANGSPUNTEN BEREKENING

- Balkafmetingen : 400 x 600 mm
- Nuttige hoogte : 0,9 x h = 540 mm
- Wapening : 2128 mm²
- Optredende moment : 500 kNm
- Optredende dwarskracht : 500 kN

RESULTATEN BEREKENING

	Vezels	Conventioneel beton C28/35	UHPFRC C170/200
Dwarskracht weerstand	Zonder vezels	82 kN	201 kN
	Met vezels	n.v.t.	585 kN
Dwarskrachtwapening benodigd?		Ja	Nee



PONTSTEIGER HOUTHAVENS AMSTERDAM

Het gebouw is gesitueerd in 't ij. De twee 90 meter hoge torens worden vanaf de 18e verdieping verbonden door een brugconstructie waardoor in de stabiliserende megastructuur enorme krachten optreden door de grote windkrachten op het gebouw.