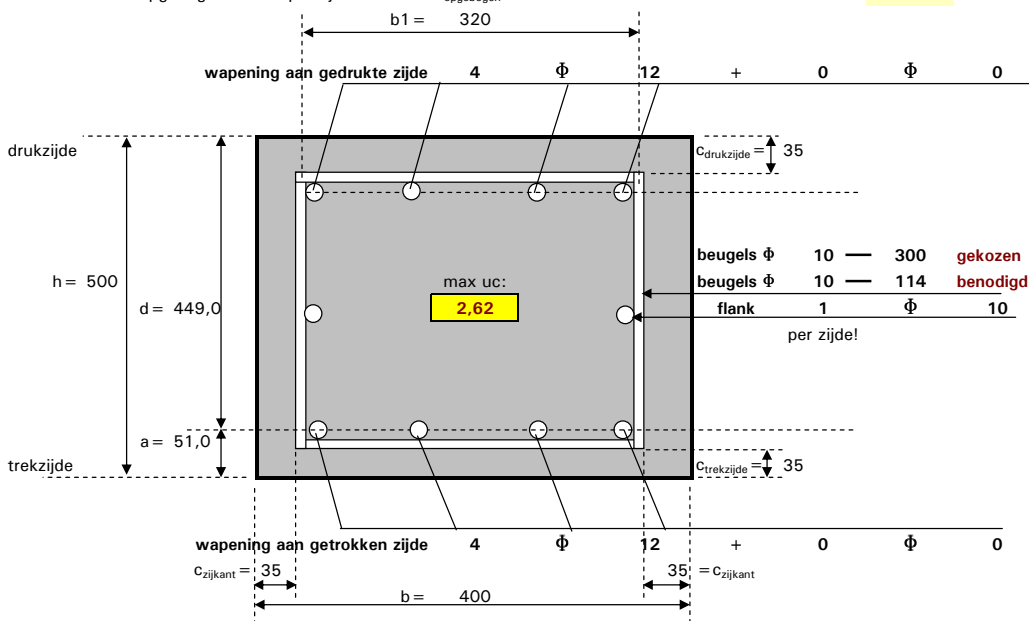


dwarskracht en wrijving op rechthoekige doorsnede: berekening volgens eurocode 2

400 x 500

algemene gegevens	werk	werknummer
	werknummer	onderdeel
	onderdeel	
doorsnedegegevens en (buig)wapening		
kwaliteit beton	betonklasse	= C20/25
kwaliteit staal	staalsoort	= B 500
betonbreedte	b	= 400 mm
betonhoogte	h	= 500 mm
betondekking gedrukte zijde	$c_{drukszijde}$	= 35 mm
betondekking getrokken zijde	$c_{trekszijde}$	= 35 mm
betondekking zijkanten	$c_{zijkant}$	= 35 mm
wapening aan getrokken zijde	aantal	$n_1 = 4$ stuks
	diameter	$d_1 = 12$ mm
	aantal	$n_2 = 0$ stuks
	diameter	$d_2 = 0$ mm
wapening aan gedrukte zijde	aantal	$n_3 = 4$ stuks
	diameter	$d_3 = 12$ mm
	aantal	$n_4 = 0$ stuks
	diameter	$d_4 = 0$ mm
flankwapening per zijde	aantal	$n_5 = 1$ stuks
	diameter	$d_5 = 10$ mm
gegevens tbv berekening dwarskrachtwapening		
rekenwaarde dwarskracht	V_{Ed}	= 100 kN
rekenwaarde wrijgend moment	T_{Ed}	= 50 kNm
rekenwaarde moment in doorsnede	M_{Ed}	= 20 kNm
normaal(druk)kracht in doorsnede	N_{cd}	= 0 kN
gelijkmatig verdeelde belasting op ligger	q_d	= 0 kN/m
afstand rand oplegging tot begin belasting	a_v	= 0 mm
lengte van de oplegging	c	= 0 mm
helling betondrukdiagonaal	Θ	in de richting van de overspanning (tussen 21,8 en 45 graden)
wapening in verankeringsgebied	A_{sl}	(meestal $A_{aanw,trek}$)
helling dwarskrachtbeugels	α	de helling van de beugels is 90 g
beugels	diameter	$d_{bg} = 10$ mm
aantal sneden per beugel	n_{sn}	(normale beugels zijn 2-snedig
gekozen hart op hart afstand basisbeugels	$s_{l,bg}$	$n_{sn} = 2$ snedig
diameter opgebogen staven	$d_{opgebogen}$	= 300 mm
hoh maat rijen van opgebogen staven	$s_{b,opgb}$	= 0 mm
aantal opgebogen staven per rij	$n_{opgebogen}$	= 0 mm
		= 0 stuks



resultaten

rekenwaarde schuifspanning	V_{Ed}	door uitwendige belasting	=	0,56	N/mm ²
maatgevende waarde schuifsterkte	$V_{Rd,c}$	door beton	=	0,34	N/mm ²
6,9 bovengrens schuifsterkte	$V_{Rd,max}$	door beton	=	3,64	N/mm ²
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,c}$	door beton	=	61,6	kN
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,s}$	door wapening	=	101,2	kN
rekenwaarde max. dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,max}$	door beton	=	654,5	kN

wapening tbv dwarskracht

benodigde beugelwapening per m'	$A_{bg} = 1000/s * A_{sw} * n_{bg} (n - snedig)$	=	517	mm ² /m'
benodigde h.o.h.-afstand beugels	$S_{benodigd}$	=	304	mm
lengte gevaarlijk gebied (alleen bij q-last)	$y = (V_{Ed} - V_{Rd,s}) / q_d$ naast basisbeugels	=	n.v.t.	mm

wapening tbv wrijving en dwarskracht

benodigde h.o.h.-afstand beugels	$S_{benodigd}$	=	114	mm ²
langswapening per zijvlak (h)	tgw wrijving	=	199	mm ²
langswapening onder/boven (b)	tgw wrijving	=	148	mm ²

unity-checks dwarskracht

maximum dwarskracht	$V_{Ed} / V_{Rd,max}$	100	/	654,5	=	0,15	-
dwarskracht gewapend	$(V_{Ed} - V_{Ed,red}) / V_{Rd,s}$	100,0	/	101,2	=	0,99	-
helling betondrukgebied	$21,8 = < \theta <= 45$				=	1,00	-
betondrukdagonaal	$V_{Ed} / V_{Ed,max}$	100,0	/	660,9	=	0,15	-
minimum beugelwapening	$A_{bgls,min} / A_{bgls}$	286,2	/	524	=	0,55	-
dwarskracht ongewapend	$(V_{Ed} - V_{Ed,red}) / V_{Rd,c}$	100,0	/	61,6	=	1,62	-

unity-checks wrijving + dwarskracht

maximum wrijngmoment	$T_{Ed} / T_{Rd,max}$	50	/	91,9	=	0,54	-
6,29 wrijving + dwarskracht	$T_{Ed} / T_{Rd,max} + V_{Ed} / V_{Rd,max}$	0,54	+	0,15	=	0,70	-
wrijving + dwarskracht beugels	$s_{aanwezig} / s_{benodigd}$	300	/	114,41	=	2,62	-
wrijving ongewapend	$T_{Ed} / T_{Rd,c}$	50	/	25,8	=	1,94	-
6,31 wrijving + dwarskracht ongewapend	$T_{Ed} / T_{Rd,c} + V_{Ed} / V_{Rd,c}$	1,94	+	1,62	=	3,57	-

toelaatbare afstanden van dwarskrachtwapening

9.2.2(6) maximaal toelaatbare hoh afstan	$s_{l,bg} / s_{l,max}$	300	/	337	=	0,89	-
9.2.2(7) max. afstand opgebogen wapeni	$s_{b,opbg} / s_{b,max}$	0	/	269	=	0,00	-
9.2.2(8) max beugelmaat in de breedte	$s_{l,bg} / s_{l,max}$	320	/	337	=	0,95	balken
9.3.2(5) max beugelmaat in de breedte	$s_{l,bg} / s_{l,max}$	320	/	674	=	0,48	vloeren

wapeninggegevens

totaal aantal staven in trekzone	$\sum n_{trek} = n1 + n2$	=	4,0	st
totaal aantal staven in drukzone	$\sum n_{druk} = n3 + n4$	=	4,0	st
gewogen gemiddelde diameter trekwapenin	$d_{gem,trek} = (n1 * d_1 * D_1 + n2 * d_2 * D_2) / (n1 * D_1 + n2 * D_2)$	=	12,0	mm
gewogen gemiddelde diameter drukwapenin	$d_{gem,druk} = (n3 * d_3 * D_3 + n4 * d_4 * D_4) / (n3 * D_3 + n4 * D_4)$	=	12,0	mm
doorsnede per staaf 1, trekwapening	$D_1 = 0,25 \pi d_1^2$	=	113,1	mm ²
doorsnede per staaf 2, trekwapening	$D_2 = 0,25 \pi d_2^2$	=	0,0	mm ²
doorsnede per staaf 3, drukwapening	$D_3 = 0,25 \pi d_3^2$	=	113,1	mm ²
doorsnede per staaf 4, drukwapening	$D_4 = 0,25 \pi d_4^2$	=	0,0	mm ²
doorsnede per staaf 5, flankwapening	$D_5 = 0,25 \pi d_5^2$	=	78,5	mm ²
doorsnede per beugel enkelsnedig	$D_{bg} = 0,25 \pi d_{bg}^2$	$A_{sw} =$	78,5	mm ²
aantal snedige beugel bij dwarskracht	n_{sn}	=	2	snedig
horizontale maat in breedte van de balk	$s_{t,bg} = b1 / (n_{sn} - 1)$	=	320	mm
aanwezige beugelwapening (n-snedig)	$A_{bgls} = n_{sn} * D_{bg} * 1000 / s_{aanwezig}$	=	524	mm ² /m'
horizontale beugelmaat (hartmaat)	$b1 = b - 2c_{zijkant} - d_{bg}$	=	320	mm
vertikale beugelmaat (hartmaat)	$h1 = h - c_{trekzijde} - c_{drukzijde} - d_{bg}$	=	420	mm
zwaartepunt staven vanaf de beugel	$z = (n1 D_1^{1/2} d_1 + n2 D_2^{1/2} d_2) / (n1 D_1 + n2 D_2)$	=	6,0	mm
equivalente diameter wapening	$d_{equi,trek} = 2 * z$ (t.b.v. berekening van d)	=	12,0	mm



materiaalgegevens			onderdeel
karacteristieke cilinderdruksterkte	f_{ck}	=	20 N/mm ²
karacteristieke kubusdruksterkte	f_{ck}	=	25 N/mm ²
gemiddelde cilinderdruksterkte	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	=	28 N/mm ²
3,15 rekenwaarde betondruksterkte	$f_{cd} = f_{ck} / 1,5$	=	13,3 N/mm ²
3,4 gemiddelde cilindertreksterkte	$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{(2/3)}$ als $f_{ck} < 50$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + f_{cm}/10)$	=	2,21 N/mm ²
3.1.8(1) gemiddelde buigtreksterkte beton (3.23)	$f_{ctm,fl} = \max(1,6 - h/1000) f_{ctm}; f_{ctm}$	=	2,43 N/mm ²
karacteristieke ondergrens treksterkte	$f_{ctk0,05} = 0,7f_{ctm}$	=	1,55 N/mm ²
3,16 rekenwaarde treksterkte	$f_{ctd} = f_{ctk0,05}/1,5$	=	1,03 N/mm ²
tabel 3.1 relatieve verkorting beton	$\epsilon_{c3} = 1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50) / 40]$ voor $f_{ck} > 50$; 1,		1,750 ‰/‰
tabel 3.1 relatieve verkorting beton	$\epsilon_{cu3} = 2,6 + 35 [(90 - f_{ck}) / 100]^4$ als $f_{ck} > 50$; 3,50		3,500 ‰/‰
hoogte betondrukzone: $k_{xu,max} (*d)$	$k_{xu,max} = (1-x)/1,25(0,6 + 1,4/\epsilon_{cu3})$	=	0,448 -
factor in formule	x	=	0,44 -
factor oppervlak betondrukzone	$\alpha = \{ \epsilon_{cu3} - (\epsilon_{c3} / 2) \} / \epsilon_{cu3}$	=	0,750 -
factor zwaartepunt betondrukzone	$\beta = \{ \epsilon_{cu3}^2 - (\epsilon_{c3} * \epsilon_{cu3}) + \epsilon_{c3}^2 / 3 \} / \{ 2 \epsilon_{cu3}^2 - \epsilon_{c3} * \epsilon_{cu3} \}$	=	0,39 -
staaltrekspanning	f_{yk}	=	500 N/mm ²
rekenwaarde staaltrekspanning	f_{yd}	=	435 N/mm ²
elasticiteitsmodulus wapeningstaal	E_s	=	200000 N/mm ²
nuttige hoogte	$d = h - c - d_{bg} - 0,5d_{equi,trek}$	=	449,0 mm
hoogte betondrukzone	$x_u = [d - \sqrt{d^2 - 4\beta M_{Ed} / (\alpha b f_{cd})}] / 2\beta$	=	11,2 mm
momentarm	$z = d - \beta x_u$ als $M_{Ed} = 0$ rekenen met $z = 0,9d$	=	444,6 mm

berekening dwarskrachtwapening (beugels)			onderdeel
aantal snedige beugel	n_{sn}	=	2 snedig
reductiefactor belasting in gebied 2d	$\beta = a_v / 2d \geq 0,25$	=	0,25 -
reductie dwarskracht	$V_{Ed,red} = 0,5 q_d c + 1,25 q_d d$	=	0,0 kN
gereduceerde dwarskracht	$V_{Ed} - V_{Ed,red}$ (op afstand d uit oplegging)	=	100,0 kN
rekenwaarde schuifspanning	$V_{Ed} = (V_{Ed} - V_{Ed,red}) / bd$	=	0,56 N/mm ²
6.2,b ondergrens schuifsterkte of	$V_{Rd,c} = v_{min} = 0,035k^{3/2} \sqrt{f_{ck}} + k_1 \sigma_{cp}$	=	0,34 N/mm ²
6.2,a rekenwaarde schuifsterkte of	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}$	=	0,34 N/mm ²
maatgevende waarde schuifsterkte	$V_{Rd,c}$	=	0,34 N/mm ²
$C_{Rd,c} = 0,12$ (blijvend en tijdelijk) = 0,15 (buitengewoon)		=	0,12 -
factor	$k = 1 + \sqrt{200/d} < 2,0$	=	1,67 -
wapeningspercentage	$\rho_1 = A_{sl} / bd * 100 < 2\%$	=	0,25 %
factor	k_1 waarde volgens NB	=	0,15 -
normaaldrukspanning in doorsnede	$\sigma_{cp} = N_{cd} / bh$	=	0,00 N/mm ²
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} b d 10^{-3}$ met beton	=	61,6 kN
minimum dwarskrachtwapening	$\rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$	=	0,07 %
minimum dwarskrachtwapening	$A_{bgls,min} = \rho_{w,min} * b 1000 / 100$ per m'	=	286,2 mm ² /m'
6,5 betondrukdiagonaal	$V_{Ed} < = V_{Ed,max} = 0,5 b_w d v f_{cd}$	$V_{Ed,max} =$	660,9 kN
6,9 bovengrens schuifsterkte	$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} (z/d) v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$	=	3,64 N/mm ²
voor niet-voorgespannen constructies	α_{cw}	=	1,0 -
sterktereductiefactor of	$v_1 = v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$ als $\sigma_{yd} > 0,8f_{yk}$	=	0,552 -
of	$v_1 = 0,6; \sigma_{yd} < = 0,8f_{yk}; f_{ck} < = 60$	=	0,60 -
of	$v_1 = 0,9 - f_{ck} / 200 > 0,5; \sigma_{yd} < = 0,8f_{yk}; f_{ck} > 60$	=	0,80 -
maatgevende waarde factor	v_1	=	0,55 -
rekenwaarde staalspanning in beugels	$\sigma_{yd} = V_{Rd,s} / V_{Ed} * f_{yd}$	=	430 N/mm ²
sinus helling betondrukdiagonaal	$\sin \theta$	=	0,707 -
cosinus helling betondrukdiagonaal	$\cos \theta$	=	0,707 -
tangens helling betondrukdiagonaal	$\tan \theta$	=	1,000 -
cotangens helling betondrukdiagonaal	$\cot \theta$	=	1,000 -
cotangens helling dwarskrachtwapening	$\cot \alpha = 1 / \tan \alpha$	=	0,000 -
rekenwaarde max. dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,max} = v_{Rd,max} b d 10^{-3}$	=	654,5 kN
afstand verschoven M-lijn of	$a_1 = z (\cot \theta - \cot \alpha) / 2 \geq d$	=	222,3 mm
9.2.1,3 verschuivingsregel of	$a_1 = d$	=	449,0 mm
6,8 opneembare schuifspanning	$V_{Rd,s} = A_{sw} * f_{yw} * z * \cot \theta / (s * b * d)$	=	0,56 N/mm ²
verhouding	z/d (in tabellen wordt 0,9 aangehouden!)	=	0,99 -
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,s} = v_{Rd,s} b d 10^{-3}$ (met beugels)	=	101,2 kN
benodigde h.o.h-afstand beugels	$s = n_{sn} * A_{sw} f_{yd} z \cot \theta / (V_{Ed} b d)$ (n_{sn} -snedig)	=	304 mm
9.2.2(6) maximaal toelaatbare hoh afstand	$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha)$	=	337 mm
9.2.2(7) max. afstand opgebogen wapening langsricl	$s_{b,max} = 0,6 d (1 + \cot \alpha)$	=	269 mm
9.2.2(8) max beugelmaat in de breedte (balken)	$s_{t,max} = 0,75 d$ en < 600	=	337 mm
9.3.2(5) max beugelmaat in de breedte (vloeren)	$s_{t,max} = 1,5 d$	=	674 mm
benodigde beugelwapening per m'	$A_{bg} = 1000 / s * A_{sw} * n_{sn} (n - snedig)$	=	517 mm ² /m'
directe berekening (alternatief)	$A_{bg} = (V_{Ed} - V_{Ed,red}) * 1000 / (f_{yd} * z * co$	=	517 mm ² /m'



berekening dwarskrachtwapening met alleen opgebogen staven (zonder beugelwapening)		onderdeel
doorsnede opgebogen wapening	$D_{opgebogen}$	= 1 mm ²
opgebogen wapening (zonder beugels)	$A_{opgebogen} = v_{Ed} b d^{1/2} y \sqrt{2} / (z f_{yd})$	= 366 mm ² /m'/b
wapening per afstand $s_{opgebogen}$	$A_{opgeb,s} = A_{opgebogen} * s_{opgebogen} / 1000$	= 0 mm ² /s _{opgeb}

de gekozen afstand s voldoet

benodigd aantal staven per breedte	$n_{opgebogen} = A_{opgeb,s} / d_{opgebogen}$	= 0,47 stuks
benodigde h.o.h. afstand in de breedte	$a_{breedte} = b / n_{opgebogen}$	= 858,9 mm
maximaal toelaatbare afstand	s_{max} (kleinste waarde s_{max} en d_a)	= 398 mm
	$d_a = h - c_{trek} - c_{druk} - 2 * d_{bgl} - (d_{gem,trek} + d_{gem,druk}) / 2$	= 398 mm
	$s_{max} =$	= 500 mm
aanwezig opgebogen wapening	$A_{opgebogen,aanw} = 1000 * D_{opgebogen} * n_{opgebogen} / s_{opgebogen}$	= 0 mm ² /m'/b
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,s,opgeb} = A_{opgebogen,aanw} z f_{yd} / (1/2 y \sqrt{2})$	= 0 kN

berekening dwarskrachtwapening met opgebogen staven (45 graden) en met beugelwapening

diameter opgebogen staven	$d_{opgebogen}$	= 1 mm
hoh maat rijen van opgebogen staven	$s_{b,opgb}$	= 1 mm
aantal opgebogen staven per rij	$n_{opgebogen}$	= 0 stuks
doorsnede opgebogen wapening	$D_{opgebogen}$	= 1 mm ²
opgebogen wapening (zonder beugels)	$A_{opgebogen} = (v_{Ed} - v_{Rd,s}) b d^{1/2} y \sqrt{2} / (z f_{yd})$	= -4 mm ² /m'/b
wapening per afstand $s_{opgebogen}$	$A_{opgeb,s} = A_{opgebogen} * s_{b,opgb} / 1000$	= 0 mm ² /s _{opgeb}

de gekozen afstand s voldoet

benodigd aantal staven per breedte	$n_{opgebogen} = A_{opgeb,s} / d_{opgebogen}$	= -0,01 stuks
benodigde h.o.h. afstand in de breedte	$a_{breedte} = b / n_{opgebogen}$	= n.v.t. mm
maximaal toelaatbare afstand opgebogen w.	s_{max} (kleinste waarde s_{max} en d_a)	= 398 mm
	$d_a = h - c_{trek} - c_{druk} - 2 * d_{bgl} - (d_{gem,trek} + d_{gem,druk}) / 2$	= 398 mm
	$s_{max,500} =$ maximale waarde	= 500 mm
aanwezig opgebogen wapening	$A_{opgebogen,aanw} = 1000 * D_{opgebogen} * n_{opgebogen} / s_{b,opgb}$	= 0 mm ² /m'/b
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,s,opgeb} = A_{opgebogen,aanw} z f_{yd} / (1/2 y \sqrt{2})$	= 0 kN
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,s,bgls} = v_{Rd,s} b d 10^{-3}$	= 101,2 kN
rekenwaarde dwarskrachtweerstand	$V_{Rd,s} =$ totaal van beugels + opgebogen wapening	= 101,2 kN

9.2.2. (8) minimaal 50% van de dwarskracht moet met beugels worden opgenomen

berekening wrijngwapening (hier wordt altijd met een 2-snedige beugel gerekend)

scheurm moment wrijving	$T_{Rd,c} = f_{ctd} t_{ef,i} 2 A_k 10^{-6}$	= 25,8 kNm
	$t_{ef,i} = A / u$	= 111,1 mm
	$A = bh$	= 200000 mm ²
	$u = 2 (b + h)$	= 1800 mm
horizontale beugelmaat (hartmaat)	$b1 = b - 2c_{zijkant} - d_{bgl}$	= 320 mm
vertikale beugelmaat (hartmaat)	$h1 = h - c_{trekzijde} - c_{drukzijde} - d_{bgl}$	= 420 mm
minimum waarde meewerkende wanddikte		
aan gedrukte zijde	$t_{ef,i,min} = (c_{druk} + d_{bgl} + 0,5d_{gem,druk}) * 2$	= 102,0 mm
aan getrokken zijde	$t_{ef,i,min} = (c_{trek} + d_{bgl} + 0,5d_{gem,trek}) * 2$	= 102,0 mm
aan de zijkanten	$t_{ef,i,min} = (c_{zij} + d_{bgl} + 0,5d_{gem,trek}) * 2$	= 102,0 mm
maatgevende waarde meewerkende breedte		
aan gedrukte zijde	$t_{ef,i,druk}$	= 111,1 mm
aan getrokken zijde	$t_{ef,i,trek}$	= 111,1 mm
aan de zijkanten	$t_{ef,i,zij}$	= 111,1 mm
effectieve hoogte	$z_{i,h} = h1_{eff} = h - 0,5t_{ef,i,druk} - 0,5t_{ef,i,trek}$	= 388,9 mm
effectieve breedte	$z_{i,b} = b1_{eff} = b - t_{ef,i,zij}$	= 288,9 mm
kleinste waarde maatgevende breedte	$t_{ef,i,min} =$	= 111,1 mm
	$A_k = b1_{eff} h1_{eff}$	= 112346 mm ²
	$u_k = 2 (b1_{eff} + h1_{eff})$	= 1356 mm
6,30 grenswaarde wrijngmoment	$T_{Rd,max} = 2 v f_{cd} t_{ef,i} A_k \sin\theta \cos\theta$	= 91,9 kNm
	$v = 0,6 (1 - f_{ck}/250)$	= 0,55 -
totale langswapening	$A_{s,langs} = T_{Ed} \cot\theta u_k / (2 A_k f_{yd})$	= 694 mm ²
langswapening per zijvlak (h)	$A_{s,langs} * h1_{eff} / u_k$	= 199 mm ²
langswapening onder/boven (b)	$A_{s,langs} * b1_{eff} / u_k$	= 148 mm ²
maximale beugelsafstand	$s_{w,max} = 2 A_{s,bgl} b1 h1 f_{yd} \cot\theta / T_{Ed}$	= 184 mm

berekening wrijving en dwarskracht

aantal beugels per m' tbv wrijving	$n_{bgl,s,TEd} = 1000 / s_{w,max}$	= 5,4 st per m'
aantal beugels per m' tbv dwarskracht	$n_{bgl,s,VEd} = 1000 / s$	= 3,3 st per m'
totaal aantal beugels per m'	$n_{bgl,s} = n_{bgl,s,VEd} + n_{bgl,s,TEd}$	= 8,7 st per m'
benodigde hart op hart afstand beugels	$s_{bgl} = 1000 / n_{bgl,s}$	= 114 mm
9,2,2(6) maximaal toelaatbare hoh afstand	$s_{max} = 3/4 d$	= 337 mm
benodigde beugelwapening	$A_{s,w,bgls} = 1000 / s_{bgl,s} * A_{s,w}$	= 686 mm ²

opmerking: