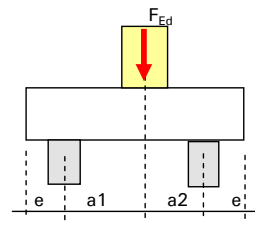




tweepaals poer belast door een puntlast volgens de theorie van staafwerkmodellen art. 6.5

500 x 1250

algemene gegevens	werk		werk
	werknummer		werknummer
	onderdeel		onderdeel
rekenwaarde van de kolombelasting	F_{Ed}	=	3000 kN
	splitsing puntlast F_{Ed} in twee halve puntlasten?		ja -
materiaalgegevens en poerafmetingen			
kwaliteit beton	betonklasse	=	C20/25
kwaliteit staal	staalsoort	=	B 500
wapeningsklasse	A, B of C	=	B -
poerbreedte	b	b =	500 mm
poerhoogte	h	h =	1250 mm
afstand van paal 1 tot hart kolom	a1	a1 =	800 mm
afstand van kolom tot paal 2	a2	a2 =	800 mm
geschatte hoogte inwendige hefboomsarm	z	z =	1000 mm
de hoogte z zou nog mogen worden verhoogd met :		δ_z =	35 mm
afstand hart ondersteuning tot eind poer	e	=	400 mm
vorm van de kolom	rond of rechthoekig		rechthoekig
afmeting kolom in richting poerlengte	L_{kolom}	=	500 mm
afmeting kolom loodrecht op poerlengte	B_{kolom}	=	500 mm
vorm van de ondersteuning	rond of rechthoekig		rechthoekig
afm. ondersteuning in richting poer	L_{paal}	=	450 mm
afm. ondersteuning loodrecht poerrichting	B_{paal}	=	450 mm
wapeninggegevens			
betondekking getrokken zijde	$c_{trekzijde}$	dekking op de buitenste wapening	= 100 mm
om aan de eis voor de positie v.d. trekband te voldoen moet de dekking worden verhoogd			δ_c = -3,2 mm
betondekking zijkanten / uiteind	$c_{zijkant}$	= $c_{uiteind}$	= 45 mm
wapening aan getrokken zijde	aantal n1		= 6 stuks
	diameter d_1		= 32 mm
	aantal n2		= 0 stuks
	diameter d_2		= 0 mm
bij wapening in meerdere lagen	aantal staven dat niet in de buitenste laag lig	n_s =	0 staven
correctie van de nuttige hoogte d ten gevolge van het wapenen in meerdere lagen	staafbeëindiging van de trekstaven	d_{red} =	0 mm
invloedsfactor verankeringslengte (α 1)	factor voor ombuiging	=	haak
doorndiameter omgebogen trekstaven		=	8 * $d_{max1,2}$
invloedsfactoren voor scheurwijdte en betondekking			
verhouding tussen quasiepermanente belasting en uiterste grenstoestand:	F_{qp} / F_{Ed}	=	0,75 -
a ontwerplevensduur		=	50 jaar
b omgevingsfactoren	milieuklasse A	=	XC2 -
c soort constructie	milieuklasse B	=	XC1 -
d dekking verhogen bij oncontroleerbaarheid van de wapening (geen eis in eurocode)	soort constructie	=	poer
e wordt de beton nabewerkt		=	nee
f verhoging dekking bij toepassing grote grindkorrel (> 32mm) tabel 4.2		=	nee
g ondergrond waarop gestort wordt		=	werkvloer
h bundeling wapeningstaven (trekwapening)	worden staven d1 gebundeld?	=	nee
h	worden staven d2 gebundeld?	=	nee
i kwaliteitsbeheersing	is specifieke kwaliteitsbeheersing gewaarbor	=	nee
j luchtinsluiting	luchtinsluiting van meer dan 4% toegepast?	=	nee
k verhoging dekking bij toepassing grote staafdiameter (> 25mm) geen eis in eurocode		=	nee
k1 aanhechtheigenschap	de aanhechting van de wapeningstaven is	=	goed
k2 wijze van belasting	de betondoorsnede wordt belast door	=	zuivere trek
kt belastingduur (bij berekende scheurwijdte)	de belastingduur is	=	langdurend
milieuklasse	de milieuklasse van de beton is	b) buitenmilieu - RH = 80%	
belasten constructie na aantal dagen	de constructie wordt belast na t_0 is		30 dagen
cementklasse	de gekozen cementklasse is		N
omtrek dat bloot staat aan uitdroging	het aantal zijden dat aan uitdroging bloot staat is		4 zijden 2b + 2h





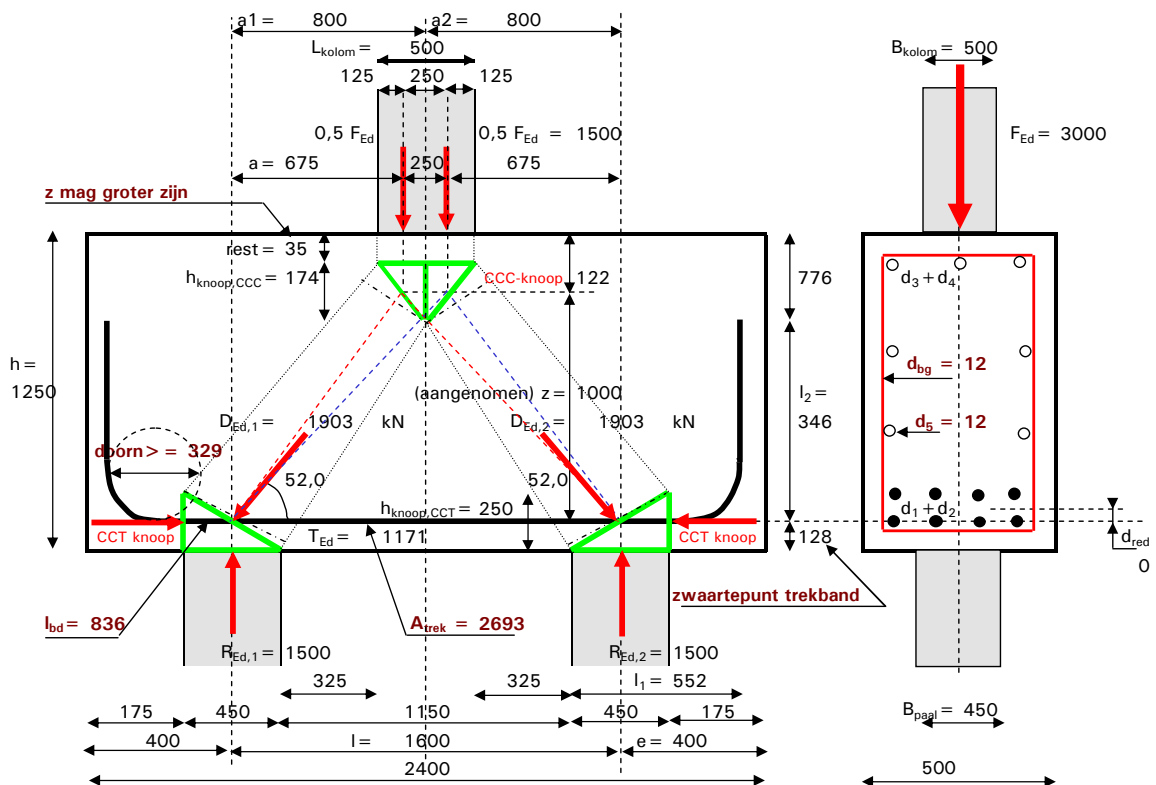
unity-checks

onderdeel

er wordt gerekend met alle trekwapening in één laag

knoop onder kolom	spanning onder kolom	12,0	/	13,5	0,89
	spanning in diagonaal	12,5	/	13,5	0,93
knoop bij paal 1	spanning boven paal	7,4	/	10,4	0,71
	spanning in diagonaal	8,3	/	10,4	0,80
knoop bij paal 2	spanning boven paal	7,4	/	10,4	0,71
	spanning in diagonaal	8,3	/	10,4	0,80
geometrie	hoogte z	1000,0	/	1038,5	0,96
	hoogte h	1214,8	/	1250,0	0,97
	positie trekband	124,8	/	128,0	0,97
trekband tussen de palen	$A_{s,trek} / A_{aanw,trek}$	2693	/	4825	0,56
scheurwijdte zonder berekening	diameter of hoh	1,21	of	0,28	0,28
scheurwijdte met berekening	w_k / w	0,31	/	0,3	1,04
betondekking	$c_{nom} / c_{trekzijde}$	42	/	100	0,42
verankeringslengte	l_2 / d	346	/	1122	0,31
minimum doordiameter	$\Phi_{m,min} / D_{doorn}$	329	/	256	1,28

schematische weergave tweepaals poer met staafwerkmodellen



samenvatting resultaten

trekband

grootte van de benodigde trekbandwapening $A_{trek} = M_{Ed} / z f_{yd}$		=	2693	mm ²
inwendige hefboomsarm z		=	1000	mm
hart trekband tot onderkant poer $c_{trekzijde} + d_{bg} + 0,5 * d_{gem} + d_{red}$		=	128	mm

scheurwijdte

scheurwijdtecontrole zonder berekening	maximum staafdiameter	=	26,4	mm
scheurwijdtecontrole zonder berekening	maximum hart op hart afstand	=	255	mm
toelaatbare scheurwijdte	w (zonder verhoging met k_x)	=	0,30	mm
optreedende scheurwijdte met berekening	$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$	=	0,31	mm

betondekking

minimum betondekking	c_{nom} op de buitenste wapening	=	42	mm
----------------------	------------------------------------	---	----	----



verankeringslengte en buig diameter

8.4 rekenwaarde verankeringslengte trekwap.	$l_{bd} = \alpha 1 \alpha 2 \alpha 3 \alpha 4 \alpha 5 l_{b,reqd} > l_{b,min}$	=	836	mm
8.1 minimale buig diameter (doorndiameter)	$\Phi_{m,min} = F_{bt} [(1/a_b) + 1 / (2\Phi)] / f_{cd}$	=	329	mm

berekening poer volgens de theorie van staafwerkmodellen art. 6.5

krachtverdeling er wordt gerekend met twee puntlasten

h.o.h. afstand palen (ondersteuningen)	l =	800	+	800	=	1600	mm	
oplegreactie	$R_{Ed,1} = a2 / l * F_{Ed}$	800	/	1600	3000	=	1500	kN
oplegreactie	$R_{Ed,2} = a1 / l * F_{Ed}$	800	/	1600	3000	=	1500	kN

berekening hoeken

hoek $\alpha 1$	werklijn paal 1 naar F_{links}	boogtan (	1000	/	675	) =	56,0	graden
hoek $\alpha 2$	werklijn paal 1 naar F_{rechts}	boogtan (	1000	/	925	) =	47,2	graden
hoek $\alpha 3$	hellingshoek drukstaaf paal 1	boogtan (	1500,0	/	1170,7	) =	52,0	graden
hoek $\beta 1$	werklijn paal 2 naar F_{links}	boogtan (	1000	/	925	) =	47,2	graden
hoek $\beta 2$	werklijn paal 2 naar F_{rechts}	boogtan (	1000	/	675	) =	56,0	graden
hoek $\beta 3$	hellingshoek drukstaaf paal 2	boogtan (	1500,0	/	1170,7	) =	52,0	graden
hoek a	krachtenveelhoek F_{links}	90	-	47,2		=	42,8	graden	
hoek b	idem	180	-	42,8	-	34,0	=	103,2	graden
hoek c	idem	90	-	56,0			=	34,0	graden
hoek d	krachtenveelhoek F_{rechts}	90	-	56,0			=	34,0	graden
hoek e	idem	180	-	34,0	-	42,8	=	103,2	graden
hoek f	idem	90	-	47,2			=	42,8	graden

staafkrachten

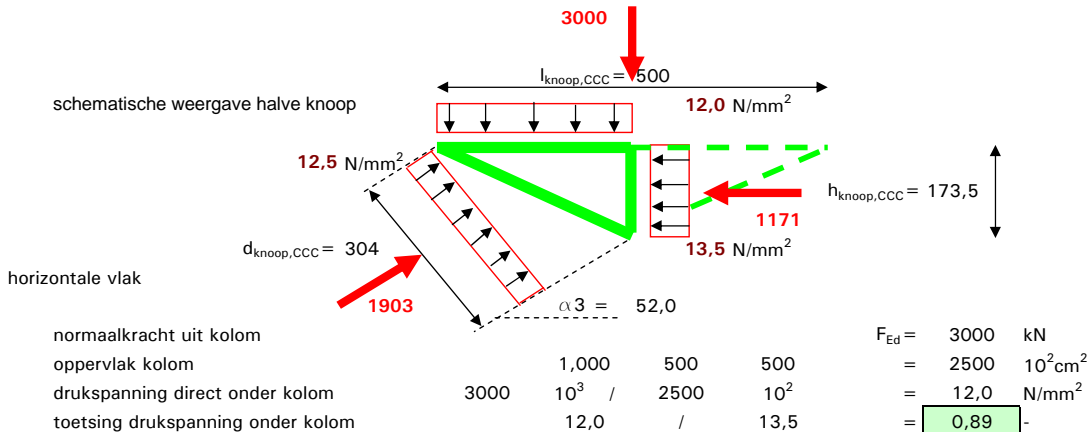
staafkrachten tgv linker halve puntlast														
$D1 = 0,5 F_{Ed} \sin c / \sin b$	=	1500	sin	34,0	/	sin	103,2	=	862	kN				
$H1 = D1 \cos \beta 1$	=	862,0	cos	47,2				=	585	kN				
staafkrachten tgv rechter halve puntlast														
$D2 = 0,5 F_{Ed} \sin f / \sin e$	=	1500	sin	42,8	/	sin	103,2	=	1046	kN				
$H2 = D2 \cos \beta 2$	=	1046,3	cos	56,0				=	585	kN				
totale trekkracht in onderregel	$T_{Ed} = H1 + H2 =$	585,4	+	585,4				=	1170,7	kN				
drukdiagonaal paal 1	$D_{Ed,1} = \sqrt{ (1500,0^2 + 1170,7^2)}$							=	1902,8	kN				
drukdiagonaal paal 2	$D_{Ed,2} = \sqrt{ (1500,0^2 + 1170,7^2)}$							=	1902,8	kN				
hoek contactvlakken en horizontaal $90 - \alpha 3$ links									90,0	-	52,0	=	38,0	graden
hoek contactvlakken en horizontaal $90 - \beta 3$ rechts									90,0	-	52,0	=	38,0	graden

controles

karacteristieke cilinderdruksterkte	f_{ck}	=	20	N/mm ²					
3.15 rekenwaarde betondruksterkte	$f_{cd} = f_{ck} / 1,5$	=	20	/	1,5	=	13,3	N/mm ²	
6.57 sterkereductiefactor	$v' = (1 - f_{ck} / 250)$	=	(1 -	20	/	250)	=	0,92	-

controle knoop onder de kolom type CCC

6.60 drukspanning	$\sigma_{Rd,max,1} = \alpha k_1 v' f_{cd} =$	1,10	1,00	0,92	13,3	=	13,5	N/mm ²
-------------------	--	------	------	------	------	---	-------------	-------------------





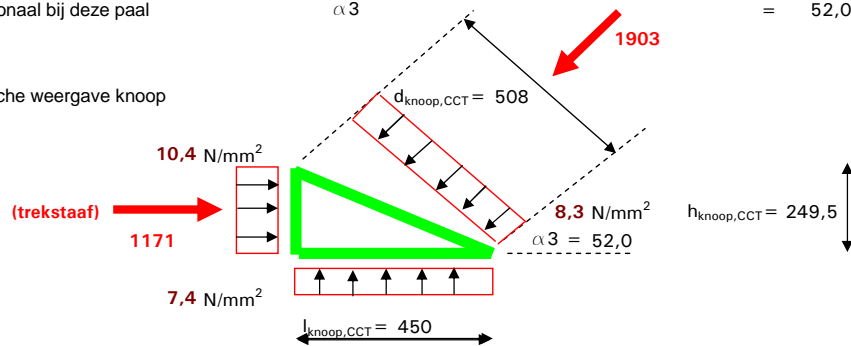
vertikale vlak

normaalkracht = trekkracht in trekband					$T_{Ed} =$	1171	kN
breedte van CCC-knoop onder kolom	$b_{knoop,CCC}$	equivalente afmeting			=	500	mm
minimaal benodigde hoogte CCC-knoop	1171	$10^3 /$	500	13,5	=	173,5	mm
schuine vlak met diagonaal naar paal 1							
schuine lengte knoop CCC	$\sqrt{(250^2 + 173,5^2)}$				) =	304,3	mm
hoek knoop CCC met horizontaal	boogtan (	173,5 /	250,0		) =	34,8	graden
hoek contactvlak en loodrechte van drukdiagonaal bij CCC	34,8	-	38,0		=	-3,2	graden
werkelijke lengte drukvlak bij CCC	304,3	cos	-3,2		=	303,8	mm
normaalkracht in drukdiagonaal					$D_{Ed,1} =$	1902,8	kN
drukspanning in diagonaal bij CCC	$1902,8 / (303,8 * 500)$				) =	12,5	N/mm ²
toetsing drukdiagonaal bij CCC	12,5	/	13,5		=	0,93	-

controle knoop bij paal 1, type CCT

6.61 drukspanning $\sigma_{Rd,max,2} = \alpha k_2 v' f_{cd} =$	1,00	0,85	0,92	13,3	=	10,4	N/mm ²
helling drukdiagonaal bij deze paal	$\alpha 3$				=	52,0	graden

schematische weergave knoop



horizontale vlak

normaalkracht = reactie paal					$R_{Ed,1} =$	1500,0	kN
breedte van CCT-knoop boven paal	$b_{knoop,CCT}$	equivalente afmeting			=	450	mm
oppervlak paal	1,000	450	450		=	2025	10 ² cm ²
drukspanning direct boven de paal	1500,0	$10^3 /$	2025	10 ²	=	7,4	N/mm ²
toetsing drukspanning boven paal	7,4	/	10,4		=	0,71	-

vertikale vlak

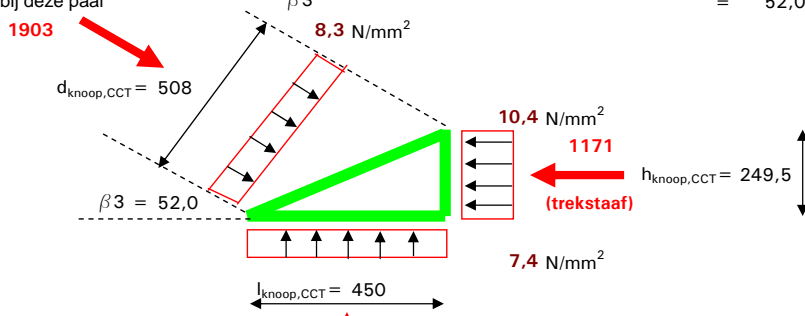
normaalkracht = trekkracht in trekband					$T_{Ed} =$	1170,7	kN
breedte	$b_{knoop,CCT}$	equivalente afmeting			=	450	mm
minimaal benodigde hoogte CCT-knoop	1170,7	$10^3 /$	450	10,4	=	249,5	mm

schuine vlak

schuine lengte knoop CCT	$\sqrt{(450^2 + 249,5^2)}$				) =	514,5	mm
hoek knoop CCT met horizontaal	boogtan (	249,5 /	450,0		) =	29,0	graden
hoek contactvlak en loodrechte van drukdiagonaal	29,0	-	38,0		=	-9,0	graden
werkelijke lengte drukvlak	514,5	cos	-9,0		=	508,3	mm
normaalkracht = drukdiagonaal					$D_{Ed,1} =$	1902,8	kN
drukspanning in diagonaal	$1902,8 / (508,3 * 450)$				) =	8,3	N/mm ²
toetsing drukdiagonaal	8,3	/	10,4		=	0,80	-

controle knoop bij paal 2, type CCT

6.61 drukspanning $\sigma_{Rd,max,2} = \alpha k_2 v' f_{cd} =$	1,00	0,85	0,92	13,3	=	10,4	N/mm ²
helling drukdiagonaal bij deze paal	$\beta 3$				=	52,0	graden



horizontale vlak

normaalkracht = reactie paal					$R_{Ed,2} =$	1500,0	kN
------------------------------	--	--	--	--	--------------	--------	----



breedte van CCT-knoop boven paal	$b_{\text{knoop,CCT}}$	equivalente afmeting	=	450	mm
oppervlak paal		1,000 450 450	=	2025	10 ² cm ²
drukspanning direct boven de paal	1500,0	10 ³ / 2025 10 ²	=	7,4	N/mm ²
toetsing drukspanning boven paal		7,4 / 10,4	=	0,71	-

vertikale vlak

normaalkracht = trekkracht in trekband			T_{Ed} =	1170,7	kN
breedte	$b_{\text{knoop,CCT}}$		=	450	mm
minimaal benodigde hoogte CCT-knoop	1170,7	10 ³ / 450 10,4	=	249,5	mm

schuine vlak

schuine lengte knoop CCT	$\sqrt{(450^2 + 249,5^2)}$		=	514,5	mm
hoek knoop CCT met horizontaal	boogtan (249,5 / 450,0)		=	29,0	graden
hoek contactvlak en loodrechte van drukdiagonaal		29,0 - 38,0	=	-9,0	graden
werkelijke lengte drukvlak	514,5	cos -9,0	=	508,3	mm
normaalkracht = drukdiagonaal			$D_{\text{Ed},2}$ =	1902,8	kN
drukspanning in diagonaal	1902,8	10 ³ / (508,3 * 450)	=	8,3	N/mm ²
toetsing drukdiagonaal		8,3 / 10,4	=	0,80	-

controle trekstaaf tussen paal 1-2

trekkracht in trekband			T_{Ed} =	1170,7	kN
benodigde trekwapening	$A_{s1,2}$ =	1171 10 ³ / 435	=	2693	mm ²
toetsing gekozen trekband		2693 / 4825	=	0,56	-

controle inwendige hefboomsarm z en totale poerhoogte

geschatte hoogte van de inwendige hefboomsarm z			=	1000	mm
maximaal toelaatbare hoogte z	1250	-(173,5 + 249,5) / 2	=	1038	mm
toetsing geschatte hoogte z		1000 / 1038	=	0,96	-
minimaal benodigde poerhoogte h	128,0	+ 1000 + 86,8	=	1215	mm
toetsing totale hoogte h		1215 / 1250	=	0,97	-

controle ligging trekband

hartmaat verticale vlak van CCT knoop t.o.v. onderzijde poer		249,5 / 2	=	124,8	mm
hart trekband tot onderzijde poer			=	128,0	mm
hart trekband-hart onderregel	249,5	/ 2 - 128,0	=	-3	mm
toetsing positie trekband		124,8 / 128	=	0,97	-

controle verankeringslengte

$l_{\text{bd}} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{\text{b,req}}$	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00	836	=	836	mm
8.4 rekenwaarde verankeringslengte trekwapenir	$l_{\text{bd}} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{\text{b,req}} > l_{\text{b,min}}$		=	836	mm
staalspanning bij begin van verankerung	$\sigma_{\text{sd}} = f_{\text{yd}} * A_{\text{s,trek}} / A_{\text{aanw,trek}}$		=	243	N/mm ²
staalspanning bij begin van de bocht	$\sigma_{\text{sd1}} = (l_{\text{bd}} - l_{\text{hor}}) / l_{\text{bd}} * \sigma_{\text{sd}}$		=	124	N/mm ²
6.5.4(7) beschikbare ruimte horizontale verankerung	$l_1 = e + 0,5 L_{\text{paal}} - c - d_{\text{s,flank}} - 0,5 d_{\text{max}}$		=	552	mm
doorndiameter omgebogen staven	$D_{\text{doorn}} = \text{factor} * d_{\text{max}1,2}$		=	256	mm
beschikbare lengte tot de bocht	$l_{\text{hor}} = l_1 - 0,5 D_{\text{doorn}} - 0,5 \Phi$		=	408	mm
lengte van de verankerung in de bocht	$l_{\text{bocht}} = 0,25 \pi (D_{\text{doorn}} + \Phi)$		=	226	mm
restant verankeringslengte in verticale deel	$l_{\text{vert}} = l_{\text{bd}} - l_{\text{hor}} - l_{\text{bocht}}$		=	202	mm
benodigde ruimte verticale verankerung	$l_2 = 0,5 D_{\text{doorn}} + l_{\text{vert}} + 0,5 \Phi$		=	346	mm
8.1 minimale buigndiameter	$\Phi_{\text{m,min}} = F_{\text{bt}} [(1/a_b) + 1 / (2\Phi)] / f_{\text{cd}}$		=	329	mm

controle scheurwijdte

optredende staalspanning	$\sigma_s = F_{\text{qp}} / F_{\text{Ed}} * A_{\text{s,trek}} / A_{\text{aanw,trek}} * f_{\text{yd}}$		=	182	N/mm ²
toelaatbare scheurwijdte	w	maatgevende waarde	=	0,30	mm
toelaatbare staafdiameter	d_{max}	met de invloed van k_x	=	26,4	mm
toelaatbare hart op hart-afstand	s	met de invloed van k_x	=	254,7	mm
maximale staafdiameter	d_{max}		=	32	mm
werkelijke hart op hart afstand	$s = (b - 2c_{\text{zij}} - 2d_{\text{bg}} - d_{\text{trek}}) / (n - n_s - 1)$	$s = 2 a_b =$	=	71	mm



betondekking

onderdeel

berekening minimum betondekking op trekwapening

tab4.3N correctie van de constructieklasse: uitgangspunt:constructieklasse bij 50 jaar		S	4	-	
a correctie tgv ontwerplevensduur			0	-	
b, j correctie tgv betonsterkteklasse (afhankelijk van milieuklasse A of B)			0	-	
c correctie tgv geometrie			0	-	
i correctie tgv kwaliteitsbeheersing			0	+	
totale waarde constructieklasse		S	4		
b, j correctie tgv betonsterkteklasse (afhankelijk van milieuklasse A)			0		
b, j correctie tgv betonsterkteklasse (afhankelijk van milieuklasse B)			0		
tab 4.5N minimum dekking tgv milieuklasse A	$C_{min,dur}$	=	25	mm	
tab 4.5N minimum dekking tgv milieuklasse B	$C_{min,dur}$	=	15	mm	
tab 4.2 minimum dekking aanhechting	$C_{min,b} > d_n$ (maximum van d_{1eq} en d_{2eq})	=	32	mm	
tab.4.5N minimum dekking duurzaamheid	$C_{min,dur}$	=	25	mm	
e correctie tgv nabewerking	C_{extra}	=	0	+	
maatgevende minimum dekking duurz.	$C_{min,dur}$	=	25	mm	
4.2 minimum dekking	$C_{min} = \max(C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm})$	=	32	mm	
uitvoeringstoleranties	ΔC_{dev}	=	5	mm	
g storten op werkvloer / maaiveld / kist	ΔC_{dev}	=	5	mm	
d t.g.v. oncontroleerbaarheid	ΔC_{dev} geen eis in eurocode!	=	0	mm	
f t.g.v. toepassing grote grindkorrels	ΔC_{dev}	=	0	mm	
4.1 nominale waarde betondekking	$C_{nom} = C_{min} + \sum \Delta C_{dev}$	=	42	mm	
k t.g.v. toegepaste hoofdwapening >25mm	$C_{nom} = 1,5d_n - d_{bg}$ geen eis in eurocode!	=	0	mm	
equivalente staafdiameter	$d_n = \max(d_{1eq}; d_{2eq})$	=	32,0	mm	
resulterende waarde minimale dekking	C_{nom} op de buitenste wapening	=	42	mm	

wapeninggegevens

totaal aantal staven in trekzone	$\sum n_{trek} = n1 + n2$	=	6,0	st
totaal aantal staven in drukzone	$\sum n_{druk} = n3 + n4$	=	6,0	st
gewogen gemiddelde diameter trekwapening	$d_{gem,trek} = (n1 * d_1 * D_1 + n2 * d_2 * D_2) / (n1 * D_1 + n2 * D_2)$	=	32,0	mm
gewogen gemiddelde diameter drukwapening	$d_{gem,druk} = (n3 * d_3 * D_3 + n4 * d_4 * D_4) / (n3 * D_3 + n4 * D_4)$	=	16,0	mm
doorsnede per staaf 1, trekwapening	$D_1 = 0,25\pi d_1^2$	=	804,2	mm ²
doorsnede per staaf 2, trekwapening	$D_2 = 0,25\pi d_2^2$	=	0,0	mm ²
doorsnede per staaf 3, drukwapening	$D_3 = 0,25\pi d_3^2$	=	201,1	mm ²
doorsnede per staaf 4, drukwapening	$D_4 = 0,25\pi d_4^2$	=	0,0	mm ²
doorsnede per staaf 5, flankwapening	$D_5 = 0,25\pi d_5^2$	=	113,1	mm ²
doorsnede per beugel enkelsnedig	$D_{bg} = 0,25\pi d_{bg}^2$	$A_{sw} =$	113,1	mm ²
aantal snedige beugel bij dwarskracht	n_{sn}	$n_{sn} =$	2	snedig
horizontale maat in breedte van de balk	$s_{t,bg} = b1 / (n_{sn} - 1)$	=	398	mm
aanwezige beugelwapening (n-snedig)	$A_{bgls} = n_{sn} * D_{bg} * 1000 / s_{aanwezige}$	=	4524	mm ² /m'
horizontale beugelmaat (hartmaat)	$b1 = b - 2C_{zijkant} - d_{bg}$	=	398	mm
vertikale beugelmaat (hartmaat)	$h1 = h - C_{trekzijde} - C_{drukzijde} - d_{bg}$	=	1093	mm
aanwezige trekwapening	$A_{aanw,trek}$	=	4825	mm ²
aanwezige drukwapening	$A_{aanw,druk}$	=	1206	mm ²
aanwezige drukwapening	$\rho_{druk} = 100 * A_{aanw,druk} / bh$ (art. 9.2.1.1(3)	=	0,19	%
aanwezige flankwapening	$A_{aanw,flank}$ per zijde	=	792	mm ²
zwaartepunt staven vanaf de beugel	$z = (n1 D_1^{1/2} d1 + n2 D_2^{1/2} d2) / (n1D_1 + n2D_2)$	=	16,0	mm
equivalente diameter wapening	$d_{equi,trek} = 2 * z$ (t.b.v. berekening van d)	=	32,0	mm



scheurwijdte

onderdeel

controle scheurwijdte zonder directe berekening art.7,3,3

optredende staalspanning	$\sigma_{s,qp} = F_{qp} / F_{Ed} * A_{s1,totaal} / A_{aanw,trek} * f_{yd}$	=	182	N/mm ²
equivalente diameter staven d1	$d1_{eq} = d1 \sqrt{n_{b,1}}$	=	32,0	mm
aantal staven in een bundel	$n_{b,1}$	=	1	st
equivalente diameter staven d2	$d2_{eq} = d2 \sqrt{n_{b,2}}$	=	0,0	mm
aantal staven in een bundel	$n_{b,2}$	=	1	st
equivalente staafdiameter	$d_{eq} = (n_{b1} * d1_{eq}^2 + n_{b2} * d2_{eq}^2) / (n_{b1} * d1_{eq} + n_{b2} * d2_{eq})$	=	32,0	mm
werkelijke hart op hart afstand	$s = (b - 2c_{zij} - 2d_{bg} - d_{trek}) / (n - n_s - 1)$	=	71	mm
gemiddelde h.o.h.- afstand staven	$s_{gem} = b / (\sum n_{trek} - n_s)$	=	83	mm
toelaatbare scheurwijdte	w milieuklasse A	=	0,30	mm
toelaatbare scheurwijdte	w milieuklasse B	=	0,40	mm
toelaatbare scheurwijdte	w maatgevende waarde	=	0,30	mm
toelaatbare staafdiameter	d_{max} zonder de invloed van k_x	=	28,3	mm
toelaatbare hart op hart-afstand	s zonder de invloed van k_x	=	273,8	mm
toegepaste dekking beschouwde staaf	$C_{applied} = C_{trekzijde}$ (buitenste wapening)	=	100	mm
minimale betondekking	$C_{nom} = C_{min} + \sum \Delta C_{dev}$ (incl. correcties)	=	42	mm
vergrotingsfactor NB 7.3.1 (5)	$k_x = C_{applied} / C_{nom} \leq 2,0$	=	2,00	-
toelaatbare staafdiameter	d_{max} met de invloed van factor en k_x	=	26,4	mm
toelaatbare hart op hart-afstand	s met de invloed van factor en k_x	=	255	mm
(7.6N) correctiefactor buiging (diameter en hoh)	factor = $f_{ct,eff} * k_c h_{cr} / \{ 2,9 * 2 * (h-d) \}$	=	1,86	-
(7.7N) correctiefactor trek (diameter en hoh)	factor = $f_{ct,eff} * h_{cr} / \{ 2,9 * 8 * (h-d) \}$	=	0,47	-
gemiddelde axiale treksterkte	$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ tabel 3.1	=	2,21	N/mm ²
coëfficiënt afhankelijk van spanningsverdelin	$k_c =$ buiging = 0,4, trek = 1,0	=	1,00	-
hoogte trekzone direct voor scheuren	$h_{cr} =$ 0,5 h bij rechthoekige doorsne	=	625	mm
afstand hart wapening tot buitenkant beton	(h-d)	=	128	mm
maatgevende correctiefactor	voor toelaatbare diameter en hoh-afstand	=	0,47	-

controle scheurwijdte met berekening art. 7,3,4

7.8 berekende scheurwijdte	$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$	=	0,31	mm
	$s_{r,max}$	=	381,4	mm
7.9	$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \{ \sigma_s * k_t * f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} * (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff}) \} / E_s$	=	0,00082	-
minimale waarde	$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \geq 0,6 \sigma_s / E_s$	=	0,00055	-
maatgevende waarde	$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$	=	0,00082	-
	$\sigma_{s,qp} = F_{qp} / F_{Ed} * A_{s1,totaal} / A_{aanw,trek} * f_{yd}$	=	182	N/mm ²
gemiddelde waarde treksterkte op tijd t	$f_{ctm(t)}$ tijd t nog eens programmeren	=	2,21	N/mm ²
gemiddelde waarde treksterkte	$f_{ct,eff}$ op tijdstip van eerste scheuren	=	2,21	N/mm ²
7.10	$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi^2_1 A'_p) / A_{c,ef}$	=	19,4	-
doorsnede trekwapening	$A_s = A_{aanw,trek}$	=	4825	mm ²
7.3.2(3) doorsnede voorspanelementen	A'_p	=	0	mm ²
	$A_{c,eff}$ minimum waarde onderstaande formules	=	249	mm ²
	$A_{c,eff} = 2,5 (h-d)$	=	320	mm ²
	$A_{c,eff} = (h-x) / 3$	=	249	mm ²
	$A_{c,eff} = h/2$	=	625	mm ²
7,5	ξ_1	=	0	-
factor	k_t	=	0,4	-
	E_s	=	200000	N/mm ²
7.11	$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 d_{eq} / \rho_{p,eff}$	=	381,4	mm
dekking op de beschouwde staaf	c	=	112,0	mm
7.12	$d_{eq} = (n_{b1} * d1_{eq}^2 + n_{b2} * d2_{eq}^2) / (n_{b1} * d1_{eq} + n_{b2} * d2_{eq})$	=	32,0	mm
	k1 =	=	0,8	-
	k2 =	=	1,0	-
7.13 tussenliggende waarden	k2 = $(e1 + e2) / 2e1$	=	n.t.b.	-
	k3 =	=	3,40	-
	k4 =	=	0,425	-
7.14 bovengrens	$s_{r,max} = 1,3 (h-x)$	=	971	mm
hoogte betondrukzone	x =	=	503	mm
7.15 bovengrens	$s_{r,max} = 1 / (\cos O / s_{r,max,y} + \sin O / s_{r,max,z})$	=	n.t.b.	mm



bij wapening onder een hoek θ		
berekening van de betondrukzone x en kruipfactor φ in de bruikbaarheidsgrenstoestand		
oppervlakte van de betondoorsnede	$A_c = b \cdot h$	= 625000 mm ²
omtrek dat bloot staat aan uitdroging	$u = 4 \text{ zijden } 2b+2h$	= 3500 mm
fictieve dikte	$h_0 = 2 A_c / u$	= 357,1 mm
3.1.4 kruipfactor a.d.h.v. grafiek 3.1 (2)	φ bepaald volgens art. 3.1.4	= 2,17 -
7.20 gereduceerde elasticiteitsmodulus	$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi)$	= 9458 N/mm ²
effectieve verhouding elasticiteitsmodulus	$\alpha_e = E_s / E_{c,eff}$	= 21,1 -
hoogte betondrukzone x in BGT	$x = [- \alpha_e \rho + \sqrt{ \{ (\alpha_e \rho)^2 + 2 \alpha_e \rho \} }] d$	= 502,8 mm
7.3.2(2) minimum wapening vereist	$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$	= 1589 mm ²
coëfficiënt	$k = \text{factor voor lijven en flenzen}$	= 1,0 -
oppervlakte beton binnen trekzone	$A_{ct} = 0,5 bh$ (vlak voor het scheuren)	= 312500 mm ²
maximaal toelaatbare spanning in staal	$\sigma_s = f_{yd}$ tbv berekening minimum wapening	= 435 N/mm ²

verankerings- en overlappingslengte

onderdeel

verankeringslengte trekwapening art. 8.4

karacteristieke cilinderdruksterkte	f_{ck}	= 20 N/mm ²
karacteristieke kubusdruksterkte	f_{ck}	= 25 N/mm ²
3.4 gemiddelde cilindertreksterkte	$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{(2/3)}$	= 2,21 N/mm ²
karacteristieke ondergrens treksterkte	$f_{ctk0,05} = 0,7 f_{ctm}$	= 1,55 N/mm ²
3.16 rekenwaarde treksterkte	$f_{ctd} = f_{ctk0,05} / 1,5$	= 1,03 N/mm ²
staaltrekspanning	f_{yk}	= 500 N/mm ²
rekenwaarde staaltrekspanning	f_{yd}	= 435 N/mm ²
gemiddelde diameter trekwapening	d_{gem}	= 32,0 mm
verhouding benodigde/aanwezige wapening	$A_{s1,totaal} / A_{aanw,trek}$	= 0,56 -
staalspanning in trekwapening	$\sigma_{sd} = A_{s1,totaal} / A_{aanw,trek} \cdot f_{yd}$	= 243 N/mm ²
aantal staven in bundel (max 2)	n	= 1 st
8.3 basisverankeringslengte trekwapening	$l_{b,rqd} = 0,25 \cdot d_{gem,trek} \cdot \sqrt{n} \cdot \sigma_{sd} / f_{bd}$	= 836 mm
	$l_{b,rqd}$	= 26 $\cdot d_{gem}$
8.2	$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$	= 2,32 N/mm ²
	η_1 bovenstaaf = 0,7, algemeen = 1,0	= 1,00 -
	η_2 als $d_{gem} \leq 32; 1; (132 - d_{gem}) / \dots$	= 1,00 -
8.4 rekenwaarde verankeringslengte trekwapening	$l_{bd} = \alpha 1 \alpha 2 \alpha 3 \alpha 4 \alpha 5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$	= 836 mm
$l_{bd} = \alpha 1 \alpha 2 \alpha 3 \alpha 4 \alpha 5 l_{b,rqd}$	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 836	= 836 mm
vorm van de staven	$\alpha 1$ afhankelijk van staafeinde	= 1,00 -
effect minimum dekking	$\alpha 2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d \cdot x \cdot d_{gem,trek}) / d_{gem,trek}$ en < 1 ,	= 1,36 -
	$x = \text{factor afhankelijk staafeinde}$	= 3 -
uiteindelijke waarde $\alpha 2$	$0,7 < \alpha 2 < 1,0$	= 1,00 -
rekenwaarde dekking op rechte staaf	$c_d = \min (a/2 ; c_1 ; c)$	= 19,4 mm
rekenwaarde dekking op gebogen staaf	$c_d = \min (a/2 ; c_1)$	= 19,4 mm
maatgevende waarde	c_d (dekking op te verankeren staaf)	= 19,4 mm
effect dwarswapening niet gelast aan hoofd	$\alpha 3 = 1 - K\lambda$ (opsluiting dwarswapening)	= 1,00 -
maatgevende waarde	$\alpha 3 = 1 - K\lambda$ (opsluiting dwarswapening) $> 0,7$ en $< 1,0$	= 1,00 -
	K (afhankelijk van positie losse dwarsstaaf)	= 0,00 -
	$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$	= -0,25 -
oppervlak doorsnede dwarswapening over lengte l_{bd}	ΣA_{st}	= 0 mm ²
	$\Sigma A_{st,min}$ 0,25 A_{st} bij balken	= 201 mm ²
	A_s doorsnede enkelvoudig verankerde staaf	= 804 mm ²
effect aangelaste dwarsstaven	$\alpha 4$: (dwarsstaaf gelast aan hoofdwapening)	= 1,00 -
effect dwarsdruk	$\alpha 5 = 1 - 0,04p$ (dwarsdruk bij trekstaven)	= 1,00 -
	$p = \text{dwarsdruk in Mpa over lengte } l_{bd}$	= 0,00 N/mm ²
8.5 maximale waarde	$\alpha 2 \alpha 3 \alpha 5 \geq 0,7$	= 1,00 -
8.6	$l_{b,min} : \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 d_{gem,trek}; 100)$	= 320,0 mm
halve tussenmaat tussen staven	$a / 2$	= 19,4 mm



buigdiameter (trekstaaf)

onderdeel

kwaliteit beton	betonklasse	=	C20/25	-
diameter om te buigen staaf	diameter	Φ =	32,0	mm
totale verankeringslengte	$l_{bd} = \alpha 1 \alpha 2 \alpha 3 \alpha 4 \alpha 5 l_{b,req} > = l_{b,min}$	=	836,2	mm
verankering tot aan de bocht	maat vanaf begin verankering tot begin bocht	x =	408,0	mm
hart op hart afstand van de te buigen staven h.o.h. = 2 a _b		2 a _b =	70,8	mm
betreft de te buigen staaf een randstaaf	dus zit de staaf bij een elementrand?	=	nee	-
is er een dwarsstaaf aanwezig	met een diameter > = de staafdiameter	=	nee	-
betondekking op te buigen staaf	c	=	112,0	mm
grootte van de te verankeren kracht:	$F_{bt} = 1/4 \pi \Phi^2 \sigma_{sd1} =$	804	124	10 ³
gekozen buigdiameter	Φ_m (minimum: $\Phi < = 16: 4\Phi$ anders 5Φ)	=	99,9	kN
			256,0	mm
toetsingen				
buigstraal groter dan minimum waarde	160 / 256	=	0,63	
verankering na de bocht	202 / 160	=	1,26	
randstaaf of tussenstaaf	tussenstaaf = 1,0 en randstaaf = 2,0	=	1,0	
dwarsstaaf aanwezig?	ja = 1,0 en nee = 2,0 (voldoet niet)	=	2,0	
omdat een van de drie controles hierboven groter is dan 1,0 moet onderstaande toets kleiner zijn dan 1,0				
minimale buigdiameter / gekozen buigdiameter	$\Phi_{min} / \Phi_m =$	329 / 256	=	1,28
karakteristieke cilinderdruksterkte	f _{ck}	=	20	N/mm ²
3.15 rekenwaarde betondruksterkte	$f_{cd} = f_{ck} / 1,5$	20 / 1,5	=	13,3
factor voor maximale buigdiameter	tabel 8.1	f =	5	-
minimale buigstraal om niet te hoeven toetsen	$\Phi_m = f \Phi$	5 * 32,0	=	160
resterende verankeringslengte	(l _{bd} - x) =	836,2 - 408,0	=	428,2
verankeringslengte in de bocht	$l_{bocht} = 0,25 \pi (D_{doorn} + \Phi) = 0,25 \pi$	288,0	=	226
verankeringslengte na de bocht	$l_{bd,na\ de\ bocht}$	428,2 - 226	=	202
maat a _b	tussenstaven: de helft van de hoh-afstand	a _b =	35,40	mm
doorsnede staaf	$A = 0,25 \pi \Phi^2$	=	804,2	mm ²
optredende staalspanning	$\sigma_{s,bt} = F_{bt} / 0,25 \pi \Phi^2$	=	124,2	N/mm ²
staafkracht bij het begin van de bocht	$F_{bt} = F * (l_{bd} - x) / l_{bd}$	=	99,9	kN
8.1 minimale buigdiameter	$\Phi_{m,min} = F_{bt} [(1/a_b) + 1 / (2\Phi)] / f_{cd}$	=	329	mm

opmerking: