75

CONSTRUCTIERAPPORT
APPLICATIE C-LAMINATES

Behoort bij besluit
BWT 2569391
Gemerkt dgk3-18

Gemeente Amsterdam
Centrum

1. PROJECTINFORMATIE

Project	: Bungehuis, Amsterdam
Datum	: 8 september 2017
Opgesteld door	:
Namens	: MDW Engineering
Voor	: S&P Clever Reinforcement Company Benelux BV

2. OMSCHRIJVING

Het Bungehuis, voormalig pand van de Universiteit van Amsterdam, zal door de nieuwe eigenaar Aedes Real Estate worden verbouwd. In een eerder stadium is reeds lijmwapening berekend voor de 2e, 3e 4e en 6e verdieping.

In dit rapport wordt lijmwapening berekend voor zone op de 1e Verdieping in de kamer k1.13. Omdat hier een aantal leidingen zullen worden doorgevoerd zal een zone van 1000 x 2000 mm worden beschouwd als zijnde een sparing welke niet mee werkt in de krachtenafdracht. De krachten die daar optreden zullen naar het naastgelegen veld worden afgedragen. In het vervolg van dit rapport zal de aan te brengen hoeveelheid lijmwapening worden bepaald. Tevens wordt aangegeven waar de lamellen dienen te worden geplaatst.

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 in overeenstemming met ir. Coert Doomen conform de Eurocode EN-1992-1-1 en aangehouden conform eerder overleg.

Door ir. Doomen van Van Rossum Raadgevende Ingenieurs is een notitie opgesteld met de aan te houden gegevens voor het opstellen van de lijmwapening: "8815 - opgave lijmwapening k1.13 - dd22082017".

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 1e 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 1e verdieping bedraagt:

- veldwapening	Ø10 – 110 mm (714 mm² / m).
- steunpuntswapening	Ø10 – 110 mm + Ø8 – 200 mm (965 mm² / m).

KOOLSTOFVEZELWAPENING

- Er wordt uitgegaan van een vloeirek van de koolstofvezelwapening van ε = 5‰. Dit is een conservatieve aanname.

BELASTINGCOMBINATIES

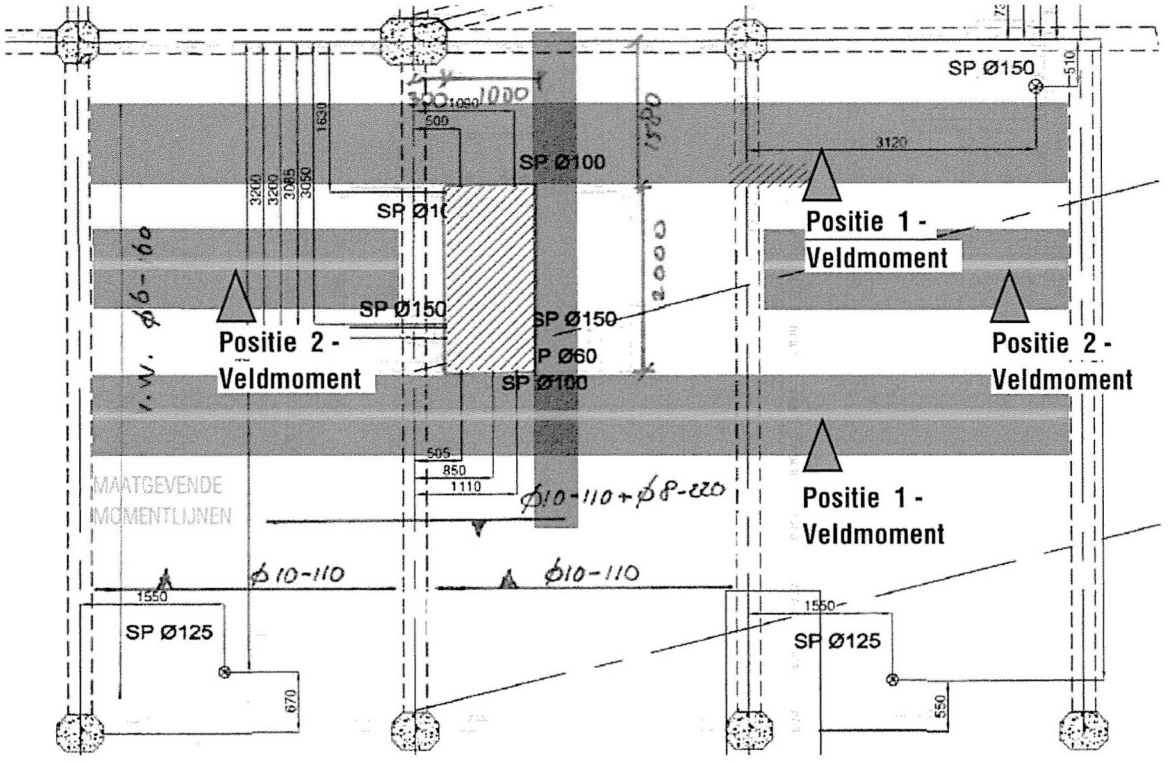
- In Tabel 1 zijn de maatgevende belastingcombinaties q_0, q_{BGT} en q_{UGT} gegeven voor de 1e Verdieping.

Tabel 1 - Maatgevende belastingcombinaties voor de 1e verdiepingsvloer.

Belastingcombinaties		
		[kN/m²]
1e Verdieping	q_{UGT}	8,70
	q_{BGT}	6,50
	q_0	4,20

4.2 SITUATIE

Ten gevolge van de sparing die als 1000 x 2000 mm wordt aangenomen zullen de volgende stroken als opgenomen in Figuur 1 moeten worden gecontroleerd. De blauwe zones zullen worden versterkt.

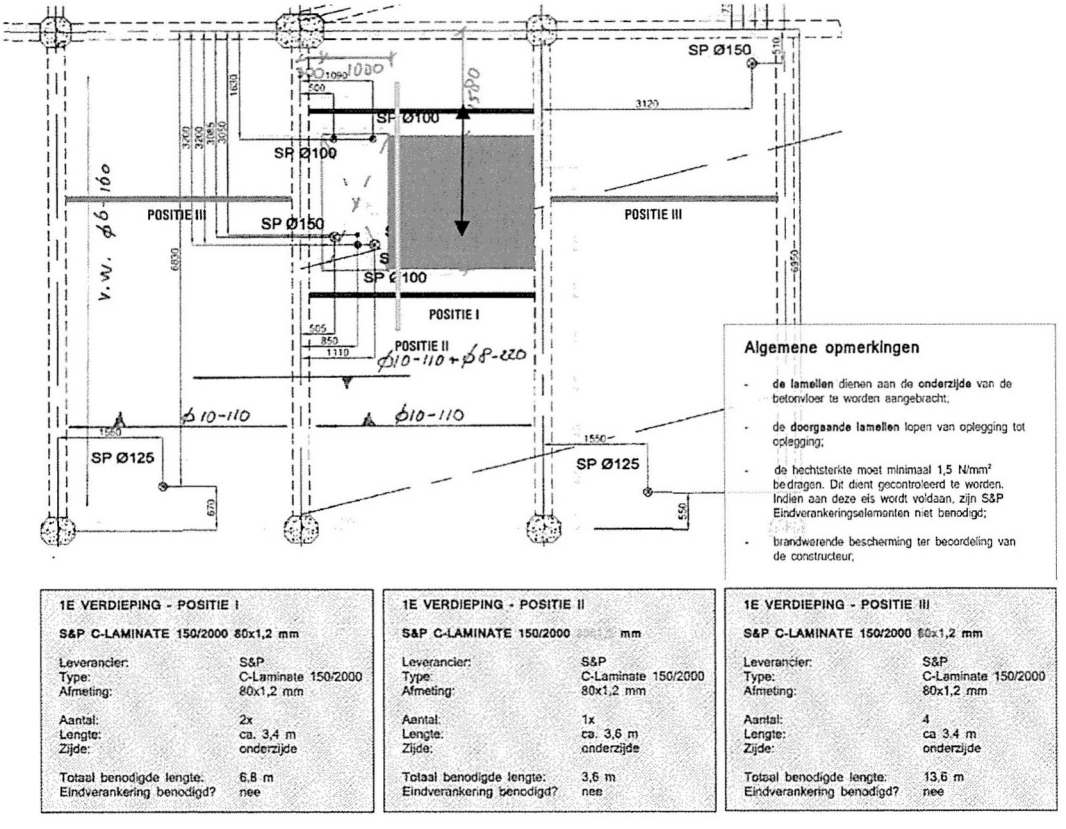


Figuur 1 - De huidige situatie op de 1e verdieping. In rood gearceerd: de rechthoekige sparing die wordt geacht te zijn aangebracht. Blauw gemarkeerd: de zones die moeten worden versterkt. In groen de momentlijnen die maatgevend zijn en worden gecontroleerd.

4.3 ONTWERP

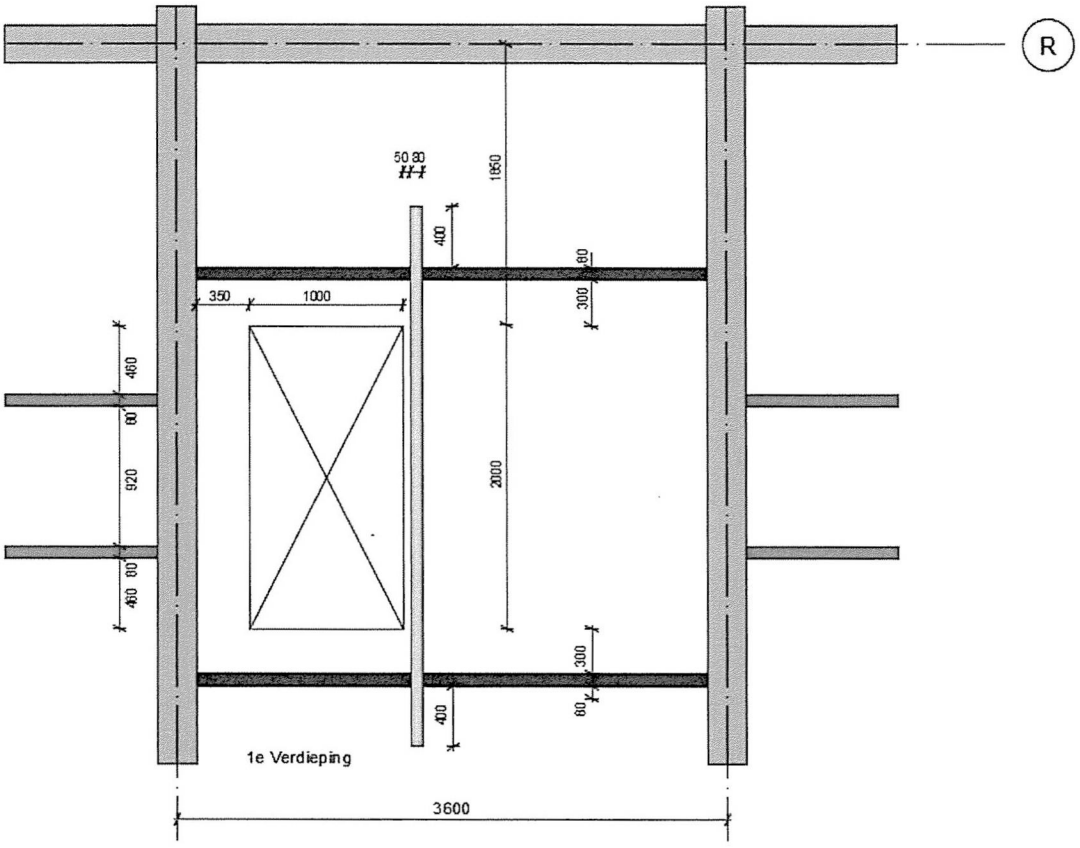
Het versterkingsconcept voor de 1e Verdieping is in Figuur 2 aangegeven. In Figuur 3 kan deze in meer detail worden weergeven. Conform de uitgangspunten opgesomd door ir. Doomen in voorgaande versterkingsopgaven wordt de belasting in het oranje kader afgeleid naar de zijkant (zie de **zwarte peilen**) met behulp van de groene lamel. In de naastgelegen strook leidt dat tot een hoger moment, waarvoor met behulp van de doorgaande lamellen wordt versterkt.

Omdat door het aanbrengen van de sparing het linker naastgelegen veld wijzigt van een tussenveld naar een eindveld, en in het rechter naastgelegen veld eveneens de krachtsafdracht wijzigt moet versterking worden aangebracht in de vorm van lamellen. Wat betreft de rechterzijde is hiervoor gekozen omdat extra bovenwapening ongewenst is.



Figuur 2 - Versterkingsplan voor de 1e Verdieping.

In Figuur 3 wordt het versterkingsplan in meer detail weergegeven. De in rood aangegeven lamellen lopen van oplegging tot oplegging door. De groene dwarslamel wordt als laatste geplakt en ligt dus het verste van de vloer af in verticale zin.



Figuur 3 - Het versterkingsplan van de 1e Verdieping in detail.

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 = 24,0 m

4.4 BEREKENING

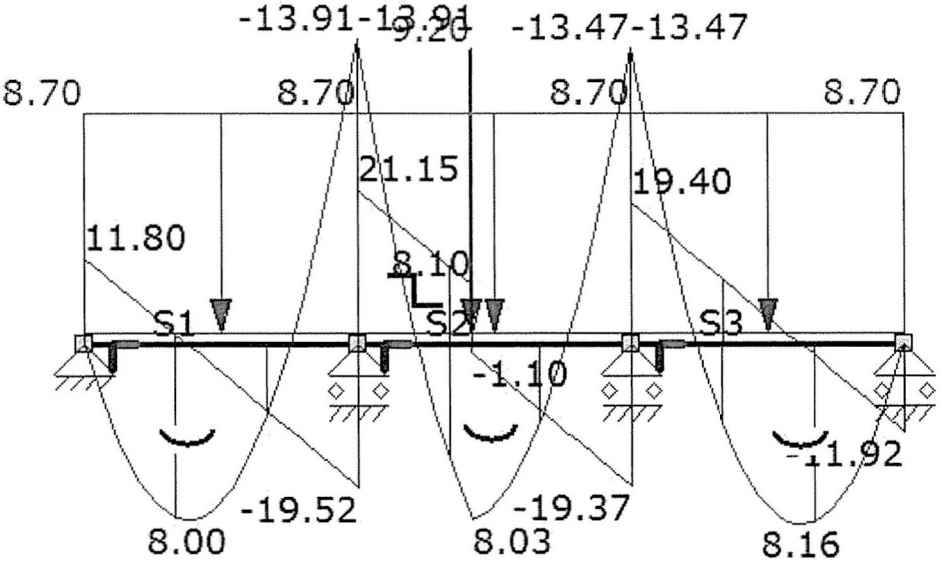
Positie 1 en 2 zoals weergegeven in Figuur 1 zijn met behulp van software *S&P Lamella 5.5.2.* gecontroleerd op constructieve capaciteit. Hieronder worden de belangrijkste parameters samengevat. Voor de volledige controle wordt er naar Bijlage 2 verwezen.

POSITIE 1 - VELDMOMENT

Er is gekozen om het systeem te schematiseren als ligger op 4 steunpunten. Doordat de zone die op Figuur 1 rood is omkaderd is verzwakt, wordt deze beschouwd als ongeschikt om de krachten op te nemen. Er is voor gekozen om de krachten in het naastgelegen veld af te leiden, conform de **zwarte peilen**, naar de boven- en onderzijde, zoals in het versterkingsconcept in Figuur 2 is weergegeven.

In Figuur 4 is het krachtschema weergegeven. 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.



Figuur 4 – Moment- en dwarskrachtlijn zoals gehanteerd voor het berekenen van de benodigde versterking voor Positie 1.

UITERSTE GRENSTOESTAND

- Het maximale opneembare moment van de onversterkte doornede bedraagt 8,8 kNm. Versterking is theoretisch gezien niet benodigd aangezien een buigend moment van 8,0 kNm zal moeten worden opgenomen. Omdat de constructie zeer dun is en een lichte schommeling in dekking grote gevolgen kan heben, is er voor gekozen om toch te versterken.

  Het maximale opneembare moment van de met koolstofwapening versterkte doornede bedraagt 14,9 kNm.

- De krommingsindex bedraagt 2,98 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 6,7 N/mm^2. Volgens de Eurocode bedraagt de toegestane drukspanning 20/1,5 = 16,7 N/mm^2
- De rek in het staal bedraagt 0,566 ‰, 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

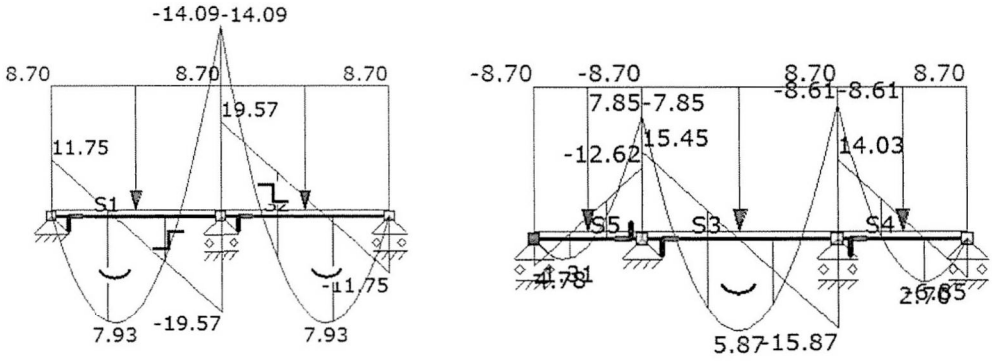
- De lamellen zullen aan elke zijde zo ver mogelijk moeten doorlopen tot de oplegging. Indien de hechtsterkte meer dan 1,5 N/mm^2 bedraagt, zijn er geen S&P Eindverankeringselementen benodigd.

DWARSKRACHTSCHEUREN

- De maximale dwarskrachtcapaciteit voordat onthechting bij dwarskrachten optreedt bedraagt 96,0 kN. De maximale optredende dwarskracht bedraagt slechts 21,2 kN.
- Eindverankering bij dwarskrachtbreuk treedt slechts op bij een dwarskracht van 191,5 kN, terwijl de optredende dwarskracht de 21,2 kN niet overschrijdt.
- Aan de slankheidseis wordt voldaan met een λ van 5,41.

POSITIE 2 - VELDMOMENT

Doordat de (fictieve) sparing wordt aangebracht verandert de krachtsituatie in de stroken links en rechts van de sparingen. Het veld aan de linkerzijde, wat oorspronkelijk een tussenveld was, transformeert naar een eindveld. Voor het veld aan de rechterzijde is voor een andere benadering gekozen. Hier ontstaat een veld, met aan twee zijden een type uitkraging. De maatgevende momentlijn voor zowel links als rechts dient als versterking voor beide zijden om verwarring te voorkomen. Opnieuw worden de moment- en dwarskrachtcapaciteit gecontroleerd in de UGT, en de in de BGT de geldende spanningen in het beton en staal.



Figuur 5 - De geldende moment- en dwarskrachtlijn voor berekening van Positie 2, voor het veld links en rechts van de sparing.

Voor het veld geldt dat de linker situatie met een moment van 7,9 kNm maatgevend is.

UITERSTE GRENSTOESTAND

- Het maximale opneembare moment van de onversterkte doornede bedraagt 8,8 kNm. Het optredende moment bedraagt 7,9 kNm. Constructieve versterking is dus in principe niet benodigd, maar gezien de zwakke staat van de constructie wordt hier toch voor geopteerd.

  Het maximale opneembare moment van de met koolstofwapening versterkte doornede bedraagt 14,9 kNm.

- De krommingsindex bedraagt 3,09 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 6,5 N/mm^2. Volgens de Eurocode bedraagt de toegestane drukspanning 20/1,5 = 16,7 N/mm^2
- De rek in het staal bedraagt 0,556 ‰, 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 96,0 kN. De maximale optredende dwarskracht bedraagt slechts 9,5 kN.
- Eindverankering bij dwarskrachtbreuk treedt slechts op bij een dwarskracht van 191,5 kN, terwijl de optredende dwarskracht de 9,5 kN niet overschrijdt.
- Aan de slankheidseis wordt voldaan met een λ van 11,88.

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 k1.13 - dd22082017", notitie opgesteld door van Rossum Raadgevende Ingenieurs.
- Bijlage 2 – Verificatie berekeningen uitgevoerd met de software *S&P FRP Lamella 5.5.2*, met beschrijving.

  - 1e Verdieping - Positie 1 (Veldmoment)

    Positie 2 (Veldmoment)

Order 8P15

Blad nr

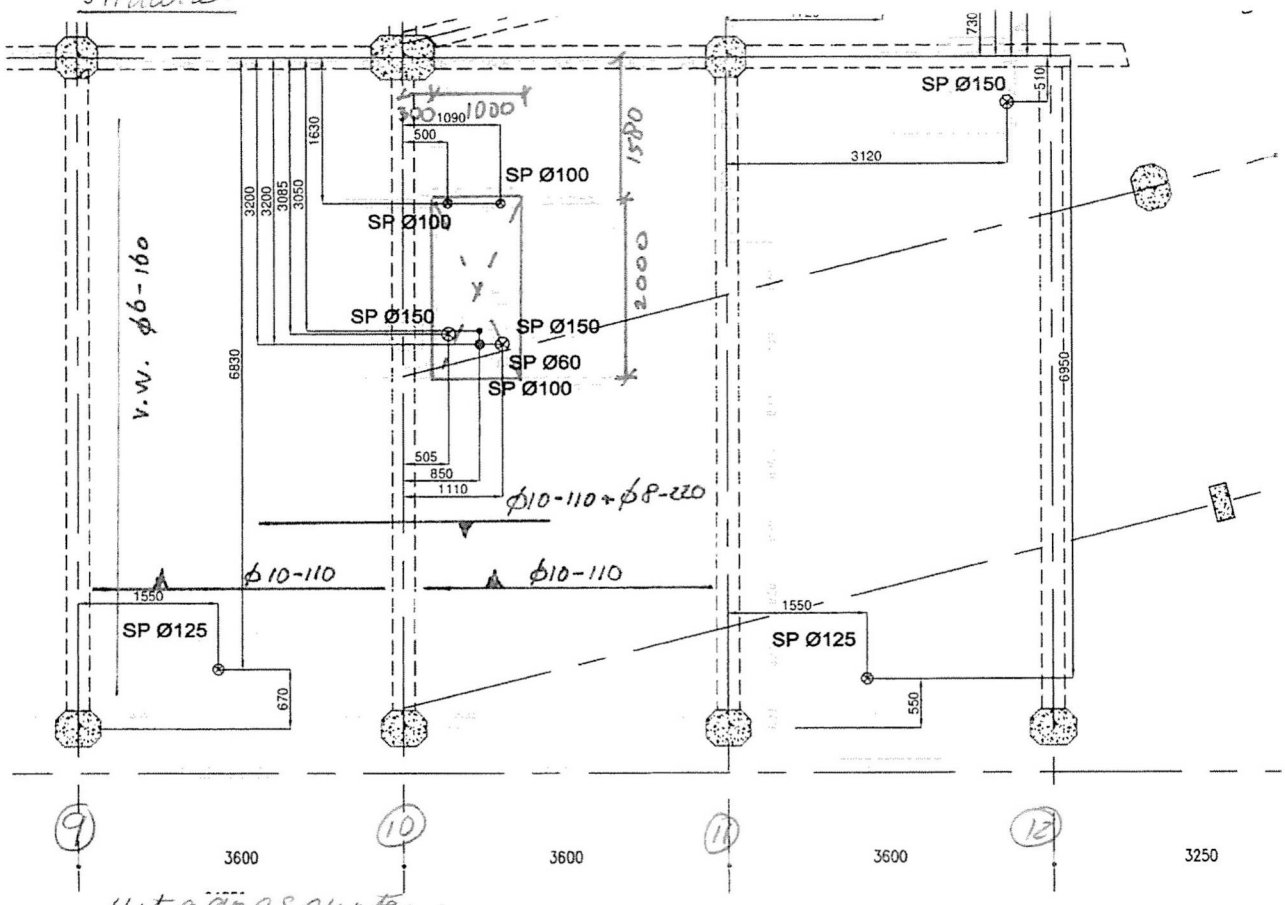
Deel

Datum

VAN ROSSUM RAADGEVENDE INGENIEURS

Belasting opgave lijmwapening ruimte k1.13 1e verdieping

situatie:



uitgangspunten:

C20/25
FeB 220

veldwapening ϕ10-110
steunpuntswapening ϕ10-110 + ϕ8-220
verdeelwapening ϕ6-160

vloerdikte = 90 mm
dekking = 15 mm

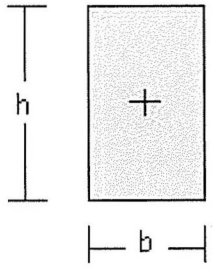
balk 250×600 (b×h)

belastingen:

permanent 3,5 kN/m²

veranderlijk 3,0 kN/m²

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



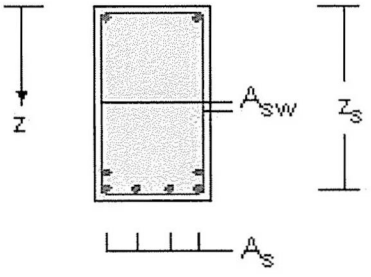
Doorsnede

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	714	70	FeB 220	220	200000	10

Belastingen

Onversterkte toestand	Veldmoment		Drukkracht	
Gedurende de montage van de versterking	M_{Ek0} = 4.4	[kNm]	N_{Ek0} = 0	[kN]
Voorspanning (statisch bepaald)	M_{P0} = 0	[kNm]	N_P = 0	[kN]
Buigtrekzone al opengescheurd				

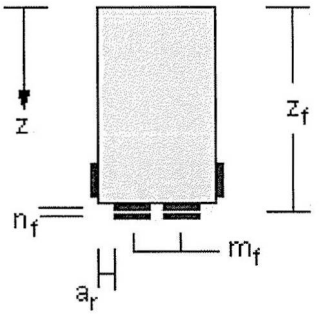
Versterkte toestand	Veldmoment		Drukkracht	
Uiterste grenstoestand	M_{Ed} = 8.02499	[kNm]	N_{Ed} = 0	[kN]
Partiële veiligheidscoëfficiënten	$\gamma_{M,m}$ = 1.34	[-]	$\gamma_{N,m}$ = 0	[-]
Bruikbaarheidsgrenstoestand	M_{Ek} = 6	[kNm]	N_{Ek} = 0	[kN]
Bijzondere belastingscombinatie	M_{Ede} = 6	[kNm]	N_{Ede} = 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	1	0	96	90

Berekeningsbasis **Eurocode 2**
CUR-Aanbeveling 91

Onversterkte toestand

Opneembaar moment van de onversterkte doorsnede

M_{Rd0} = 8.8 [kNm]
M_{Re0} = 10.2 [kNm]

Versterkte toestand

Versterkingsfactor: η_M = 0.91 [-]

Veiligheid zonder FRP-versterking: γ_{Me} = 1.71 [-]

krommingsindex: χ = 2.98 [-] ✓

Dimensionering

$A_{f,req}$ = 0 [mm²] M_{Ed} = 8 [kNm]
$A_{f,prov}$ = 96 [mm²] M_{Rd} = 14.9 [kNm]

Bewijs

M Rd > M Ed ✓
M Re0 > M Ede ✓

Scheurvorming volgens CUR'91 + NEN 6720

M_{Ek} = 6 [kNm]

Berekening niet uitgevoerd !

Initiële rek

$\varepsilon_c = 0$ [‰]
$x = 0$ [mm]

$\varepsilon_s = 0$ [‰]

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

$\varepsilon_c = 0$ [‰]
$x = 0$ [mm]

$\varepsilon_s = 0$ [‰]
$\varepsilon_f = 0$ [‰]

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

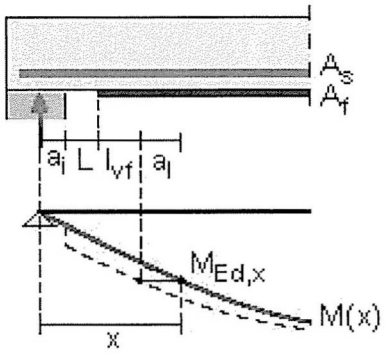
$\varepsilon_c = -0.366$ [‰]
$x = 27$ [mm]

$\varepsilon_s = 0.566$ [‰] $\varepsilon_{sy} = 0.957$ [‰] ✓
$\varepsilon_f = 0.832$ [‰]

Spanningen

Beton	$\sigma_{c,max} = -6.65$	[N/mm²]
Betonstaal	$\sigma_{s,max} = 113.18$	[N/mm²]
FRP-materiaal	$\sigma_{f,max} = 141.46$	[N/mm²]

FRP-eindverankering



Geometrie oplegging

a_i = 125 [mm]
a_l = 34 [mm]

Hechtsterkte

f_{hm} = 1.5 [N/mm²]

Inwendige krachten op punt x

x = 1600 [mm]
$M_{Ed,x}$ = 8 [kNm]
$N_{Ed,x}$ = 0 [kN]

Wapening op punt x

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	714	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	19.32	20.78	330	19.32	242	1199

Bewijs

N fd,x < N vfmax ✓

Verankeringscontrole in orde

Onthechting

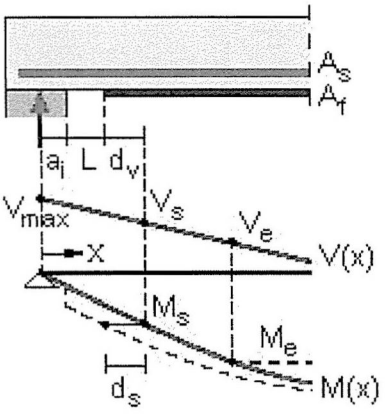
Onthechting bij dwarskrachtscheuren

Eindpunt van de FRP-versterking

L	=	1	[mm]
x_u	=	160	[mm]
V_{du}	=	21.2	[kN]
V_{odu}	=	96	[kN]

Wapening op punt s

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	714	70



Onthechting door hoge schuifspanningen

Vloeipunt van de interne wapening

x_e	=	0	[mm]
$M_{0,e}$	=	6.8	[kNm]
M_e	=	8.5	[kNm]
V_{de}	=	0.01	[kN]
V_{osu}	=	6.87	[kN]

Wapening op punt e

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	714	70

Eindverankering-dwarskrachtbreuk

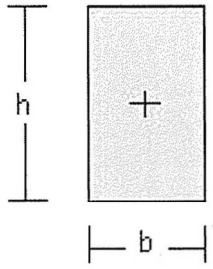
M_{dmax}	=	8.024998	[kNm]			
V_{dmax}	=	21.2	[kN]			
V_{du}	=	21.2	[kN]	λ_v	=	5.41 [-]
V_{ouu}	=	191.45	[kN]	$\lambda_{v,min}$	=	1.01 [-]

Bewijs

V du < V odu V de < V osu

Eindverankering-dwarskrachtbreuk in orde ✓

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



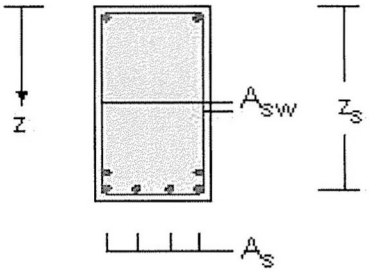
Doorsnede

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	714	70	FeB 220	220	200000	10

Belastingen

Onversterkte toestand	Veldmoment		Drukkracht	
Gedurende de montage van de versterking	M_{Ek0} = 3.8	[kNm]	N_{Ek0} = 0	[kN]
Voorspanning (statisch bepaald)	M_{P0} = 0	[kNm]	N_P = 0	[kN]
Buigtrekzone al opengescheurd				

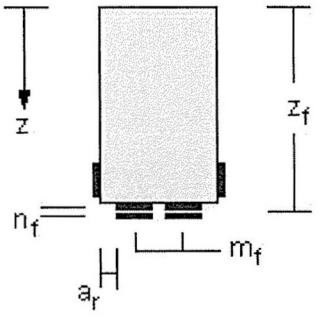
Versterkte toestand	Veldmoment		Drukkracht	
Uiterste grenstoestand	M_{Ed} = 7.9	[kNm]	N_{Ed} = 0	[kN]
Partiële veiligheidscoëfficiënten	$\gamma_{M,m}$ = 1.34	[-]	$\gamma_{N,m}$ = 0	[-]
Bruikbaarheidsgrenstoestand	M_{Ek} = 5.9	[kNm]	N_{Ek} = 0	[kN]
Bijzondere belastingscombinatie	M_{Ede} = 5	[kNm]	N_{Ede} = 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	1	0	96	90

Berekeningsbasis **Eurocode 2**
CUR-Aanbeveling 91

Onversterkte toestand

Opneembaar moment van de onversterkte doorsnede

M_{Rd0} = 8.8 [kNm]
M_{Re0} = 10.2 [kNm]

Versterkte toestand

Versterkingsfactor: η_M = 0.89 [-]

Veiligheid zonder FRP-versterking: γ_{Me} = 2.05 [-]

krommingsindex: χ = 3.09 [-] ✓

Dimensionering

$A_{f,req}$ = 0 [mm²] M_{Ed} = 7.9 [kNm]
$A_{f,prov}$ = 96 [mm²] M_{Rd} = 14.9 [kNm]

Bewijs

M Rd > M Ed ✓
M Re0 > M Ede ✓

Scheurvorming volgens CUR'91 + NEN 6720

M_{Ek} = 5.9 [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 [‰]
x = 0 [mm]

ε_s = 0 [‰]

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

ε_c = 0 [‰]
x = 0 [mm]

ε_s = 0 [‰]
ε_f = 0 [‰]

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

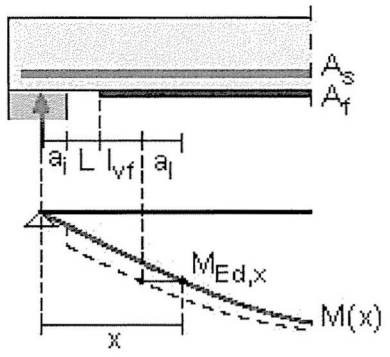
ε_c = -0.359 [‰]
x = 27 [mm]

ε_s = 0.556 [‰] ε_{sy} = 0.957 [‰] ✓
ε_f = 0.818 [‰]

Spanningen

Beton	$\sigma_{c,max}$ = -6.54	[N/mm²]
Betonstaal	$\sigma_{s,max}$ = 111.29	[N/mm²]
FRP-materiaal	$\sigma_{f,max}$ = 139.08	[N/mm²]

FRP-eindverankering



Geometrie oplegging

a_i = 125 [mm]
a_l = 34 [mm]

Hechtsterkte

f_{hm} = 1.5 [N/mm²]

Inwendige krachten op punt x

x = 1600 [mm]
$M_{Ed,x}$ = 8 [kNm]
$N_{Ed,x}$ = 0 [kN]

Wapening op punt x

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	714	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	19.32	20.78	330	19.32	242	1199

Bewijs

N fd,x < N vfmax ✓

Verankeringscontrole in orde

Onthechting

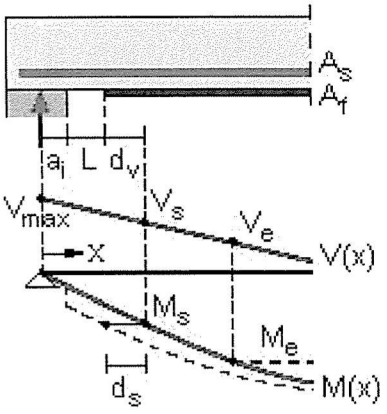
Onthechting bij dwarskrachtscheuren

Eindpunt van de FRP-versterking

L	=	1	[mm]
x_u	=	160	[mm]
V_{du}	=	9.5	[kN]
V_{odu}	=	96	[kN]

Wapening op punt s

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	714	70



Onthechting door hoge schuifspanningen

Vloeipunt van de interne wapening

x_e	=	1600	[mm]
$M_{0,e}$	=	6.8	[kNm]
M_e	=	8.5	[kNm]
V_{de}	=	1	[kN]
V_{osu}	=	6.87	[kN]

Wapening op punt e

Nr.	A_s [mm²]	z_s [mm]
1	714	70

Eindverankering-dwarskrachtbreuk

M_{dmax}	=	7.9	[kNm]
V_{dmax}	=	9.5	[kN]
V_{du}	=	9.5	[kN]
V_{ouu}	=	191.45	[kN]

λ_v	=	11.88	[-]
$\lambda_{v,min}$	=	1.01	[-]

Bewijs

V du < V odu V de < V osu

Eindverankering-dwarskrachtbreuk in orde ✓