16

CONSTRUCTIERAPPORT
APPLICATIE C-LAMINATES

Behoort bij besluit

BWT 2569391
Gemerkt dgk3-17

Gemeente Amsterdam
Centrum

1. PROJECTINFORMATIE

Project	: Bungehuis, Amsterdam
Datum	: 10 oktober 2017
Opgesteld door	:
Namens	: MDW Engineering
Voor	: S&P Clever Reinforcement Company Benelux BV

2. OMSCHRIJVING

Het Bungehuis in Amsterdam wordt verbouwd. In een eerder stadium is reeds lijmwapening berekend voor de 1e t/m de 4e en de 6e Verdieping. Hierbij werd zodra de sparingen bekend werden een opgave gedaan, welke als basis diende voor het ontwerp van de lijmwapening.

In dit rapport wordt de lijmwapening berekend voor de sparingen op de 5e Verdieping. Er zullen 5 sparingen Ø300 mm worden aangebracht over verschillende vloervelden. Het negatieve effect wat dit heeft op de draagcapaciteit van de vloer zal door de versterking met koolstofvezel lijmwapening worden opgeheven.

3. VERANTWOORDING

Het ontwerp van de koolstofvezelwapening versterking is uitgevoerd aan de hand van de CUR-Aanbeveling 91 "Versterken van gewapend-betonconstructies met uitwendig gelijmde koolstofvezelwapening". De aangehouden belastingfactoren zijn afgestemd met ir. Coert Doomen conform de Eurocode EN-1992-1-1 tijdens overleg gedurende eerder versterkingen.

Door ir. Doomen van Van Rossum Raadgevende Ingenieurs is ook deze keer een notitie opgesteld met de aan te houden gegevens voor het opstellen van de lijmwapening: "8815 - opgave lijmwapening v5 - 26092017". Deze ligt aan de basis van dit rapport.

VAN ROSSUM RAADGEVENDE INGENIEURS
Westblaak 5e
3012 KC Rotterdam
rotterdam@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

0 Geen opmerkingen
0 Zie opmerkingen
0 Indiening BWT
0 Ter informatie

Datum: 16-07-2018
Paraaf: CD

MDW ENGINEERING

4. ONTWERP & BEREKENING

4.1 UITGANGSPUNTEN

Voor het ontwerpen en berekenen van de CFRP-versterking zijn de volgende uitgangspunten aangehouden.

BETONCONSTRUCTIE

- De betonvloer op de 5e verdieping heeft een constructieve hoogte van 90 mm.
- De vloer heeft een betonkwaliteit van C20/25.
- Er wordt uitgegaan van een dekking op de wapening van 15 mm.
- De hechtsterkte van het beton bedraagt minimaal 1,5 N/mm².

STAALWAPENING

- De wapeningskwaliteit is FeB220 met een vloeispanning van 220 N/mm².
- De aanwezige wapening op de 5e verdieping bedraagt:

- veldwapening	Ø10 – 110 mm (714 mm² / m).
- steunpuntswapening	Ø10 – 110 mm + Ø8 – 220 mm (942 mm² / m).

KOOLSTOFVEZELWAPENING

- Er wordt uitgegaan van een vloeirek van de koolstofvezelwapening van ε = 5‰. Dit is een conservatieve aanname.
- Versterking aan de bovenzijde is zeer ongewenst.

BELASTINGCOMBINATIES

- In Tabel 1 zijn de maatgevende belastingcombinaties q_0, q_{BGT} en q_{UGT} gegeven voor de 1e Verdieping.

Tabel 1 - Maatgevende belastingcombinaties voor de 1e verdiepingsvloer.

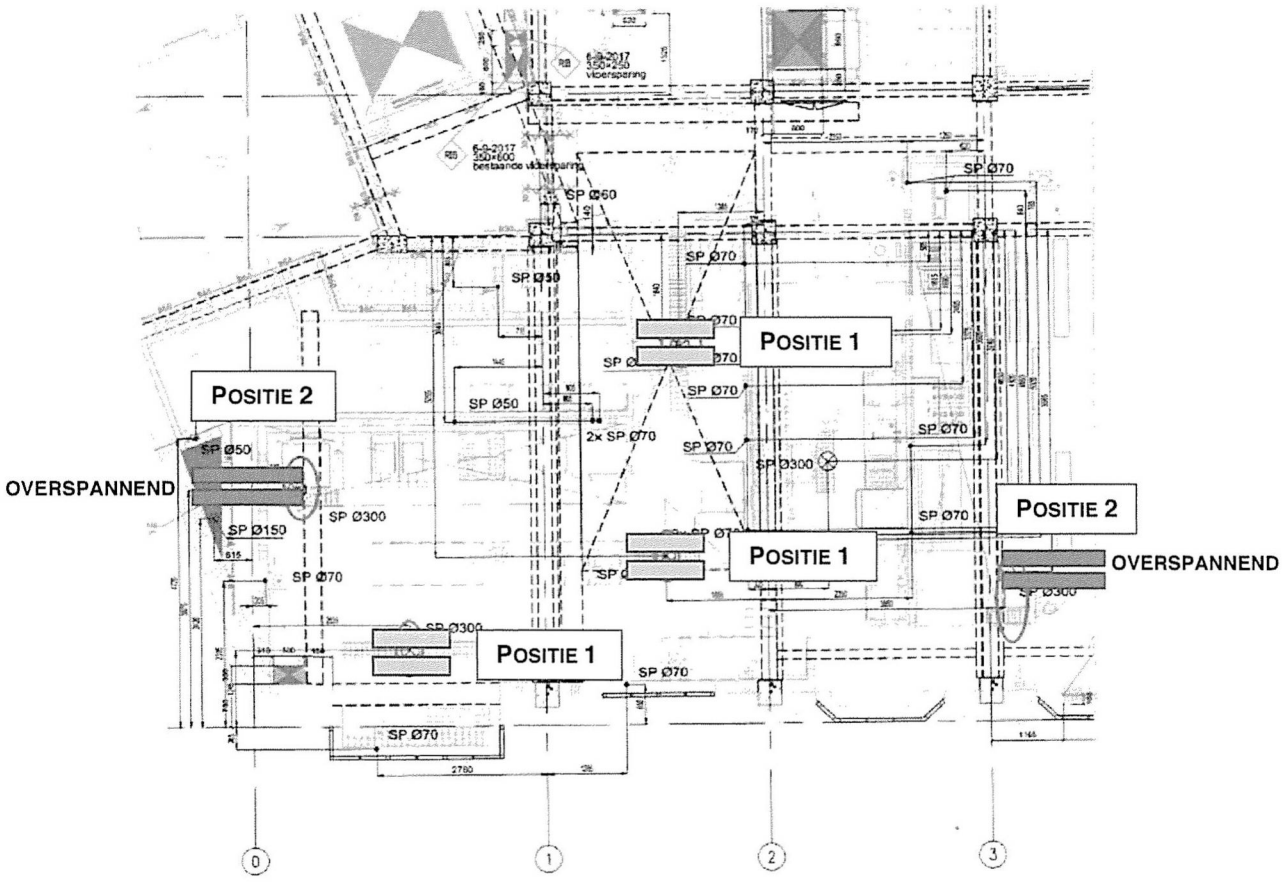
Belastingcombinaties		
		[kN/m²]
5e Verdieping	q_{UGT}	8,70
	q_{BGT}	6,50
	q_0	4,20

4.2 SITUATIE

Er zullen 5 sparingen met een diameter van 300 mm worden aangebracht in de huidige betonvloer. Omdat het relatief kleine sparingen betreffen zal als uitgangspunt worden gehanteerd dat de wapening die wordt doorsneden moet naast de sparing worden teruggebracht. Nabij de oplegging kan dat principe niet wordoen gehanteerd: de wapening die daar wordt teruggebracht zou dan niet over voldoende verankeringslengte beschikken, omdat de sparing dicht tegen de balklaag aan ligt.

Voor deze sparingen zal een overspannende baan FRP-wapening naast de sparing worden aangebracht. Middels berekening wordt aangetoond dat hiermee de capaciteit (meer dan) wordt hersteld.

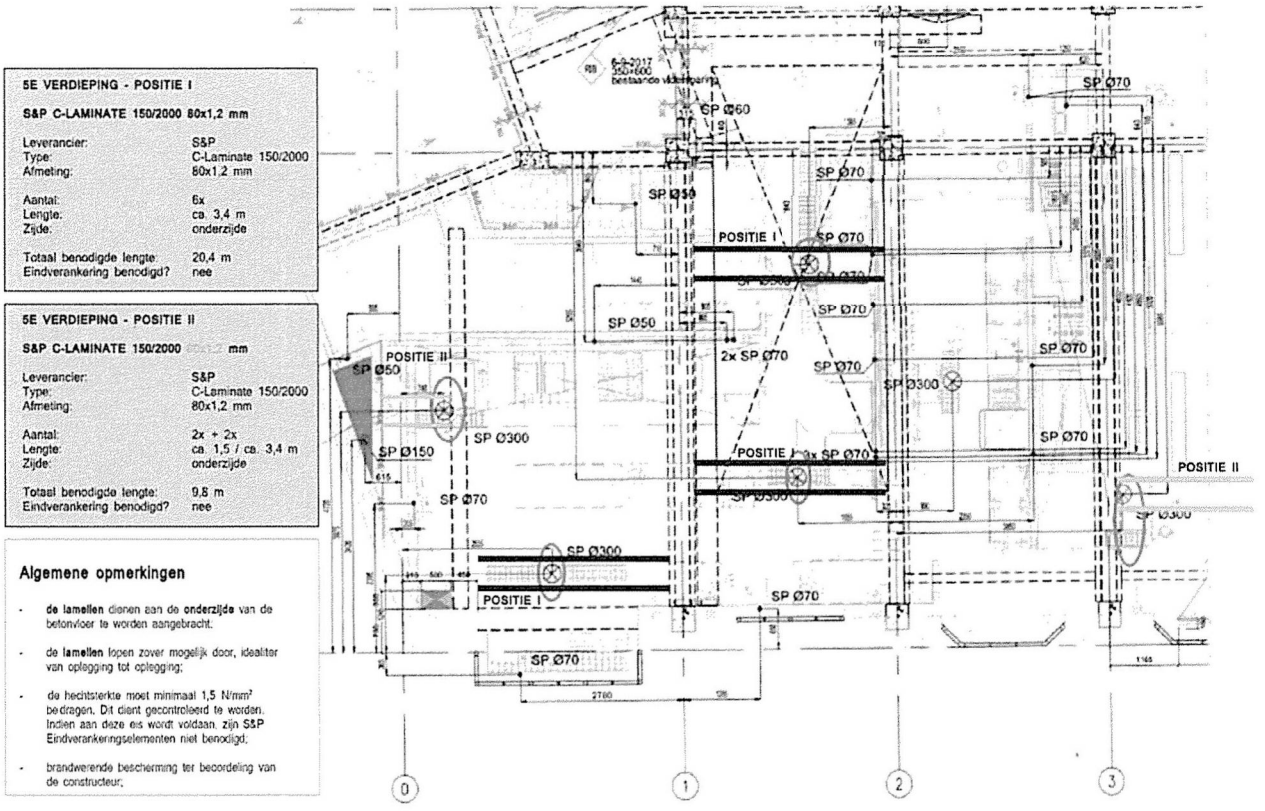
In Figuur 1 wordt een onderscheid gemaakt tussen de twee hierboven geschetste situaties.



Figuur 1 - De huidige situatie op de 5e verdieping. In blauw omcirkeld, de sparingen waarvoor versterkt zal worden met koolstofvezel lijmwapening. Vooralsnog wordt er van uitgegaan dat Positie 1 slechts lokaal naast de sparing zal worden versterkt, en Positie 2 van oplegging tot tegenover liggende oplegging.

4.3 ONTWERP

Het versterkingsconcept voor de 5e Verdieping is in Figuur 2 aangegeven. Omdat uit de volgende paragraaf blijkt dat de vloeirek voor de berekende Positie 1 hoog uitkomt, is er voor gekozen om de lamellen van Positie 1 van oplegging tot oplegging te laten lopen om zo meer constructieve zekerheid te bieden.



Figuur 2 - Versterkingsplan voor de 5e Verdieping.

TOTALE HOEVEELHEID

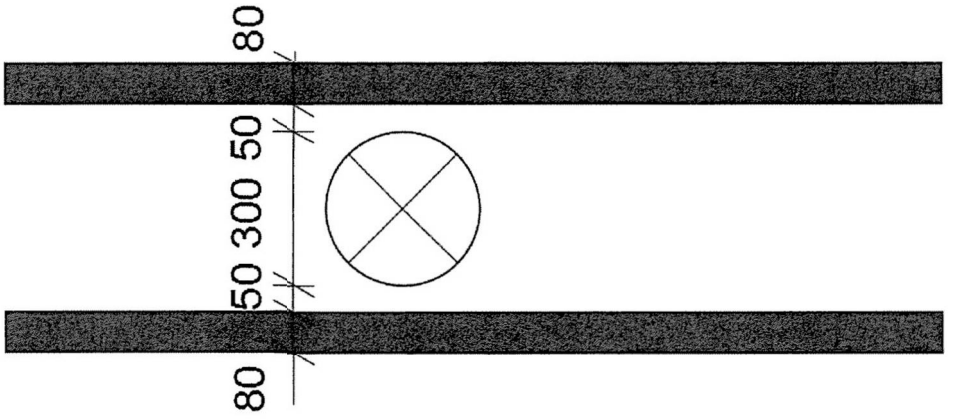
De totaal benodigde hoeveelheid wordt in Tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 - De totaal benodigde hoeveelheid ter versterking.

TOTALE HOEVEELHEID
S&P C-Laminate 150/2000 80x1,2 mm = 30,2 m

DETAIL AANBRENGEN

De lamellen dienen 50 mm vanaf de sparing te worden aangebracht, zie Figuur 3.



Figuur 3 - Detail voor het plaatsen van de lamellen nabij de sparingen.

4.4 BEREKENING

Positie 1 en 2 zoals weergegeven in Figuur 1 zijn met behulp van software *S&P Lamella 5.5.2.* gecontroleerd op constructieve capaciteit. Hieronder worden de belangrijkste parameters samengevat. Voor de volledige controle wordt er naar Bijlage 2 verwezen.

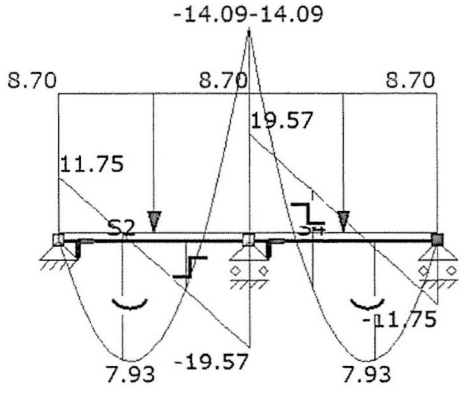
POSITIE 1 - VELDMOMENT

Er is aangenomen dat de sparing van Ø300 mm 3 wapeningsstaven veldwapening doorboord. Aan weerskanten van de sparing wordt aangenomen, met ingebouwde conservativiteit, dat de capaciteit van 2 wapeningsstaven moeten worden omgezet door koolstofvezelwapening. Dat komt neer op een capaciteit van 2 x π 5 ^{2} = ca. 157 mm^2/m aan staalwapening. Deze wordt teruggebracht in koolstofvezelwapening, wat neerkomt op 157 x 220 / 860 = 40,2 mm^2. Aan weerszijden van de sparing wordt daarom een 50 x 1,2 mm voorgeschreven, welke doorsnede van 60,0 mm^2 heeft. De doorsnede capaciteit is gecontroleerd en het blijkt dat de wapening zou gaan vloeien over de doorsnede. Daarom wordt er voor gekozen om de doorsnede te verhogen naar een 80 x 1,2 mm lamel.

Waar bij een constructie met voldoende dikte ervoor zou worden gekozen om slechts 2 lamellen naast en nabij de sparing te plakken, wordt er in dit geval toch voor gekozen om van oplegging tot oplegging te versterken, vanwege de dunne betonplaat en de reeds hoge optredende vloeirek.

In Bijlage 2 wordt de situatie met koolstofvezelwapening berekend. Hiervoor wordt een fictieve doorsnede over een strook van een meter over de sparing genomen.

Voor de uiterste grenstoestand is gecontroleerd of de maximale moment- en dwarskrachtcapaciteit van de constructie niet worden overschreven.Voor de bruikbaarheids grenstoestand is de beton- en betonstaalspanning gecontroleerd op het niet overschrijden van de vloeispanning. In Figuur 4 kan het diagram wat wordt gebruikt voor het bepalen van de krachten worden teruggevonden.



Figuur 4 - Gehanteerd krachtendiagram in de UGT voor een ligger op 3 steunpunten.

UITERSTE GRENSTOESTAND

- Het maximale opneembare moment van de onversterkte doornede bedraagt 6,1 kNm. Versterking is benodigd aangezien een buigend moment van 8,0 kNm zal moeten worden opgenomen.

  Het maximale opneembare moment van de met koolstofwapening versterkte doornede bedraagt 18,5 kNm.

- De krommingsindex bedraagt 3,83 wat aantoont dat de constructie over voldoende waarschuwingscapaciteit beschikt. De constructie zal daarom, na het vloeien van de wapening, zichtbaar vervormen alvorens de constructie zou bezwijken, bij het verder opvoeren van de belasting.

BRUIKBAARHEIDS GRENSTOESTAND

- De betondrukspanning bedraagt 7,8 N/mm^2. Volgens de Eurocode bedraagt de toegestane drukspanning 20/1,5 = 16,7 N/mm^2
- De rek in het staal bedraagt 0,881 ‰, na het aanbrengen van de wapening. De constructie zal daarom niet overmatig doorbuigen, de vloeigrens bedraagt namelijk 0,957‰.
- Voor de milieuklassen X0 en XC1 is geen controle op scheurwijdte benodigd. Het niet vloeien van het staal wil wel zeggen dat de scheurwijdte beheerst is.

VERANKERINGSLENGTE

- De lamellen zullen aan elke zijde zo ver mogelijk moeten doorlopen tot de oplegging. Indien de hechtsterkte meer dan 1,5 N/mm^2 bedraagt, zijn er geen S&P Eindverankeringselementen benodigd.

DWARSKRACHTSCHEUREN

- De maximale dwarskrachtcapaciteit voordat onthechting bij dwarskrachten optreedt bedraagt 78,6 kN. De maximale optredende dwarskracht bedraagt slechts 20,0 kN.
- Eindverankering bij dwarskrachtbreuk treedt slechts op bij een dwarskracht van 156,7 kN, terwijl de optredende dwarskracht de 20,0 kN niet overschrijdt.
- Aan de slankheidseis wordt voldaan met een λ van 5,71.

POSITIE 2 - VELDMOMENT

Door de wijziging in het systeem bij Positie 1 worden zowel Positie 1 en 2 identiek uitgevoerd. Naaste de sparing zal aan weerskanten een lamel van het type C-Laminate 80 x 1,2 mm worden geplaatst. Voor de volledige controle wordt naar Bijlage 2 verwezen.

5 APPLICATIE

5.1 VOORWAARDE HECHTSTERKTE

Van cruciaal belang voor het kunnen garanderen van de werking van de lamel, is de hechting. Er moet een hechting van minimaal 1,5 N/mm^2 worden gerealiseerd om ervoor te zorgen dat de lamel zijn krachten aan het beton kan overdragen zonder daarbij te onthechten door het overschrijden van schuifspanningen.

Het meten van de hechtsterkte gebeurt door het uitvoeren van een trekproef, welke dient te worden uitgevoerd op een oppervlak wat aan de volgende eisen voldoet:

- geen defecten en scheuren aanwezig, kan indien benodigd vooraf worden hersteld met S&P herstelproducten;
- het oppervlak is opgeruwd;
- de dekking bedraagt minimaal 10 mm;
- de oppervlakte is stof- en verontreinigingsvrij.

Op 5 plaatsen dient een cilinder van diameter 50 mm en dikte 5 mm te worden uitgeboord. Van deze proefstukken dient de treksterkte bepaald te worden. De proefstukken worden op een stempel verlijmd waarna de hechtsterkte kan worden bepaald. Deze trekspanning kan gezien worden als de trekspanning die optreedt in de lamel, en die naar de betonconstructie wordt afgedragen. De hechtsterkte bedraagt de waarde die zorgt voor het overdragen van deze trekspanning naar het beton. De resultaten van de hechtsterkte proeven moeten voor de applicatie van de producten aan S&P Clever Reinforcement Company BV worden doorgegeven, ten aanzien van de kwaliteitsbewaking.

5.2 APPLICATIEVOORSCHRIFTEN

Voor het aanbrengen van de CFRP-lamellen wordt naar het S&P Applicatiehandboek in Bijlage 4 verwezen. Voor het aanbrengen van de lamellen gelden dezelfde eisen als eerder zijn vermeld.

Het oppervlak dient:

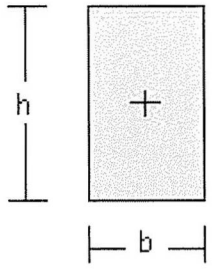
- defect en scheuringvrij te worden gemaakt, eventueel door toepassing van herstel / egalisatiemortel, zie ook Hoofdstuk 1 van Bijlage 4;
- effen te zijn en mag geen hoogteverschillen bevatten die meer bedragen dan 1 mm over een lengte van 30 cm, 5 mm over een lengte van 2 m;
- de oppervlakte is opgeruwd;
- de dekking bedraagt minimaal 10 mm;
- de oppervlakte is stof- en verontreinigingsvrij.
- de lijm bevat geen luchtbellen of verontreinigingen.

6. BIJLAGEN

- Bijlage 1 – "8815 - opgave lijmwapening v5 - 26092017", notitie opgesteld door Van Rossum Raadgevende Ingenieurs.
- Bijlage 2 – Verificatie berekening uitgevoerd met de software *S&P FRP Lamella 5.5.2*, met beschrijving.

  - Positie 1 & 2 (Veldmoment)

S&P FRP Lamella
Buigtrek- en dwarskrachtversterking met FRP-materiaal



Doorsnede

Milieuklasse: geen risico op aantasting

Geometrie

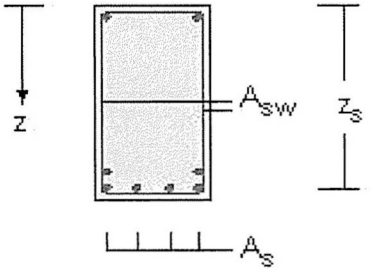
Rechthoek

b = 1000 [mm]
h = 90 [mm]

Beton

Sterkteklasse: C 20/25

f_{ck}	= 20	[N/mm²]	α_{cc}	= 1	[-]
ε_{cu}	= 3.5	[‰]	E_{cm}	= 29962	[N/mm²]
ε_{c2}	= 2	[‰]	f_{ctm}	= 2.21	[N/mm²]
			α_{ct}	= 1	[-]
γ_c	= 1.5	[-]			



Staal

γ_s = 1.15 [-]

Wapening

Hoofdwapening

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]	Staalsoort	f_{yk} [N/mm²]	E_s [N/mm²]	d_s [mm]
1	478	70	FeB 220	220	200000	0

Belastingen

Onversterkte toestand	Veldmoment		Drukkracht	
Gedurende de montage van de versterking	M_{Ek0} = 4.1	[kNm]	N_{Ek0} = 0	[kN]
Voorspanning (statisch bepaald)	M_{P0} = 0	[kNm]	N_P = 0	[kN]
Buigtrekzone al opengescheurd				

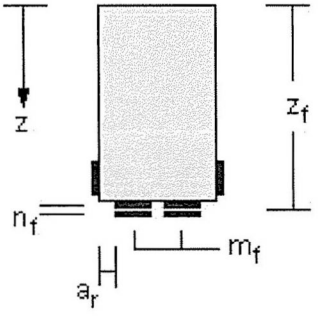
Versterkte toestand	Veldmoment		Drukkracht	
Uiterste grenstoestand	M_{Ed} = 8	[kNm]	N_{Ed} = 0	[kN]
Partiële veiligheidscoëfficiënten	$\gamma_{M,m}$ = 1.33	[-]	$\gamma_{N,m}$ = 0	[-]
Bruikbaarheidsgrenstoestand	M_{Ek} = 6	[kNm]	N_{Ek} = 0	[kN]
Bijzondere belastingscombinatie	M_{Ede} = 6	[kNm]	N_{Ede} = 0	[kN]

Buigversterking

FRP-systeem

S&P CFK 150/2000 **Opgelijmd**
S&P Resin 220

E_f	= 170000	[N/mm²]
f_{frep}	= 2800	[N/mm²]
ε_{frep}	= 16	[‰]
γ_m	= 1.3	[-]
γ_E	= 1	[-]
ε_{fu}	= 12.67	[‰]
$\varepsilon_{f,limiet}$	= 5	[‰]



FRP-doorsnede

Nr.	Doorsnede [mm/mm]	n_f [Stk]	m_f [Stk]	s_f [mm]	A_f [mm²]	z_f [mm]
1	80 / 1.2	1	2	950	192	90

Berekeningsbasis **Eurocode 2**
CUR-Aanbeveling 91

Onversterkte toestand

Opneembaar moment van de onversterkte doorsnede

M_{Rd0} = 6.1 [kNm]
M_{Re0} = 7 [kNm]

Versterkte toestand

Versterkingsfactor: η_M = 1.32 [-]

Veiligheid zonder FRP-versterking: γ_{Me} = 1.17 [-]

krommingsindex: χ = 3.83 [-] ✓

Dimensionering

$A_{f,req}$ = 30 [mm²] M_{Ed} = 8 [kNm]
$A_{f,prov}$ = 192 [mm²] M_{Rd} = 18.5 [kNm]

Bewijs

M Rd > M Ed ✓
M Re0 > M Ede ✓

Scheurvorming volgens CUR'91 + NEN 6720

M_{Ek} = 6 [kNm]

gemiddelde kenmiddellijn

$Ø_{km,prov}$ = [mm]
$Ø_{km,max}$ = [mm]

staafafstand

s_{prov} = [mm]
s_{max} = [mm]

Bewijs

Voor de milieuklassen X0 en XC1

geen controle op de scheurvorming vereist

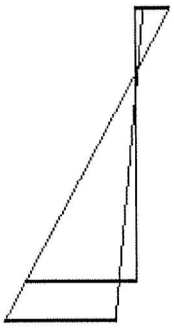
Initiële rek



ε_c = -0.314 [‰]
x = 22 [mm]

ε_s = 0.686 [‰]

Rek - uiterste grenstoestand ($A_{f,req}$)



ε_c = -1.36 [‰]
x = 17 [mm]

ε_s = 4.342 [‰]
ε_f = 5 [‰]

Rek / spanningen - bruikbaarheidsgrenstoestand ($A_{f,prov}$)



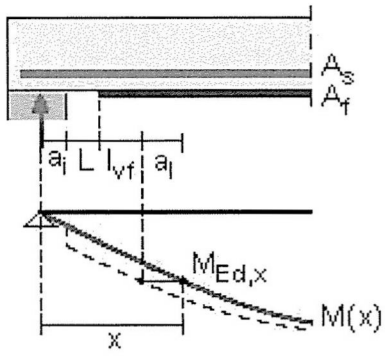
ε_c = -0.436 [‰]
x = 23 [mm]

ε_s = 0.881 [‰] ε_{sy} = 0.957 [‰] ✓
ε_f = 0.286 [‰]

Spanningen

Beton	$\sigma_{c,max}$ = -7.76	[N/mm²]
Betonstaal	$\sigma_{s,max}$ = 176.23	[N/mm²]
FRP-materiaal	$\sigma_{f,max}$ = 48.65	[N/mm²]

FRP-eindverankering



Geometrie oplegging

a_i = 125 [mm]
a_l = 36 [mm]

Hechtsterkte

f_{hm} = 1.5 [N/mm²]

Inwendige krachten op punt x

x = 1500 [mm]
$M_{Ed,x}$ = 6 [kNm]
$N_{Ed,x}$ = 0 [kN]

Wapening op punt x

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	478	70

	FRP-trekkrachten	Max. draagvermogen		Vereiste verankeringslengte		
Nr.	$N_{fd,x}$ [kN]	N_{vfmax} [kN]	l_{vfmax} [mm]	N_{vf} (x) [kN]	l_{vf} (x) [mm]	L [mm]
1	30.7	37.66	330	30.7	188	1151

Bewijs

N fd,x < N vfmax ✓

Verankeringscontrole in orde

Onthechting

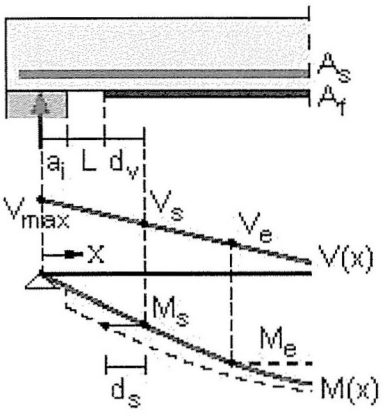
Onthechting bij dwarskrachtscheuren

Eindpunt van de FRP-versterking

L	=	1	[mm]
x_u	=	162	[mm]
V_{du}	=	20	[kN]
V_{odu}	=	78.63	[kN]

Wapening op punt s

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	478	70



Onthechting door hoge schuifspanningen

Vloeipunt van de interne wapening

x_e	=	0	[mm]
$M_{0,e}$	=	4.2	[kNm]
M_e	=	8.9	[kNm]
V_{de}	=	1	[kN]
V_{osu}	=	14.64	[kN]

Wapening op punt e

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	478	70

Eindverankering-dwarskrachtbreuk

M_{dmax}	=	8	[kNm]
V_{dmax}	=	20	[kN]
V_{du}	=	20	[kN]
V_{ouu}	=	156.65	[kN]

λ_v	=	5.71	[-]
$\lambda_{v,min}$	=	1.01	[-]

Bewijs

V du < V odu V de < V osu

Eindverankering-dwarskrachtbreuk in orde ✓