

1.1 Algemeen

Ter verduidelijking over de wijze hoe de richtlijn dient te worden geïnterpreteerd zijn op de volgende pagina's een aantal voorbeeldberekeningen opgenomen. De voorbeeldberekeningen zijn gebaseerd op een staalvezelbetonvloer van 200mm dikte. Het principe voor andere constructie-onderdelen die onder de richtlijn vallen is gelijk. In het voorbeeld is gerekend met de classificaties voor het staalvezelbeton conform de richtlijn. In plaats van deze classificaties mag ook zijn gerekend met product specifieke eigenschappen. De na-scheur materiaaleigenschappen dienen dan vastgesteld te zijn met de buigproef, statisch bewerkt en conform de rekenstappen in de richtlijn vertaald in de na-scheurtreksterkten die in de richtlijn zijn genoemd. De Bekaert 5D 65/60BG vezels zijn op deze wijze geclassificeerd.

De volgende voorbeeldberekeningen zijn opgenomen:

- Vloer staalvezelbeton fibre only.
- Vloer staalvezelbeton met hybride wapening.
- Dwarskracht staalvezelbeton (elastisch ondersteund).
- Pons staalvezelbeton (elastisch ondersteund).

1.2 Vloer fibre only

ULS, bepaling uiterst opneembaar moment

Doorsnede

Type constructie		vloer
hoogte		200 mm
breedte		1000 mm
Elementbreedte		6000 mm
A_{ct}^f	$(0,9 * \text{elementbreedte} * h)$	1080000 mm ²
K_G^F	$(1,0 + 0,5 * A_{ct}^f < 1,50)$	1,5
$K_{k,max}$		0,60
K_F^F		1,00

Materiaal

Beton		C 30/37	
f_{ck}		30 N/mm ²	
Milieuklasse		XC2	
Staalvezels		Classificatie 2,5d	
γ_{SF}	(materiaalfactor staalvezel)	1,5	
α_{cc}	(beton)	0,85	
$f_{R1,m}$		4,17 N/mm ²	
$f_{R3,m}$		4,58 N/mm ²	
$f_{R1,k}$	$(K_{k,max} * f_{R1,m})$	2,50 N/mm ²	
$f_{R3,k}$	$(K_{k,max} * f_{R3,m})$	2,75 N/mm ²	
$f_{Fts,k}$	$(0,45 * f_{R1,k})$	1,125 N/mm ²	(representatief)
$f_{Ftu,k}$	$f_{Ts} - W_u / CMOD_3 * (0,5 * f_{R3} - 0,2 * f_{R1,k})$	0,875 N/mm ²	(representatief)
l_{cs}		200 mm	(h)
ϵ_{ULS}		12,5 ‰	(op basis van $W_{u,max} = 2,5\text{mm}$)
W_u		2,5 mm	
ϵ_{SLS}	$(CMOD_1 / l_{cs})$	2,5 ‰	
Basiswapening		Ø - 150	0 mm ²
Bijlegwapening		Ø - 150	0 mm ²
Totale traditionele wapening			0 mm ²
Dekking traditionele wapening		25 mm	
d		200 mm	

Berekening

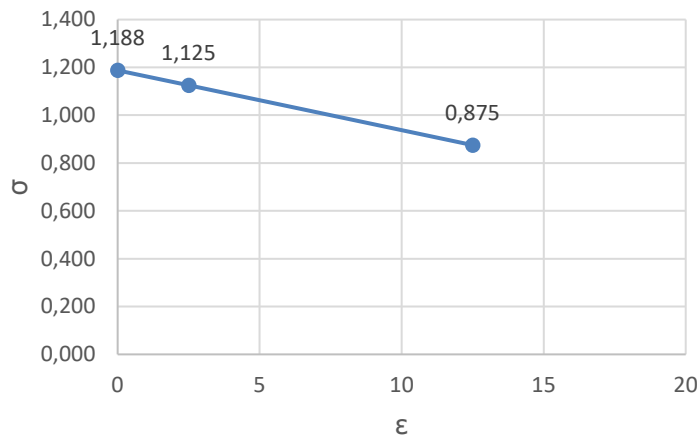
Drukzone beton

f_{cd}		17,0 N/mm ²
$N_{cu} =$		$3/4 * b * f_{cd} * x_u$

Trekzone staalvezelbeton

$f_{Fts,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Fts,k} / \gamma_{SF})$	1,125 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ftu,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Ftu,k} / \gamma_{SF})$	0,875 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ft0,d}$	$(f_{Fts,d} + (f_{Fts,d} - f_{Ftu,d}) * \epsilon_{SLS} / (\epsilon_{ULS} - \epsilon_{SLS}))$	1,188 N/mm ²	(rekenwaarde)
N_{ct}		$(h - x_u) * b * f_{Ftu,d} + 0,5 * (h - x_u) * b * (f_{Ft0,d} - f_{Ftu,d})$	

Spanning-rek diagram staalvezelbeton



Trekzone traditionele wapening

f_{yd}	435 N/mm ²
N_s	$A_s * f_{yd}$

Berekening ULS

N_{cu}	$12,75 * x_u$	kN
N_{ctu}	$1,03 * (h - x_u)$	kN
N_s	0,00	kN
x_u	14,97	mm
Z_{beton}	8,74	mm
$Z_{staalvezel}$	88,66	mm
$Z_{wapening}$	185,03	mm
N_{cu}	190,82	kN
N_{ctu}	190,82	kN
N_s	0,00	kN
Controle evenwicht ($\Sigma H=0$)	0,00	kN
M_{Rd}	18,59	kNm
		18,59 kNm/m

Minimale wapening (daar waar van toepassing conform 9.3.1.1)

f_{ctm}		2,9 N/mm ²
$M_{cr;1}$	$(W * F_{ctm})$	19,33 kNm
$M_{cr;2}$	$(1,00 * M_{Ed})$	18,59 kNm
M_{cr}		18,59 kNm

Het optredende moment is kleiner dan het scheurmoment, er is geen traditionele wapening vereist

A_{ct}		200000 mm ²
k_c		0,40
k		1,00
$A_{s,min} =$	$(k_c * k * (f_{ctm} - f_{Fts,k}) * A_{ct} / \sigma_s)$	0 mm ²
$A_{s,aanw.} =$		0 mm ²

voldoet

SLS bepaling scheurwijdte

Doorsnede

Type constructie		vloer
hoogte		200 mm
breedte		1000 mm
Elementbreedte		6000 mm
A_{ct}^f	$(0,9 * \text{elementbreedte} * h)$	1080000 mm ²
K_{FG}^F	$(1,0 + 0,5 * A_{ct}^f < 1,50)$	1,5
$K_{k,max}$		0,60
K_{FF}^F		1,00

Materiaal

Beton		C 30/37	
f_{ck}		30 N/mm ²	
Milieuklasse		XC2	
Staalvezels		Classificatie 2,5d	
γ_{SF}	(materiaalfactor staalvezel)	1,0	
α_{cc}	(beton)	0,85	
$f_{R1,m}$		4,17 N/mm ²	
$f_{R3,m}$		4,58 N/mm ²	
$f_{R1,k}$	$(K_{k,max} * f_{R1,m})$	2,50 N/mm ²	
$f_{R3,k}$	$(K_{k,max} * f_{R3,m})$	2,75 N/mm ²	
$f_{FTS,k}$	$(0,45 * f_{R1,k})$	1,125 N/mm ²	(representatief)
$f_{FTu,k}$	$f_{TS} - w_u / CMOD_3 * (0,5 * f_{R3} - 0,2 * f_{R1,k})$	0,875 N/mm ²	(representatief)
l_{cs}		200 mm	(bij Fibre only h, bij combi berekend)
ϵ_{Fu}		12,5 ‰	(op basis van $w_{u,max} = 2,5\text{mm}$)
w_u		2,5 mm	
ϵ_{SLS}	(C_{MOD1} / l_{cs})	2,5 ‰	
Basiswapening		Ø0 - 150	0 mm ²
Bijlegwapening		Ø0 - 150	0 mm ²
A_s			0 mm ²
$h_{c,eff}$		0 mm	
$A_{c,eff}$		0 mm ²	
$\rho_{p,eff}$		0,0000	
Dekking bijlegwapening		25 mm	
d		200 mm	

Berekening

Berekening toelaatbaar moment op basis van aangenomen rek

$\epsilon_{ft,max}$

$\epsilon_{ft,max}$ 1,50 ‰

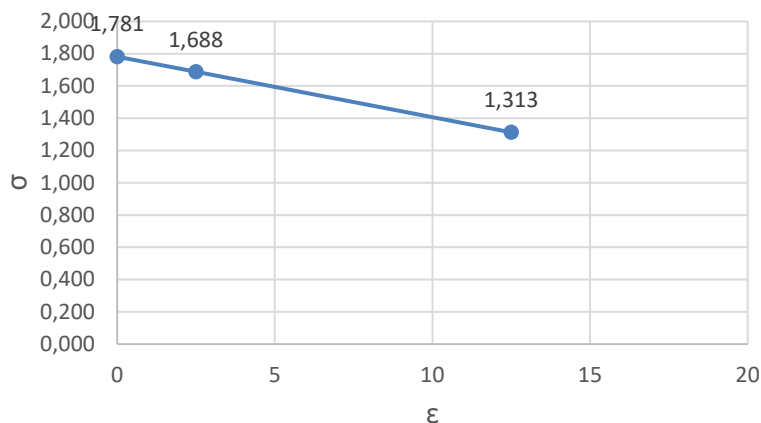
Drukzone beton

f_{cd}		25,5 N/mm ²
σ_c	$f_{cd} * (1 - (1 - \epsilon_c / \epsilon_{c,2})^2)$	10,9 N/mm ²
N_c		$1/2 * b * \sigma_c * x$

Trekzone staalvezelbeton

$f_{Fts,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Fts,k} / \gamma_{SF})$	1,688 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ftu,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Ftu,k} / \gamma_{SF})$	1,313 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ft0,d}$	$(f_{Fts,d} + (f_{Fts,d} - f_{Ftu,d}) * \epsilon_{SLS} / (\epsilon_{ULS} - \epsilon_{SLS}))$	1,781 N/mm ²	(rekenwaarde)
N_{ct}		$(h - x) * b * f_{Fts,d} + 0,5 * (h - x) * b * (f_{Ft0,d} - f_{Fts,d})$	

Spanning-rek diagram staalvezelbeton



Trekzone traditionele wapening

f_{yd}	435 N/mm ²
N_s	$A_s * f_{yd} * \epsilon_s / \epsilon_{sk}$

Berekening SLS

N_{cu}	$5,45 * x_u$	kN
N_{ctu}	$1,73 * (h - x_u)$	kN
N_s	0,00	kN
x	(iteratief bepaald)	48,28 mm
ϵ_c		0,49 ‰
ϵ_s		1,50 ‰
Z_{beton}		0,00 mm
$Z_{staalvezel}$		75,18 mm
$Z_{wapening}$		151,72 mm
N_c		263,15 kN
N_{ct}		263,15 kN
N_s		0,00 kN
Controle evenwicht ($\Sigma H=0$)		0,00 kN

M_E		19,78 kNm	19,78 kNm/m
y	$(h - x)$	152 mm	
k_1		0,8 (staven met hoge aanhechting)	
k_2		0,5 (buiging)	
k_3		3,4	
k_4		0,425	
$S_{r,m}$		n.v.t.	mm
l_{cs}	(h)	200 mm	

Berekening scheurwijdte

σ_s	(N_s / A_s)	0 N/mm ² (langdurige belasting)		
k_t		0,6		
f_{ctm}		2,9 N/mm ²		
E_{cm}		33000 N/mm ²		
E_s		200000 N/mm ²		
α_e	(E_s / E_{cm})	6,06		
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$		0,0000 ‰		
w	(lcs * ($\epsilon_{ft,max}$))	0,30 mm	≤	0,30 mm

1.3 Vloer hybride wapening

ULS bepaling uiterst opneembaar moment

Doorsnede

Type constructie		vloer
hoogte		200 mm
breedte		1000 mm
Elementbreedte		6000 mm
A_{ct}^f	$(0,9 * \text{elementbreedte} * h)$	1080000 mm ²
K_G^F	$(1,0 + 0,5 * A_{ct}^f < 1,50)$	1,5
$K_{k,max}$		0,60
K_F^F		1,00

Materiaal

Beton		C 30/37	
f_{ck}		30 N/mm ²	
Milieuklasse		XC2	
Staalvezels		Classificatie 2,5d	
γ_{SF}	(materiaalfactor staalvezel)	1,5	
α_{cc}	(beton)	0,85	
$f_{R1,m}$		4,17 N/mm ²	
$f_{R3,m}$		4,58 N/mm ²	
$f_{R1,k}$	$(K_{k,max} * f_{R1,m})$	2,50 N/mm ²	
$f_{R3,k}$	$(K_{k,max} * f_{R3,m})$	2,75 N/mm ²	
$f_{Fts,k}$	$(0,45 * f_{R1,k})$	1,125 N/mm ²	(representatief)
$f_{Ftu,k}$	$f_{Fts} - W_u / CMOD_3 * (0,5 * f_{R3} - 0,2 * f_{R1,k})$	0,875 N/mm ²	(representatief)
l_{cs}		200 mm	(h)
ϵ_{ULS}		12,5 ‰	(op basis van $W_{u,max} = 2,5\text{mm}$)
W_u		2,5 mm	
ϵ_{SLS}	$(CMOD_1 / l_{cs})$	2,5 ‰	
Basiswapening		Ø8 - 150	335 mm ²
Bijlegwapening		Ø0 - 150	0 mm ²
Totale traditionele wapening			335 mm ²
Dekking traditionele wapening		25 mm	
d		171 mm	

Berekening

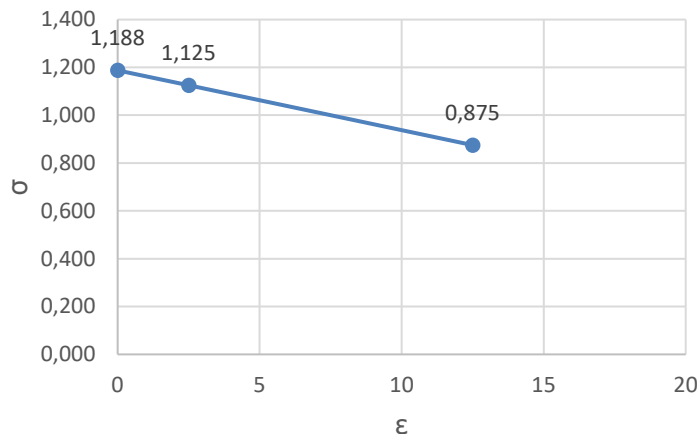
Drukzone beton

f_{cd}		17,0 N/mm ²
$N_{cu} =$		$3/4 * b * f_{cd} * x_u$

Trekzone staalvezelbeton

$f_{Fts,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Fts,k} / \gamma_{SF})$	1,125 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ftu,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Ftu,k} / \gamma_{SF})$	0,875 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ft0,d}$	$(f_{Fts,d} + (f_{Fts,d} - f_{Ftu,d}) * \epsilon_{SLS} / (\epsilon_{ULS} - \epsilon_{SLS}))$	1,188 N/mm ²	(rekenwaarde)
N_{ct}		$(h - x_u) * b * f_{Ftu,d} + 0,5 * (h - x_u) * b * (f_{Ft0,d} - f_{Ftu,d})$	

Spanning-rek diagram staalvezelbeton



Trekzone traditionele wapening

f_{yd}	435 N/mm ²
N_s	$A_s * f_{yd}$

Berekening ULS

N_{cu}	$12,75 * x_u$	kN
N_{ctu}	$1,03 * (h - x_u)$	kN
N_s	145,77	kN
x_u	25,54	mm
Z_{beton}	14,92	mm
$Z_{staalvezel}$	83,59	mm
$Z_{wapening}$	145,46	mm
N_{cu}	325,68	kN
N_{ctu}	179,91	kN
N_s	145,77	kN
Controle evenwicht ($\Sigma H=0$)	0,00	kN
M_{Rd}	41,10	kNm
		41,10 kNm/m

Minimale wapening (daar waar van toepassing conform 9.3.1.1)

f_{ctm}		2,9 N/mm ²
$M_{cr;1}$	$(W * F_{ctm})$	19,33 kNm
$M_{cr;2}$	$(1,00 * M_{Ed})$	41,10 kNm
M_{cr}		19,33 kNm

Het optredende moment is groter dan het scheurmoment, het scheurmoment wordt afgewapend met traditionele wapening

A_{ct}		200000 mm ²
k_c		0,40
k		1,00
$A_{s,min} =$	$(k_c * k * (f_{ctm} - f_{ft,s,k}) * A_{ct} / \sigma_s)$	326 mm ²
$A_{s,aanw.} =$		335 mm ²

voldoet

SLS bepaling scheurwijdte

Doorsnede

Type constructie		vloer
hoogte		200 mm
breedte		1000 mm
Elementbreedte		6000 mm
A_{ct}^f	$(0,9 * \text{elementbreedte} * h)$	1080000 mm ²
K_{FG}^F	$(1,0 + 0,5 * A_{ct}^f < 1,50)$	1,5
$K_{k,max}$		0,60
K_{FF}^F		1,00

Materiaal

Beton		C 30/37	
f_{ck}		30 N/mm ²	
Milieuklasse		XC2	
Staalvezels		Classificatie 2,5d	
γ_{SF}	(materiaalfactor staalvezel)	1,0	
α_{cc}	(beton)	0,85	
$f_{R1,m}$		4,17 N/mm ²	
$f_{R3,m}$		4,58 N/mm ²	
$f_{R1,k}$	$(K_{k,max} * f_{R1,m})$	2,50 N/mm ²	
$f_{R3,k}$	$(K_{k,max} * f_{R3,m})$	2,75 N/mm ²	
$f_{FTS,k}$	$(0,45 * f_{R1,k})$	1,125 N/mm ²	(representatief)
$f_{FTu,k}$	$f_{TS} - w_u / CMOD_3 * (0,5 * f_{R3} - 0,2 * f_{R1,k})$	0,875 N/mm ²	(representatief)
l_{cs}		145 mm	(bij Fibre only h, bij combi berekend)
ϵ_{Fu}		17,2 ‰	(op basis van $w_{u,max} = 2,5\text{mm}$)
w_u		2,5 mm	
ϵ_{SLS}	(C_{MOD1} / l_{cs})	3,4 ‰	
Basiswapening	$\emptyset 8 - 150$		335 mm ²
Bijlegwapening	$\emptyset 0 - 150$		0 mm ²
A_s			<hr/> 335 mm ²
$h_{c,eff}$		50 mm	
$A_{c,eff}$		49702 mm ²	
$\rho_{p,eff}$		0,0067	
Dekking bijlegwapening		25 mm	
d		171 mm	

Berekening

Berekening toelaatbaar moment op basis van aangenomen rek ϵ_{SLS}

ϵ_{SLS}	2,07 ‰
------------------	--------

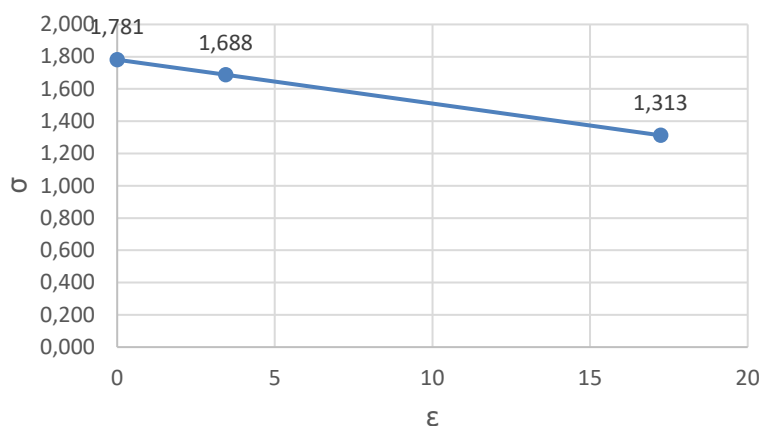
Drukzone beton

f_{cd}	25,5 N/mm ²	
σ_c	$f_{cd} * (1 - (1 - \epsilon_c / \epsilon_{c,2})^2)$	14,6 N/mm ²
N_c	$1/2 * b * \sigma_c * x$	

Trekzone staalvezelbeton

$f_{Fts,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Fts,k} / \gamma_{SF})$	1,688 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ftu,d}$	$(K_G^F * K_F^F * f_{Ftu,k} / \gamma_{SF})$	1,313 N/mm ²	(rekenwaarde)
$f_{Ft0,d}$	$(f_{Fts,d} + (f_{Fts,d} - f_{Ftu,d}) * \epsilon_{SLS} / (\epsilon_{ULS} - \epsilon_{SLS}))$	1,781 N/mm ²	(rekenwaarde)
N_{ct}		$(h - x) * b * f_{Fts,d} + 0,5 * (h - x) * b * (f_{Ft0,d} - f_{Fts,d})$	

Spanning-rek diagram staalvezelbeton



Trekzone traditionele wapening

f_{yd}	435 N/mm ²
N_s	$A_s * f_{yd} * \epsilon_s / \epsilon_{sk}$

Berekening SLS

N_{cu}	$7,28 * x_u$	kN
N_{ctu}	$1,73 * (h - x_u)$	kN
N_s	111,91	kN
x	(iteratief bepaald)	50,90 mm
ϵ_c		0,69 ‰
ϵ_s		1,67 ‰
Z_{beton}		0,00 mm
$Z_{staalvezel}$		73,88 mm
$Z_{wapening}$		120,10 mm
N_c		370,51 kN
N_{ct}		258,60 kN
N_s		111,91 kN
Controle evenwicht ($\Sigma H=0$)		0,00 kN
M_E		32,55 kNm
y	$(h - x)$	149 mm
k_1		0,8 (staven met hoge aanhechting)
k_2		0,5 (buiging)
k_3		3,4
k_4		0,425
$S_{r,m}$		202 mm
l_{cs}	$(\min(s_{r,m}, y))$	149 mm

32,55 kNm/m

Berekening scheurwijdte

σ_s	(N_s / A_s)	334 N/mm ²		
		(langdurige		
k_t		0,6	belasting)	
f_{ctm}		2,9 N/mm ²		
E_{cm}		33000 N/mm ²		
E_s		200000 N/mm ²		
α_e	(E_s / E_{cm})	6,06		
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$		1,0019 ‰		
w	(lcs * ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$))	0,15 mm	≤	0,30 mm

1.4 Dwarskracht hybride wapening

Doorsnede

Type constructie	vloer
hoogte	200 mm
breedte	1000 mm

Materiaal

Beton	C 30/37	
f_{ck}	30 N/mm ²	
f_{ctk}	2,0 N/mm ²	
Milieuklasse	XC2	
Staalvezels	Classificatie 2,5d	
γ_{SF} (materiaalfactor staalvezel)	1,5	
α_{cc} (beton)	0,85	
$f_{R1,m}$	4,17 N/mm ²	
$f_{R3,m}$	4,58 N/mm ²	
$f_{R1,k}$ ($K_{k,max} * f_{R1,m}$)	2,50 N/mm ²	
$f_{R3,k}$ ($K_{k,max} * f_{R3,m}$)	2,75 N/mm ²	
$f_{FTs,k}$ ($0,45 * f_{R1,k}$)	1,125 N/mm ²	(representatief)
$f_{FTu,k}$ ($f_{FTs} - w_u / CMOD_3 * (0,5 * f_{R3} - 0,2 * f_{R1,k})$)	0,875 N/mm ²	(representatief)
l_{cs}	200 mm	(h)
ϵ_{Fu}	12,5 ‰	(op basis van $w_{u,max} = 2,5mm$)
w_u	2,5 mm	
Basiswapening	Ø8 - 150	335 mm ²
Bijlegwapening	Ø0 - 150	0 mm ²
Totale traditionele wapening		335 mm ²
Dekking bijlegwapening	25 mm	
d	171 mm	

Berekening

$f_{FTuk} =$	$(f_{FTs} - (w_u / CMOD_3) * (f_{FTs} - 0,5 f_{R3,k} + 0,2 f_{R1}))$	0,92 N/mm ²
$k =$		2,00
$\gamma_c =$		1,5
$\rho_1 =$		0,0020
$v_{min} =$		0,54 N/mm ²
$V_{Rd,F} =$	$(0,18 / \gamma_c * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * (1 + 7,5 * f_{FTuk} / f_{ctk})} * b * d)$	121,72 kN
$V_{Rd,Fmin} =$	$(v_{min} * b * d)$	92,72 kN
$V_{Rd,Fmax} =$	$1,6 * (v_{min} * b * d)$	148,35 kN

De dwarskrachtcapaciteit van staalvezelbeton wordt alleen verhoogd ten opzichte van $v_{Rd,c}$ indien er aan de getrokken zijde traditionele wapening aanwezig is en het onderdeel elastisch ondersteund is.

1.5 Pons hybride wapening

Doorsnede

Type constructie	vloer
hoogte	200 mm
breedte	1000 mm

Materiaal

Beton	C 30/37	
f_{ck}	30 N/mm ²	
f_{ctk}	2,0 N/mm ²	
Milieuklasse	XC2	
Staalvezels	Classificatie 2,5d	
γ_{SF} (materiaalfactor staalvezel)	1,5	
α_{cc} (beton)	0,85	
$f_{R1,m}$	4,17 N/mm ²	
$f_{R3,m}$	4,58 N/mm ²	
$f_{R1,k}$ ($K_{k,max} * f_{R1,m}$)	2,50 N/mm ²	
$f_{R3,k}$ ($K_{k,max} * f_{R3,m}$)	2,75 N/mm ²	
$f_{Fts,k}$ ($0,45 * f_{R1,k}$)	1,125 N/mm ²	(representatief)
$f_{Ftu,k}$ ($f_{Ts} - w_u / CMOD_3 * (0,5 * f_{R3} - 0,2 * f_{R1,k})$)	0,875 N/mm ²	(representatief)
l_{cs}	200 mm	(h)
ϵ_{Fu}	12,5 ‰	(op basis van $w_{u,max} = 2,5mm$)
w_u	2,5 mm	
Basiswapening	Ø8 - 150	335 mm ²
Bijlegwapening	Ø0 - 150	0 mm ²
Totale traditionele wapening		335 mm ²
Dekking bijlegwapening	25 mm	
d	171 mm	

Berekening

$f_{Ftuk} =$	$(f_{Fts} - (w_u / CMOD_3) * (f_{Fts} - 0,5 F_{R3,k} + 0,2 f_{R1}))$	0,92 N/mm ²
k =		2,00
$\gamma_c =$		1,5
$\rho_1 =$		0,0020
$V_{Rd,c} =$		0,54 N/mm ²
$V_{Rd,f} =$	(f_{Ftuk} / γ_{SF})	0,61 N/mm ²
$V_{Rd,F,max} =$	$1,6 * V_{Rd,c}$	0,87 N/mm ²
$V_{Rd,F} =$	$(V_{Rd,c} + V_{Rd,f}) \leq V_{Rd,F,max}$	0,87 N/mm ²

Controle pons

Belasting =	300,0	kN		
Ponsvorm =	vierkant			
Afmeting lastvlak =	200	mm		
β =	1,15			
u_1 =	2949	mm		
V_{Ed} =	0,68	N/mm ²	< $V_{Rd,F}$	voldoet

De ponscapaciteit van staalvezelbeton wordt alleen verhoogd ten opzichte van $V_{Rd,c}$ indien er aan de getrokken zijde traditionele wapening aanwezig is en het onderdeel elastisch ondersteund is.