Dag in dag uit
ritueel in de architectuur

Rijsmus, N.A.

Award date:
2011

Dag in Dag uit: Ritueel in de Architectuur

Nathaniel A. Rijsmus

Bijlagen

Afstudeerverslag van Nathaniel Antonius Rijsmus voor het afronden van de Masterfase van de studie voor Bouwkundig Ingenieur aan de faculteit Bouwkunde van de TU/e, afstudeerrichting Constructief Ontwerpen en Architectuur

Student

N.A. Rijsmus BBE

0592584

Kruizemunthof 3

Barendrecht

n.a.rijsmus@student.tue.nl

06-49674697

Leden van de afstudeercommissie

dr. ir. S.P.G. Moonen (voorzitter)

ir. J.P.A. Schevers

prof. ir. J. Westra

Externe begeleider

prof. ir. J.P.T. Dekkers

Datum

7-01-2011

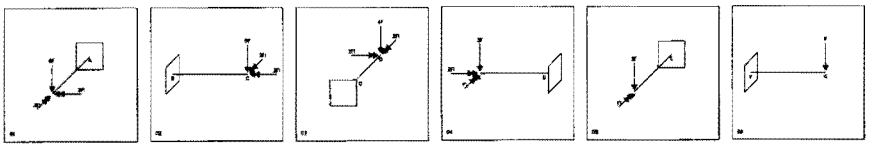
Inhoud

Ongesteunde Helix

Gesteunde Helix

1.1 Dwarskracht en Moment

Dwarskracht en moment t.g.v.
puntlast, buigend moment en wringend moment



01

$$D_A = 6F$$
$$M_{Ax} = M_{Ax,pl} + M_{Ax,bm} + M_{Ax,wm} = 0 + 0 + 3Fl = 3Fl$$
$$M_{Ay} = M_{Ay,pl} + M_{Ay,bm} + M_{Ay,wm} = (6F)l - 2Fl + 0 = 4Fl$$

02

$$D_B = 5F$$
$$M_{Bx} = M_{Bx,pl} + M_{Bx,bm} + M_{Bx,wm} = (5F)l - 2Fl + 0 = 3Fl$$
$$M_{By} = M_{By,pl} + M_{By,bm} + M_{By,wm} = 0 + 0 - 2Fl = -2Fl$$

03

$$D_C = 4F$$
$$M_{Cx} = M_{Cx,pl} + M_{Cx,bm} + M_{Cx,wm} = 0 + 0 - 2Fl = -2Fl$$
$$M_{Cy} = M_{Cy,pl} + M_{Cy,bm} + M_{Cy,wm} = -(4F)l + 2Fl + 0 = -2Fl$$

04

$$D_D = 3F$$
$$M_{Dx} = M_{Dx,pl} + M_{Dx,bm} + M_{Dx,wm} = -(3F)l + Fl + 0 = -2Fl$$
$$M_{Dy} = M_{Dy,pl} + M_{Dy,bm} + M_{Dy,wm} = 0 + 0 + 2Fl = 2Fl$$

05

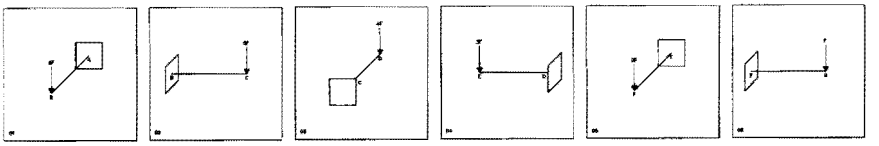
$$D_E = 2F$$
$$M_{Ex} = M_{Ex,pl} + M_{Ex,bm} + M_{Ex,wm} = 0 + 0 + Fl = Fl$$
$$M_{Ey} = M_{Ey,pl} + M_{Ey,bm} + M_{Ey,wm} = (2F)l + 0 + 0 = 2Fl$$

06

$$
\begin{aligned}
D_F & & & = F \\
M_{Fx} & = M_{Fx,pl} + M_{Fx,bm} + M_{Fx,wm} & = (F)l + 0 + 0 & = Fl \\
M_{Fy} & = M_{Fy,pl} + M_{Fy,bm} + M_{Fy,wm} & = 0 + 0 + 0 & = 0
\end{aligned}
$$

1.2 Translatie en Rotatie

Rotatie en translatie t.g.v. puntlast (moment)



01

$$\varphi_{Bx,plm} = 0$$

$$\varphi_{By,plm} = \frac{(6F)l^2}{2EI} = 3\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{Bz,plm} = \frac{(6F)l^3}{3EI} = 2\frac{Fl^3}{EI}$$

02

$$\varphi_{Cx,plm} = \frac{(5F)l^2}{2EI} = 2\frac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{Cy,plm} = 0$$

$$w_{Cz,plm} = \frac{(5F)l^3}{3EI} = 1\frac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$

03

$$\varphi_{Dx,plm} = 0$$

$$\varphi_{Dy,plm} = -\frac{(4F)l^2}{2EI} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{Dz,plm} = \frac{(4F)l^3}{3EI} = 1\frac{1}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$

04

$$\varphi_{Ex,plm} = -\frac{(3F)l^2}{2EI} = -1\frac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{Ey,plm} = 0$$

$$w_{Ez,plm} = \frac{(3F)l^3}{3EI} = \frac{Fl^3}{EI}$$

05

$$\varphi_{Fx,plm} = 0$$

$$\varphi_{Fy,plm} = \frac{(2F)l^2}{2EI} = \frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{Fz,plm} = \frac{(2F)l^3}{3EI} = \frac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$

06

$$\varphi_{Gx,plm} = \frac{(F)l^2}{2EI} = \frac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{Gy,plm} = 0$$

$$w_{Gz,plm} = \frac{(F)l^3}{3EI} = \frac{1}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$

Totale rotatie en translatie t.g.v. puntlast (moment)

$$\varphi_{BTx,plm} = \varphi_{Bx,plm} = 0$$

$$\varphi_{BTy,plm} = \varphi_{By,plm} = 3\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{BTz,plm} = w_{Bz,plm} = 2\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{CTx,plm} = \varphi_{Bx,plm} + \varphi_{Cx,plm} = \left(0 + 2\tfrac{1}{2}\right)\frac{Fl^2}{EI} = 2\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{CTy,plm} = \varphi_{By,plm} + \varphi_{Cy,plm} = \left(3 + 0\right)\frac{Fl^2}{EI} = 3\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{CTz,plm} = w_{Bz,plm} + w_{Cz,plm} = \left(2 + 1\tfrac{2}{3}\right)\frac{Fl^3}{EI} = 3\tfrac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{DTx,plm} = \varphi_{Bx,plm} + \varphi_{Cx,plm} + \varphi_{Dx,plm} = \left(0 + 2\tfrac{1}{2} + 0\right)\frac{Fl^2}{EI} = 2\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{DTy,plm} = \varphi_{By,plm} + \varphi_{Cy,plm} + \varphi_{Dy,plm} = \left(3 + 0 - 2\right)\frac{Fl^2}{EI} = \frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{DTz,plm} = w_{Bz,plm} + w_{Cz,plm} + w_{Dz,plm} = \left(2 + 1\tfrac{2}{3} + 1\tfrac{1}{3}\right)\frac{Fl^3}{EI} = 5\frac{Fl^3}{EI}$$

8

$$\varphi_{ETx,plm} = \varphi_{Bx,plm} + \varphi_{Cx,plm} + \varphi_{Dx,plm} + \varphi_{Ex,plm} = \left(0 + 2\tfrac{1}{2} + 0 - 1\tfrac{1}{2}\right)\frac{Fl^2}{EI} = \frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{ETy,plm} = \varphi_{By,plm} + \varphi_{Cy,plm} + \varphi_{Dy,plm} + \varphi_{Ey,plm} = \left(3 + 0 - 2 + 0\right)\frac{Fl^2}{EI} = \frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{ETz,plm} = \varphi_{Bz,plm} + \varphi_{Cz,plm} + \varphi_{Dz,plm} + \varphi_{Ez,plm} = \left(2 + 1\tfrac{2}{3} + 1\tfrac{1}{3} + 1\right)\frac{Fl^3}{EI} = 6\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{FTx,plm} = \varphi_{Bx,plm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,plm} = \left(0 + 2\tfrac{1}{2} + 0 - 1\tfrac{1}{2} + 0\right)\frac{Fl^2}{EI} = \frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{FTy,plm} = \varphi_{By,plm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,plm} = \left(3 + 0 - 2 + 0 + 1\right)\frac{Fl^2}{EI} = 2\frac{Fl^2}{EI}$$

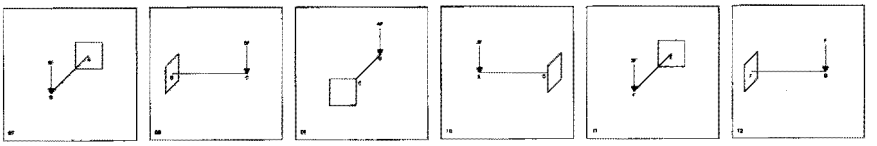
$$w_{FTz,plm} = \varphi_{Bz,plm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fz,plm} = \left(2 + 1\tfrac{2}{3} + 1\tfrac{1}{3} + 1 + \tfrac{2}{3}\right)\frac{Fl^3}{EI} = 6\tfrac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{GTx,plm} = \varphi_{Bx,plm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,plm} + \varphi_{Gx,plm} = \left(0 + 2\tfrac{1}{2} + 0 - 1\tfrac{1}{2} + 0 + \tfrac{1}{2}\right)\frac{Fl^2}{EI} = 1\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{GTy,plm} = \varphi_{By,plm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,plm} + \varphi_{Gy,plm} = \left(3 + 0 - 2 + 0 + 1 + 0\right)\frac{Fl^2}{EI} = 2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{GTz,plm} = \varphi_{Bz,plm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fz,plm} + \varphi_{Gz,plm} = \left(2 + 1\tfrac{2}{3} + 1\tfrac{1}{3} + 1 + \tfrac{2}{3} + \tfrac{1}{3}\right)\frac{Fl^3}{EI} = 7\frac{Fl^3}{EI}$$

Rotatie en translatie t.g.v. puntlast (dwarskracht)



07

$$\varphi_{Bx,pld} = 0$$

$$\varphi_{By,pld} = \frac{(6F)}{GA} = 6\frac{F}{GA}$$

$$w_{Bz,pld} = \frac{(6F)l}{GA} = 6\frac{Fl}{GA}$$

08

$$\varphi_{Cx,pld} = \frac{(5F)}{GA} = 5\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{Cy,pld} = 0$$

$$w_{Cz,pld} = \frac{(5F)l}{GA} = 5\frac{Fl}{GA}$$

09

$$\varphi_{Dx,pld} = 0$$

$$\varphi_{Dy,pld} = -\frac{(4F)}{GA} = -4\frac{F}{GA}$$

$$w_{Dz,pld} = \frac{(4F)l}{GA} = 4\frac{Fl}{GA}$$

10

$$\varphi_{Ex,pld} = -\frac{(3F)}{GA} = -3\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{Ey,pld} = 0$$

$$w_{Ez,pld} = \frac{(3F)l}{GA} = 3\frac{Fl}{GA}$$

11

$$\varphi_{Fx,pld} = 0$$

$$\varphi_{Fy,pld} = \frac{(2F)}{GA} = 2\frac{F}{GA}$$

$$w_{Fz,pld} = \frac{(2F)l}{GA} = 2\frac{Fl}{GA}$$

12

$$\varphi_{Gx,pld} = \frac{(F)}{GA} = \frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{Gy,pld} = 0$$

$$w_{Gz,pld} = \frac{(F)l}{GA} = \frac{Fl}{GA}$$

Totale rotatie en translatie t.g.v. puntlast (dwarskracht)

$$\varphi_{BTx,pld} = \varphi_{Bx,pld} = 0$$

$$\varphi_{BTy,pld} = \varphi_{By,pld} = 6\frac{F}{GA}$$

$$w_{BTz,pld} = w_{Bz,pld} = 6\frac{Fl}{GA}$$

$$\varphi_{CTx,pld} = \varphi_{Bx,pld} + \varphi_{Cx,pld} = (0+5)\frac{F}{GA} = 5\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{CTy,pld} = \varphi_{By,pld} + \varphi_{Cy,pld} = (6+0)\frac{F}{GA} = 6\frac{F}{GA}$$

$$w_{CTz,pld} = w_{Bz,pld} + w_{Cz,pld} = (6+5)\frac{Fl}{GA} = 11\frac{Fl}{GA}$$

$$\varphi_{DTx,pld} = \varphi_{Bx,pld} + \varphi_{Cx,pld} + \varphi_{Dx,pld} = (0+5+0)\frac{F}{GA} = 5\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{DTy,pld} = \varphi_{By,pld} + \varphi_{Cy,pld} + \varphi_{Dy,pld} = (6+0-4)\frac{F}{GA} = 2\frac{F}{GA}$$

$$w_{DTz,pld} = w_{Bz,pld} + w_{Cz,pld} + w_{Dz,pld} = (6+5+4)\frac{Fl}{GA} = 15\frac{Fl}{GA}$$

10

$$\varphi_{ETx,pld} = \varphi_{Bx,pld} + \varphi_{Cx,pld} + \varphi_{Dx,pld} + \varphi_{Ex,pld} = (0+5+0-3)\frac{F}{GA} = 2\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{ETy,pld} = \varphi_{By,pld} + \varphi_{Cy,pld} + \varphi_{Dy,pld} + \varphi_{Ey,pld} = (6+0-4+0)\frac{F}{GA} = 2\frac{F}{GA}$$

$$w_{ETz,pld} = w_{Bz,pld} + w_{Cz,pld} + w_{Dz,pld} + w_{Ez,pld} = (6+5+4+3)\frac{Fl}{GA} = 18\frac{Fl}{GA}$$

$$\varphi_{FTx,pld} = \varphi_{Bx,pld} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,pld} = (0+5+0-3+0)\frac{F}{GA} = 2\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{FTy,pld} = \varphi_{By,pld} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,pld} = (6+0-4+0+2)\frac{F}{GA} = 4\frac{F}{GA}$$

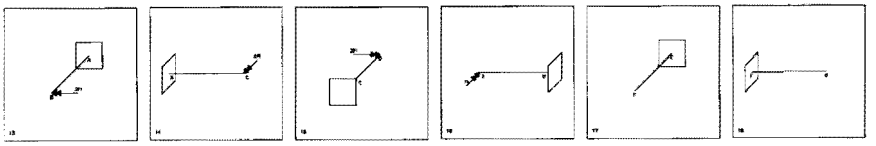
$$w_{FTz,pld} = w_{Bz,pld} + \ldots\ldots + w_{Fz,pld} = (6+5+4+3+2)\frac{Fl}{GA} = 20\frac{Fl}{GA}$$

$$\varphi_{GTx,pld} = \varphi_{Bx,pld} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,pld} + \varphi_{Gx,pld} = (0+5+0-3+0+1)\frac{F}{GA} = 3\frac{F}{GA}$$

$$\varphi_{GTy,pld} = \varphi_{By,pld} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,pld} + \varphi_{Gy,pld} = (6+0-4+0+2+0)\frac{F}{GA} = 4\frac{F}{GA}$$

$$w_{GTz,pld} = w_{Bz,pld} + \ldots\ldots + w_{Fz,pld} + w_{Gz,pld} = (6+5+4+3+2+1)\frac{Fl}{GA} = 21\frac{Fl}{GA}$$

Rotatie en translatie t.g.v. buigend moment



13

$$\varphi_{Bx,bm} = 0$$

$$\varphi_{By,bm} = -\frac{(2Fl)l}{EI} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{Bz,bm} = -\frac{(2Fl)l^2}{2EI} = -\frac{Fl^3}{EI}$$

14

$$\varphi_{Cx,bm} = -\frac{(2Fl)l}{EI} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{Cy,bm} = 0$$

$$w_{Cz,bm} = -\frac{(2Fl)l^2}{2EI} = -\frac{Fl^3}{EI}$$

15

$$\varphi_{Dx,bm} = 0$$

$$\varphi_{Dy,bm} = \frac{(2Fl)l}{EI} = 2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{Dz,bm} = -\frac{(2Fl)l^2}{2EI} = -\frac{Fl^3}{EI}$$

16

$$\varphi_{Ex,bm} = \frac{(Fl)l}{EI} = \frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{Ey,bm} = 0$$

$$w_{Ez,bm} = -\frac{(Fl)l^2}{2EI} = -\frac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI}$$

17

$$\varphi_{Fx,pl} = 0$$

$$\varphi_{Fy,pl} = 0$$

$$w_{Fz,pl} = 0$$

18

$$\varphi_{Gx,pl} = 0$$

$$\varphi_{Gy,pl} = 0$$

$$w_{Gz,pl} = 0$$

Totale rotatie en translatie t.g.v. buigend moment

$$\varphi_{BTx,bm} = \varphi_{Bx,bm} = 0$$

$$\varphi_{BTy,bm} = \varphi_{By,bm} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{BTz,bm} = w_{Bz,bm} = -\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{CTx,bm} = \varphi_{Bx,bm} + \varphi_{Cx,bm} = (0-2)\frac{Fl^2}{EI} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{CTy,bm} = \varphi_{By,bm} + \varphi_{Cy,bm} = (-2+0)\frac{Fl^2}{EI} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$w_{CTz,bm} = w_{Bz,bm} + w_{Cz,bm} = (-1-1)\frac{Fl^3}{EI} = -2\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{DTx,bm} = \varphi_{Bx,bm} + \varphi_{Cx,bm} + \varphi_{Dx,bm} = (0-2+0)\frac{Fl^2}{EI} = -2\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{DTy,bm} = \varphi_{By,bm} + \varphi_{Cy,bm} + \varphi_{Dy,bm} = (-2+0+2)\frac{Fl^2}{EI} = 0$$

$$w_{DTz,bm} = w_{Bz,bm} + w_{Cz,bm} + w_{Dz,bm} = (-1-1-1)\frac{Fl^3}{EI} = -3\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{ETx,bm} = \varphi_{Bx,bm} + \varphi_{Cx,bm} + \varphi_{Dx,bm} + \varphi_{Ex,bm} = (0-2+0+1)\frac{Fl^2}{EI} = -1\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{ETy,bm} = \varphi_{By,bm} + \varphi_{Cy,bm} + \varphi_{Dy,bm} + \varphi_{Ey,bm} = (-2+0+2+0)\frac{Fl^2}{EI} = 0$$

$$w_{ETz,bm} = w_{Bz,bm} + w_{Cz,bm} + w_{Dz,bm} + w_{Ez,bm} = (-1-1-1-\tfrac{1}{2})\frac{Fl^3}{EI} = -3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{FTx,bm} = \varphi_{Bx,bm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,bm} = (0-2+0+1+0)\frac{Fl^2}{EI} = -1\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{FTy,bm} = \varphi_{By,bm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,bm} = (-2+0+2+0+0)\frac{Fl^2}{EI} = 0$$

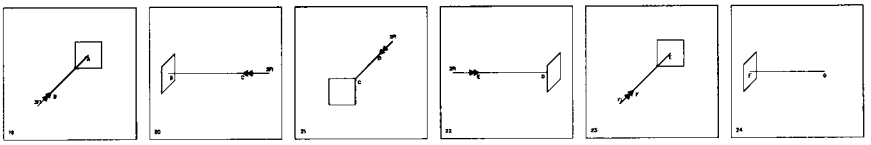
$$w_{FTz,bm} = w_{Bz,bm} + \ldots\ldots + w_{Fz,bm} = (-1-1-1-\tfrac{1}{2}+0)\frac{Fl^3}{EI} = -3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI}$$

$$\varphi_{GTx,bm} = \varphi_{Bx,bm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,bm} + \varphi_{Gx,bm} = (0-2+0+1+0+0)\frac{Fl^2}{EI} = -1\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{GTy,bm} = \varphi_{By,bm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,bm} + \varphi_{Gy,bm} = (-2+0+2+0+0+0)\frac{Fl^2}{EI} = 0$$

$$w_{GTz,bm} = w_{Bz,bm} + \ldots\ldots + w_{Fz,bm} + w_{Gz,bm} = (-1-1-1-\tfrac{1}{2}+0+0)\frac{Fl^3}{EI} = -3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI}$$

Rotatie t.g.v. wringend moment



19

$$\varphi_{Bx,wm} = \frac{(3Fl)l}{GI_p} = 3\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{By,wm} = 0$$

20

$$\varphi_{Cx,wm} = 0$$

$$\varphi_{Cy,wm} = -\frac{(2Fl)l}{GI_p} = -2\frac{Fl}{GI_p}$$

21

$$\varphi_{Dx,wm} = -\frac{(2Fl)l}{GI_p} = -2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{Dy,wm} = 0$$

22

$$\varphi_{Ex,wm} = 0$$

$$\varphi_{Ey,wm} = \frac{(2Fl)l}{GI_p} = 2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

23

$$\varphi_{Fx,wm} = \frac{(Fl)l}{GI_p} = \frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{Fy,wm} = 0$$

24

$$\varphi_{Gx,wm} = 0$$

$$\varphi_{Gy,wm} = 0$$

Totale rotatie en translatie t.g.v. wringend moment

$$\varphi_{BTx,wm} = \varphi_{Bx,wm} = 3\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{BTy,wm} = \varphi_{By,wm} = 0$$

$$w_{BTz,wm} = \left(\varphi_{Ay,wm}\right)l = (0)l = 0$$

$$\varphi_{CTx,wm} = \varphi_{Bx,wm} + \varphi_{Cx,wm} = (3+0)\frac{Fl^2}{GI_p} = 3\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{CTy,wm} = \varphi_{By,wm} + \varphi_{Cy,wm} = (0-2)\frac{Fl^2}{GI_p} = -2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$w_{CTz,wm} = \left(\varphi_{Ay,wm} + \varphi_{Bx,wm}\right)l = (0+3)\frac{Fl^2}{GI_p}\cdot l = 3\frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{DTx,wm} = \varphi_{Bx,wm} + \varphi_{Cx,wm} + \varphi_{Dx,wm} = (3+0-2)\frac{Fl^2}{GI_p} = \frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{DTy,wm} = \varphi_{By,wm} + \varphi_{Cy,wm} + \varphi_{Dy,wm} = (0-2+0)\frac{Fl^2}{GI_p} = -2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$w_{DTz,wm} = \left(\varphi_{Ay,wm} + \varphi_{Bx,wm} + \varphi_{Cy,wm}\right)l = (0+3-2)\frac{Fl^2}{GI_p}\cdot l = \frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{ETx,wm} = \varphi_{Bx,wm} + \varphi_{Cx,wm} + \varphi_{Dx,wm} + \varphi_{Ex,wm} = (3+0-2+0)\frac{Fl^2}{GI_p} = \frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{ETy,wm} = \varphi_{By,wm} + \varphi_{Cy,wm} + \varphi_{Dy,wm} + \varphi_{Ey,wm} = (0-2+0+2)\frac{Fl^2}{GI_p} = 0$$

$$w_{ETz,wm} = \left(\varphi_{Ay,wm} + \varphi_{Bx,wm} + \varphi_{Cy,wm} + \varphi_{Dx,wm}\right)l = (0+3-2-2)\frac{Fl^2}{GI_p}\cdot l = -\frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{FTx,wm} = \varphi_{Bx,wm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,wm} = (3+0-2+0+1)\frac{Fl^2}{GI_p} = 2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{FTy,wm} = \varphi_{By,wm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,wm} = (0-2+0+2+0)\frac{Fl^2}{GI_p} = 0$$

$$w_{FTz,wm} = \left(\varphi_{Ay,wm} + \ldots\ldots + \varphi_{Ey,wm}\right)l = (0+3-2-2+2)\frac{Fl^2}{GI_p}\cdot l = \frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{GTx,wm} = \varphi_{Bx,wm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fx,wm} + \varphi_{Gx,wm} = (3+0-2+0+1+0)\frac{Fl^2}{GI_p} = 2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{GTy,wm} = \varphi_{By,wm} + \ldots\ldots + \varphi_{Fy,wm} + \varphi_{Gy,wm} = (0-2+0+2+0+0)\frac{Fl^2}{GI_p} = 0$$

$$w_{GTz,wm} = \left(\varphi_{Ay,wm} + \ldots\ldots + \varphi_{Ey,wm} + \varphi_{Fx,wm}\right)l = (0+3-2-2+2+1)\frac{Fl^2}{GI_p}\cdot l = 2\frac{Fl^3}{GI_p}$$

Totale rotatie en translatie

$$\varphi_{BTx} = \varphi_{BTx,plm} + \varphi_{BTx,pld} + \varphi_{BTx,bm} + \varphi_{BTx,wm}$$
$$= 0 + 0 + 0 + 3\frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = 3\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{BTy} = \varphi_{BTy,plm} + \varphi_{BTy,pld} + \varphi_{BTy,bm} + \varphi_{BTy,wm}$$
$$= 3\frac{Fl^2}{EI} + 6\frac{F}{GA} - 2\frac{Fl^2}{EI} + 0 \qquad = \frac{Fl^2}{EI} + 6\frac{F}{GA}$$

$$w_{BTz} = w_{BTz,plm} + w_{BTz,pld} + w_{BTz,bm} + w_{BTz,wm}$$
$$= 2\frac{Fl^3}{EI} + 6\frac{Fl}{GA} - \frac{Fl^3}{EI} + 0 \qquad = \frac{Fl^3}{EI} + 6\frac{Fl}{GA}$$

$$\varphi_{CTx} = \varphi_{CTx,plm} + \varphi_{CTx,pld} + \varphi_{CTx,bm} + \varphi_{CTx,wm}$$
$$= 2\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 5\frac{F}{GA} - 2\frac{Fl^2}{EI} + 3\frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = \tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 5\frac{F}{GA} + 3\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{CTy} = \varphi_{CTy,plm} + \varphi_{CTy,pld} + \varphi_{CTy,bm} + \varphi_{CTy,wm}$$
$$= 3\frac{Fl^2}{EI} + 6\frac{F}{GA} - 2\frac{Fl^2}{EI} - 2\frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = \frac{Fl^2}{EI} + 6\frac{F}{GA} - 2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$w_{CTz} = w_{CTz,plm} + w_{CTz,pld} + w_{CTz,bm} + w_{CTz,wm}$$
$$= 3\tfrac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI} + 11\frac{Fl}{GA} - 2\frac{Fl^3}{EI} + 3\frac{Fl^3}{GI_p} \qquad = 1\tfrac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI} + 11\frac{Fl}{GA} + 3\frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{DTx} = \varphi_{DTx,plm} + \varphi_{DTx,pld} + \varphi_{DTx,bm} + \varphi_{DTx,wm}$$
$$= 2\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 5\frac{F}{GA} - 2\frac{Fl^2}{EI} + \frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = \tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 5\frac{F}{GA} + \frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{DTy} = \varphi_{DTy,plm} + \varphi_{DTy,pld} + \varphi_{DTy,bm} + \varphi_{DTy,wm}$$
$$= \frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{F}{GA} + 0 - 2\frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = \frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{F}{GA} - \frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$w_{DTz} = w_{DTz,plm} + w_{DTz,pld} + w_{DTz,bm} + w_{DTz,wm}$$
$$= 5\frac{Fl^3}{EI} + 15\frac{Fl}{GA} - 3\frac{Fl^3}{EI} + \frac{Fl^3}{GI_p} \qquad = 2\frac{Fl^3}{EI} + 15\frac{Fl}{GA} + \frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{ETx} = \varphi_{ETx,plm} + \varphi_{ETx,pld} + \varphi_{ETx,bm} + \varphi_{ETx,wm}$$
$$= \frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{F}{GA} - \frac{Fl^2}{EI} + \frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = 2\frac{F}{GA} + \frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{ETy} = \varphi_{ETy,plm} + \varphi_{ETy,pld} + \varphi_{ETy,bm} + \varphi_{ETy,wm}$$
$$= \frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{F}{GA} + 0 + 0 \qquad = \frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{F}{GA}$$

$$w_{ETz} = w_{ETz,plm} + w_{ETz,pld} + w_{ETz,bm} + w_{ETz,wm}$$
$$= 6\frac{Fl^3}{EI} + 18\frac{Fl}{GA} - 3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI} - \frac{Fl^3}{GI_p} \qquad = 2\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI} + 18\frac{Fl}{GA} - \frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{FTx} = \varphi_{FTx,plm} + \varphi_{FTx,pld} + \varphi_{FTx,bm} + \varphi_{FTx,wm}$$
$$= \frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{F}{GA} - 1\frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = 2\frac{F}{GA} + 2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{FTy} = \varphi_{FTy,plm} + \varphi_{FTy,pld} + \varphi_{FTy,bm} + \varphi_{FTy,wm}$$
$$= 2\frac{Fl^2}{EI} + 4\frac{F}{GA} + 0 + 0 \qquad = 2\frac{Fl^2}{EI} + 4\frac{F}{GA}$$

$$w_{FTz} = w_{FTz,plm} + w_{FTz,pld} + w_{FTz,bm} + w_{FTz,wm}$$
$$= 6\tfrac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI} + 20\frac{Fl}{GA} - 3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI} + \frac{Fl^3}{GI_p} \qquad = 3\tfrac{1}{6}\frac{Fl^3}{EI} + 20\frac{Fl}{GA} + \frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{GTx} = \varphi_{GTx,plm} + \varphi_{GTx,pld} + \varphi_{GTx,bm} + \varphi_{GTx,wm}$$
$$= 1\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 3\frac{F}{GA} - 1\frac{Fl^2}{EI} + 2\frac{Fl^2}{GI_p} \qquad = \tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 3\frac{F}{GA} + 2\frac{Fl^2}{GI_p}$$

$$\varphi_{GTy} = \varphi_{GTy,plm} + \varphi_{GTy,pld} + \varphi_{GTy,bm} + \varphi_{GTy,wm}$$
$$= 2\frac{Fl^2}{EI} + 4\frac{F}{GA} + 0 + 0 \qquad = 2\frac{Fl^2}{EI} + 4\frac{F}{GA}$$

$$w_{GTz} = w_{GTz,plm} + w_{GTz,pld} + w_{GTz,bm} + w_{GTz,wm}$$
$$= 7\frac{Fl^3}{EI} + 21\frac{Fl}{GA} - 3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI} + 2\frac{Fl^3}{GI_p} \qquad = 3\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI} + 21\frac{Fl}{GA} + 2\frac{Fl^3}{GI_p}$$

$$\varphi_{B,m} = \frac{F(l)^2}{2EI} = \tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$
$$\varphi_{C,m} = \frac{F(2l)^2}{2EI} = 2\frac{Fl^2}{EI}$$
$$\varphi_{D,m} = \frac{F(3l)^2}{2EI} = 4\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$
$$\varphi_{E,m} = \frac{F(4l)^2}{2EI} = 8\frac{Fl^2}{EI}$$
$$\varphi_{F,m} = \frac{F(5l)^2}{2EI} = 12\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI}$$
$$\varphi_{G,m} = \frac{F(6l)^2}{2EI} = 18\frac{Fl^2}{EI}$$

$$\varphi_{B,d} = \frac{F}{GA}$$
$$\varphi_{C,d} = \frac{F}{GA}$$
$$\varphi_{D,d} = \frac{F}{GA}$$
$$\varphi_{E,d} = \frac{F}{GA}$$
$$\varphi_{F,d} = \frac{F}{GA}$$
$$\varphi_{G,d} = \frac{F}{GA}$$

$$w_{B,m} = \frac{F(l)^3}{3EI} + \frac{F(l)^2}{2EI}5l = (\tfrac{1}{3} + 2\tfrac{1}{2})\frac{Fl^3}{EI} = 2\tfrac{5}{6}\frac{Fl^3}{EI}$$
$$w_{C,m} = \frac{F(2l)^3}{3EI} + \frac{F(2l)^2}{2EI}4l = (2\tfrac{2}{3} + 8)\frac{Fl^3}{EI} = 10\tfrac{2}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$
$$w_{D,m} = \frac{F(3l)^3}{3EI} + \frac{F(3l)^2}{2EI}3l = (9 + 13\tfrac{1}{2})\frac{Fl^3}{EI} = 22\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI}$$
$$w_{E,m} = \frac{F(4l)^3}{3EI} + \frac{F(4l)^2}{2EI}2l = (21\tfrac{1}{3} + 16)\frac{Fl^3}{EI} = 37\tfrac{1}{3}\frac{Fl^3}{EI}$$
$$w_{F,m} = \frac{F(5l)^3}{3EI} + \frac{F(5l)^2}{2EI}l = (41\tfrac{2}{3} + 12\tfrac{1}{2})\frac{Fl^3}{EI} = 54\tfrac{1}{6}\frac{Fl^3}{EI}$$
$$w_{G,m} = \frac{F(6l)^3}{3EI} + \frac{F(6l)^2}{2EI}0 = (72 + 0)\frac{Fl^3}{EI} = 72\frac{Fl^3}{EI}$$

$$
\begin{aligned}
w_{B,d} &= \frac{F(l)}{GA} + \frac{F}{GA}5l &&= (1+5)\frac{Fl}{GA} &&= 6\frac{Fl}{GA} \\
w_{C,d} &= \frac{F(2l)}{GA} + \frac{F}{GA}4l &&= (2+4)\frac{Fl}{GA} &&= 6\frac{Fl}{GA} \\
w_{D,d} &= \frac{F(3l)}{GA} + \frac{F}{GA}3l &&= (3+3)\frac{Fl}{GA} &&= 6\frac{Fl}{GA} \\
w_{E,d} &= \frac{F(4l)}{GA} + \frac{F}{GA}2l &&= (4+2)\frac{Fl}{GA} &&= 6\frac{Fl}{GA} \\
w_{F,d} &= \frac{F(5l)}{GA} + \frac{F}{GA}l &&= (5+1)\frac{Fl}{GA} &&= 6\frac{Fl}{GA} \\
w_{G,d} &= \frac{F(6l)}{GA} + \frac{F}{GA}0 &&= (6+0)\frac{Fl}{GA} &&= 6\frac{Fl}{GA}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\varphi_{GT} &= \left(\tfrac{1}{2}+2+4\tfrac{1}{2}+8+12\tfrac{1}{2}+18\right)\frac{Fl^2}{EI} \\
&\quad + (1+1+1+1+1+1)\frac{F}{GA} && = 45\tfrac{1}{2}\frac{Fl^2}{EI} + 6\frac{F}{GA} \\
w_{GT} &= \left(2\tfrac{5}{6}+10\tfrac{2}{3}+22\tfrac{1}{2}+37\tfrac{1}{3}+54\tfrac{1}{6}+72\right)\frac{Fl^3}{EI} \\
&\quad + (6+6+6+6+6+6)\frac{Fl}{GA} && = 199\tfrac{1}{2}\frac{Fl^3}{EI} + 36\frac{Fl}{GA}
\end{aligned}
$$

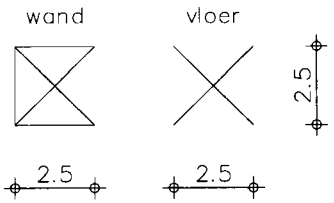
2.1 Belastingen en Geometrie

Representatieve belasting houten constructie

$$p_{wand;h} = = 0,5 \quad kN/m^2$$
$$p_{dak+vl;h} = 2 \cdot 0,5 = 1,0 \quad kN/m^2$$

Representatieve belasting stalen constructie

De belasting van een stalen constructie wordt geschat door allereerst een schatting van de belasting van het stalenvakwerk te maken. Vervolgens wordt er vanuit gaan dat de belasting van de wanden en vloeren overeenkomt de de belastingen zoals bij de houten constructie. Er wordt uit gegaan van een kruisverband van 2,5x2,5 m^2. De wanden worden door de figuur links voorgesteld, de vloeren en daken door de figuur rechts. Verder wordt uitgegaan van profielen HE300A (0,883 kN/m).



$$p_{wand;s} = \frac{0,883 \cdot \left(3 \cdot 2,5 + 2 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2}\right)}{2,5^2} = 2,0 \quad kN/m^2$$
$$p_{dak+vl;s} = 2 \cdot \frac{0,883 \cdot \left(2 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{2}\right)}{2,5^2} = 2,0 \quad kN/m^2$$

Representatieve belasting betonnen constructie

Er wordt als eerste ervan uit gegaan dat het beton een dikte heeft van 150 mm.

$$p_{wand;b} = 0,15 \cdot 24,0 = 3,6 \quad kN/m^2$$
$$p_{dak+vl;b} = 2 \cdot 0,15 \cdot 24,0 = 7,2 \quad kN/m^2$$

Representatieve belasting overige als scheidingswanden, isolatie e.d.

$$p_{wand;o} = 0,5 \quad kN/m^2$$
$$p_{dak+vl;o} = 2 \cdot 0,5 = 1,0 \quad kN/m^2$$

Veranderlijke belasting

$$p_{veranderlijk} = 1,75 \quad kN/m^2$$

Te hanteren representatieve belastingen

De belasting van de stalen constructie worden berekend als de som van de belasting van de stalen constructie plus de belasting van de houten constructie. Hierbij wordt de belasting van de houten constructie gezien als de invulling van een stalen frame.

$p_{wand;hout}$	$= p_{wand;h} + p_{wand;o}$	$= 0,5 + 0,5$	$= 1,0 \quad kN/m^2$
$p_{dak+vl;hout}$	$= p_{vloer;h} + p_{vloer;o}$	$= 1,0 + 1,0$	$= 2,0 \quad kN/m^2$
$p_{wand;staal}$	$= p_{wand;s} + p_{wand;h} + p_{wand;o}$	$= 2,0 + 0,5 + 0,5$	$= 3,0 \quad kN/m^2$
$p_{dak+vl;staal}$	$= p_{vloer;s} + p_{vloer;h} + p_{vloer;o}$	$= 2,0 + 1,0 + 1,0$	$= 4,0 \quad kN/m^2$
$p_{wand;beton}$	$= p_{wand;b} + p_{wand;o}$	$= 3,6 + 0,5$	$= 4,1 \quad kN/m^2$
$p_{dak+vl;beton}$	$= p_{vloer;b} + p_{vloer;o}$	$= 7,2 + 1,0$	$= 8,2 \quad kN/m^2$
$p_{veranderlijk}$			$= 1,75 \quad kN/m^2$

2.2 Dwarskracht en Moment

Dwarskracht (figuur 4.13)

F [kN]	materiaal		
	hout	staal	beton
buitenhelix	534	1146	1770
binnenhelix	288	582	924

Moment om x-as (figuur 4.14)

Mx [kNm]	materiaal		
	hout	staal	beton
buitenhelix	2670	5730	8850
binnenhelix	576	1164	1848

Moment om y-as (figuur 4.15)

My [kNm]	materiaal		
	hout	staal	beton
buitenhelix	3560	7640	11800
binnenhelix	768	1152	2464

Voor alle materialen geldt dat omdat er maar met één waarde van F gerekend kan worden, de veranderlijke belasting nergens momentaan of extreem worden gehanteerd.

Hout

Rekenwaarde van de belasting van de buiten- en binnenhelix

$$F_{vl/dak} = 1{,}2\cdot(12{,}75\cdot 2{,}0) = 31 \qquad F_{vl/dak} = 1{,}2\cdot(8{,}25\cdot 2{,}0) = 20$$
$$F_{gevel} = 1{,}2\cdot(30\cdot 1{,}0) = 36 \qquad F_{gevel} = 1{,}2\cdot(12\cdot 1{,}0) = 14$$
$$F_{ver.} = 1{,}0\cdot 12{,}75\cdot 1{,}75 = 22 \qquad F_{ver.} = 1{,}0\cdot 8{,}25\cdot 1{,}75 = 14$$
$$F_{h;buithelix;d} = \overline{89\ kN} \qquad F_{h;binhelix;d} = \overline{48\ kN}$$

Staal

Rekenwaarde van de belasting van de buiten- en binnenhelix

$F_{vl/dak}$	$=1{,}2\cdot(12{,}75\cdot 4{,}0)$	$=61$	$F_{vl/dak}$	$=1{,}2\cdot(8{,}25\cdot 4{,}0)$	$=40$
F_{gevel}	$=1{,}2\cdot(30\cdot 3{,}0)$	$=108$	F_{gevel}	$=1{,}2\cdot(12\cdot 3{,}0)$	$=43$
$F_{ver.}$	$=1{,}0\cdot 12{,}75\cdot 1{,}75$	$=22$	$F_{ver.}$	$=1{,}0\cdot 8{,}25\cdot 1{,}75$	$=14$
$F_{s;buitheli;d}$		$=\overline{191\ kN}$	$F_{s;binhelix;d}$		$=\overline{97\ kN}$

Beton

Rekenwaarde van de belasting van de buiten- en binnenhelix

$F_{vl/dak}$	$=1{,}2\cdot(12{,}75\cdot 8{,}2)$	$=125$	$F_{vl/dak}$	$=1{,}2\cdot(8{,}25\cdot 8{,}2)$	$=81$
F_{gevel}	$=1{,}2\cdot(30\cdot 4{,}1)$	$=148$	F_{gevel}	$=1{,}2\cdot(12\cdot 4{,}1)$	$=59$
$F_{ver.}$	$=1{,}0\cdot 12{,}75\cdot 1{,}75$	$=22$	$F_{ver.}$	$=1{,}0\cdot 8{,}25\cdot 1{,}75$	$=14$
$F_{b;buithelix;d}$		$=\overline{295\ kN}$	$F_{b;binhelix;d}$		$=\overline{154\ kN}$

2.3 Materiaaltoepassing

Hout

Er wordt gerekend met de houtkwaliteit K24 en met een profielhoogte van groter dan 200 mm.

$$f_{t;0;d} = \frac{f_{t;0;rep}}{\gamma_m} \cdot k_{\mathrm{mod}} \cdot k_h = \frac{19}{1,2} \cdot 0,50 \cdot 1,0 = 8 \quad N/mm^2$$

Staal

Er wordt gerekend met de staalkwaliteit S235.

$$f_{y;d} = 235$$

Representatieve waarde van de belasting van de buiten- en binnenhelix

$F_{vloer/dak}$	$=1,0\cdot(12,75\cdot 4,0)$	$=51$	$F_{vloer/dak}$	$=1,0\cdot(8,25\cdot 4,0)$	$=33$
F_{gevel}	$=1,0\cdot(30\cdot 3,0)$	$=90$	F_{gevel}	$=1,0\cdot(12\cdot 3,0)$	$=36$
$F_{veranderlijk}$	$=1,0\cdot 12,75\cdot 1,75$	$=22$	$F_{veranderlijk}$	$=1,0\cdot 8,25\cdot 1,75$	$=14$
$F_{s;buithelix;rep}$		$=163\ kN$	$F_{s;binhelix;rep}$		$=83\ kN$

Constructiegegevens van de buiten en binnenhelix

E	$=210000$	N/mm^2	E	$=210000$	N/mm^2
A_l	$=13350$	$mm^2\ (HE340A)$	A_l	$=3140$	$mm^2\ (HE140A)$
A_d	$=7680$	$mm^2\ (HE240A)$	A_d	$=3880$	$mm^2\ (HE160A)$
$l=a$	$=2500$	mm	$l=a$	$=2500$	mm
h	$=2500$	mm	h	$=2500$	mm
d	$=3536$	mm	d	$=3536$	mm

De buig- en afschuifcomponent van buiten en binnenhelix

$$EI_{s;buithelix} = \frac{l^2}{2} \cdot EA_l = 8,761 \cdot 10^{15}\ Nmm^2$$

$$GA_{s;buithelix} = \frac{2a^2h}{d^3} \cdot EA_d = 1,140 \cdot 10^{9}\ N$$

$$EI_{s;buithelix} = \frac{l^2}{2} \cdot EA_l = 2,061 \cdot 10^{15}\ Nmm^2$$

$$GA_{s;buithelix} = \frac{2a^2h}{d^3} \cdot EA_d = 5,759 \cdot 10^{8}\ N$$

Er wordt gerekend met betonstaalkwaliteit FeB500.

$f_s = 435\ N/mm^2$

3 Ruimtelijke benadering

De maximale vervorming wordt gevonden in node 25 in de top van de helix. Aan de hand hiervan wordt een vergelijking gemaakt tussen de verschillende gevallen in de bruikbaarheidsgrenstoestand.

Maximale (figuur 4.17)

geval	1	2	3	4	eis
liggers					
300x150x10	x		x		
300x150x16		x		x	
diagonaal					
150x150x10	x	x			
150x150x16			x	x	
vervorming	226	187	187	151	50

1.1 Belastingen en Profieleisen

Belasting dak

Onderdeel	Uitvoering	Belasting [kN/m^2]
Draagconstructie	balklaag 46x146 hoh 300	0,20
Afwerking	underlayment + isolatie + plafondplaten + afwerking	0,50
Totaal		0,70

Belasting vloer

Onderdeel	Uitvoering	Belasting [kN/m^2]
Draagconstructie	balklaag 46x171 hoh 300	0,20
Afwerking	30mm anhydr + afwerking + scheidende wanden + plafond	2,00
Totaal		2,20

Belasting wand

Onderdeel	Uitvoering	Belasting [kN/m^2]
Draagconstructie	20x120mm hoh 600 + stucwerk + 100 mm isolatie + 12,5mm DuraGyp	0,30
Afwerking	gevelbekleding	0,40
Totaal		0,70

1.2 Eendimensionale benadering

Ligger 1 (figuur 5.6)

u [mm]	scharnier	inklemming	vervormingseis
150x150x16	75,6	36,3	23,4
150x250x16	21,1	10,1	23,4
150x300x16	13,3	6,4	23,4

Ligger 3 (figuur 5.7)

u [mm]	scharnier	inklemming	vervormingseis
150x150x16	88,0	30,4	17,4
150x250x16	24,5	8,5	17,4
150x300x16	15,5	5,3	17,4

1.3 Tweedimensionale benadering

Vierendeelligger 1 (figuur 5.11)

u [mm]	scharnier	inklemming	vervormingseis
150x150x16	14,3	10,0	11,7
150x250x16	5,5	3,9	11,7
150x300x16	4,0	2,8	11,7

Vierendeelligger 3 (figuur 5.12)

u [mm]	scharnier	inklemming	vervormingseis
150x150x16	14	8,7	8,7
150x250x16	5,4	3,6	8,7
150x300x16	3,9	2,6	8,7

2.3 Tweedimensionale benadering

Portaal 2 (figuur 5.18)

u [mm]	ligger 150x150x16	150x250x16	vervormingseis
kolom			
200x200x16	67,4	59,2	25
220x220x16	53,1	46,0	25
250x250x16	39,1	33,5	25
300x300x16	25,8	22,0	25
350x350x16	18,3	16,0	25
400x400x20	11,8	10,9	25

Portaal 4 (figuur 5.19)

u [mm]	ligger 150x150x16	150x250x16	vervormingseis
kolom			
200x200x16	33,0	25,3	18
220x220x16	26,5	19,6	18
250x250x16	20,0	14,1	18
300x300x16	13,7	9,2	18
350x350x16	10,0	6,5	18
400x400x20	6,6	4,3	18

2.4 Driedimensionale benadering

Invloed windrichting figuur (5.21)

u [mm]	kolom 1	2	3	4
noorderwind	9,6	10,2	5,2	5,2
oosterwind	6,7	7,6	4,0	6,8
zuiderwind	9,6	10,2	5,2	5,1
westerwind	6,7	7,6	4,0	6,8
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

Reductieprofielen a.h.v. noord/zuid wind (figuur 5.22)

u [mm]	kolom 1	2	3	4
150x150x16	29,0	28,8	27,0	27,0
200x200x16	18,5	19,2	13,1	13,2
250x250x16	13,0	13,6	7,8	7,8
300x300x16	9,6	10,2	5,2	5,1
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

Reductieprofielen a.h.v. oost/west wind (figuur 5.23)

u [mm]	kolom 1	2	3	4
150x150x16	31,1	29,5	22,6	30,7
200x200x16	16,0	15,7	10,6	15,8
250x250x16	9,9	10,4	6,1	9,8
300x300x16	6,8	7,7	4,0	6,8
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

Verjongend profiel (figuur 5.24)

u [mm]	kolom 1	2	3	4
noord/zuid	20,2	21,1	13,3	13,4
oost/west	17,2	17,2	10,9	17,0
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

3.1 Verticale belastingafdracht

Vertaling naar 3d-model (figuur 5.26)

u [mm]	ligger	
	1	3
2d model scharnie	5,5	5,4
2d model inklemm	3,9	3,6
3d model	4,5	3,8
vervormingseis	11,7	8,7

Vertaling naar 3d-model (figuur 5.27)

u [mm]	kolom			
	1	2	3	4
resultaten 2.2.5	20,2	21,1	13,3	17,0
model zonder eg	12,2	11,9	11,4	11,9
model met eg	16,4	19,1	14,0	15,1
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

Zijwaarte vervormingen (figuur 5.28)

u [mm]	kolom			
	1	2	3	4
max verv in windri	16,4	19,1	14,0	15,1
max verv haaks o	11,4	10,5	4,6	10,3
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

3.3 Profiel reductie

Reductie inwendige kolomprofielen a.h.v. BGT (figuur 5.30)

u [mm]	ligger											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kolom t=16	3,4	4,5	3,8	0,9	0,4	0,2	0,6	2,0	2,5	4,7	4,7	0,3
kolom t=5,6	3,7	5,0	4,2	1,1	0,6	0,5	0,9	2,3	2,8	5,2	5,2	0,5
vervormingseis	5,7	7,8	5,8	4,9	4,7	5,5	5,4	6,0	5,3	7,1	7,6	3,9

Reductie inwendige liggerprofielen a.h.v. BGT (figuur 5.31)

u [mm]	ligger											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ligger t=16	3,7	5,0	4,2	1,1	0,6	0,5	0,9	2,3	2,8	5,2	5,2	0,5
ligger t=10	4,0	5,4	4,8	1,4	0,7	0,6	1,0	2,6	3,3	5,9	6,0	0,5
ligger t=8	4,2	5,7	5,2	1,6	0,8	0,6	1,1	2,8	3,6	6,4	6,4	0,6
ligger t=5	4,6	6,5	6,2	2,3	1,1	0,8	1,3	3,5	4,4	7,6	7,6	0,7
vervormingseis	5,7	7,8	5,8	4,9	4,7	5,5	5,4	6,0	5,3	7,1	7,6	3,9

Reductie inwendige liggerprofielen a.h.v. UGT (figuur 5.32)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ligger t=16	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209
ligger t=10	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
ligger t=8	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
ligger t=5	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Maanw	91	68	171	83	51	49	76	90	107	134	39	26

Invloed wijziging inwendige liggers op horizontale vervorming (figuur 5.33)

u [mm]	kolom			
	1	2	3	4
oude situatie	16,4	19,1	14,0	15,1
nieuwe situatie	17,3	20,2	14,3	15,9
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

Reductie uitwendige kolomprofielen a.h.v. BGT (figuur 5.35)

u [mm]	kolom			
	1	2	3	4
kolom t=16	17,3	20,2	14,3	15,9
kolom t=5,6	17,2	20,2	14,4	15,9
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

Reductie uitwendige liggerprofielen a.h.v. BGT (figuur 5.36)

u [mm]	kolom			
	1	2	3	4
ligger t=16	17,2	20,2	14,4	15,9
ligger t=10	17,5	20,4	14,7	16,2
ligger t=8	17,7	20,6	14,9	16,4
ligger t=5	18,1	21,0	15,2	16,8
vervormingseis	25,0	25,0	17,3	19,7

4.2 Verbinding kolom-overstek

Schuifkracht M12 (figuur 5.41)

V [kN]	ligger											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V tgv Dmax	13,8	12,8	27,0	14,0	9,8	9,5	12,8	13,5	16,0	16,8	12,5	5,8
V tgv Wmax	9,1	1,8	21,7	12,7	1,8	3,6	1,8	1,8	3,6	3,6	14,5	5,4
V totaal	22,8	14,6	48,7	26,7	11,6	13,1	14,6	15,3	19,6	20,4	27,0	11,2
Veis M12	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5

Schuifkracht 6,8 of 10x M12 (figuur 5.42)

V [kN]	ligger		
	3	4	11
6xM12	34,4	18,9	19,3
8xM12	26,3	14,4	14,8
10xM12	21,2	11,7	12
Veis	27,5	27,5	27,5

4.3 Verbinding kolomvoet

Maximale trekkracht (figuur 5.44)

F [kN]	kolom			
	1	2	3	4
FtgvMmax	385	259	296	237
FtgvNmin	-230	-168	-39	-68
Ftotaal	156	92	257	170

Maximale drukkracht (figuur 5.45)

F [kN]	kolom			
	1	2	3	4
FtgvMmax	-385	-259	-296	-237
FtgvNmax	-353	-255	-84,5	-115
Ftotaal	-738	-514	-381	-352

4.4 Fundering

Normaalkracht t.p.v. oplegging (figuur 5.47)

F [kN]	kolom					
	1	2	3	4	A	B
Fmax	781	581	172	257	23	94
Fmin	356	258	6	75	-98	11

Moment t.p.v. oplegging (figuur 5.48)

F [kN]	kolom					
	1	2	3	4	A	B
Mmax x/y	112	44	82	67	70	56