

## 4 -paalspoer met staafwerkmodellen inclusief controle scheurwijdte,dekking verankeringslengte, ombuigen wapening en dwarskracht

werk **werk**  
 werknummer **werknummer**  
 onderdeel **onderdeel**

rekenwaarde kolombelasting  $F_{Ed} = 3200,13$  kN  
 quasie-permanente waarde  $F_{qp} = 2400$  kN

het eigen gewicht van de poer is  $G_{k,poer} = 219$  kN

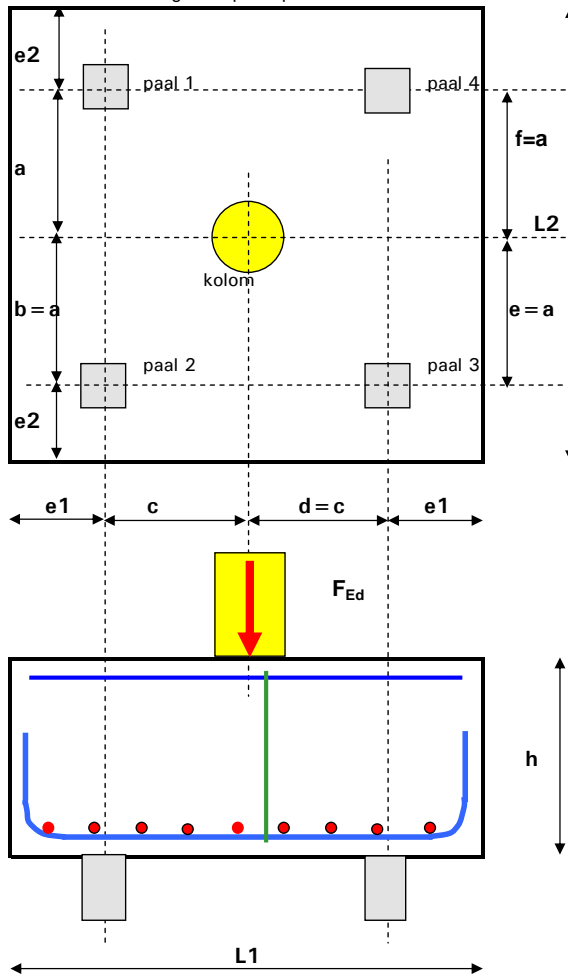
### hoofdmaatvoering

afstand paal 1 - hart kolom  $a = 950$  mm  
 afstand hart kolom - paal 2  $b = a = 950$  mm  
 afstand paal 2- hart kolom  $c = 950$  mm  
 afstand hart kolom - paal 3  $d = c = 950$  mm  
 afstand paal 3 - hart kolom  $e = a = 950$  mm  
 afstand hart kolom - paal 4  $f = a = 950$  mm  
 eindafstand langsrichting  $e1 = 400$  mm  
 eindafstand dwarsrichting  $e2 = 400$  mm

betonhoogte poer  $h = 1200$  mm  
 hoh palen in lengterichting  $l_A = c + d = 1900$  mm  
 hoh palen in breedterichting  $l_B = a + b = 1900$  mm

vorm van de kolom **rechthoekig**  
 afmeting kolom in poerlengte  $L_{kolom} = 650$  mm  
 afmeting loodrecht op poerlengte  $B_{kolom} = 650$  mm  
 puntlast splitsen in twee halve lasten? **ja**  
 vorm van de palen **rond**  
 afmeting paal in poerlengte  $L_{paal} = 500$  mm  
 afmeting loodrecht op poerlengte  $B_{paal} = 500$  mm

schematische weergave 4-paals poer



eigen gewicht poer  $L1 * L2 * h * \gamma_{beton} = 2,7 * 2,7 * 1,2 * 25 = 219$  kN

### beton en wapening

kwaliteit beton **betonklasse** = **C20/25**  
 kwaliteit staal **staalsoort** = **B 500**  
 wapeningsklasse **A, B of C** = **B**

### dekking op de buitenste wapening

betondekking gedrukte zijde (boven)  $C_{drukzijde} = 50$  mm  
 betondekking getrokken zijde (onder)  $C_{trekzijde} = 50$  mm  
 betondekking zijkanten  $C_{zijkant} = 35$  mm

h bundeling wapeningstaven (trekwapening) worden staven d1 gebundeld? = **nee**  
 a ontwerplevensduur = **50** jaar  
 b omgevingsfactoren milieuklasse A = **XC2**  
 b milieuklasse B = **XD1**  
 c soort constructie soort constructie = **poer**  
 d dekking verhogen bij oncontroleerbaarheid van de wapening (geen eis in eurocode) = **nee**  
 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 worden staven d2 gebundeld? = **nee**  
 i kwaliteitsbeheersing is specifieke kwaliteitsbeheersing gewaarborgd? = **nee**  
 j luchtinsluiting luchtinsluiting van meer dan 4% toegepast? = **nee**  
 k verhoging dekking bij toepassing grote staafdiameter ( >25mm) geen eis in eurocode = **nee**



gegevens invloedsfactoren met **berekende** scheurwijdte

k1 aanhechtheigenschap	de aanhechting van de wapeningstaven is	<b>goed</b>
k2 wijze van belasting	de betondoorsnede wordt belast door	buiging
milieuklasse	de milieuklasse van de beton is	<b>b) buitenmilieu - RH = 80%</b>
belasten constructie na aantal dagen	de constructie wordt belast na $t_0$ is	<b>30</b> dagen
cementklasse	de gekozen cementklasse is	<b>N</b>
omtrek dat bloot staat aan uitdroging	het aantal zijden dat aan uitdroging bloot staat is	<b>4 zijden 2b + 2h</b>

**gekozen wapening in de poer per richting**

		in lengterichting poer (balk A)			in breedterichting poer (balk B)			
		diameter	h.o.h.	mm <sup>2</sup> /m	diameter	h.o.h.	mm <sup>2</sup> /m	
wapening aan getrokken zijde ( <b>onderin</b> )	diameter d <sub>1</sub>	<b>20</b>	<b>125</b>	2513	diameter d <sub>1</sub>	<b>20</b>	<b>125</b>	2513
	diameter d <sub>2</sub>			0	diameter d <sub>2</sub>			0
wapening aan gedrukte zijde ( <b>bovenin</b> )	diameter d <sub>3</sub>	<b>12</b>	<b>300</b>	377	diameter d <sub>3</sub>	<b>12</b>	<b>300</b>	377
	diameter d <sub>4</sub>	<b>12</b>	<b>300</b>	377	diameter d <sub>4</sub>	<b>12</b>	<b>300</b>	377
doordiameter omgebogen trekstaven	factor voor ombuiging				=	<b>8</b>	* d <sub>max1,2</sub>	

**aanvullende invoer bij berekening 4-paals poer volgens staafwerkmodellen**

inwendige hefboomsarm z	z =	<b>1100</b>	mm
effectieve breedte wapening in trekband	tussen paal 1-2 en 3-4 b <sub>eff 1-2;3-4</sub> =	<b>600</b>	mm
effectieve breedte wapening in trekband	tussen paal 1-4 en 2-3 b <sub>eff 1-4;2-3</sub> =	<b>600</b>	mm
extra wapening tussen de palen in de derde laag	tussen paal 1-2 en 3-4	aantal	st
		diameter	mm
	tussen paal 1-4 en 2-3	aantal	st
		diameter	mm
wordt er bij de knopen boven de palen voldaan aan één van de randvoorwaarden van artikel 6.5.4(5)		<b>ja</b>	

**unity-checks 4-paals poer met staafwerkmodellen**

**er wordt gerekend met alle trekwapening in één laag**

knoop onder kolom	spanning onder kolom	9,6	/	23,0	<b>0,42</b>	-
	spanning in diagonaal	8,0	/	23,0	<b>0,35</b>	-
knoop bij paal 1	spanning boven paal	4,1	/	10,1	<b>0,40</b>	-
	spanning in diagonaal	5,8	/	10,1	<b>0,58</b>	-

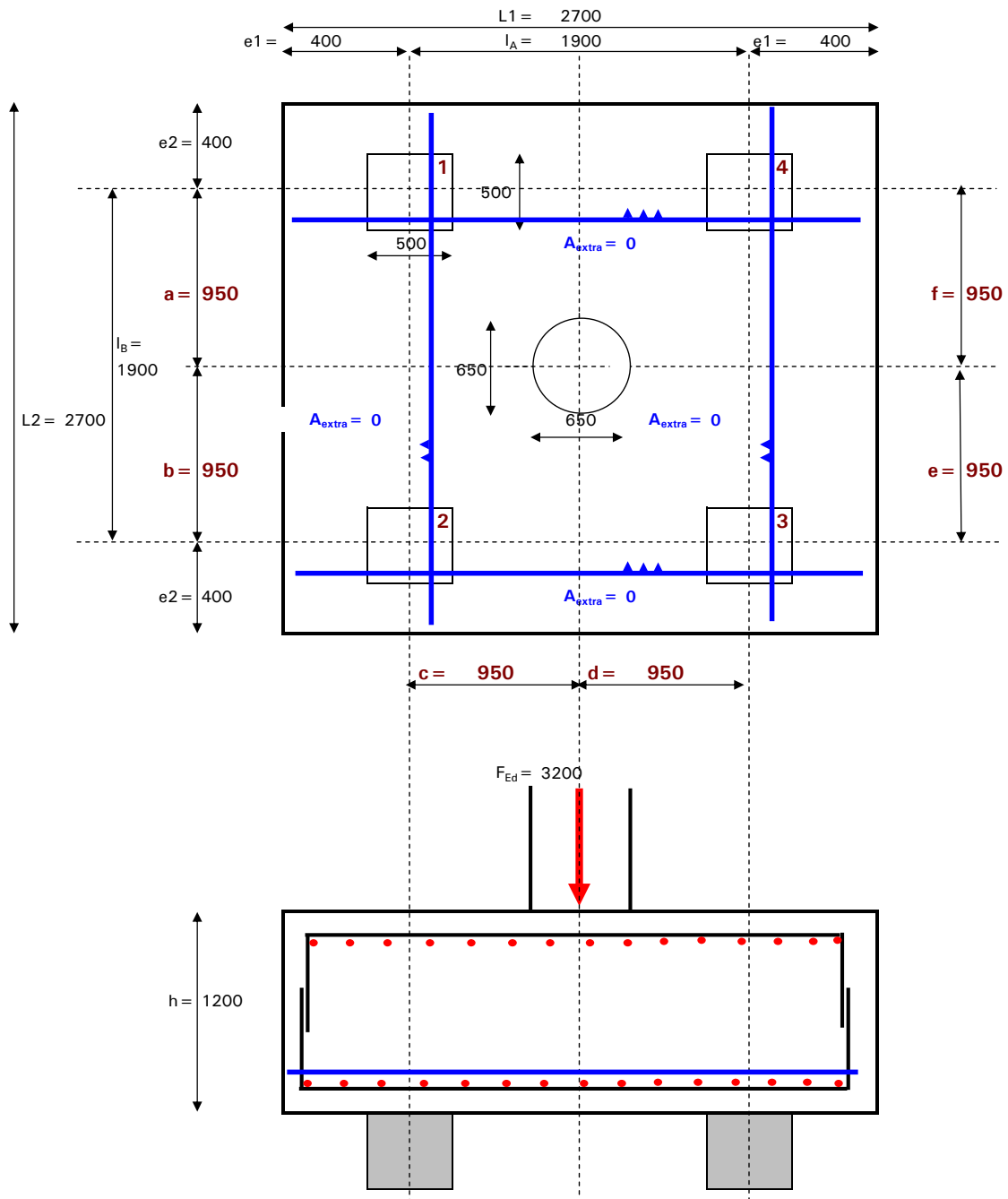
geometrie	hoogte z	1100,0	/	1079,1	=	<b>1,02</b>	-
	hoogte h	1220,9	/	1200,0	=	<b>1,02</b>	-
	positie trekband 1-2	90,3	/	88,0	=	<b>1,03</b>	-
	positie trekband 1-3/2	90,3	/	68,0	=	<b>1,33</b>	-

betondekking C<sub>nom</sub> / C<sub>trekzijde</sub> 45 / 50 = **0,90** -

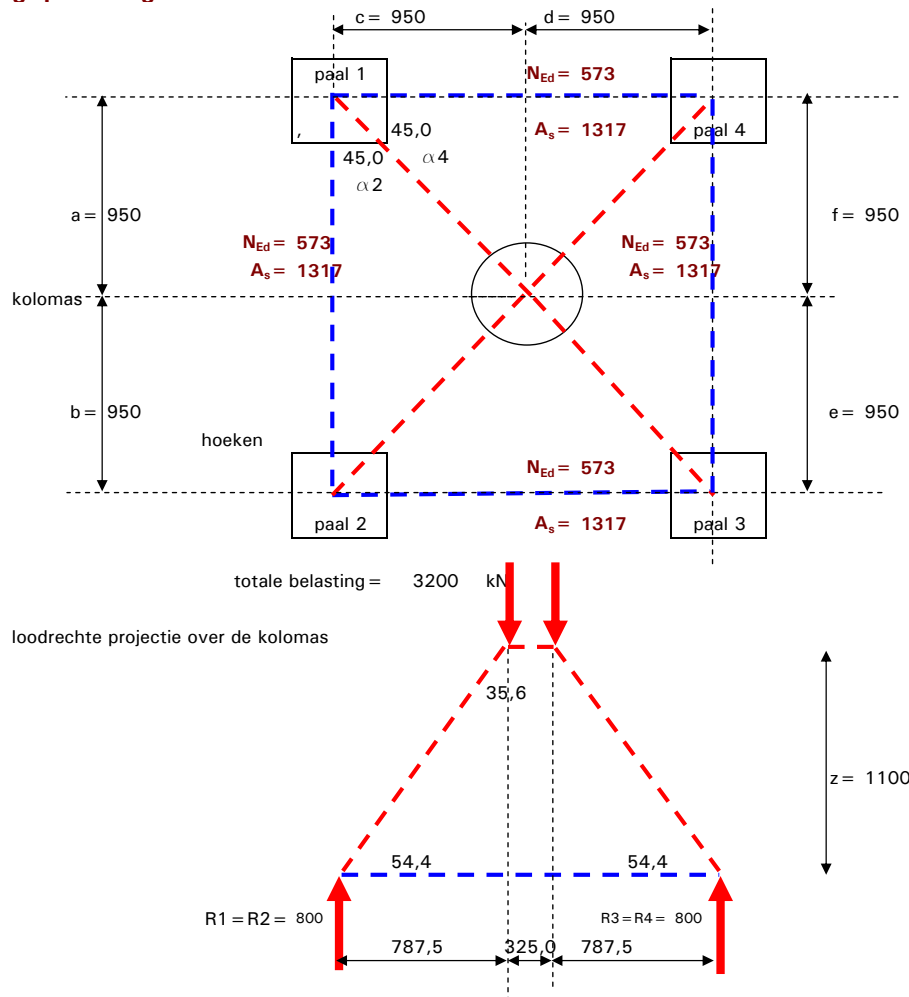
**de trekband ligt te laag, de drukzone in het verankeringsgebied van de trekstaven bezwijkt**

paal 1-2 en 3-4	trekband tussen de palen	A <sub>s,trek</sub> / A <sub>aanw,trek</sub>	1317	/	1508	=	<b>0,87</b>	-
	scheurwijdte zonder berekening	diameter	20,0	/	13,6	=	<b>1,47</b>	-
	scheurwijdte zonder berekening	hart op hart afstand	125	/	167,5	=	<b>0,75</b>	-
	scheurwijdte met berekening	w <sub>k</sub> / w	0,47	/	0,30	=	<b>1,56</b>	-
	verankeringslengte	l <sub>2</sub> / d	264	/	1112	=	<b>0,24</b>	-
	minimum doordiameter	Φ <sub>m,min</sub> / D <sub>doorn</sub>	0	/	160,0	=	<b>0,00</b>	-

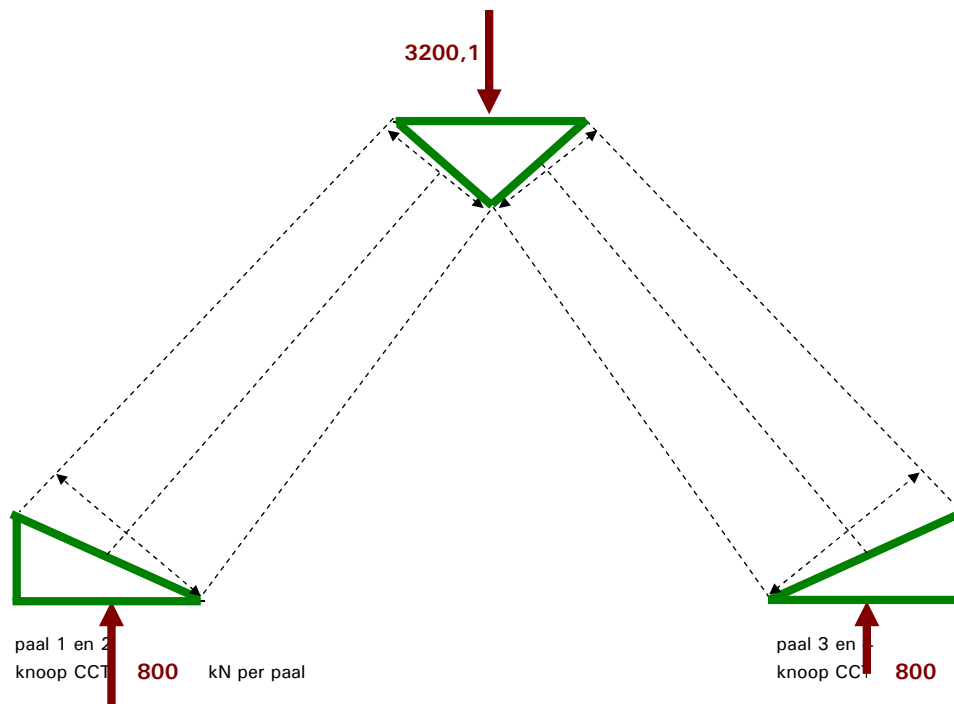
paal 1-4 en 2-3	trekband tussen de palen	A <sub>s,trek</sub> / A <sub>aanw,trek</sub>	1317	/	1508	=	<b>0,87</b>	-
	scheurwijdte zonder berekening	diameter	20,0	/	17,6	=	<b>1,13</b>	-
	scheurwijdte zonder berekening	hart op hart afstand	125	/	216,7	=	<b>0,58</b>	-
	scheurwijdte met berekening	w <sub>k</sub> / w	0,44	/	0,30	=	<b>1,47</b>	-
	verankeringslengte	l <sub>2</sub> / d	264	/	1132	=	<b>0,23</b>	-
	minimum doordiameter	Φ <sub>m,min</sub> / D <sub>doorn</sub>	0	/	160,0	=	<b>0,00</b>	-



### berekening poer volgens de theorie van staafwerkmodellen art. 6.5



paalreacties	paal1 = paal 2 = paal 3 = paal 4 =	3200	/	4	=	800	kN
afstand 1/4 puntlast tot hart kolom in langsrichting	$\delta_{\text{langs}} =$	0,250	*	650	=	163	mm
afstand 1/4 puntlast tot hart kolom in dwarsrichting	$\delta_{\text{dwars}} =$	0,250	*	650	=	163	mm
horizontaal paal 1-hart kolom	$\sqrt{(950^2 + 163^2)}$				=	1344	mm
afstand 1/4 puntlast-hart kolom	$\sqrt{(163^2 + 163^2)}$				=	230	mm
horizontale afstand van hart paal 1 tot 1/4 puntlast		1114				1114	mm
schuine lengte paal 1 tot 1/4 puntlast	$\sqrt{(1114^2 + 1100^2)}$				=	1565	mm
hoek drukdiagonaal tot 1/4 puntlast	$\beta = \text{boogtan}^{-1} \left( \frac{1100}{1114} \right)$				=	44,6	graden
grootte van de schuine drukstaaf bij paal 1	$N_{\text{Ed1schuin}} =$	800	/	$\sin 44,6$	=	1138	kN
omgerekend in het platte vlak	$N_{\text{Ed1horizontaal}} =$	1138	*	$\cos 44,6$	=	810	kN
ontbonden in de richting van de palen 2 en 4							
hoek tussen kolom en paal 2	$\alpha 2 = \text{boogtan}^{-1} \left( \frac{950}{950} \right)$				=	45,0	graden
hoek tussen kolom en paal 4	$\alpha 4 = \text{boogtan}^{-1} \left( \frac{950}{950} \right)$				=	45,0	graden
grootte van de horizontale trekstaven tussen de palen							
tussen paal 1-2 en 3-4	$N_{\text{Ed1-2}} =$	810	$\cos 45,0$		=	573	kN
tussen paal 1-4 en 2-3	$N_{\text{Ed1-4}} =$	810	$\cos 45,0$		=	573	kN



### controles

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

### controle knoop onder de kolom type CCC

opmerking (6) knopen onder drie-assige druk mogen zijn gecontroleerd met formules 3.24 en 3.25

**CCC-knoop werkend in meer dan één vlak**

op druk belaste knopen waar geen trekstaven zijn verankerd en in 3 richtingen de belastingverdeling bekend is

reductiefactor afhankelijk van knoopbelasting  $k_4$  (volgens NB) = 3,00 -

6.60 drukspanning	$\sigma_{Rd,max,1} = \alpha k_1 v' f_{cd}$	=	13,3	N/mm <sup>2</sup>
bovengrens druksterkte	$\sigma_{Rd,max} \leq k_4 v' f_{cd}$	=	36,8	N/mm <sup>2</sup>

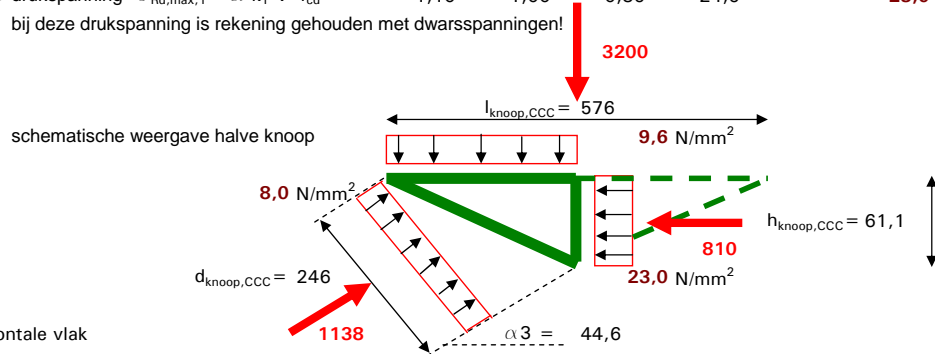
3.1.9 omsloten beton verhoogde spanning bij drie-assige drukspanning. (Van toepassing op de knoop direct onder de kolom spanning in dwarsrichting is de kleinste waarde van  $\sigma_{Rd,max,1} = \alpha k_1 v' f_{cd}$  en de spanning direct onder de kolom

$$3.24 \text{ voor } \sigma_2 \leq 0,05 f_{ck} \quad f_{ck,e} = f_{ck} (1,00 + 5,0 \sigma_2 / f_{ck}) = 20 \left( 1,00 + 5, \frac{9,6}{20} \right) = 68,2 \text{ N/mm}^2$$

$$3.25 \text{ voor } \sigma_2 > 0,05 f_{ck} \quad f_{ck,c} = f_{ck} (1,125 + 2,5 \sigma_2 / f_{ck}) = 20 \left( 1,125 + 2, \frac{9,6}{20} \right) = 46,6 \text{ N/mm}^2$$

grenswaarde  $0,05 f_{ck}$   $0,05 \cdot 20 = 1 \text{ N/mm}^2$  maatgevend = 46,6 N/mm<sup>2</sup>  
 deze waarde moet kleiner zijn dan  $\sigma_{Rd,max} \leq k_4 v' f_{cd}$   $36,8 \text{ N/mm}^2$  reken dus met:  $f_{ck,c} = 36,8 \text{ N/mm}^2$

- 3.15 rekenwaarde betondruksterkte  $f_{cd} = f_{ck,c} / 1,5 = 36,8 / 1,5 = 24,5 \text{ N/mm}^2$   
 6.57 sterktereductiefactor  $v' = (1 - f_{ck,c} / 250) : (1 - 36,8 / 250) = 0,85$   
 6.60 drukspanning  $\sigma_{Rd,max,1} = \alpha k_1 v' f_{cd} = 1,10 \cdot 1,00 \cdot 0,85 \cdot 24,5 = 23,0 \text{ N/mm}^2$   
 bij deze drukspanning is rekening gehouden met dwarsspanningen!



horizontale vlak

normaalkracht uit kolom				$F_{Ed} = 3200 \text{ kN}$
oppervlak kolom	0,785	650	650	$= 3318 \cdot 10^2 \text{ cm}^2$
drukspanning direct onder kolom	$3200 / 10^3$	$3318 / 10^2$		$= 9,6 \text{ N/mm}^2$
toetsing drukspanning onder kolom	9,6		23,0	$= 0,42$

vertikale vlak

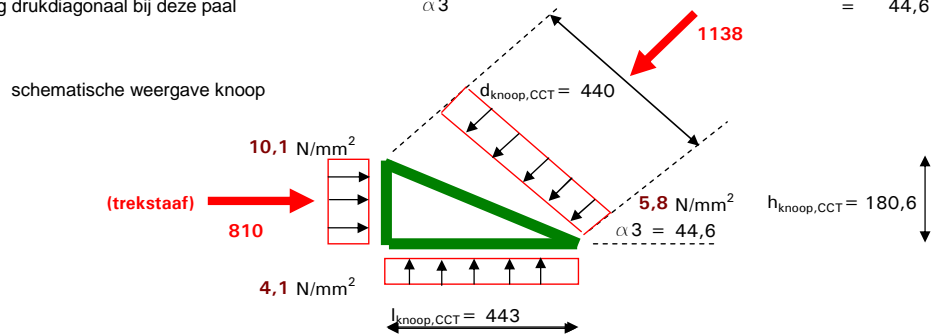
normaalkracht = grootste trekkracht van in het grondvlak geprojecteerde trekband				$T_{Ed} = 810 \text{ kN}$
breedte van CCC-knoop onder kolom	$b_{knoop,CCC}$	equivalente afmeting		$= 576 \text{ mm}$
minimaal benodigde hoogte CCC-knoop	810	$10^3 / 576$	23,0	$= 61,1 \text{ mm}$

schuine vlak met diagonaal naar paal 1

schuine lengte knoop CCC	$\sqrt{288^2 + 61,1^2}$			$= 294,4 \text{ mm}$
hoek knoop CCC met horizontaal	$\arctan(61,1 / 288,0)$			$= 12,0 \text{ graden}$
hoek contactvlak en loodrechte van drukdiagonaal bij CCC	90,0	-	56,6	$= 33,4 \text{ graden}$
werkelijke lengte drukvlak bij CCC	294,4	$\cos$	33,4	$= 245,9 \text{ mm}$
normaalkracht in drukdiagonaal				$D_{Ed,1} = 1138,5 \text{ kN}$
drukspanning in diagonaal bij CC	$1138,5 / 10^3$	$(245,9 / 576)$		$= 8,0 \text{ N/mm}^2$
toetsing drukdiagonaal bij CCC	8,0		23,0	$= 0,35$

controle knoop bij paal 1, type CTT

- 6.62 drukspanning  $\sigma_{Rd,max,3} = \alpha k_3 v' f_{cd} = 1,10 \cdot 0,75 \cdot 0,92 \cdot 13,3 = 10,1 \text{ N/mm}^2$   
 helling drukdiagonaal bij deze paal  $\alpha_3 = 44,6 \text{ graden}$



horizontale vlak

normaalkracht = reactie paal				$R_{Ed,1} = 800,0 \text{ kN}$
breedte van CCT-knoop boven paal	$b_{knoop,CCT}$	equivalente afmeting		$= 443 \text{ mm}$
oppervlak paal	0,785	500	500	$= 1963 \cdot 10^2 \text{ cm}^2$
drukspanning direct boven de paal	$800,0 / 10^3$	$1963 / 10^2$		$= 4,1 \text{ N/mm}^2$
toetsing drukspanning boven paal	4,1		10,1	$= 0,40$

vertikale vlak

normaalkracht = trekkracht in trekband tgv de horizontaal ontbonden kracht in de druki				$T_{Ed} = 810,0 \text{ kN}$
equivalente breedte	$b_{knoop,CCT}$	equivalente afmeting		$= 443 \text{ mm}$
minimaal benodigde hoogte CCT-knoop	810,0	$10^3 / 443$	10,1	$= 180,6 \text{ mm}$



**schuine vlak**

schuine lengte knoop CCT	$\sqrt{443^2 + 180,6^2}$	=	478,5	mm
hoek knoop CCT met horizontaal	$\arctan(180,6 / 443,1)$	=	22,2	graden
hoek contactvlak en loodrechte van drukdiagonaal	$22,2 - 45,4$	=	-23,2	graden
werkelijke lengte drukvlak	$478,5 \cos -23,2$	=	439,9	mm
normaalkracht = drukdiagonaal		$D_{Ed,1} =$	1138,5	kN
drukspanning in diagonaal	$1138,5 \cdot 10^3 / (439,9 \cdot 443)$	=	5,8	N/mm <sup>2</sup>
toetsing drukdiagonaal	$5,8 / 10,1$	=	0,58	-

**controle trekstaaf tussen paal 1-2**

trekkracht in trekband		$b_{eff} =$	600	mm
benodigde trekwapening	$A_{s1,2} = 573 \cdot 10^3 / 435$	$T_{Ed} =$	572,7	kN
basisnet: A + B	$= 2513 + 0$	=	1317	mm <sup>2</sup>
toetsing trekband	$1317 / (0,600 \cdot 2513 + 0)$	=	2513	mm <sup>2</sup> /m'
		=	0,87	-

**controle trekstaaf tussen paal 1-4**

trekkracht in trekband		$b_{eff} =$	600	mm
benodigde trekwapening	$A_{s1,2} = 573 \cdot 10^3 / 435$	$T_{Ed} =$	572,7	kN
basisnet: A + B	$= 2513 + 0$	=	1317	mm <sup>2</sup>
toetsing trekband	$1317 / (0,600 \cdot 2513 + 0)$	=	2513	mm <sup>2</sup> /m'
		=	0,87	-

**controle inwendige hefboomsarm z en totale poerhoogte**

geschatte hoogte van de inwendige hefboomsarm z		=	1100	mm
toelaatbare hoogte z paal 1-2	$1200 - (61,1 + 180,6) / 2$	=	1079	mm
toetsing geschatte hoogte z	$1100 / 1079$	=	1,02	-
minimaal benodigde poerhoogte	$1100 + 30,5 + 90,3$	=	1221	mm
toetsing totale hoogte h	$1221 / 1200$	=	1,02	-

**controle ligging trekband (staal) tov drukkracht in beton**

hartmaat verticale vlak van CCT knoop t.o.v. onderzijde poer	$180,6 / 2$	=	90,3	mm
hart trekband (staal) paal 1-2 en 3-4 tot ok	$50 + 8 + 20 + 10$	=	88,0	mm
hart trekband (staal) paal 1-4 en 2-3 tot ok	$50 + 8 + 10$	=	68,0	mm
toetsing positie trekband paal 1-2	$90,3 / 88,0$	=	1,03	-
toetsing positie trekband paal 1-3 en 2-3	$90,3 / 68,0$	=	1,33	-

**opmerking:**