

Statiske beregninger
Fundamentalism
Galleri Galschiøt
The Esplanade Solidarnosc 1980

Ringe den 2015-03-02

Lars Bredahl

Lars Bredahl
Civilingeniør

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER.....	3
1.1 NORMGRUNDLAG	3
1.1.1 Normer	3
1.1.2 Sikkerhedsklasse	3
1.2 MATERIALER.....	3
1.2.1 Stål	3
1.3 LITTERATUR.....	3
2 BYGNINGSBESKRIVELSE.....	3
3 LASTER	3
3.1 EGENLAST	3
3.2 VINDLAST	4
4 BOGSTAVER	4
4.1 BOGSTAV F	4
4.1.1 Geometri	4
4.1.2 Snitkræfter.....	5
4.1.3 Boltsamling	5
4.2 BOGSTAV S	5
4.2.1 Geometri	5
4.2.2 Snitkræfter.....	7
4.2.3 Deformation	8
4.2.4 Reaktion	8
4.3 BOGSTAV M.....	8
4.4 BOGSTAV N.....	9
5 STÅLSTATIV	9
5.1.1 Geometri	9
5.1.2 Last.....	9
5.1.3 Snitkræfter.....	9
6 FORDELINGSPLADE	9
6.1.1 Geometri	9
6.1.2 Last.....	9
6.1.3 Snitkræfter.....	9
7 RING.....	9
7.1 LAST	10
7.2 SNITKRÆFTER	10
7.3 DEFORMATIONER	10
7.4 TVÆRPLADESTØD.....	11
8 BILAG	11
8.1 BILAG 1	11
8.2 BILAG 2.....	11
8.3 BILAG 3.....	11
8.4 BILAG 4.....	11
8.5 BILAG 5	11

1 BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER

1.1 Normgrundlag

1.1.1 Normer

Eurocodes.

1.1.2 Sikkerhedsklasse

CC2 Middel konsekvensklasse.

1.2 Materialer

1.2.1 Stål

Stålprofiler i bogstaver	AISI 304L rustfrit stål	$f_{yk} \geq 195 \text{ N/mm}^2$
RHS S355		$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
Bolte rustfrit stål kv. A2 ISO 3506.		$f_{ub} \geq 700 \text{ N/mm}^2$
Bolte kv. 8.8		

1.3 Litteratur

Teknisk Ståbi 21. udgave.

1.4 FEM-program

Cadre Pro. www.Cadreanalytic.com.

2 BYGNINGSBESKRIVELSE

Bilag 1 Og bilag 2.

Bogstaver med højden 2,5 m.

Tværsnit maksimalt indvendigt 350x350 mm

Areal udvendigt 0,35 m²/m

Bogstaverne afstives med rustfrie firkantrør og hulrummet fyldes med beton.

Ved opstilling på The Esplanade Solidarnosc 1980 er bogstaverne dog ikke fyldt med beton.

Fundament stålskelet højde 0,9 m bredde ved bund 1,25 m, bredde ved top 0,6 m.

Rørafstivning af bogstaverne. Rustfrit stål.

F E T U: Kvadratisk rør 120x120x6 mm

A M N L I: Kvadratisk rør 120x120x3 mm

S: Kvadratisk rør 150x150x6

3 LASTER

3.1 Egenlast

Bogstaver

Massen af bogstaverne inkl. stativ er bestemt ved vejning:

1. bogstav: F:	10 kN
2. bogstav: U:	10 kN
3. bogstav: N:	11 kN
4. bogstav: D:	11 kN
5. bogstav: A (1) :	9 kN

6. bogstav: M (1):	12,5 kN
7. bogstav: E:	10 kN
8. bogstav: N (2):	10 kN
9. bogstav: T:	9 kN
10. bogstav: A (2):	9 kN
11. bogstav: L + I:	11 kN
12. bogstav: S :	12 kN
13. bogstav: M (2):	13 kN

Samlet last 138 kN

Lasten fordeles over det areal, som er begrænset af to cirkler med radierne 3,47 m og 4,57 m, se Bilag 1

$$A = 3,14 \cdot (4,57^2 - 3,47^2) = 27,8 \text{ m}^2$$

$$\text{Fladelast } q = 138/27,8 = 4,96 < 5 \text{ kN/m}^2$$

Største punktlast optræder ved bogstaverne M(2) og S.

$$G_{S+M} = 1/2 \cdot (12+13) = 12,5 \text{ kN}$$

Lasten fordeles på 4 punkter hver med arealet 250x250 mm.

$$\text{Last pr plade } 12,5/4 = 3,1 \text{ kN}$$

$$\text{Fladetryk på belægning } 3,1 \cdot 10^3 / 0,25^2 = 50 \text{ kN/m}^2$$

For en bil med en total last på 2 tons er fladelasten iht. eurocodes

$$\approx 1,2 \cdot 1/2 \cdot 20/2/0,1^2 = 600 \gg 50 \text{ kN/m}^2$$

3.2 Vindlast

På The Esplanade Solidarnosc regnes med følgende vindforhold:

Beliggenhed	terrænkategori III
Højde af bogstaver inkl. stålstativ	$z = 2,5 + 1,0 = 3,5 \text{ m}$
Basisvindhastighed	$v_b = 24 \text{ m/s}$
Peak-hastighedstryk	$q_{ps} = 0,5 \text{ kN/m}^2$

Formfaktor kantet tværsnit, der regnes med en maksimal formfaktor på 2,4

$$\text{Regningsmæssig last } 1,5 \cdot 2,4 \cdot 0,5 = 1,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Linjelast pr. m bogstav } 0,35 \cdot 1,8 = 0,63 \text{ kN/m}$$

4 BOGSTAVER

Bilag 1 og bilag 2.

Bogstaverne er i det følgende beregnet for

$$\text{peakhastighedstrykket } 1,0 > 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{svarende til vindlasten } 0,35 \cdot 1,8 \cdot 2 = 1,26 \text{ kN/m}$$

og det er forudsat at bogstaverne er fyldt med beton

$$\text{Gennemsnitlig vægt } (0,3^2 - 0,12^2) \cdot 23 + 1 = 2,7 \text{ kN/m}$$

4.1 Bogstav F

4.1.1 Geometri

Kvadratisk rør 120x120x6.

Sektionslængde

4.1.2 Snitkræfter

Vindkraft $W = 1,36 \cdot (2,5 + 0,9 + 0,7) = 5,6 \text{ kN}$

Største spænding ved indspænding

Bøjningsmoment vind

$$M_y = 1/2 \cdot 1,26 \cdot 2,5^2 + 2,5 \cdot 0,9 \cdot 1,26 + 1,25 \cdot 0,7 \cdot 1,26 = 7,9 \text{ kNm}$$

Vridning vind

$$M_x = 1/2 \cdot 1,26 \cdot (0,9 \cdot 1,13 + 0,7 \cdot 0,88) = 1,0 \text{ kNm}$$

Bøjning egenvægt

$$M_z = 1/2 \cdot 2,7 \cdot ((1,07 + 0,06)^2 + (0,82 + 0,06)^2) = 2,8 \text{ kNm}$$

$$\sigma = M/W = (7,9 + 2,8) / 96,6 \cdot 10^{-3} = 111 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 1,0 \cdot 10^6 / 141 \cdot 10^3 = 7 \text{ N/mm}^2$$

von mises $\sigma = \sqrt{111^2 + 3 \cdot 7^2} = 112 < 195 / 1,1 = 177 \text{ N/mm}^2$

4.1.3 Boltsamling

Cirkulær flange i rustfrit stål DIN 2527 PN16. Ø220. t= 17,7 mm. 8 stk M16 bolte.

Bilag 2

Momentet optages af en bolt.

Indre momentarm $h_{\text{int}} = 90 + 70 = 160 \text{ mm}$

Træk i bolt $\approx (7,9 + 2,8) / 0,16 = 67 \text{ kN}$

M16 kv. A2 har bæreevnen $0,9 \cdot 0,7 \cdot 144 / 1,35 = 67,2 > 67 \text{ kN}$

Bøjning i topplade kvadratisk plade 250x520x20 mm

Reaktion fra moment $7,9 / 0,25 = 31,6 \text{ kN}$

Afstand til kant $e = 250 / 2 - 90 = 35 \text{ mm}$

Bøjning i plade $31,6 \cdot 10^3 \cdot 35 / 250 = 4424 \text{ Nmm/mm}$

Bøjningsspænding $\sigma = 4424 / (1/4 \cdot 1 \cdot 20^2) = 44 < 213 \text{ N/mm}^2$

Træk i svejsesøm kantsøm a= 4 mm

$$37,6 \cdot 10^3 / 250 = 150 < 1886 / 2 = 943 \text{ N/mm}$$

4.2 Bogstav S

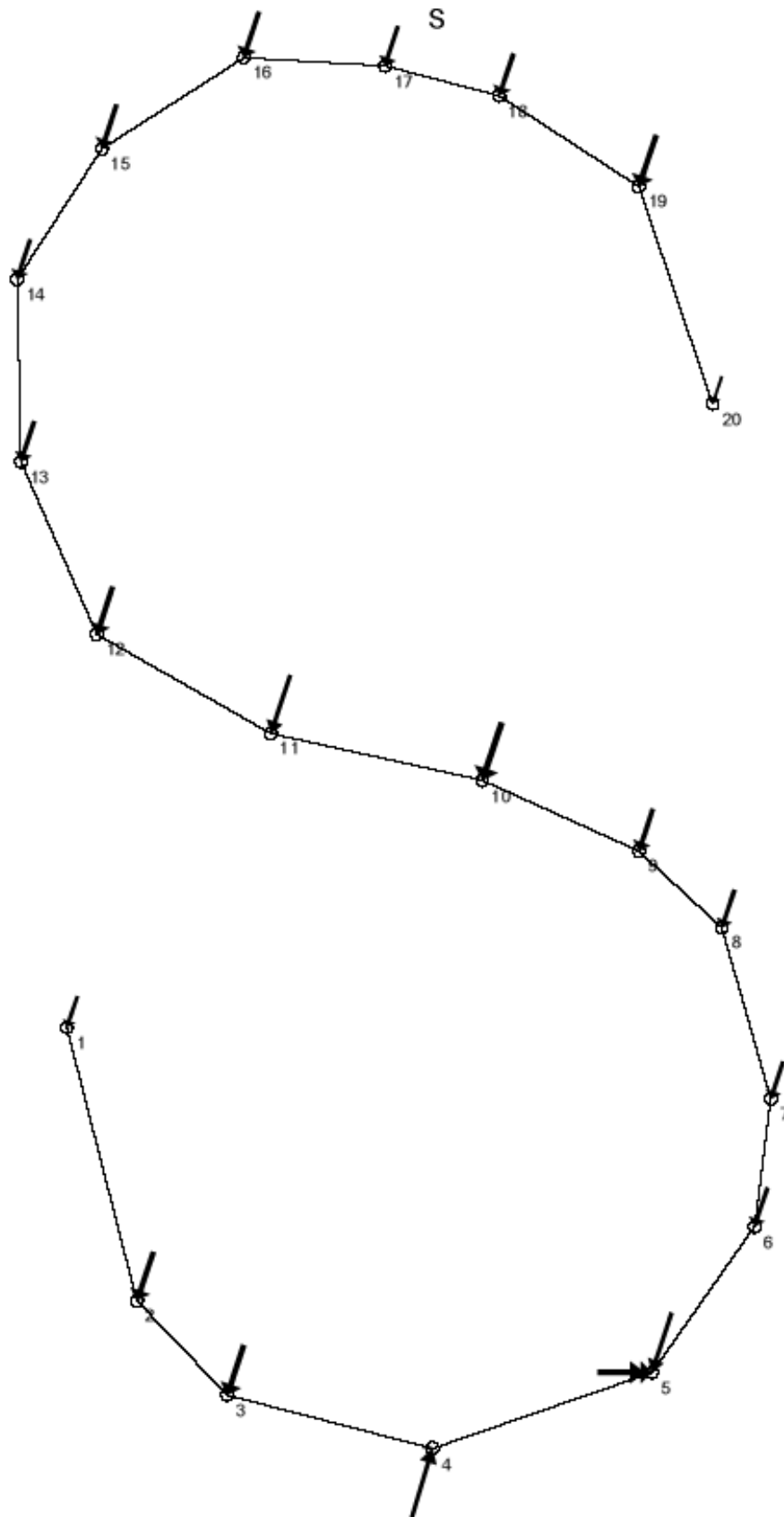
Bilag 4

4.2.1 Geometri

Rør 150x150x6

Røret antages at have samme tværsnitskonstanter, som et RHS- profil med tilsvarende dimensioner.

Inertimoment $I = 11,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$



4.2.2 Snitkræfter

Største spænding i tværsnit ved knude 6.

Coord sys: Local

Origin node (6) loads>

Fx = 1,1473E+04
Fy = 2,5907E+03
Fz = 5,6631E+03
Mx = 5,5130E+06
My = -6,1032E+06
Mz = -8,3769E+06

Axis node (7) loads>

Fx = -1,1473E+04
Fy = -2,5907E+03
Fz = -5,6631E+03
Mx = -5,5130E+06
My = 4,8669E+06
Mz = 8,9424E+06

Origin node (6) stress>

Normal (6)>

Sn1 = -9,4087E+01
Sn2 = 8,7448E+01
Ss = 2,3853E+01

Principal (6)>

S1 = -9,9789E+01
S2 = 5,7015E+00
S12 = 5,2745E+01
VMises = 1,0276E+02

Component stress (6)>

Axial stress = -3,3197E+00
Shear Y = -7,4962E-01
Shear Z = 1,6386E+00
Torsion = -2,2155E+01
Bend My = -3,8258E+01
Bend Mz = 5,2510E+01

Axis node (7) stress>

Normal (7)>

Sn1 = -8,9883E+01
Sn2 = 8,3243E+01
Ss = 2,3853E+01

Principal (7)>

S1 = -9,5820E+01
S2 = 5,9376E+00
S12 = 5,0879E+01
VMises = 9,8923E+01

Component stress (7)>

Axial stress = -3,3197E+00
Shear Y = -7,4962E-01
Shear Z = 1,6386E+00
Torsion = -2,2155E+01
Bend My = -3,0508E+01
Bend Mz = 5,6055E+01

F_x = -1,700E+04
F_y = -3,838E+03
F_z = -7,841E+03

Vridning M_x = -5,51E+06
Bøjning primært pga. vindlast M_y = 4,87 E+06
Bøjning primært pga. egenlast M_z = 8,94 E+06

Naviers

Normalspænding $\sigma = (4,87+8,94)*1e6/156e3+3,3 = 91,8 \text{ N/mm}^2$ Forskydning pga. vridning $\tau = 5,51e6/230e3 = 23,9 \text{ N/mm}^2$ Von Mises $\sigma = \sqrt{91,8^2+3*23,9^2} = 101 < 195/1,1 = 177 \text{ N/mm}^2$ **4.2.3 Deformation**

Maksimal deformation ved knude 16

Nodal displacements>

X = -6,5827E+00
Y = -4,7008E+00
Z = -1,2841E+01
Xrot = -6,1432E-03
Yrot = -1,4662E-03
Zrot = 2,4013E-03

Samlet udbøjning for karakteristisk last $u < \sqrt{6,6^2+4,7^2+12,8^2} = 15 \text{ mm}$.

Maksimal acceptabel udbøjning i X-Y retningen

$$1/400*2500 = 8,3 > \sqrt{6,6^2+4,7^2}/1,5 = 5,4 \text{ mm}$$

4.2.4 Reaktion

Max reaktion

Moment fra vind 8,9 kNm

Momentet er mindre end ved indspænding F

4.3 Bogstav M

120x120x3 mm

3 understøtninger.	
Midterste flange.	
4 bjælker med den samlede længde	$l = 2*(1,4*2,5+2,5) = 12 \text{ m}$
Vindlast	$12*1,26 = 15,1 \text{ kN}$
Moment ved indspænding	$15,1*2,5/2/3 = 6,3 \text{ kNm}$
Bøjningsspænding	$6,3e6/56,6e3 = 111 < 195/1,1 = 177 \text{ N/mm}^2$

4.4 Bogstav N

120x120x3 mm	
2 understøtninger.	
Vindlast	$1,26*(2*2,5+1,4*2,5) = 10,7 \text{ kN}$
Moment	$10,7*2,5/2/2 = 6,7 \text{ kNm}$
Bøjningsspænding	$6,7e6/56,6e3 = 118 < 195/1,1 = 177 \text{ N/mm}^2$

5 STÅLSTATIV

Bogstav M er tungest. Alle bogstaver understøttes af 2 bukke.
Bilag 2

5.1 UNP 120

5.1.1 Geometri

UNP120
Bogstavet regnes fyldt med beton med den beregnede vægt 16 kN

5.1.2 Last

Egenlast $13 + 16 \text{ kN} = 29 \text{ kN}$
Last pr. bukke $29/2 = 14,5 \text{ kN}$

5.1.3 Snitkræfter

Moment $M = 1/4*14,5*0,8 = 2,9 \text{ kNm}$
Bøjningsspænding
 $\sigma = 2,9e6/2/60,7e3/2 = 11,9 < 213 \text{ N/mm}^2$

5.2 Fordelingsplade

5.2.1 Geometri

Plade 15x250x250 mm

5.2.2 Last

Last på en fodplade $14,5/2 = 7,3 \text{ kN}$
Fladelast $7,3/0,25^2 = 117 < 150 \text{ kN/m}^2$

5.2.3 Snitkræfter

Bøjning i plade
Moment $m = 1/2*0,117*125^2 = 914 \text{ Nmm/mm}$
Bøjningsspænding $\sigma = 914/(1/6*1*12^2) = 38 < 213 \text{ N/mm}^2$

6 RING

Den aktuelle ring med 14 sektioner tilnærmes med 10 sektioner, som hver har samme længde.
Radius 4,0 m. Bilag 1, bilag 2, bilag 6.

Bogstaverne ækvivaleres med 10 kvadratiske rør hvor godstykkelsen er forøget med en faktor 2,7. Der er 27 rørprofiler.

Den samlede vægt af konstruktionen er fordelt på toppen af de 10 søjler.

Bilag

6.1 Last

Total vægt uden beton 138 kN

Vindlast på bogstaver $10 \cdot 27 / 10 \cdot 3,5 \cdot 0,63 = 59,3$ kN

Vindlast på ring med beklædning $\approx 1,0 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 12$ kN

Samlet last $59 + 12 = 71$ kN

I model er der anvendt en samlet vindlast på 95,2 > 71 kN og er på den sikre side placeret på søjlerne.

6.2 Snitkræfter

Største Von Miseses spændinger optræder i element 15-16 i knude 16

Axis node (16) loads>

Fx = -3,8509E+03

Fy = 2,1935E+03

Fz = 1,7509E+04

Mx = 1,1464E+07

My = 2,3315E+07

Mz = -1,7880E+06

Axis node (16) stress>

Normal (16)>

Sn1 = -2,3521E+01

Sn2 = 2,2851E+01

Ss = 8,0833E+00

Principal (16)>

S1 = -2,6031E+01

S2 = 2,5100E+00

S12 = 1,4271E+01

VMises = 2,7373E+01

Component stress (16)>

Axial stress = -3,3508E-01

Shear Y = 1,9086E-01

Shear Z = -1,5235E+00

Torsion = 6,8159E+00

Bend My = -2,1513E+01

Bend Mz = -1,6735E+00

Da VMises $\sigma_m = 27,3 < 355 / 1,1 = 322$ N/mm² er bæreevnen i orden.

6.3 Deformationer

Med en maksimal deformation på 19 mm ved knude 45 ses det, at konstruktionen har tilstrækkelig stivhed. Værdien stemmer med den før fundne værdi på 15 mm for bogstav 'S'.

6.4 Tværpladestød.

Bilag 2

Indre momentarm $420-33-53 = 334 \text{ mm}$

Træk i bolt $\approx (21,5+1,673)/0,334/3*1,5 = 34,7 \text{ kN}$

Regningsmæssig trækstyrke en bolt $83,7 > 34,7 \text{ kN}$

Bøjning af tværplade $40*34,7e3/300 = 4627 \text{ Nmm/mm}$

Bøjningsspænding $4627/(1/6*1*20^2) = 69,4 < 213 \text{ N/mm}^2$

7 BILAG

7.1 Bilag 1

Plan og opstalt

7.2 Bilag 2

Detaljer

7.3 Bilag 3

Billeder

7.4 Bilag 4

FEM 'S'

7.5 Bilag 5

FEM Ring