

RN-2296-02**Nazicht draagkracht voorgespannen welfsels
en dakplaat in gewapend beton
Noordelijk gelegen Parking - Rauschenbergplein****REVISIES**

NR.	DATUM	BESCHRIJVING WIJZIGINGEN
-	27/03/2017	Basisversie

Opgemaakt door:

S.C.E.S. nv
Canadaring 30
8310 Brugge (Assebroek)

ir. D. Stael

ir. K. Van Den Driessche

ing. P. Dewaele

Datum: 27/03/2016

Inhoud

1	ONDERWERP	3
2	DRAAGKRACHT VOORGESPANNEN WELFSELS	3
3	DRAAGKRACHT PLAAT IN GEWAPEND BETON	5
4	DRAAGKRACHT BALK IN GEWAPEND BETON	6

BIJLAGES

1 ONDERWERP

In deze nota gaan we na wat de draagkracht is van de voorgespannen welfsels, gewapend betonplaat en gewapende betonbalken op basis van de via destructief onderzoek bepaalde dikte van welfsels + druklaag of betonplaat, samenstelling en positie van de voorspanwapening of passieve wapening en wapening betonbalken boven de garagepoorten. Een overzicht van de proefresultaten van dit destructief onderzoek is terug te vinden in [bijlage 1](#).

Aan de hand van een aantal boringen werd een inschatting gemaakt van de samenstelling en het gewicht van de bedekking.

2 DRAAGKRACHT VOORGESPANNEN WELFSELS

We verwijzen naar [bijlage 2](#) voor de draagkrachtberekeningen van de welfsels die de rijzone tussen de garageboxen overspannen met een overspanningslengte van ± 7.10 m.

De opgemeten dikte welfsels + druklaag bedraagt $16 + 7$ of $17 + 6$ cm. De betonkwaliteit van welfsels en druklaag is onbekend. Voor de welfsels wordt betonkwaliteit C35/45 aangenomen. Ook indien slechts C30/37 zou uitgevoerd zijn, zullen de sterktekaracteristieken in de periode na 28 dagen na de betonstort nog toegenomen zijn tot deze van C35/45. Voor de druklaag wordt 1 cm minder dikte gerekend dan opgemeten, ter compensatie van de wellicht lagere betonkwaliteit van de druklaag.

Per meter zijn 5 voorspandraden diam 5 mm + 7 voorspandraden diam 7 mm voorzien met een gemiddelde betondekking van 25 à 30 mm (we rekenen met 30 mm). De staalkwaliteit is onbekend, voor voorspandraden met de hier toegepaste diameters geldt in principe $f_{pk} = 1\ 570$ à $1\ 770$ N/mm², we rekenen veiligheidshalve met $f_{pk} = 1\ 570$ N/mm².

Het toelaatbare draagvermogen hangt af van wat als toelaatbare trekspanning in de ondervezel van het welfsel aangenomen wordt. Voor welfsels uitgevoerd volgens de hedendaagse normen en kwaliteitscontroles is dit in principe de gemiddelde druksterkte f_{ctm} voor de zeldzame belastingscombinaties. Voor welfsels uit begin jaren '80 is aanname van de karakteristieke treksterkte $f_{ctk0.05}$ wellicht meer aangewezen, toen werd zelfs vaak gerekend zonder decompressie van de ondervezel.

We vinden volgend **nuttig draagvermogen** (= vaste + mobiele overlast, dus exclusief gewicht welfsels + druklaag) voor de welfsels met overspanningslengte 7.10 m en $f_{pk} = 1\ 570$ N/mm²:

	welfsels 160 mm + 60 mm	welfsels 170 mm + 50 mm
bepierking trekspanning in ondervezel tot f_{ctm} (gemiddelde treksterkte beton) in GGT zc	5.66 kN/m ²	6.33 kN/m ²
bepierking trekspanning in ondervezel tot $f_{ctk0.05}$ (karakteristieke treksterkte beton) in GGT zc	4.79 kN/m ²	5.43 kN/m ²

Als inschatting van de vaste overlast vinden we:

- Klinkers:
0.08 m x 24 kN/m³ = 1.92 kN/m²
- Stabilisé
0.08 m x 17.50 kN/m³ = 1.40 kN/m²
- *waterdichting op dakplaat*
0.24 kN/m²
- *totaal*
3.56 kN/m²

De toelaatbare mobiele overlast bedraagt dus (voor $f_{pk} = 1\ 570\ \text{N/mm}^2$):

	welfsels 160 mm + 60 mm	welfsels 170 mm + 50 mm
beperving trekspanning in ondervezel tot f_{ctm} (gemiddelde treksterkte beton) in GGT zc	2.10 kN/m ²	2.77 kN/m ²
beperving trekspanning in ondervezel tot $f_{ctk0.05}$ (karakteristieke treksterkte beton) in GGT zc	1.23 kN/m ²	1.87 kN/m ²

Een analoge berekening met aanname dat voorspandraden met een hogere karakteristieke treksterkte $f_{pk} = 1\ 770\ \text{N/mm}^2$ werden toegepast (wat desgevallend aangetoond dient te worden met trekproeven op enkele voorspandraden), leidt tot volgende toelaatbare mobiele overlast:

	welfsels 160 mm + 60 mm	welfsels 170 mm + 50 mm
beperving trekspanning in ondervezel tot f_{ctm} (gemiddelde treksterkte beton) in GGT zc	3.14 kN/m ²	3.81 kN/m ²
beperving trekspanning in ondervezel tot $f_{ctk0.05}$ (karakteristieke treksterkte beton) in GGT zc	2.27 kN/m ²	2.90 kN/m ²

Conclusie

De toelaatbare mobiele overlast op de welfsels is kleiner dan de vereiste 4 kN/m² voor een publiek toegankelijk dak / tennisveld, zelfs indien voorspandraden met de hoogste karakteristieke treksterkte $f_{pk} = 1\ 770\ \text{N/mm}^2$ zouden toegepast zijn.

In bijlage 4 is een overzicht opgenomen met de aanduiding van de toelaatbare mobiele overlast op de dakplaat. De waarden tussen haakjes zijn de berekende waarden volgens de huidige norm (met hoge kwaliteitseisen voor de betonconstructie, hetgeen in de constructieperiode nog niet het geval was).

3 DRAAGKRACHT PLAAT IN GEWAPEND BETON

We verwijzen naar bijlage 3 voor de draagkrachtberekeningen van de gewapend betonplaat die de garageboxen zelf overspant van zijmuur naar zijmuur met een overspanningslengte van ± 2.90 m.

De opgemeten plaatdikte bedraagt 11 cm en 16 cm.

Als onderwapening is diam 10 alle 208 cm voorzien met een gemiddelde betondekking van 30 mm. De staalkwaliteit is onbekend. Voor het gekartelde betonstaal is dit BE 400 of BE 500, we rekenen veiligheidshalve met $f_{yk} = 400$ N/mm².

Als inschatting van de vaste overlast vinden we:

- Klinkers:
 $0.08 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 1.92 \text{ kN/m}^2$
- Stabilisé
 $0.08 \text{ m} \times 17.50 \text{ kN/m}^3 = 1.4 \text{ kN/m}^2$
Of $0.06 \text{ m} \times 17.50 \text{ kN/m}^3 = 1.05 \text{ kN/m}^2$
- *waterdichting op dakplaat*
 0.24 kN/m^2
- *totaal*
 3.56 kN/m^2 of 3.21 kN/m^2

Als mobiele overlast wordt 4 kN/m^2 aangenomen.

Voor een maximaal aangrijpend buigend moment in UGT van

$$M_{Ed} = [1.35 \times (0.16 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 + 3.56 \text{ kN/m}^2) + 1.50 \times 4 \text{ kN/m}^2] \times (2.90 \text{ m})^2 / 8 = 17.04 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed} = [1.35 \times (0.11 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 + 3.21 \text{ kN/m}^2) + 1.50 \times 4 \text{ kN/m}^2] \times (2.90 \text{ m})^2 / 8 = 14.76 \text{ kNm/m}$$

vinden we een noodzakelijke trekwapeningssectie van $3.96 \text{ cm}^2/\text{m}$ (predal 16cm) en $5.86 \text{ cm}^2/\text{m}$ (predal 11cm). Voorzien is **diam 10 alle 20 cm** ($= 3.93 \text{ cm}^2/\text{m}$), wat dus onvoldoende is.

De maximale betondrukspanning is aanvaardbaar voor betonkwaliteit C25/30.

Conclusie

Voor de dakplaat in gewapend beton is de vereiste mobiele overlast van 4.00 kN/m^2 voor een publiek toegankelijk dak onvoldoende

Voor predallen dikte 16cm: maximaal mobiele overlast: 3.91 kN/m^2

Voor predallen dikte 11cm: maximale mobiele overlast: 1.10 kN/m^2

4 DRAAGKRACHT BALK IN GEWAPEND BETON

We verwijzen naar bijlage 5 voor de berekening van de draagkracht van de betonnen balken boven de garagepoorten. Aan de hand van de opgemeten onder- en beugelwapening kunnen we de opneembare draagkracht van de balken bepalen.

Langswapening:

De onderwapening bestaat uit 1 diameter 16mm + 2 diameter 10mm. Dit zorgt voor een totale wapeningssectie van 3.59 cm².

Met deze langswapening kan er een aangrijpend moment van 34.90 kNm opgenomen worden.

Omrekenend naar de draagkracht volgt:

$$34.90 \text{ kNm} \times 8 / 2.95^2 \Rightarrow \text{Lijnbelasting van } 32.08 \text{ kN/m}$$

Als men het eigen gewicht van de betonbalk in mindering brengt komt men op een lijnbelasting van 30.58 kN/m. Rekenend houden met een overspanning van de welfsels van 7.1 m komt men op een algemeen belasting van 861 kN/m²

Indien de vaste overlast (eigen gewicht welfsels = 400 kg/m²) en vast overlast afwerking (364kg/m²) in mindering brengt vermenigvuldigd met veiligheid 1.35:

$$1.35 \times (400+356) = 1020.6 \text{ kN/m}^2 > 861 \text{ kN/m}^2 \text{ met als gevolg dat het } \underline{\text{draagvermogen reeds ontoereikend is voor de vaste overlast.}}$$

De gegeven mobiele overlasten cfr. plan 11 van de platen is onder voorbehoud van een volledig destructief onderzoek van de betonbalken boven de steunpunten (betonwanden) om alle wapening van de balken te kunnen opmeten/bepalen - Vaststellen indien de balken statisch of hyperstatisch opgebouwd zijn, e.a.. Bijkomend moeten we opmerken dat de prefabbalken waar de welfsels opliggen niet conform zijn volgens de huidige norm van prefab volgens WTCB en niet conform is volgens huidige Eurocodes. (o.a. opleg van de prefabbalken op de betonwanden is niet voldoende)

Beugelwapening:

De beugelwapening bestaat uit diameter 8 alle 15cm.

Bepaling hoogte console: (dwarskracht 3600 kg/m)

$$d = \frac{6.149 F_{vd}}{b f_{cd}} + 0.4367 a = \frac{6.149 \times 3600 \times 1.4}{100 \times 250 \times 1.5} + 0.4367 \times 7 = 4.92 \text{ cm}$$

$$h = d/0.9 = > 4.92 / 0.9 = 5.46 \text{ cm} > 10 \text{ cm} : \text{ok}$$

Bepaling dwarskrachtwapening:

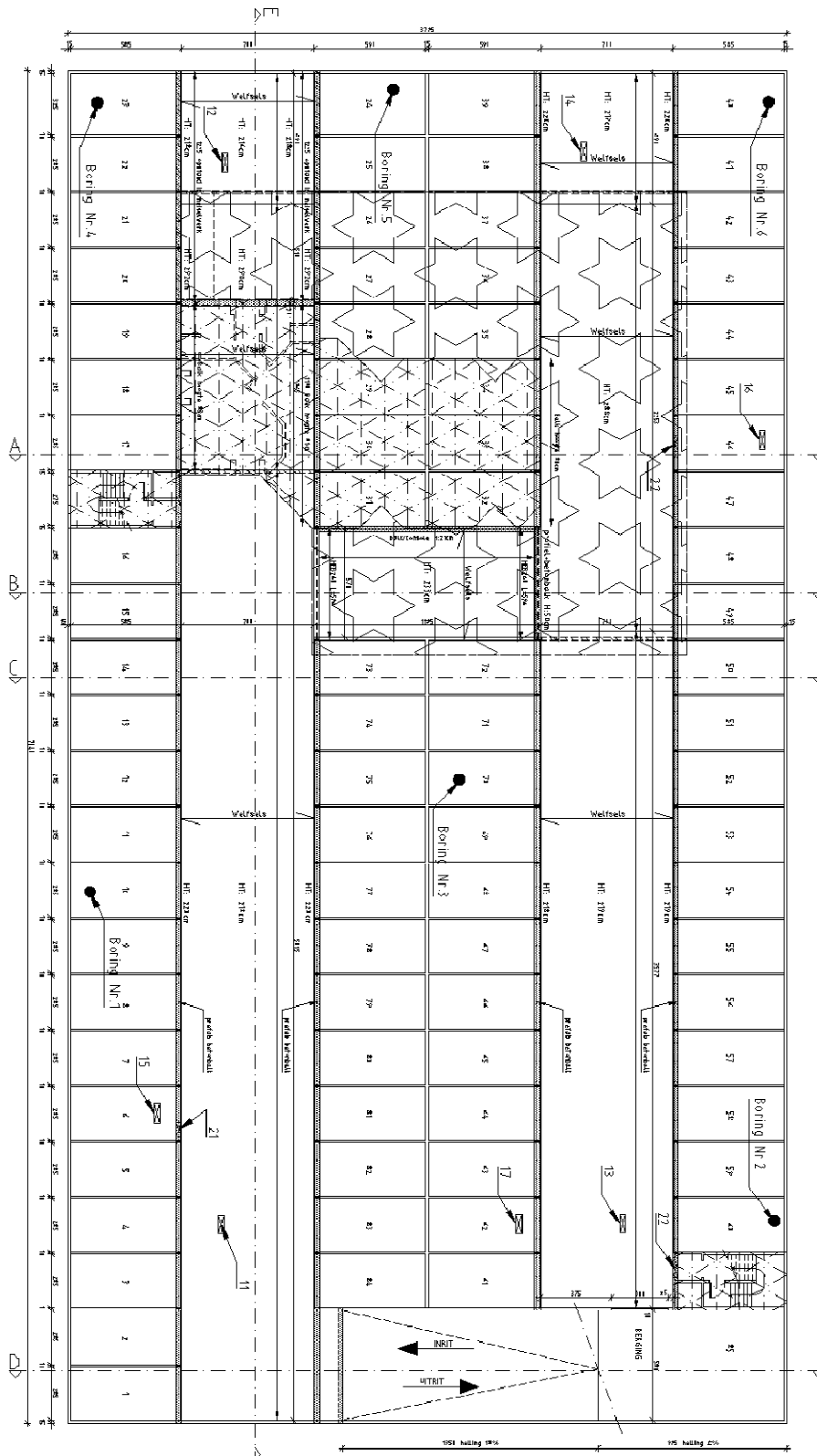
$$A_s = \frac{\alpha_c F_{vd} + F_{hd}(z+h_c-d)}{z f_{yd}} = \frac{7 \times 3600 \times 1.4 + 0.2 \times 3600 \times 1.4 \times (0.8 \times 0.9 \times 10 + 10 - 9)}{0.8 \times 0.9 \times 10 \times 4000 / 1.15} = 1.74 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} > \emptyset 8 \text{ alle } 15 \text{ cm} : \text{ok}$$

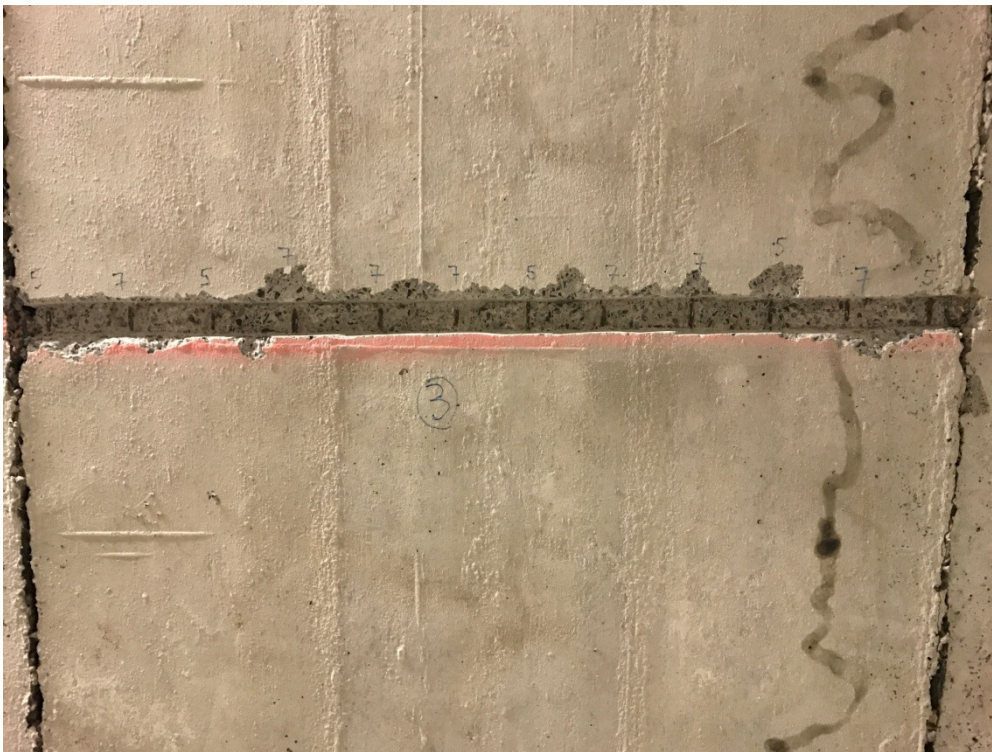
Zowel de consolehoogte als de dwarswapening is voldoende om het draagvermogen bepaald in punt 2: "Draagkracht voorgespannen welfsels op te nemen"

Bijlage 1

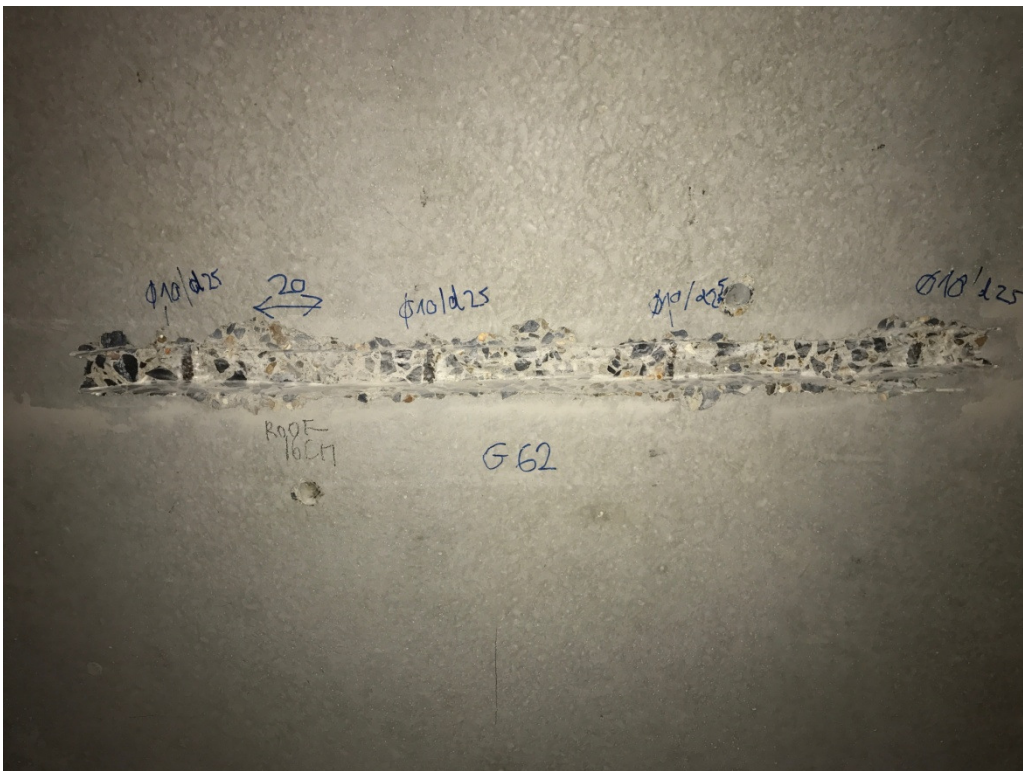
Overzicht proefresultaten destructief onderzoek

Inplanting destructief onderzoek
(Zie ook plan SCES: plan 2296/11)

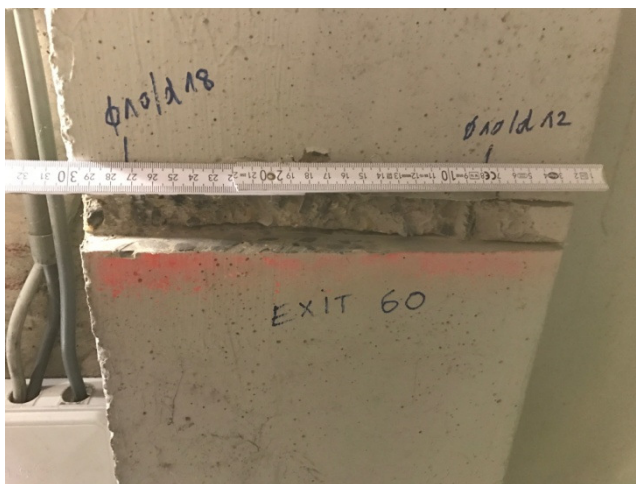




Analyse welfsels. Zie destructief onderzoek nrs.: 11,12,13,14



Analyse predallen. Zie destructief onderzoek nrs.: 15,16,17



Analyse balken. Zie destructief onderzoek nrs.: 21, 22, 23

Boringen - Destructief Onderzoek			
Nr.	Dikte Klinkers (cm)	Dikte zandcement (cm)	Totale dikte dakpakket (cm) boven dichting
1	8	6	14
2	8	6	14
3	8	8	16
4	7	12	19
5	7	40	47
6	7	17	24

Analyse 4 welfsels en 3 betonplaten - Destructief Onderzoek				
Nr.	Type	Samenstelling wapening	Dikte welfsels + druklaag	Gemiddelde dekking
11	Welfsel	diameter 577577575775	23 cm	20 mm
12	Welfsel	diameter 577577575775	23 cm	20 mm
13	Welfsel	diameter 577577575775	23 cm	20 mm
14	Welfsel	diameter 577577575775	23 cm	20 mm
15	Betonplaat	diameter 10mm alle 20cm	11 cm	25 mm
16	Betonplaat	diameter 10mm alle 20cm	16 cm	30 mm
17	Betonplaat	diameter 10mm alle 20cm	16 cm	25 mm

Analyse 3 Balken - Destructief onderzoek			
Nr.	Samenstelling onderwapening	Beugels	Gemiddelde dekking
21	1x ϕ 16 + 2x ϕ 10mm	ϕ 8 alle 15cm	20 mm
22	1x ϕ 16 + 2x ϕ 10mm	ϕ 8 alle 15cm	20 mm
23	1x ϕ 16 + 2x ϕ 10mm	ϕ 8 alle 15cm	20 mm

Bijlage 2

Berekening draagkracht voorgespannen welfsels

Nazichtsberekening draagkracht welfsels dakplaat ondergrondse parkeergarage Priorijlaan Westende (onder Rauschenbergplein)

27/03/2017

Geometrie

breedte welfsels	b	1 000	mm
dikte welfsels	h	160	mm
dikte druklaag	d	60	mm
totale dikte	h_{tot}	220	mm
overspanningslengte	L	7 100	mm

Betonkwaliteit

karakteristieke druksterkte	f_{ck}	35	N/mm ²
gemiddelde treksterkte	f_{ctm}	3.21	N/mm ²
karakteristieke treksterkte	$f_{ctk0.05}$	2.25	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	E_{cm}	34 077	N/mm ²
kruihfactor	φ	1.50	

Voorspandraden per welfsel

eerste serie

aantal draden diam 5	n_1	5	stuk
diameter	$diam_1$	5	mm
dwarsdoorsnede	A_{p1}	19.63	mm ²

tweede serie

aantal draden	n_2	7	stuk
diameter	$diam_2$	7	mm
dwarsdoorsnede	A_{p2}	38.48	mm ²

betondekking	c	25	mm
--------------	---	----	----

karakteristieke treksterkte	f_{pk}	1 570	N/mm ²
initiële voorspanning na overdracht op het beton	σ_{pm0}	1 146	N/mm ²
initiële voorspankracht na overdracht op beton	P_{m0}	421.27	kN
reductiefactor tijdsafhankelijke voorspanverliezen	η	0.80	
uiteindelijke voorspanning na krimp, kruip en relaxatie	$\sigma_{pm\infty}$	917	N/mm ²
uiteindelijke voorspankracht	P_{∞}	337.01	kN

Inschatting weerstands- en traagheidsmoment eerste fasedoorsnede

Verhouding weerstandsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

Structo EC/130/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 1993)
 Condeco 100 cm x 14 cm (1994)

I/v ₂ met holtes	I/v ₂ zonder holtes	ver- houding
3 007 975	3 380 000	0.89
4 400 320	5 120 000	0.86
4 328 194	5 120 000	0.85
2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding weerstandsmoment bovenvezel welfsel zonder vs. met holtes

	I/v_1 met holtes	I/v_1 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2 856 316	3 380 000	0.85
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	4 196 679	5 120 000	0.82
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	4 208 673	5 120 000	0.82
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding traagheidsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

	I met holtes	I zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	190 462 000	219 700 000	0.87
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	343 687 000	409 600 000	0.84
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	341 407 700	409 600 000	0.83
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	206 699 500	228 666 667	0.90

aangenomen verhouding weerstandsmoment ondervezel
aangenomen verhouding weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen verhouding traagheidsmoment

0.85
0.82
0.83

aangenomen weerstandsmoment ondervezel
aangenomen weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen traagheidsmoment

I/v_2 3 606 828 mm^3
 I/v_1 3 497 233 mm^3
 I 284 506 417 mm^4

Inschatting ligging neutrale vezel welfsel t.o.v. ondervezel

Verhouding v_2 zonder vs. met holtes

	v_2 met holtes	v_2 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	63.32	65	0.974
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	78.11	80	0.976
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	78.88	80	0.986

aangenomen verhouding v_2

0.974

aangenomen v_2

v_2 77.93 mm

Inschatting eigen gewicht eerste fase doorsnede

Verhouding eigen gewicht element zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.05	3.90	0.53
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.30	4.80	0.48
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.29	4.80	0.48

Verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.17	3.90	0.56
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.42	4.80	0.50
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.41	4.80	0.50

aangenomen verhouding eigen gewicht element
aangenomen verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag

0.48
0.48

aangenomen eigen gewicht element	g	1.91	
aangenomen eigen gewicht vloer zonder druklaag	g	1.92	

Dwarsdoorsnede

eerste fase	A_1	76 667	mm ²
tweede fase	A_{tot}	136 667	mm ²

Weerstandsmoment tweede fase doorsnede

traagheidsmoment tweede fase	I_{tot}	725 229 621	mm ⁴
afstand neutrale vezel tot ondervezel	v_{tot}	127.13	mm

Aangrijpende belasting

eigen gewicht (eerste fase)	g	3.42	kN/m
lijnlust vaste overlast (tweede fase)	p	3.56	kN/m
lijnlust veranderlijke overlast (tweede fase)	q	2.10	kN/m

Spanningsnazicht ondervezel welfsel (na tijdsafh. verliezen)

trekspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ_g	5.97	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ_p	-9.01	N/mm ²
trekspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ_p	3.93	N/mm ²
trekspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ_q	2.32	N/mm ²
totale trekspanning in ondervezel	σ_{tot}	3.21	N/mm ²

σ_{tot}	3.21	N/mm ²
$\leq f_{ct0.05} =$	2.25	neen
$\leq f_{ctm} =$	3.21	OK

Spanningsnazicht bovenvezel welfsel (zonder tijdsafh. verliezen)

drukspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ_g	-6.16	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ_p	0.46	N/mm ²
drukspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ_p	-1.02	N/mm ²
drukspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ_q	-0.60	N/mm ²
totale drukspanning in bovenvezel	σ_{tot}	-7.31	N/mm ²

σ_{tot}	-7.31	N/mm ²
$> 0.5 f_{ck} =$	-17.50	N/mm ²
		OK

Maximale doorbuiging

initieel

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y_g	11.66	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y_p	-10.83	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y_p	4.77	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y_q	2.81	mm
totale doorbuiging	y_{tot}	8.41	mm
		= L /	844

na kruip

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y_g	29.15	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y_p	-27.07	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y_p	11.92	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y_q	2.81	mm
totale doorbuiging	y_{tot}	16.81	mm
		= L /	422

Nazichtsberekening draagkracht welfsels dakplaat ondergrondse parkeergarage Priorijlaan Westende (onder Rauschenbergplein)

20/06/2016

Geometrie

breedte welfsels	b	1 000	mm
dikte welfsels	h	160	mm
dikte druklaag	d	60	mm
totale dikte	h_{tot}	220	mm
overspanningslengte	L	7 100	mm

Betonkwaliteit

karacteristieke druksterkte	f_{ck}	35	N/mm ²
gemiddelde treksterkte	f_{ctm}	3.21	N/mm ²
karacteristieke treksterkte	$f_{ctk0.05}$	2.25	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	E_{cm}	34 077	N/mm ²
kruihfactor	φ	1.50	

Voorspandraden per welfsel

eerste serie

aantal draden diam 5	n_1	5	stuks
diameter	diam ₁	5	mm
dwarsdoorsnede	A_{p1}	19.63	mm ²

tweede serie

aantal draden	n_2	7	stuks
diameter	diam ₂	7	mm
dwarsdoorsnede	A_{p2}	38.48	mm ²

betondekking	c	25	mm
--------------	---	----	----

karacteristieke treksterkte	f_{pk}	1 570	N/mm ²
initiële voorspanning na overdracht op het beton	σ_{pm0}	1 146	N/mm ²
initiële voorspankracht na overdracht op beton	P_{m0}	421.27	kN
reductiefactor tijdsafhankelijke voorspanverliezen	η	0.80	
uiteindelijke voorspanning na krimp, kruip en relaxatie	$\sigma_{pm\infty}$	917	N/mm ²
uiteindelijke voorspankracht	P_{∞}	337.01	kN

Inschatting weerstands- en traagheidsmoment eerste fasedoorsnede

Verhouding weerstandsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

Structo EC/130/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 1993)
 Condeco 100 cm x 14 cm (1994)

I/v_2 met holtes	I/v_2 zonder holtes	ver- houding
3 007 975	3 380 000	0.89
4 400 320	5 120 000	0.86
4 328 194	5 120 000	0.85
2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding weerstandsmoment bovenvezel welfsel zonder vs. met holtes

	I/v_1 met holtes	I/v_1 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2 856 316	3 380 000	0.85
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	4 196 679	5 120 000	0.82
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	4 208 673	5 120 000	0.82
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding traagheidsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

	I met holtes	I zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	190 462 000	219 700 000	0.87
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	343 687 000	409 600 000	0.84
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	341 407 700	409 600 000	0.83
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	206 699 500	228 666 667	0.90

aangenomen verhouding weerstandsmoment ondervezel
aangenomen verhouding weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen verhouding traagheidsmoment

0.85
0.82
0.83

aangenomen weerstandsmoment ondervezel
aangenomen weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen traagheidsmoment

I/v_2 3 606 828 mm³
 I/v_1 3 497 233 mm³
 I 284 506 417 mm⁴

Inschatting ligging neutrale vezel welfsel t.o.v. ondervezel

Verhouding v_2 zonder vs. met holtes

	v_2 met holtes	v_2 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	63.32	65	0.974
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	78.11	80	0.976
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	78.88	80	0.986

aangenomen verhouding v_2

0.974

aangenomen v_2

v_2 77.93 mm

Inschatting eigen gewicht eerste fase doorsnede

Verhouding eigen gewicht element zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.05	3.90	0.53
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.30	4.80	0.48
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.29	4.80	0.48

Verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.17	3.90	0.56
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.42	4.80	0.50
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.41	4.80	0.50

aangenomen verhouding eigen gewicht element
aangenomen verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag

0.48
0.48

aangenomen eigen gewicht element	g	1.91	
aangenomen eigen gewicht vloer zonder druklaag	g	1.92	

Dwarsdoorsnede

eerste fase	A ₁	76 667	mm ²
tweede fase	A _{tot}	136 667	mm ²

Weerstandsmoment tweede fase doorsnede

traagheidsmoment tweede fase	I _{tot}	725 229 621	mm ⁴
afstand neutrale vezel tot ondervezel	v _{tot}	127.13	mm

Aangrijpende belasting

eigen gewicht (eerste fase)	g	3.42	kN/m
lijnlast vaste overlast (tweede fase)	p	3.56	kN/m
lijnlast veranderlijke overlast (tweede fase)	q	1.23	kN/m

Spanningsnazicht ondervezel welfsel (na tijdsafh. verliezen)

trekspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ _g	5.97	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ _p	-9.01	N/mm ²
trekspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ _p	3.93	N/mm ²
trekspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ _q	1.36	N/mm ²
totale trekspanning in ondervezel	σ _{tot}	2.25	N/mm ²

σ _{tot}	2.25	N/mm ²
≤ f _{ct0.05} =	2.25	ja
≤ f _{ctm} =	3.21	OK

Spanningsnazicht bovenvezel welfsel (zonder tijdsafh. verliezen)

drukspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ _g	-6.16	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ _p	0.46	N/mm ²
drukspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ _p	-1.02	N/mm ²
drukspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ _q	-0.35	N/mm ²
totale drukspanning in bovenvezel	σ _{tot}	-7.06	N/mm ²

σ _{tot}	-7.06	N/mm ²
> 0.5 f _{ck} =	-17.50	N/mm ²
		OK

Maximale doorbuiging

initieel

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y _g	11.66	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y _p	-10.83	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y _p	4.77	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y _q	1.65	mm
totale doorbuiging	y _{tot}	7.25	mm
		= L /	980

na kruip

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y _g	29.15	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y _p	-27.07	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y _p	11.92	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y _q	1.65	mm
totale doorbuiging	y _{tot}	15.65	mm
		= L /	454

Nazichtsberekening draagkracht welfsels dakplaat ondergrondse parkeergarage Priorijlaan Westende (onder Rauschenbergplein)

20/06/2016

Geometrie

breedte welfsels	b	1 000	mm
dikte welfsels	h	170	mm
dikte druklaag	d	50	mm
totale dikte	h_{tot}	220	mm
overspanningslengte	L	7 100	mm

Betonkwaliteit

karacteristieke druksterkte	f_{ck}	35	N/mm ²
gemiddelde treksterkte	f_{ctm}	3.21	N/mm ²
karacteristieke treksterkte	$f_{ctk0.05}$	2.25	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	E_{cm}	34 077	N/mm ²
kruihfactor	φ	1.50	

Voorspandraden per welfsel

eerste serie

aantal draden diam 5	n_1	5	stuks
diameter	diam ₁	5	mm
dwarsdoorsnede	A_{p1}	19.63	mm ²

tweede serie

aantal draden	n_2	7	stuks
diameter	diam ₂	7	mm
dwarsdoorsnede	A_{p2}	38.48	mm ²

betondekking

c	25	mm
---	----	----

karacteristieke treksterkte	f_{pk}	1 570	N/mm ²
initiële voorspanning na overdracht op het beton	σ_{pm0}	1 146	N/mm ²
initiële voorspankracht na overdracht op beton	P_{m0}	421.27	kN
reductiefactor tijdsafhankelijke voorspanverliezen	η	0.80	
uiteindelijke voorspanning na krimp, kruip en relaxatie	$\sigma_{pm\infty}$	917	N/mm ²
uiteindelijke voorspankracht	P_{∞}	337.01	kN

Inschatting weerstands- en traagheidsmoment eerste fasedoorsnede

Verhouding weerstandsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

Structo EC/130/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 1993)
 Condeco 100 cm x 14 cm (1994)

I/v_2 met holtes	I/v_2 zonder holtes	ver- houding
3 007 975	3 380 000	0.89
4 400 320	5 120 000	0.86
4 328 194	5 120 000	0.85
2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding weerstandsmoment bovenvezel welfsel zonder vs. met holtes

	I/v_1 met holtes	I/v_1 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2 856 316	3 380 000	0.85
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	4 196 679	5 120 000	0.82
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	4 208 673	5 120 000	0.82
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding traagheidsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

	I met holtes	I zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	190 462 000	219 700 000	0.87
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	343 687 000	409 600 000	0.84
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	341 407 700	409 600 000	0.83
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	206 699 500	228 666 667	0.90

aangenomen verhouding weerstandsmoment ondervezel
aangenomen verhouding weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen verhouding traagheidsmoment

0.85
0.82
0.83

aangenomen weerstandsmoment ondervezel
aangenomen weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen traagheidsmoment

I/v_2 4 071 771 mm³
 I/v_1 3 948 048 mm³
 I 341 254 889 mm⁴

Inschatting ligging neutrale vezel welfsel t.o.v. ondervezel

Verhouding v_2 zonder vs. met holtes

	v_2 met holtes	v_2 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	63.32	65	0.974
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	78.11	80	0.976
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	78.88	80	0.986

aangenomen verhouding v_2

0.974

aangenomen v_2

v_2 82.80 mm

Inschatting eigen gewicht eerste fase doorsnede

Verhouding eigen gewicht element zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.05	3.90	0.53
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.30	4.80	0.48
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.29	4.80	0.48

Verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.17	3.90	0.56
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.42	4.80	0.50
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.41	4.80	0.50

aangenomen verhouding eigen gewicht element
aangenomen verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag

0.48
0.48

aangenomen eigen gewicht element	g	2.03	
aangenomen eigen gewicht vloer zonder druklaag	g	2.04	

Dwarsdoorsnede

eerste fase	A_1	81 458	mm ²
tweede fase	A_{tot}	131 458	mm ²

Weerstandsmoment tweede fase doorsnede

traagheidsmoment tweede fase	I_{tot}	741 684 747	mm ⁴
afstand neutrale vezel tot ondervezel	v_{tot}	125.48	mm

Aangrijpende belasting

eigen gewicht (eerste fase)	g	3.29	kN/m
lijnlast vaste overlast (tweede fase)	p	3.56	kN/m
lijnlast veranderlijke overlast (tweede fase)	q	2.77	kN/m

Spanningsnazicht ondervezel welfsel (na tijdsafh. verliezen)

trekspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ_g	5.09	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ_p	-8.63	N/mm ²
trekspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ_p	3.80	N/mm ²
trekspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ_q	2.95	N/mm ²
totale trekspanning in ondervezel	σ_{tot}	3.20	N/mm ²

$\leq f_{ct0.05} =$	2.25	neen
$\leq f_{ctm} =$	3.21	OK

Spanningsnazicht bovenvezel welfsel (zonder tijdsafh. verliezen)

drukspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ_g	-5.25	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ_p	0.62	N/mm ²
drukspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ_p	-1.35	N/mm ²
drukspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ_q	-1.05	N/mm ²
totale drukspanning in bovenvezel	σ_{tot}	-7.02	N/mm ²

$> 0.5 f_{ck} =$	-17.50	N/mm ²
		OK

Maximale doorbuiging

initieel

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y_g	9.35	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y_p	-9.92	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y_p	4.66	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y_q	3.63	mm
totale doorbuiging	y_{tot}	7.72	mm
		= L /	920

na kruip

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y_g	23.38	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y_p	-24.79	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y_p	11.65	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y_q	3.63	mm
totale doorbuiging	y_{tot}	13.86	mm
		= L /	512

Nazichtsberekening draagkracht welfsels dakplaat ondergrondse parkeergarage Priorijlaan Westende (onder Rauschenbergplein)

20/06/2016

Geometrie

breedte welfsels	b	1 000	mm
dikte welfsels	h	170	mm
dikte druklaag	d	50	mm
totale dikte	h_{tot}	220	mm
overspanningslengte	L	7 100	mm

Betonkwaliteit

karacteristieke druksterkte	f_{ck}	35	N/mm ²
gemiddelde treksterkte	f_{ctm}	3.21	N/mm ²
karacteristieke treksterkte	$f_{ctk0.05}$	2.25	N/mm ²
elasticiteitsmodulus	E_{cm}	34 077	N/mm ²
kruihfactor	φ	1.50	

Voorspandraden per welfsel

eerste serie

aantal draden diam 5	n_1	5	stuks
diameter	diam ₁	5	mm
dwarsdoorsnede	A_{p1}	19.63	mm ²

tweede serie

aantal draden	n_2	7	stuks
diameter	diam ₂	7	mm
dwarsdoorsnede	A_{p2}	38.48	mm ²

betondekking	c	25	mm
--------------	---	----	----

karacteristieke treksterkte	f_{pk}	1 570	N/mm ²
initiële voorspanning na overdracht op het beton	σ_{pm0}	1 146	N/mm ²
initiële voorspankracht na overdracht op beton	P_{m0}	421.27	kN
reductiefactor tijdsafhankelijke voorspanverliezen	η	0.80	
uiteindelijke voorspanning na krimp, kruip en relaxatie	$\sigma_{pm\infty}$	917	N/mm ²
uiteindelijke voorspankracht	P_{∞}	337.01	kN

Inschatting weerstands- en traagheidsmoment eerste fasedoorsnede

Verhouding weerstandsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

Structo EC/130/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 2010)
 Structo DC/160/1200 (editie 1993)
 Condeco 100 cm x 14 cm (1994)

I/v_2 met holtes	I/v_2 zonder holtes	ver- houding
3 007 975	3 380 000	0.89
4 400 320	5 120 000	0.86
4 328 194	5 120 000	0.85
2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding weerstandsmoment bovenvezel welfsel zonder vs. met holtes

	I/v_1 met holtes	I/v_1 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2 856 316	3 380 000	0.85
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	4 196 679	5 120 000	0.82
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	4 208 673	5 120 000	0.82
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	2 952 850	3 266 667	0.90

Verhouding traagheidsmoment ondervezel welfsel zonder vs. met holtes

	I met holtes	I zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	190 462 000	219 700 000	0.87
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	343 687 000	409 600 000	0.84
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	341 407 700	409 600 000	0.83
Condeco 100 cm x 14 cm (1994)	206 699 500	228 666 667	0.90

aangenomen verhouding weerstandsmoment ondervezel
aangenomen verhouding weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen verhouding traagheidsmoment

0.85

0.82

0.83

aangenomen weerstandsmoment ondervezel
aangenomen weerstandsmoment bovenvezel
aangenomen traagheidsmoment

I/v_2 4 071 771 mm³

I/v_1 3 948 048 mm³

I 341 254 889 mm⁴

Inschatting ligging neutrale vezel welfsel t.o.v. ondervezel

Verhouding v_2 zonder vs. met holtes

	v_2 met holtes	v_2 zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	63.32	65	0.974
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	78.11	80	0.976
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	78.88	80	0.986

aangenomen verhouding v_2

0.974

aangenomen v_2

v_2 82.80 mm

Inschatting eigen gewicht eerste fase doorsnede

Verhouding eigen gewicht element zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.05	3.90	0.53
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.30	4.80	0.48
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.29	4.80	0.48

Verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag zonder vs. met holtes

	g met holtes	g zonder holtes	ver- houding
Structo EC/130/1200 (editie 2010)	2.17	3.90	0.56
Structo DC/160/1200 (editie 2010)	2.42	4.80	0.50
Structo DC/160/1200 (editie 1993)	2.41	4.80	0.50

aangenomen verhouding eigen gewicht element

0.48

aangenomen verhouding eigen gewicht vloer zonder druklaag

0.48

aangenomen eigen gewicht element	g	2.03	
aangenomen eigen gewicht vloer zonder druklaag	g	2.04	

Dwarsdoorsnede

eerste fase	A_1	81 458	mm ²
tweede fase	A_{tot}	131 458	mm ²

Weerstandsmoment tweede fase doorsnede

traagheidsmoment tweede fase	I_{tot}	741 684 747	mm ⁴
afstand neutrale vezel tot ondervezel	v_{tot}	125.48	mm

Aangrijpende belasting

eigen gewicht (eerste fase)	g	3.29	kN/m
lijnlast vaste overlast (tweede fase)	p	3.56	kN/m
lijnlast veranderlijke overlast (tweede fase)	q	1.87	kN/m

Spanningsnazicht ondervezel welfsel (na tijdsafh. verliezen)

trekspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ_g	5.09	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ_p	-8.63	N/mm ²
trekspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ_p	3.80	N/mm ²
trekspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ_q	1.99	N/mm ²
totale trekspanning in ondervezel	σ_{tot}	2.24	N/mm ²

$\leq f_{ct0.05} =$	2.25	ja
$\leq f_{ctm} =$	3.21	OK

Spanningsnazicht bovenvezel welfsel (zonder tijdsafh. verliezen)

drukspanning t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	σ_g	-5.25	N/mm ²
drukspanning t.g.v. voorspanning (eerste fase)	σ_p	0.62	N/mm ²
drukspanning t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	σ_p	-1.35	N/mm ²
drukspanning t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	σ_q	-0.71	N/mm ²
totale drukspanning in bovenvezel	σ_{tot}	-6.68	N/mm ²

$> 0.5 f_{ck} =$	-17.50	N/mm ²
		OK

Maximale doorbuiging

initieel

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y_g	9.35	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y_p	-9.92	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y_p	4.66	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y_q	2.45	mm
totale doorbuiging	y_{tot}	6.54	mm
		= L /	1 085

na kruip

t.g.v. eigen gewicht (eerste fase)	y_g	23.38	mm
t.g.v. voorspanning (eerste fase)	y_p	-24.79	mm
t.g.v. vaste overlast (tweede fase)	y_p	11.65	mm
t.g.v. veranderlijke overlast (tweede fase)	y_q	2.45	mm
totale doorbuiging	y_{tot}	12.69	mm
		= L /	560

Bijlage 3

Berekening draagkracht plaat in gewapend beton

Berekening langswapening bij enkelvoudige buiging in UGT

Plaat met dikte 16 cm (algemeen)

Aangrijpend moment

M_{Ed} 17.04 kNm aangrijpend moment

Afmetingen dwarsdoorsnede

b 100 cm breedte
 d 13.0 cm nuttige hoogte

Betondruksterkte

f_{ck} 25 N/mm²
 γ_c 1.50
 f_{cd} 17 N/mm²

Vloegrens wapeningsstaal

f_{yk} 400 N/mm²
 γ_s 1.15
 f_{yd} 348 N/mm²

Optimale nuttige hoogte

d_{opt} 8.02 cm [$d_{opt} = 2.507 \times (M_{Sd} / b / f_{cd})^{0.5}$]

Minimale nuttige hoogte zonder drukwapening

μ_{lim} 0.200 [$\mu_{lim} = 0.280 - 0.005 f_{yk} / f_{ck}$]
 $d_{min,zdw}$ 7.15 cm [$d_{min,zdw} = (M_{Ed} / b / f_{cd} / \mu_{lim})^{0.5}$]
< d ? **OK**

Gereduceerd moment

μ_d 0.060 [$\mu_d = M_{Ed} / (b d^2 f_{cd})$]

Bezwijkmechanisme

uitputting wapeningsstaal

Mechanische wapeningsverhouding

ω 0.064

Vervormingstoestand

ξ 0.132
 x 1.7 cm
 ϵ_{c2} 1.52 ‰
 ϵ_s 10.00 ‰

Theoretisch noodzakelijke trekwapening

A_s 3.96 cm² [$A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd}$]

Berekening langswapening bij enkelvoudige buiging in UGT

Plaat met dikte 11 cm

Aangrijpend moment

M_{Ed} 14.76 kNm aangrijpend moment

Afmetingen dwarsdoorsnede

b 100 cm breedte
 d 8.0 cm nuttige hoogte

Betondruksterkte

f_{ck} 25 N/mm²
 γ_c 1.50
 f_{cd} 17 N/mm²

Vloegrens wapeningsstaal

f_{yk} 400 N/mm²
 γ_s 1.15
 f_{yd} 348 N/mm²

Optimale nuttige hoogte

d_{opt} 7.46 cm [$d_{opt} = 2.507 \times (M_{sd} / b / f_{cd})^{0.5}$]

Minimale nuttige hoogte zonder drukwapening

μ_{lim} 0.200 [$\mu_{lim} = 0.280 - 0.005 f_{yk} / f_{ck}$]
 $d_{min,zdw}$ 6.65 cm [$d_{min,zdw} = (M_{Ed} / b / f_{cd} / \mu_{lim})^{0.5}$]
< d ? **OK**

Gereduceerd moment

μ_d 0.138 [$\mu_d = M_{Ed} / (b d^2 f_{cd})$]

Bezwijkmechanisme

uitputting wapeningsstaal

Mechanische wapeningsverhouding

ω 0.153

Vervormingstoestand

ξ 0.231
 x 1.8 cm
 ϵ_{c2} 3.00 ‰
 ϵ_s 10.00 ‰

Theoretisch noodzakelijke trekwapening

A_s 5.85 cm² [$A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd}$]

Bijlage 4

Toelaatbare mobiele overlast

Bijlage 5

Berekening draagkracht balk in gewapend beton

Berekening langswapening - UGT

Balk

Aangrijpend moment

M_{Ed} 34.90 kNm aangrijpend moment

Afmetingen dwarsdoorsnede

b 30 cm breedte
 d 29.5 cm nuttige hoogte

Betondruksterkte

f_{ck} 25 N/mm²
 γ_c 1.50
 f_{cd} 17 N/mm²

Vloei grens wapeningsstaal

f_{yk} 400 N/mm²
 γ_s 1.15
 f_{yd} 348 N/mm²

Optimale nuttige hoogte

d_{opt} 20.95 cm [$d_{opt} = 2.507 \times (M_{Ed} / b / f_{cd})^{0.5}$]

Minimale nuttige hoogte zonder drukwapening

μ_{lim} 0.200 [$\mu_{lim} = 0.280 - 0.005 f_{yk} / f_{ck}$]
 $d_{min,zdw}$ 18.68 cm [$d_{min,zdw} = (M_{Ed} / b / f_{cd} / \mu_{lim})^{0.5}$]
< d ? **OK**

Gereduceerd moment

μ_d 0.080 [$\mu_d = M_{Ed} / (b d^2 f_{cd})$]

Mechanische wapeningsverhouding

ω 0.085 [$\omega = 0.828 (1 - (1 - 2.417 \mu_d)^{0.5})$]

Theoretisch noodzakelijke trekwapening

A_s 3.59 cm² [$A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd}$]

$\leq A_{s,voorzien}$ 3.59 cm² ? **OK**