

## Dybbøl hallen :

### Statiske beregninger

Beregningerne er udført iht. nedenstående Eurocode- normer samt tilhørende nationale dokumenter:

- EN1990 Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner
- EN1991-2 Last på bærende konstruktioner, del 1-3 : Generelle laster – brandlast
- EN1991-3 Last på bærende konstruktioner, del 1-3 : Generelle laster – snelast
- EN1991-4 Last på bærende konstruktioner, del 1-4 : Generelle laster – vindlast
- EN1993-1-1 Stålkonstruktioner, Generelle regler samt regler for stålkonstruktioner
- EN1993-1-8 Stålkonstruktioner, Samlinger

De statiske beregninger består af dette dokument samt to bilag, Statik-bilag1 med udskrifter for statiske modeller samt snitkræfter og Statik-bilag2 med udskrifter for normcheck-beregninger.

Beregninger udført af :

Poul Colberg, Colberg Consult

Kokkedal 24.06.2011



Kontrolleret af



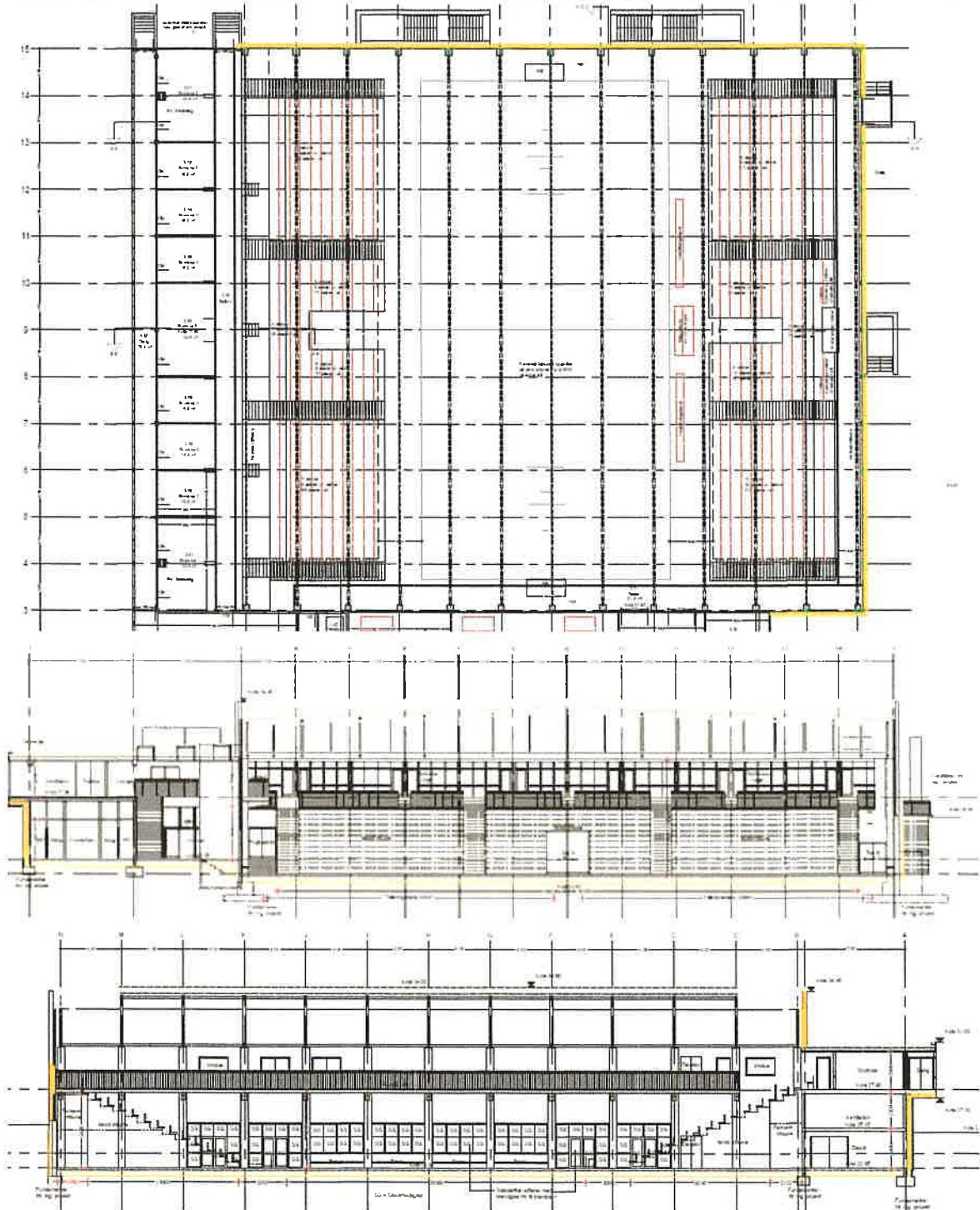
**Give Stålspær A/S**  
Medlem af Danmarks Stålskæringsforbund  
Torben Rasmussen, 14 - 7330 Brande  
Tlf. 75 73 12 18  
Telefax 75 73 12 75

Tredjepartskontrol

## Indhold

1	Oversigt.....	3
2	Gitterspær akse C-M.....	5
2.1	Ophængte laste.....	6
2.2	Snitkræfter .....	7
2.3	Reaktioner :.....	7
2.4	Samlinger .....	8
2.4.1	Boltesamling underflange .....	9
2.4.2	Boltesamling overflange .....	11
2.5	Fastholdelse af underflange for sug på tag .....	12
2.6	Deformationer .....	12
3	Gitterspær akse B .....	13
3.1	Ekstra laste .....	15
3.2	Snitkræfter .....	16
3.3	Reaktioner :.....	16
3.4	Samlinger .....	17
3.4.1	Boltesamling underflange .....	18
3.4.2	Boltesamling overflange .....	18
3.5	Deformationer .....	18
3.6	Samling Gitter/Tag-Skybokse .....	19
4	Gitter akse N .....	20
5	Kantbjælke akse 3, nedre stringer gitre .....	20
6	Vindkryds .....	21
6.1	Vindkryds mellem akse L og M .....	21
6.1.1	Forstærket overgurt.....	23
6.2	Gavlsøjler akse N.....	23
6.3	Vindkryds mellem akse C og D .....	24
6.4	Forstærket gitterspær .....	25
7	Fastholdelse underflange .....	25
8	Tagskiven.....	26
8.1	Kritiske søjlelængder for overflange svarende til regningsmæssig normalkraft .....	26
9	Brand.....	28
9.1	Udknækning.....	29

**1 Oversigt**



Gitterspær med spænd 45m og cc. 4.1m

Egenlast tag over multihal	
Trapezplade EM-128R/930	0,10 kN/m <sup>2</sup>
100 mm. Rockwool® Stålunderlag Energy	0,11 kN/m <sup>2</sup>
2x135 mm. Rockwool® underlag Energy	0,26 kN/m <sup>2</sup>
(Alternativ 100+175 mm sundolitt S60)	(0,04 kN/m <sup>2</sup> )
85 mm. HardRock Energy	0,10 kN/m <sup>2</sup>
Icopal Top 500 P + Icopal Base 511 PG	0,08 kN/m <sup>2</sup>
Installationer (Fri)	0,05 kN/m <sup>2</sup>
Forskellige produkters varierende tyngde (+/-)	0,05 kN/m <sup>2</sup>
Øvre værdi af egenlast	0,75 kN/m <sup>2</sup>
Nedre værdi af egenlast	0,40 kN/m <sup>2</sup>

Vind : 24m/s, terrænklasse II højde referencehøjde 12m

Sne : 0.90kPa og  $\mu=0.8$ .

Ophængte laste 7.5kN midterste halvdel, 15kN i yderste fjerdedele af gitter.

Stålkvalitet S355

Der er anvendt en materialepartialkoefficient  $\gamma_{m0} = 1,1$  samt  $\gamma_{m0} = 1,2$  for udknækning. Dette sidste fremgår ikke eksplicit af udskrifterne, men man vil kunne se at de beregnede spændinger opfylder dette kriterie med reducerede spændinger for udknækning.

Da alle elementer betragtes som nøgleelementer, er der anvendt en reduceret regningsmæssig flydespænding svarende til en reduktionsfaktor 1.2. Dvs. at den regningsmæssige styrke er 268MPa ved styrkeberegning og 247MPa ved udknækning.

Gitrenes knudepunktssamlinger er beregnet iht. En1993-1-8.

**2 Gitterspær akse C-M**

```
*****
**      T I L B U D S      **
**      B E R E G N I N G  **
**      G I T T E R       **
**      **                **
** Fil           : Dybbøl   **
** Konstruktion : Midt355  **
** Norm          : EuroCode-DK **
*****
```

HOVEDGEOMETRI : ( Sym. Hal )

Spændvidde : 45.000 [m]      Hallængde : 50.000 [m]  
 c/c afstand : 4.100 [m]      Position : 4.100 [m]

OVERORDNET	VENSTRE	HØJRE
Benhøjde .....	3.000	3.000 [m]
Benstart .....		0.000 [m]
Taghældning ...	2.000	2.000 [Grader]
Søjler .....	HE200A	HE200A

RIGLER		
Højde v. facade :	2.544	2.544 [m]
Højde v. kip :	3.330	3.330 [m]
Antal Fag :	10	10
Knudepunkter :	-V-	-V-
Gittertype :	Konstant Vinkel	Konstant Vinkel
Start Gitter :	Udvendig	Udvendig
Inderflange :	HE160A	HE160A
Yderflange :	HE200A	HE200A
Vertikaler :	RHS100100 50	RHS100100 50
Diagonaler :	RHS100100 50	RHS100100 50

BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER:

Vægt af tag : 0.750 [kN/m2]      Vægt af facade : 0.200 [kN/m2]

Basis sne : 0.900 [kN/m2]

Vind : Reference højde : 13.000 [m]  
 Reference hast. : 24.000 [m/s]  
 Terrænklasse : II  
 Hast. tryk : 0.908 [kN/m2]  
 Port åbning : Nej

Materiale:

Konsekvensklasse : Konsekvens CC3  
 Materiale kontrol: Normal

	Flydespænding Karakteristisk	Flydespænding Regningsmæssig	
Flanger Ben :	296.000	269.091	[MPa]
Tænger Ben :	296.000	269.091	[MPa]
Flanger Rigle :	296.000	269.091	[MPa]
Tænger Rigle :	296.000	269.091	[MPa]
-----			
EModul :	210.000	210.000	[GPa]

VÆGTBEREGNING

Flanger søjler :	253 [kg]
Tænger søjler :	0 [kg]
Flanger rigler :	3272 [kg]
Tænger rigler :	903 [kg]
-----	
Samlet :	4428 [kg]

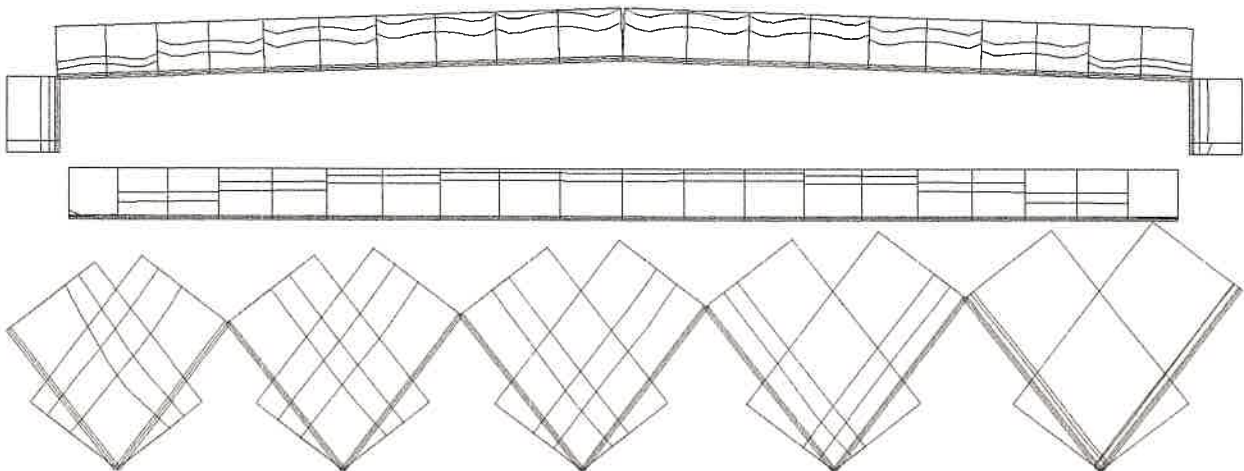
Overgurt HE200A, S355  
Undergurt HE160A, S355  
Lodret søjlestump HE160A, S355



Tænger S355

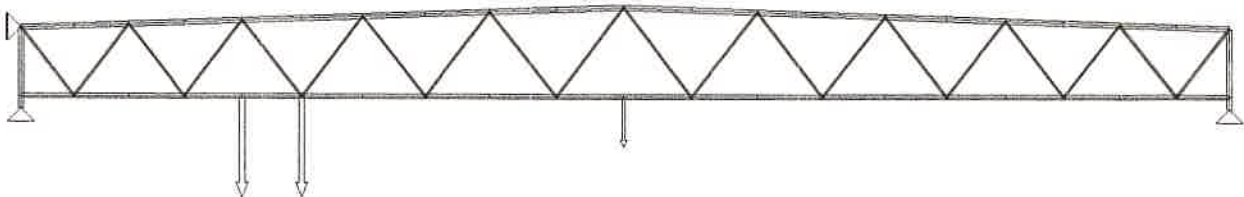


Overflange fastholdt mod udknækning af tagskive i kold tilstand  
Underflange fastholdt i 5 punkter med indbyrdes afstand 5.00m.



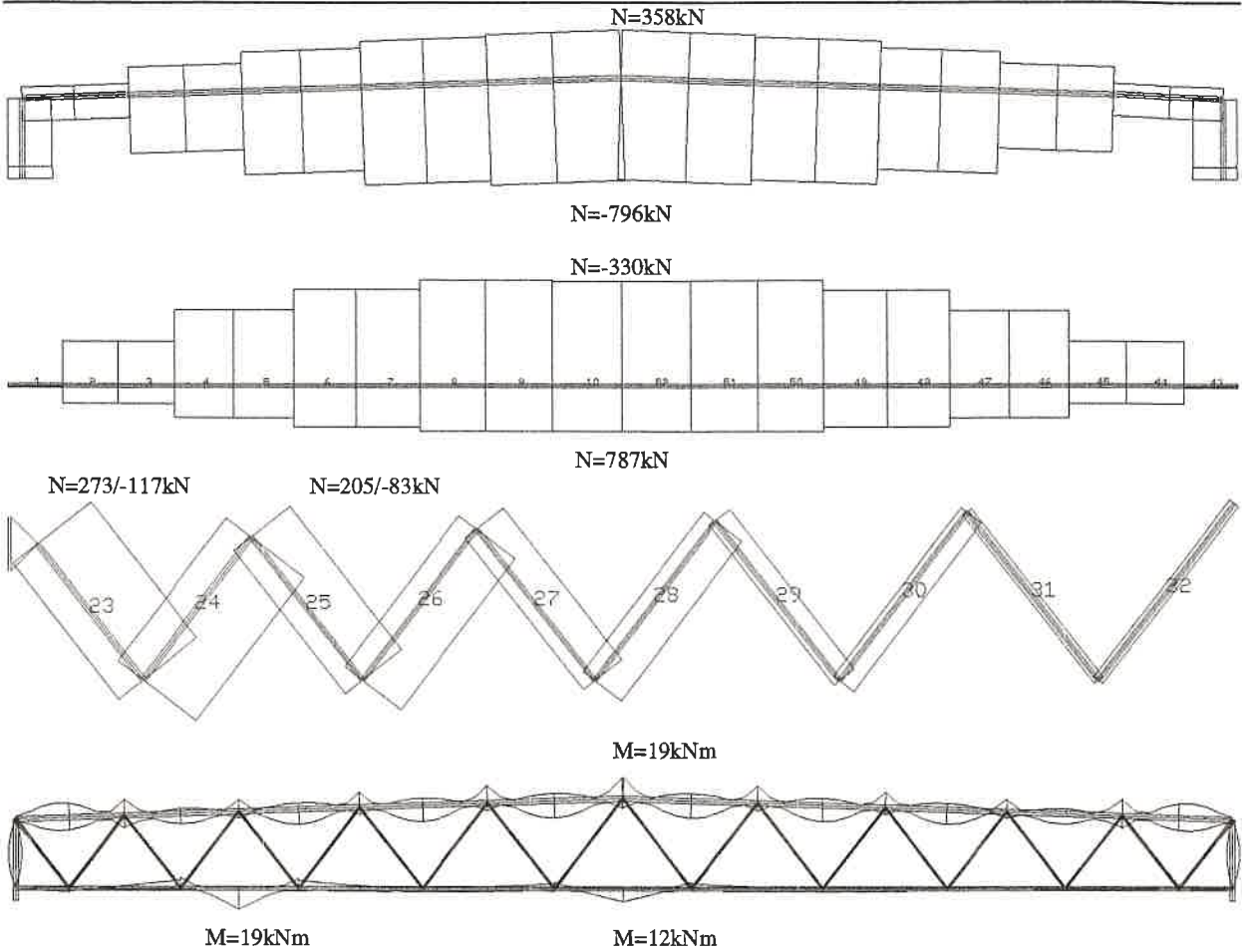
Spændingsudnyttelser og normcheck

## 2.1 Ophængte laste



7.5kN i midten, 15kN i knudepunkt 10.5m fra facade og 15kN mellem to knudepunkter.  
Kategori "Ophæng", tre hændelser, dvs. én af de viste placeringer medtages hvis kraften virker til ugunst.  
 $\psi_0=0.7$ .

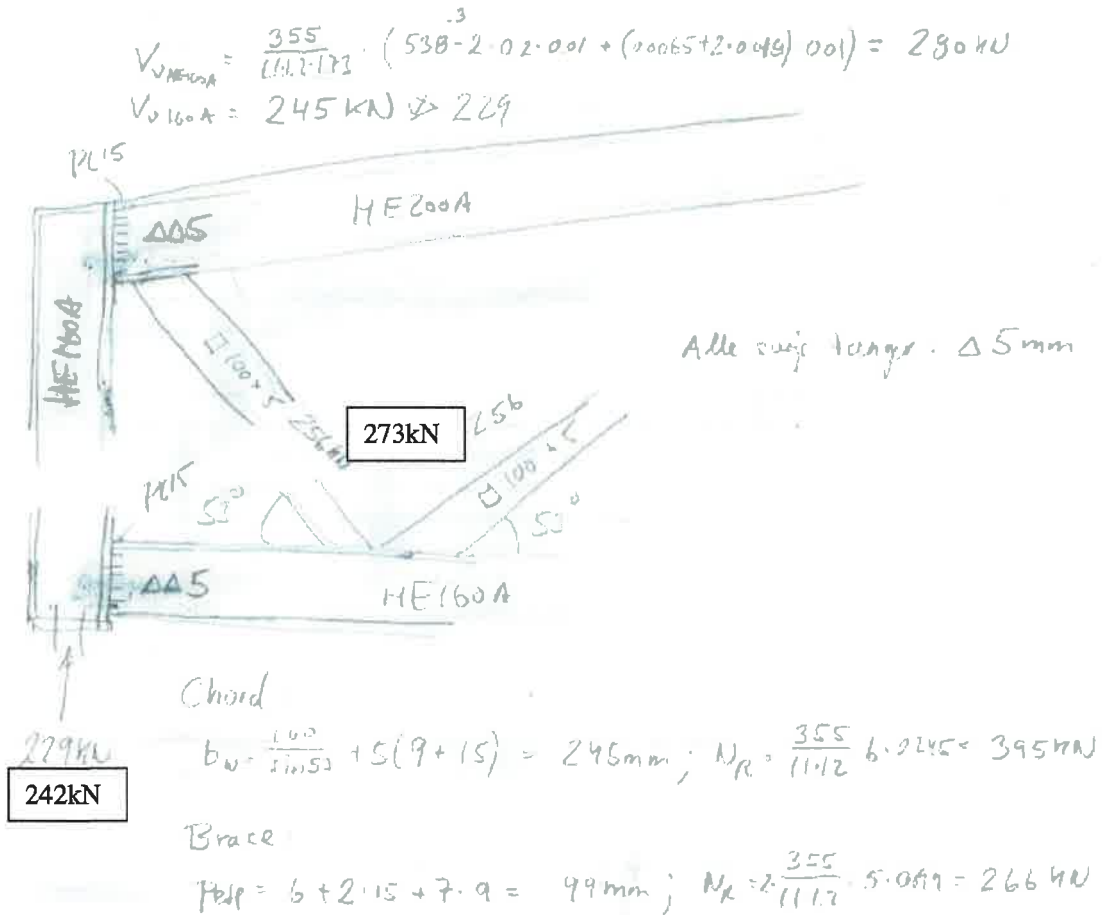
**2.2 Snitkræfter**



**2.3 Reaktioener :**

Knude Nr.	Type	Rx [kN]	Ry [kN]	M [kNm]
43	min Rx	-12.127	242.001	0.000
	max Rx	1.873	-23.755	0.000
	min Ry	-0.329	-103.361	-0.000
	max Ry	0.084	243.327	0.000
44	min Rx	-1.873	-103.280	0.000
	max Rx	4.711	233.816	-0.000
	min Ry	-1.873	-103.280	0.000
	max Ry	4.711	233.816	-0.000

**2.4 Samlinger**



Forskydning HE160A :  $245 / \sin(53) = 306 > 273 \text{ kN}$  OK

Svejsesømme diagonaler :

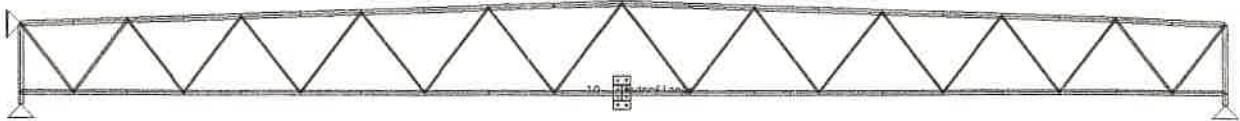
Største spænding i diagonal er 190MPa. Eksentriciteter kan ignoreres for rørprofiler.

$\sqrt{2} \cdot 190 \cdot t/a \leq 490 / (0.9 \cdot 1.35 \cdot 1.2)$   $a/t > 0.8$ , hvor der ovenstående anvendes  $a/t = 1.0$

Svejsesøm overflange/søjlestump :  $N = 490 / 0.9 / 1.35 / 1.2 / 1.73 \cdot 0.17 \cdot 0.005 \cdot 2 = 396 \text{ kN} > 229 \text{ OK}$



## 2.4.1 Boltesamling underflange



```

*****
**                                **
** KONSTRUKTION : Midt355         **
** SAMLING      : Underflange     **
** Boltet tværpladestød          **
**                                **
** Bjælke       : 10              **
** Position     : 2.532 [m]       **
** Vinkel       : 0.000 [Grader] **
** Norm         : EuroCode-DK     **
**                                **
*****
    
```

Snitkræfter	N [KN]	V [KN]	M [KNm]
Underflange	760.227	-0.063	-1.744
Overflange	760.227	-0.063	-1.744

Pladekræfter	Underflange	Overflange [----]
Underflange	1834.777	1834.777 [KN/m]
Overflange	1692.048	1692.048 [KN/m]
Krop underside	1223.185	1223.185 [KN/m]
Krop overside	1128.032	1128.032 [KN/m]
Forskydning	0.095	0.095 [KN]

```

Bolte kvalitet ..... : 8.8
Boltestørrelse ..... : M24
Boltetrækcapacitet ... : 188.27 [KN]
Antal bolte pr række  : 2
Bolteafstande ..... :
    
```

```

Til kroppen ..... : 40.000 [mm]
Vandret imellem bolte .. : 60.000 [mm]
Til under overflange ... : 40.000 [mm]
Til over overflange ... : 40.000 [mm]
Til over underflange ... : 40.000 [mm]
Til under underflange ... : 40.000 [mm]
Lodret imellem bolte ... : 60.000 [mm]
    
```

```

Plademateriale ..... : FlangeBen
Flydespænding ..... : 269.09 [MPa]
Pladebredde ..... : 160.00 [mm]
Flangeafstand ..... : 151.82 [mm]
Forlængelse overflange : 80.00 [mm]
    
```

Forlængelse underflange : 80.00 [mm]

### TVÆRPLADEDIMENSIONERING

```

Træk i underflange
Antal bolterækker over flange ... : 1
Antal bolterækker under flange ... : 1
Nødvendig indre boltetrækcapacitet : 182.94 [KN]
Nødvendig ydre boltetrækcapacitet : 80.70 [KN]
    
```

```

Træk i overflange
Antal bolterækker under flange ... : 1
Antal bolterækker over flange ... : 1
Nødvendig indre boltetrækcapacitet : 170.81 [KN]
Nødvendig ydre boltetrækcapacitet : 75.35 [KN]
    
```

Pladetykkelse ..... : 16.64 [mm]

```

Gennemlokning af plade .... tp >= : 7.59 [mm]
Hulrandstryk ..... tp >= : 0.00 [mm]
Forskydningskapacitet pr. bolt ... : 125.51 [KN]
Udnyttelse, kombination N,V ..... : 94.42 [%]
    
```

### Bemærkninger :

Tværpladen og trækkræfterne i boltene bestemmes som beskrevet i "Design of bolted endplate connections" af P.C. Olsen.  
 Gennemlokning er baseret på anvisningerne i EC2  
 Forskydningen regnes fordelt ligeligt mellem alle bolte.  
 Hulrandstryk, boltekapaciteter og udnyttelse bestemmes i overensstemmelse med gældende norm.

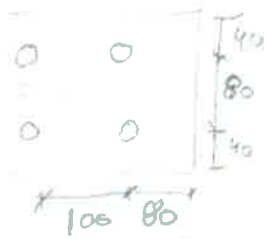
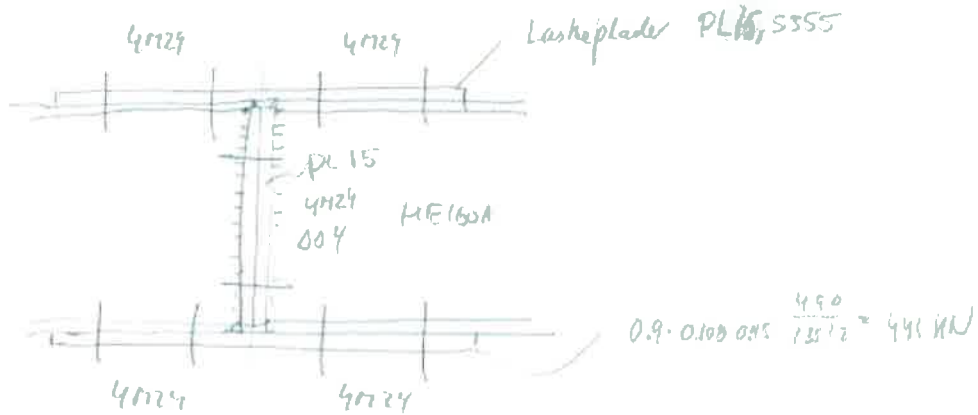
Svejsninger (Dimensioneret som symmetriske dobbelt-kantsømme)

Flydespænding : 269.1 [MPa]

	s90 [MPa]	s90 [MPa]	t0 [MPa]	a [mm]
Overflange	134.5	134.5	0.0	5.00
Underflange	134.5	134.5	0.0	5.00
Krop	134.5	134.5	0.1	4.00

Anvend PL20

2.4.1.1 Revideret samling



Tverrsnitsvækkelse:

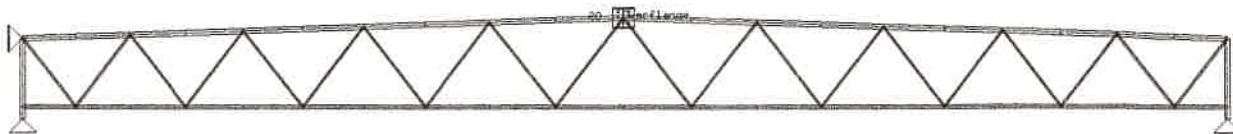
$A_{net} = 3980 - 4 \cdot 26 \cdot 9 = 2944 \text{ mm}^2$

$N_{y,rd} = 0.9 \cdot 2944 \cdot \frac{440}{1.3512} = 8801 \text{ kN} > 787 \checkmark$

Bulle:  $F_B = 8.6 \cdot \frac{800}{1.3512} \cdot 0.452 \cdot 8 = 1071 \text{ kN} > 787$

Hullrand:  $F_H = \frac{490}{1.3512} \cdot 25 \cdot 0.024 \cdot 0.009 \cdot 8 = 1307 \text{ kN} > 787$

## 2.4.2 Boltesamling overflange



```

*****
**          **
** KONSTRUKTION : Midt355          **
** SAMLING      : Overflange      **
**          **
** Boltet tværpladestød          **
**          **
** Bjælke      : 20                **
** Position    : 2.534 [m]         **
** Vinkel      : -2.000 [Grader]  **
** Norm        : EuroCode-DK      **
**          **
*****

-----
Snitkræfter      N          V          M
                  [KN]       [KN]       [KNm]
-----
Underflange     358.839    -11.960    -8.577
Overflange      358.839    -11.960    -8.577
-----

Pladekræfter      Underflange  Overflange [----]
-----
Underflange      886.946      886.946 [KN/m]
Overflange       446.216      446.216 [KN/m]
Krop underside   578.714      578.714 [KN/m]
Krop overside    292.239      292.239 [KN/m]
Forskydning      1.132         1.132 [KN]
-----

Bolte kvalitet   : 8.8
Boltestørrelse  : M20
Bolte trækcapacitet : 130.67 [KN]
Antal bolte pr række : 2
Bolteafstande   :

Til kroppen     : 50.000 [mm]
Vandret imellem bolte : 60.000 [mm]
Til under overflange : 40.000 [mm]
Til over overflange : 40.000 [mm]
Til over underflange : 40.000 [mm]
Til under underflange : 40.000 [mm]
Lodret imellem bolte : 60.000 [mm]

Plademateriale  : FlangerBen
Flydespænding   : 269.09 [MPa]
Pladebredde     : 200.00 [mm]
Flangeafstand   : 189.83 [mm]
    
```

Forlængelse overflange : 0.00 [mm]  
 Forlængelse underflange : 0.00 [mm]

### TVÆRPLADEDIMENSIONERING

```

-----
Træk i underflange
Antal bolterækker over flange ... : 2
Antal bolterækker under flange ... : 0
Nødvendig indre boltetrækcapacitet : 93.54 [KN]
Nødvendig ydre boltetrækcapacitet : 0.00 [KN]
-----
Træk i overflange
Antal bolterækker under flange ... : 1
Antal bolterækker over flange ... : 0
Nødvendig indre boltetrækcapacitet : 77.05 [KN]
Nødvendig ydre boltetrækcapacitet : 0.00 [KN]
-----
Pladetykkelse : 16.20 [mm]
-----
    
```

```

-----
Gennemlokning af plade ..... tp >= : 4.66 [mm]
Hulrandstryk ..... tp >= : 0.02 [mm]
Forskydningskapacitet pr. bolt .... : 87.11 [KN]
Udnyttelse, kombination N,V ..... : 51.25 [%]
-----
    
```

**Bemærkninger :**  
 Tværpladen og trækkræfterne i boltene bestemmes som beskrevet i "Design of bolted endplate connections" af P.C. Olsen.  
 Gennemlokning er baseret på anvisningerne i EC2  
 Forskydningen regnes fordelt ligeligt mellem alle bolte.  
 Hulrandstryk, boltekapaciteter og udnyttelse bestemmes i overensstemmelse med gældende norm.

Svejsninger (Dimensioneret som symmetriske dobbelt-kantsømme)

Flydespænding : 269.1 [MPa]

	s90 [MPa]	s90 [MPa]	t0 [MPa]	a [mm]
Overflange	134.5	134.5	0.0	1.21
Underflange	134.5	134.5	0.0	2.43
Krop	134.5	134.5	0.9	1.58

Anvend PL20

### 2.5 Fastholdelse af underflange for sug på tag

$$S = 12 \cdot \sqrt{0.5(1+1/12)} \cdot 4 \cdot 330/500 = 24 \text{ kN} \quad (N_{\text{Underflange, Sug}} = 330 \text{ kN})$$

#### Column buckling by SADS



$$\lambda = (l_s/i) / (\pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}) \quad \phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$$

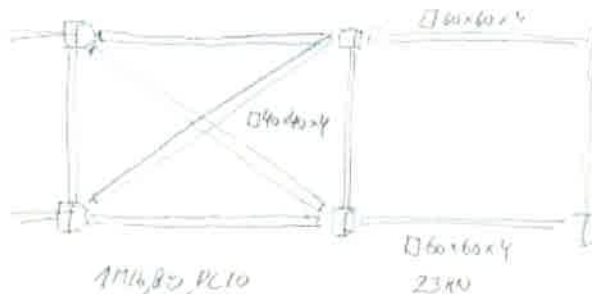
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad N_{cr} = \chi f_{yd} A$$

Section	<b>RHS 60 60 40</b>
Area	$0.882 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Column length	4100mm
Material S335	$E=210 \text{ GPa}$
Strength $f_y$	196MPa
Design strength $f_{yd}$	163.3MPa

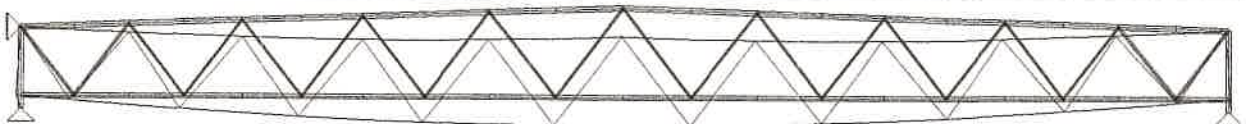
	Y-Axis	Z-AXIS
Buckling length $l_s$	4100mm	4100mm
Buckling curve	-C-	-C-
Imperfection factor	$\alpha=0.49$	$\alpha=0.49$
Radius of gyration	$i_y=22.8 \text{ mm}$	$i_z=22.8 \text{ mm}$
Reduction factor	$\chi=0.25$	$\chi=0.25$
Critical axial force	$N_{cr,y}=35.5 \text{ kN}$	$N_{cr,z}=35.5 \text{ kN}$

Position Fasthold underflange  
 Axial force 24kN

Placeres hele hallens længde med kryds til overflange i enkelt fag.  
 I overflange lægges en tilsvarende stang for fastholdelse af overflange under brand.



### 2.6 Deformationer



Egenvægt  $w_{\text{Midt}} = 53 \text{ mm}$   
 Sne  $w_{\text{Midt}} = 39 \text{ mm}$

For samling underflange med overhuller 2mm må påregnes nedbøjning  $w_{\text{Midt}} = 2/3500 \cdot 45000/2 = 13 \text{ mm}$ .

### 3 Gitterspær akse B

```
*****
**      T I L B U D S      **
**      B E R E G N I N G  **
**      G I T T E R        **
**                          **
** Fil      : Dybbøl       **
** Konstruktion : G-AkseB  **
** Norm     : EuroCode-DK  **
*****
```

HOVEDGEOMETRI : ( Sym. Hal )

Spændvidde : 45.000 [m]      Hallængde : 50.000 [m]  
 c/c afstand : 4.100 [m]      Position : 0.000 [m]

OVERORDNET	VENSTRE	HØJRE
Benhøjde .....	3.000	3.000 [m]
Benstart .....		0.000 [m]
Taghældning ...	0.001	0.001 [Grader]
Søjler .....	HE200A	HE200A

RIGLER		
Højde v. facade :	2.410	2.410 [m]
Højde v. kip :	2.410	2.410 [m]
Antal Fag :	10	10
Knudepunkter :	-V-	-V-
Gittertype :	Konstant Vinkel	Konstant Vinkel
Start Gitter :	Udvendig	Udvendig
Inderflange :	HE280B	HE280B
Yderflange :	HE320B	HE320B
Vertikaler :	RHS100100 50	RHS100100 50
Diagonaler :	RHS100100 50	RHS100100 50

BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER:

Vægt af tag : 0.750 [kN/m2]      Vægt af facade : 0.200 [kN/m2]

Basis sne : 0.900 [kN/m2]

Vind : Reference højde : 13.000 [m]  
 Reference hast. : 24.000 [m/s]  
 Terrænklasse : II  
 Hast. tryk : 0.908 [kN/m2]  
 Port åbning : Nej

Materiale:

Konsekvensklasse : Konsekvens CC3  
 Materiale kontrol: Normal

	Flydespænding Karakteristisk	Flydespænding Regningsmæssig	
Flanger Ben :	296.000	269.091	[MPa]
Tænger Ben :	296.000	269.091	[MPa]
Flanger Rigle :	296.000	269.091	[MPa]
Tænger Rigle :	296.000	269.091	[MPa]
-----			
EModul :	210.000	210.000	[GPa]

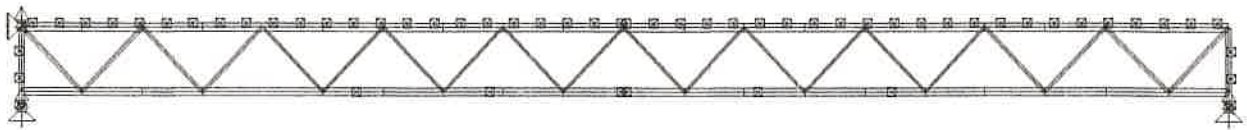
VÆGTBEREGNING

Flanger søjler :	253 [kg]
Tænger søjler :	0 [kg]
Flanger rigler :	10315 [kg]
Tænger rigler :	1486 [kg]
-----	
Samlet :	12054 [kg]

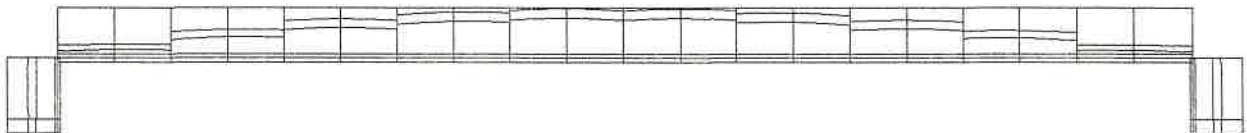
Overgurt HE320B, S355  
Undergurt HE280BA, S355  
Lodret søjlestump HE200A, S355



Tænger S355

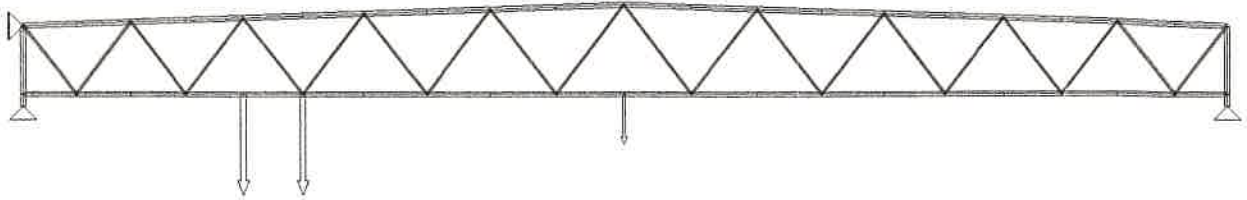


Overflange fastholdt mod udknækning af tagskive i kold tilstand  
Underflange fastholdt regningsmæssigt i 5 punkter med indbyrdes afstand 5.00m. Fastholdes i virkeligheden kontinuert af tag skybok se.



Spændingsudnyttelser og normcheck

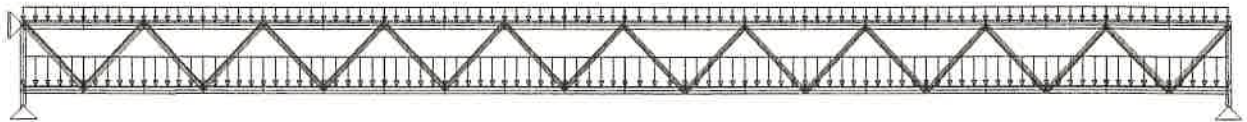
### 3.1 Ekstra laste



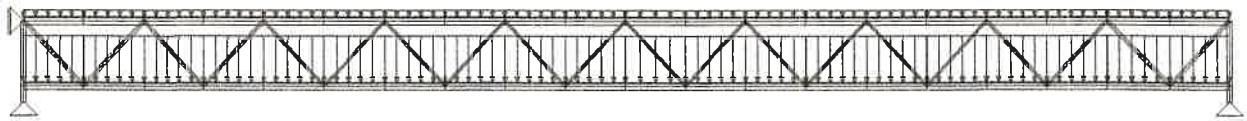
7.5kN i midten, 15kN i knudepunkt 10.5m fra facade og 15kN mellem to knudepunkter.

Kategori "Ophæng", tre hændelser, dvs. én af de viste placeringer medtages hvis kraften virker til ugunst.

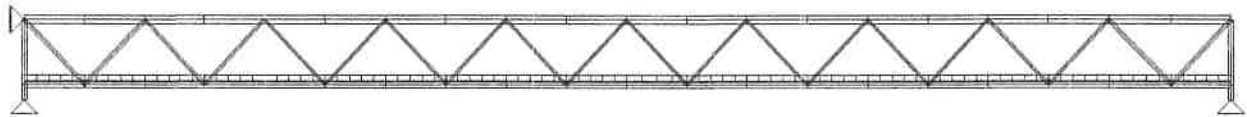
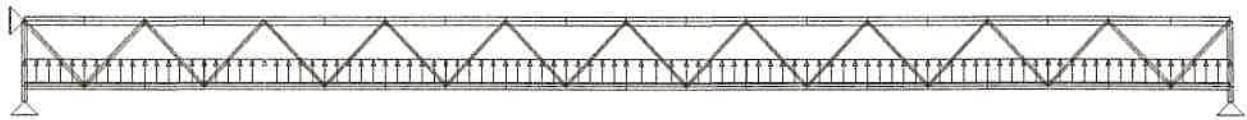
$\psi_0=0.7$ .



Egenvægt 4.7 kN/m skybokse i underflange



Sne 8.8kN/m skybokse i underflange

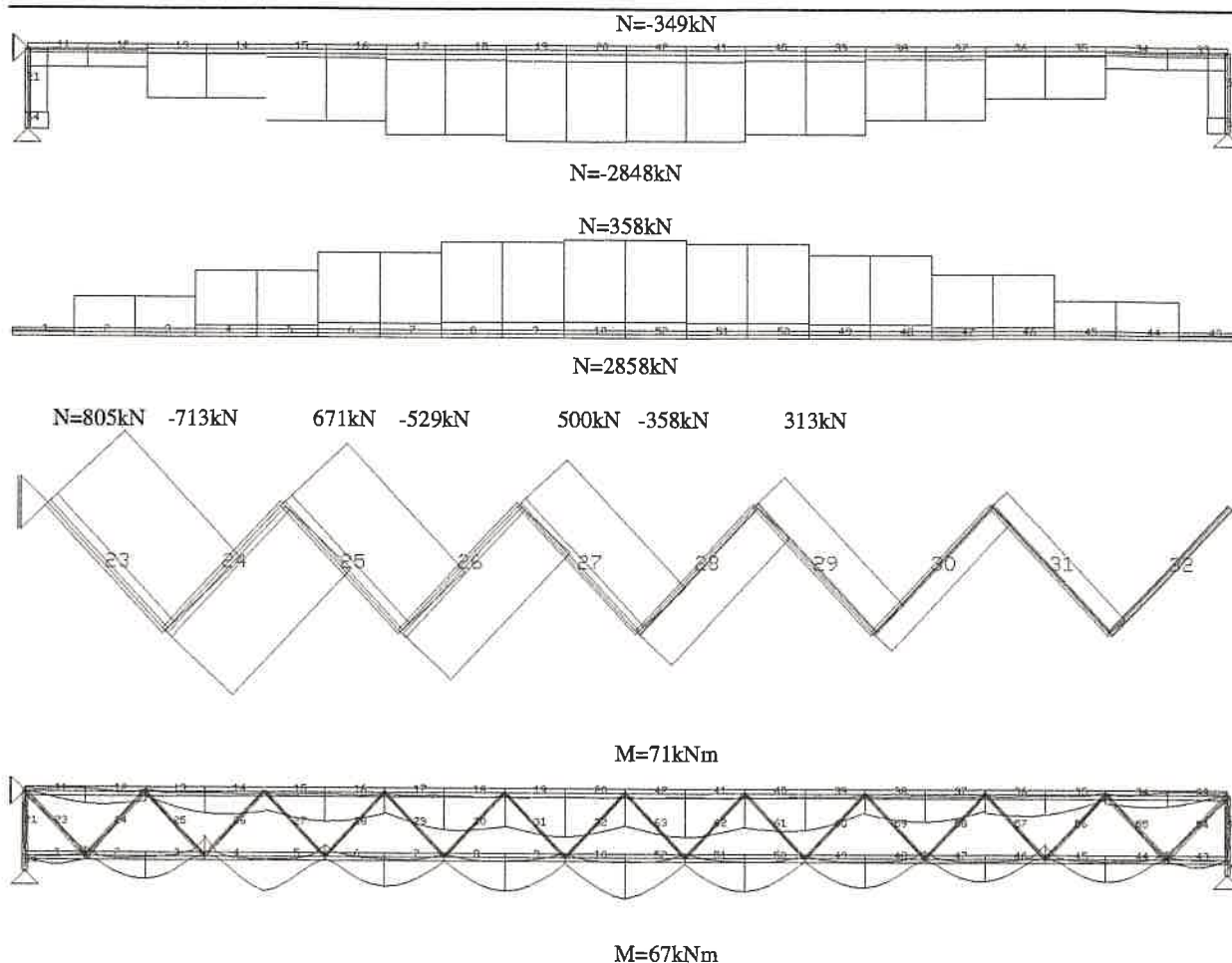


Vind, hændelse "Skybokse",

Sug, lastgruppe 1, 2.2kN/m

Tryk lastgruppe 2, 0.6kN/m

**3.2 Snitkræfter**



**3.3 Reaktionen :**

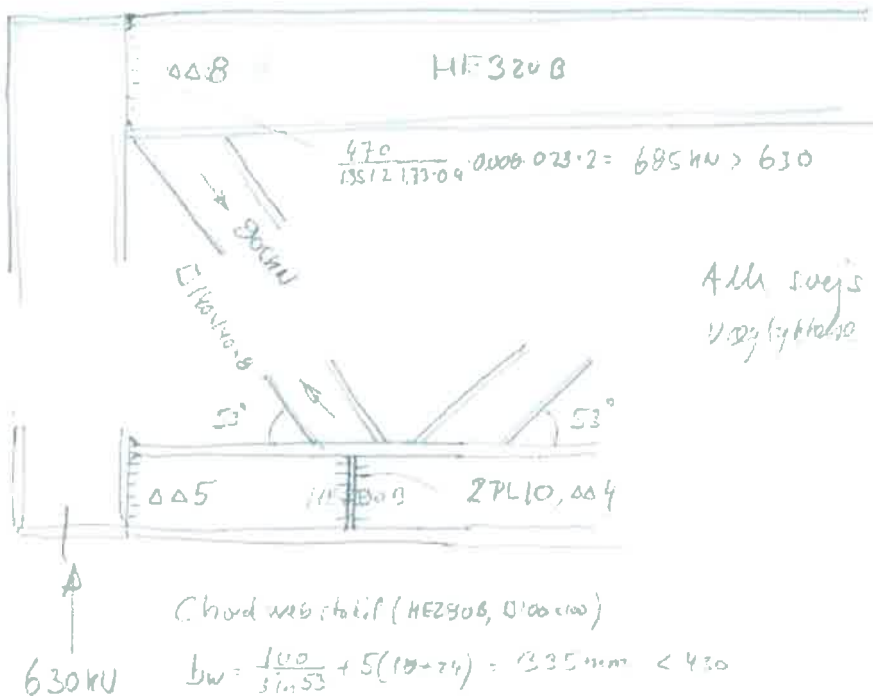
Knude Nr.	Type	Rx [kN]	Ry [kN]	M [kNm]
43	min Rx	-30.441	627.953	0.000
	max Rx	1.268	130.640	0.000
	min Ry	0.845	71.917	-0.000
	max Ry	0.054	630.698	0.000
44	min Rx	-1.268	118.265	-0.000
	max Rx	2.874	608.582	0.000
	min Ry	-1.268	71.937	-0.000
	max Ry	2.691	618.480	-0.000



3.4 Samlinger

$$V_{PR1200} = \frac{355}{1112.173} \cdot (16.1^3 - 2 \cdot 0.30 \cdot 0.0205 + (0.015 + 2 \cdot 0.027) \cdot 0.0205) = 800 \text{ kN} > 630 \checkmark$$

$$V_{PRHE200} = \frac{355}{1117.173} \cdot (13.1^3 - 2 \cdot 0.28 \cdot 0.018 + (0.0105 + 2 \cdot 0.024) \cdot 0.018) = 633 \text{ kN} > 630 \checkmark$$



All svejs længde =  
 1.023 bytkele

Chord web stiff (HE200B, 0'000'000)

$$b_w = \frac{100}{\sin 53} + 5(10+24) = 1335 \text{ mm} < 430$$

$$N_{Rd} = \frac{355}{1112.5 \sin 53} \cdot 0.0105 \cdot 0.235 = 1185 \text{ kN} > 805$$

Brace (HE320B)  $P_{eff} = 11.5 + 2 \cdot 27 + 7 \cdot 205 = 209 \text{ mm}$

□ 140 x 140 x 8 :  $N_{Rd} = 2 \cdot \frac{355}{1112} \cdot 0.005 \cdot 0.209 = 899 \text{ kN} > 805$

□ 120 x 120 x 8 :  $N_{Rd} = 2 \cdot \frac{355}{1112} \cdot 0.005 \cdot 0.209 = 899 \text{ kN} > 805$

□ 170 x 170 x 5 :  $N_{Rd} = 2 \cdot \frac{355}{1117} \cdot 0.005 \cdot 0.209 = 562 \text{ kN} > 313$

Brace (HE200B)  $P_{eff} = 10.5 + 2 \cdot 24 \cdot 7 \cdot 18 = 185 \text{ mm}$

□ 140 x 140 x 8 :  $N_{Rd} = 2 \cdot \frac{355}{1112} \cdot 0.005 \cdot 0.185 = 796 \text{ kN} < 805$

□ 170 x 170 x 8 :  $N_{Rd} = 2 \cdot \frac{355}{1117} \cdot 0.005 \cdot 0.185 = 796 \text{ kN} > 671$

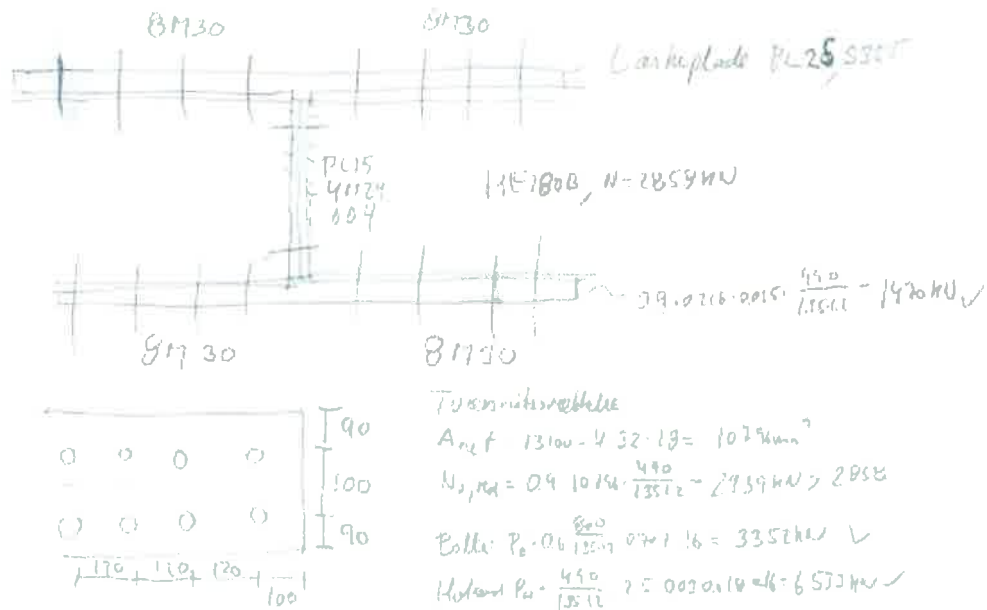
□ 100 x 100 x 5 :  $N_{Rd} = 2 \cdot \frac{355}{1117} \cdot 0.005 \cdot 0.185 = 497 \text{ kN} > 313$

Svejsesømme diagonaler :

Største spænding i diagonal er 190MPa. Eksentriciteter kan ignoreres for rørprofiler.

$$\sqrt{2} \cdot 226 \cdot t/a \leq 490 / (0.9 \cdot 1.35 \cdot 1.2) \quad a/t > 0.95, \text{ hvor der ovenstående anvendes } a/t = 1.0$$

### 3.4.1 Boltesamling underflange

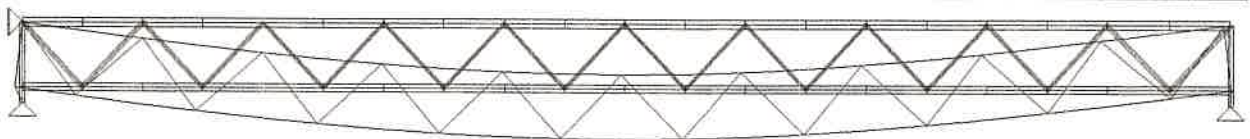


### 3.4.2 Boltesamling overflange

Der forekommer rent tryk i denne samling.

Anvend endeplade PL20 med 4M24, dobbeltkantsømme  $a=5\text{mm}$ .

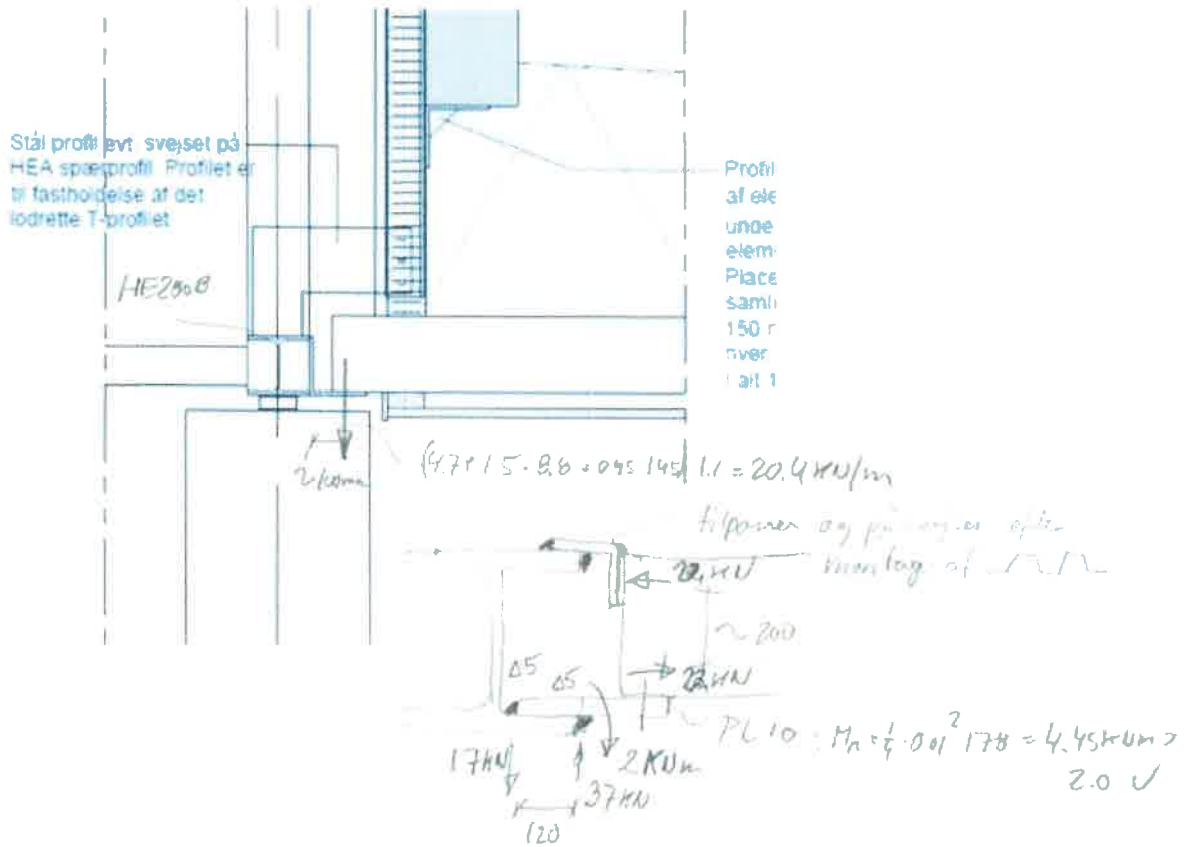
### 3.5 Deformationer



Egenvægt  $w_{Midt} = 62\text{mm}$   
 Sne  $w_{Midt} = 73\text{mm}$

For samling underflange med overhuller 2mm må påregnes nedbøjning  $w_{Midt} = 2/3500 \cdot 45000/2 = 13\text{mm}$ .

**3.6 Samling Gitter/Tag-Skybokse**



**4 Gitter akse N**

Som gitre akse C-M, blot med vandret overflange.  
 Laste er reduceret med en faktor 2 pga. det halve lastopland.  
 Gitterhøjde reduceres fra 3.5 m til 2.7m.  
 Kræfterne i over/underflange reduceres til ca.  $0.5 * 3.5 / 2.7 = 65\%$  af de i afsnit 2.2 rapporterede kræfter.

**5 Kantbjælke akse 3, nedre stringer gitre**

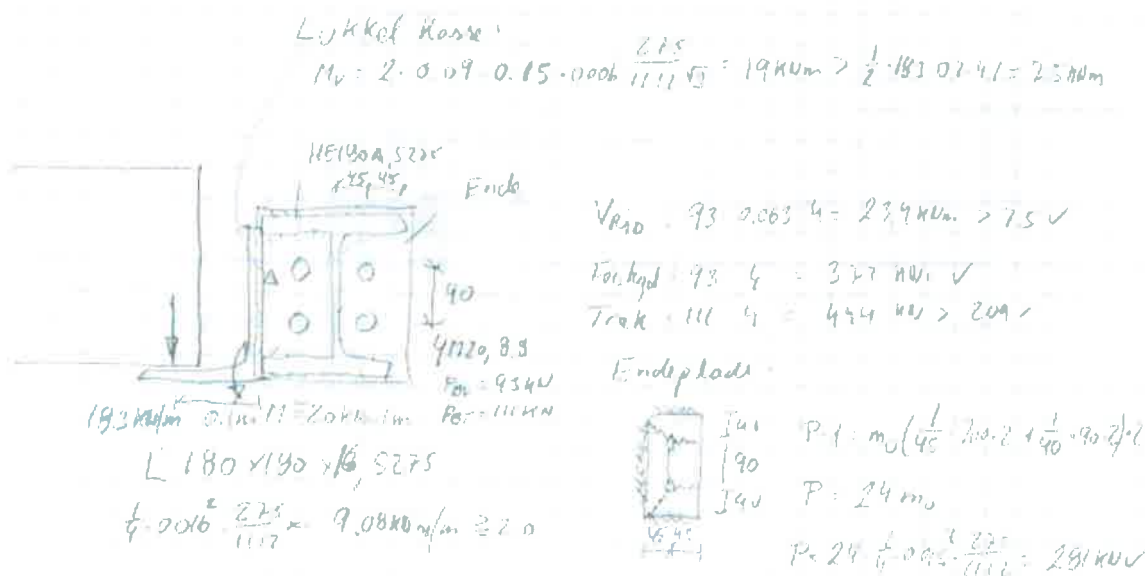
Egenvægt 4.2kN/m  
 Sne 7.9kN/m  
 Vind sug 1.28kN/m  
 Vind tryk 1.28kN/m  
 $q_d = 1.1 * (4.2 + 1.5 * 7.9 + 0.45 * 1.28) = 18.3 \text{ kN/m}$   
 Simplet understøttede bjælker med spænd 4.1m  
 $V = 1/2 * 18.3 * 4.1 = 37.5 \text{ kN}$   
 $M = 1/8 * 18.3 * 4.1^2 = 38 \text{ kNm}$

**HE180A, S275**  $M_R = 275 / 1.1 / 1.2 * 0.324 = 67.5 \text{ kNm}$

Skal også fungere som stringer med  $N = 209 \text{ kN}$ , kan regnes fasthold om svage akse af tagskive foyer.

II-orden :  $N_{\text{red}} = 9.87 * 210000 * 25.1e-6 / 4.1^2 = 3095 \text{ kN} \gg 209$  Ingen betydning.

Navier :  $\sigma = 209 / 4.83 + 38 / 0.294 = 43 + 129 = 172 \text{ MPa} < 275 / 1.1 / 1.2 = 208$  OK



## 6 Vindkryds

Der placeres vindkryds mellem akse C-D og akse M-L som vist nedenstående.

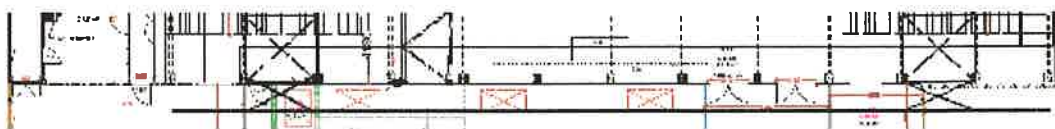
Knudepunktsafstand 3.75m.

Trykstænger fra akse B til akse C både over og undergurt.

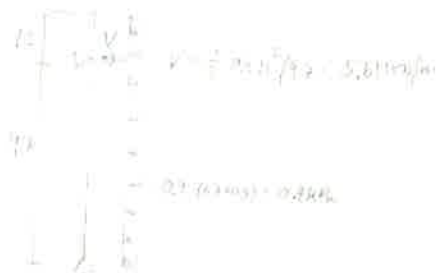
Trykstænger fra akse M-N overgurt.

Trykstænger fra akse C-M overgurt til fastholdelse under brand

Trykstænger fra akse C-M undergurt for fastholdelse underflange.



**6.1 Vindkryds mellem akse L og M**



Vindkryds mellem akse L og M overfører vind på gavl akse N til facader akse 5 og 17. Søjler i akse N fører vindlast direkte til overflange gitterspær.

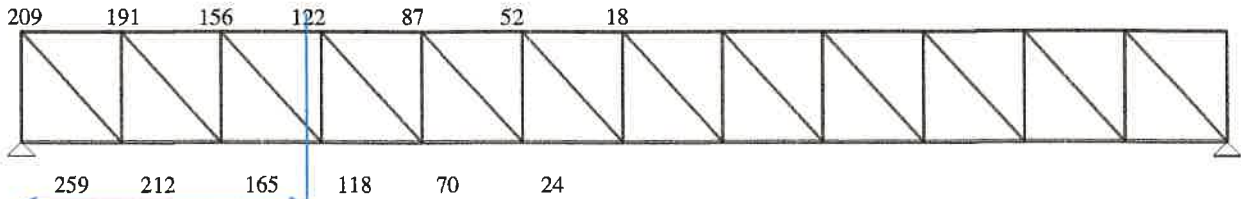
For ydre tryk  $c=0.7$  og indre overtryk  $c=0.3$  fås en linieleast i overflange gitterspær  $q=5.62$

Overgurt gitterspær akse L og -M fungerer som flanger i vindgitter. Overgurten bliver påført ekstra normalkræfter for vind på gavl.:

$$S_{Gurt} = 1/8 * 5.62 * 45^2 / 4.1 = 347 \text{ kN.}$$

Dette kræver en forøgelse overgurt til HE220A, S355, se afsnit 7.1.1.

$$V = 1/2 * (1.65 * 5.62) * 45 = 209 \text{ kN}$$



Kræfter i vindgitter (kun ene diagonal vist).

$$M_{24} : P_B = 0.6 * 800 / 1.35 / 1.2 * 0.452 = 134 \text{ kN}$$

Column buckling by SADS



$$\lambda = (l_s / i) / (\pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}) \quad \phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad N_{cr} = \chi f_{yd} A$$

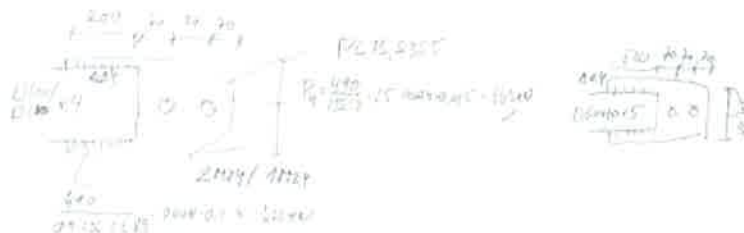
Section	RHS120120 40
Area	$1.85 * 10^{-3} \text{ m}^2$
Column length	4100mm
Material S335	$E=210 \text{ GPa}$
Strength $f_y$	296MPa
Design strength $f_{yd}$	246.7MPa

	Y-Axis	Z-AXIS
Buckling length $l_s$	4100mm	4100mm
Buckling curve	-C-	-C-
Imperfection factor	$\alpha=0.49$	$\alpha=0.49$
Radius of gyration	$i_y=47.2 \text{ mm}$	$i_z=47.2 \text{ mm}$
Reduction factor	$\chi=0.52$	$\chi=0.52$
Critical axial force	$N_{cr,y}=236.7 \text{ kN}$	$N_{cr,z}=236.7 \text{ kN}$

Position Tre yderste trykstænger med 2M24  
 Axial force 156 -209kN

7 inderste trykstænger □100\*100\*4, S355 med 1M24,  $N_{cr}=154 \text{ kN}$

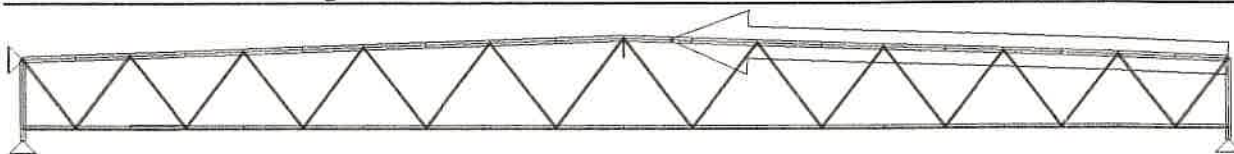
Trækstænger : □60\*60\*5, S355, 1-2 M24  $N_R=269 * 1.04 = 280 \text{ kN}$



Beslag for 1-2 M24

Der anvendes  $\square 120 \times 120 \times 4$ , S355 med 2M24 til fordeling af kræfter mellem betonsøjlerne.  
Som mellem over/udergurt kryds anvendes  $\square 60 \times 60 \times 5$  med 2M24.

### 6.1.1 Forstærket overgurt

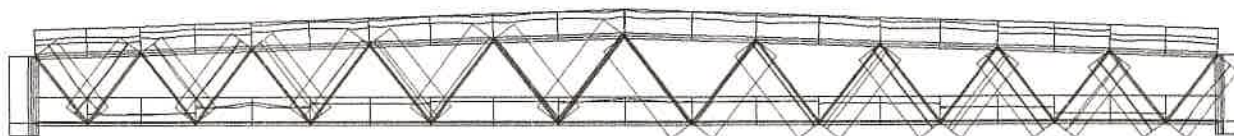


347kN til føjet som tryknormalkraft i overgurt for simulation af ekstra tryknormalkraft fra vind på gavl.

Overgurt øget til HE220A.

Beregninger svarende til afsnit 2 er gennemført.

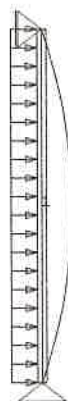
Max tryknormalkraft i overgurt øges til  $N = -1122 \text{ kN}$ .



Spændingsudnyttelser og normcheck

Ingen ændringer tænger og samlinger.

### 6.2 Gavlsøjler akse N



HE200B, S235

$l = 9.7 \text{ m}$

$q = 1.65 \cdot (0.7 + 0.3) \cdot 0.9 \cdot 3.75 = 5.57 \text{ kN/m}$

$V = 1/2 \cdot 5.57 \cdot 9.7 = 27 \text{ kN}$

$M = 65.5 \text{ kNm}$

$M_R = 235 / 1.1 / 1.2 \cdot 0.642 = 114 \text{ kNm} \gg 65.5$  OK

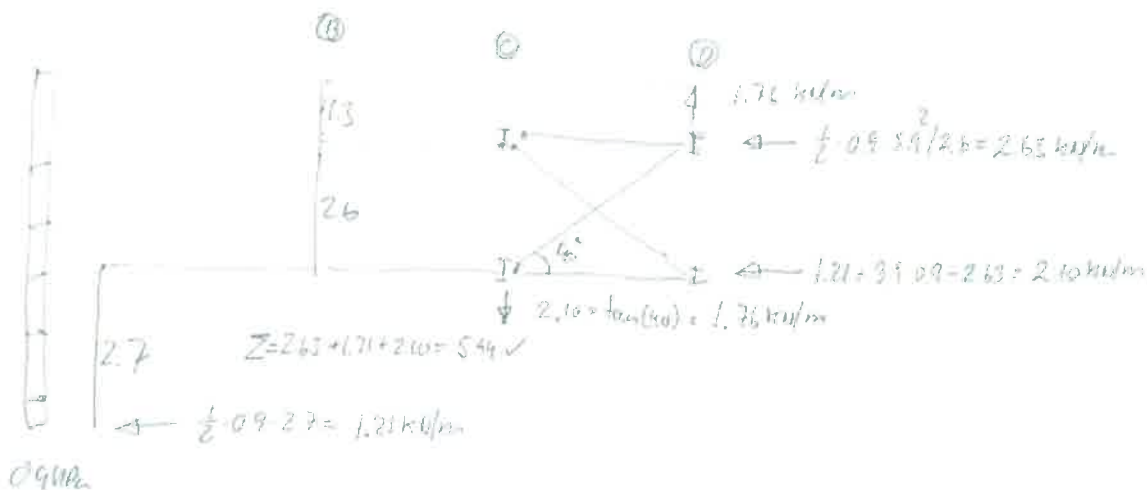
$w_{3.38 \text{ kN/m}} = 32 \text{ mm}$  ( $w/l = 1/303$ )

Fri kipning  $M_{Kip} = 147 \text{ kNm}$

$\lambda_{LT} = \sqrt{235 \cdot 0.642 / 147} = 1.01$

$M_{cr} = 0.66 \cdot (235 / 1.2 / 1.2) \cdot 0.642 = 69 \text{ kNm} > 65.5$  OK

6.3 Vindkryds mellem akse C og D



Vind fra 1.st sal skyboks føres over til lodret gitter mellem akse C og D, som fører vind til vindgitter i overgurt. Overgurt gitterspær akse C og -D fungerer som flanger i vindgitter. Overgurten bliver påført ekstra normalkræfter for vind på gavl.:

$$S_{Gurt} = 1/8 * 4.73 * 45^2 / 4.1 = 292 \text{ kN.}$$

Samtidig påvirkes gitrene af en ekstra lodret last 1.76 kN/m.

Tryk i overgurt som vindgitter samtidig med nedadrettet kraft

Træk i overgurt som vindgitter samtidig med opadrettet kraft

Vindgitterstænger som mellem akse L og M.

Gitterspær akse C og D forstærkes.

Overgurt HE240A, S355 og

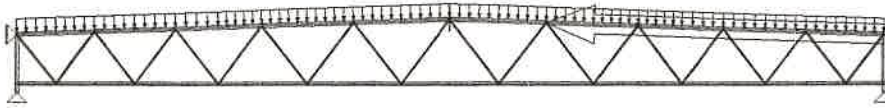
Undergurt HE180A, S355 .

Lodret kryds mellem C og D samme som anvendes til fastholdelse af underflange.

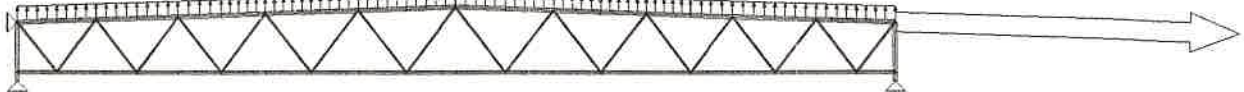
Trykstang fra akse B til akse C □70\*70\*4, S235.



#### 6.4 Forstærket gitterspær



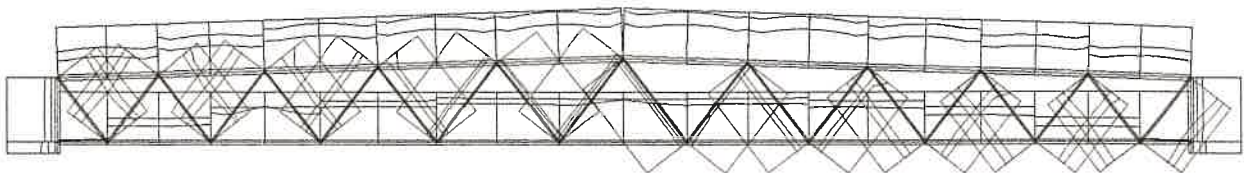
292kN tilføjet som tryknormalkraft i overgurt for simulation af ekstra tryknormalkraft fra vind på gavl samtidig med ekstra 1.76kN/m nedadrette linielast (Lastgruppe 4).



292kN tilføjet som træknormalkraft i overgurt for simulation af ekstra træknormalkraft fra vind på gavl samtidig med ekstra 1.76kN/m opadrette linielast (Lastgruppe 3).

Derudover al last svarende til afsnit 2.

Beregninger svarende til afsnit 2 er gennemført.



Spændingsudnyttelsesler og normcheck

Max tryknormalkraft i overgurt øges til  $N=-1277\text{kN}$ .

Max træknormalkraft i undergurt øges til  $N=871\text{kN}$ .

Max tryknormalkraft i undergurt øges til  $N=-488\text{kN}$ .

Ved stabilitetsberegningerne er der taget højde for at fastholdelse undergurt er pr. 3.75m

Ingen ændringer tænger og samlinger.

#### 7 Fastholdelse underflange

Underflange fastholdes pr. 3.75m i 7punkter, se afsnit 6.

10 gitterspær med  $N=330\text{kN}$  i underflange (E -N)

2 gitterspær med  $N=488\text{kN}$  i underflange (C, D ikke samtidig)

1 gitterspær med  $N=0\text{ kN}$  i underflange (B ingen sug)

Enkelt punkt :  $P=w*N*w_0/l = N/125$

$\Sigma P=(10*330+2*488)/125 = 34\text{kN}$  (der er ikke reduceret for antal)

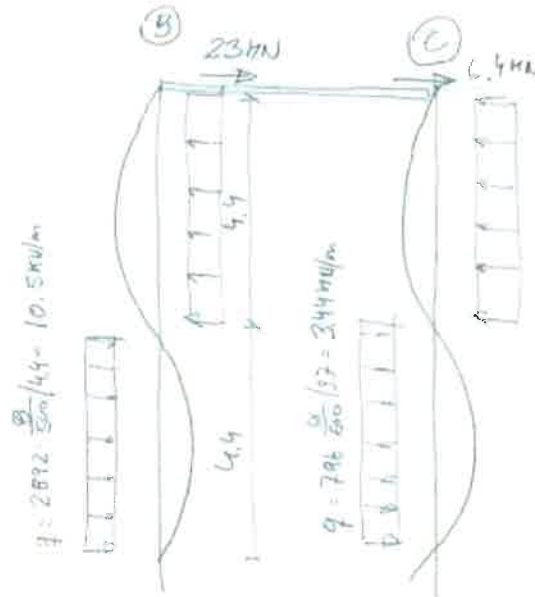
Langsgående trykstænger i underflange dimensioneres for 34kN     $\square 70*70*4, S235,$      $N_{cr}=54\text{kN}$

Træk-Kryds dimensioneres for  $33/\cos(40) = 43\text{kN}$ .     $\square 40*40*3, S235$      $N_R=74\text{kN}$

Der anbringes 7 rækker med kryds mellem akse C og D som vist på skitse i afsnit 6 til fastholdelse af underflange.

**8 Tagskiven.**

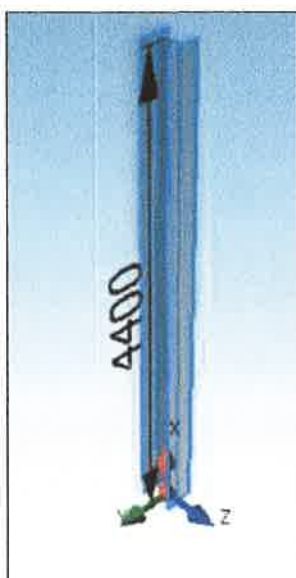
Tagskiven skal fastholde overflagne i gitterspærerne mod udknækning.



Ovenviste kraftsystemer skal kunne optages af tagskiven for fastholdelse af den trykkede overflagne. Beregningerne er baseret på bestemmelsen af kritiske søjlelængder i afsnit 6.1.

**8.1 Kritiske søjlelængder for overflagne svarende til regningsmæssig normalkraft**

Column buckling by SADS



$$\lambda = (l_s/i) / (\pi \sqrt{\frac{E}{f_y}})$$

$$\phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

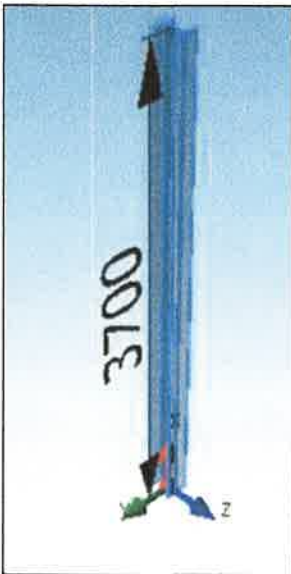
$$N_{cr} = \chi f_{yd} A$$

Section	HE320B	
Area	16.1 * 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> 296	
Column length	4400mm	
Material S335	E=210GPa	
Strength f <sub>y</sub>	296MPa	
Design strength f <sub>yd</sub>	246.7MPa	
Buckling length l <sub>s</sub>	Y-Axis	Z-AXIS
Buckling curve	4400mm	4400mm
Imperfection factor	-B-	-C-
Radius of gyration	α=0.34	α=0.49
Reduction factor	i <sub>y</sub> =138.4mm	i <sub>z</sub> =75.8mm
Critical axial force	χ=0.93	χ=0.73
	<b>N<sub>cr,y</sub>=3708.9kN</b>	<b>N<sub>cr,z</sub>=2892.5kN</b>

Position  
 Axial force

Overflagne akse B,  
 2892kN

Column buckling by SADS



$$\lambda = (l_s/l) / (\pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}) \quad \phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$$

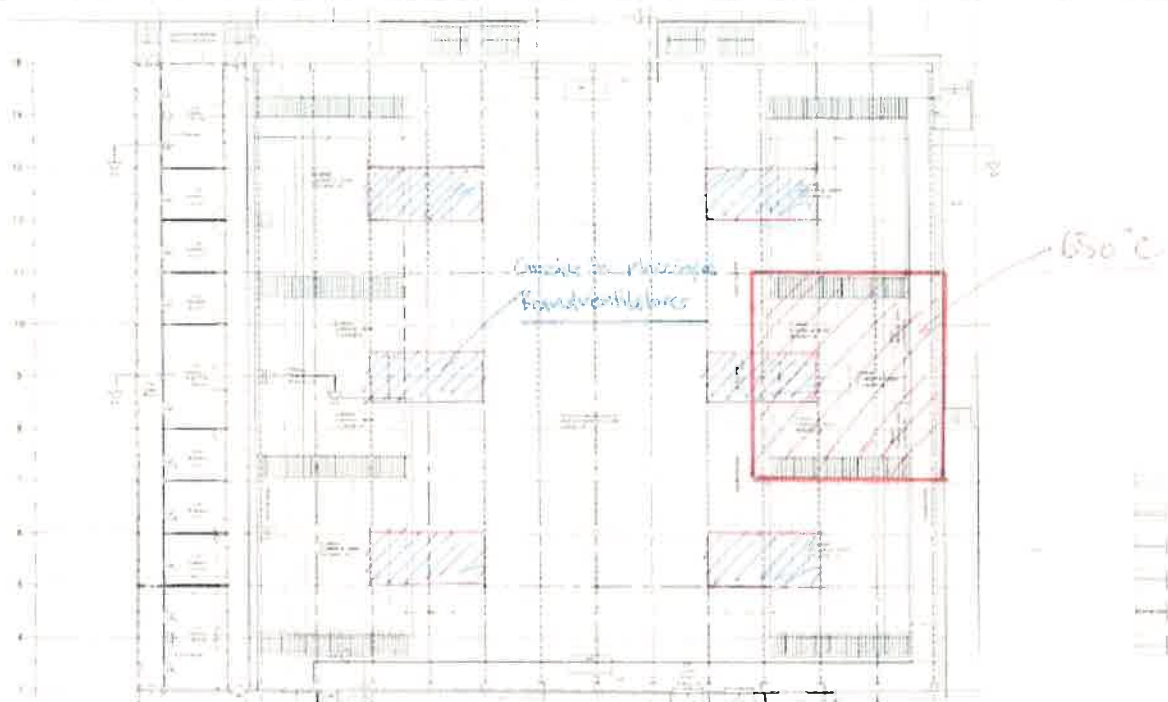
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad N_{cr} = \chi f_{yd} A$$

Section	HE200A	
Area	5.38*10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> 96	
Column length	3700mm	
Material S335	E=210GPa	
Strength f <sub>y</sub>	296MPa	
Design strength f <sub>yd</sub>	246.7MPa	
Buckling length l <sub>s</sub>	Y-Axis	Z-AXis
Buckling curve	3700mm	3700mm
Imperfection factor	-B-	-C-
Radius of gyration	α=0.34	α=0.49
Reduction factor	i <sub>y</sub> =82.8mm	i <sub>z</sub> =49.9mm
Critical axial force	χ=0.87	χ=0.61
	<b>N<sub>cr,y</sub>=1153.1kN</b>	<b>N<sub>cr,z</sub>=807.5kN</b>

Position  
 Axial force

Overfange akse C-M  
 796kN

## 9 Brand



432° bortset fra det viste område med 650°. Denne temperatur er reduceret til 530°, men da stålet kan blive udsat for direkte flammer, brandmales i dette område. Det forudsættes at der brandmales, således at ståltemperaturen ikke overstiger 432°. Herved får vi for hele konstruktionen flg. materialeegenskaber under brand :

Temperatur  $432^{\circ}\text{C}$   
 $F_{y,432} = 0.93 \cdot 355 / 1.2 = 275\text{MPa}$   
 $E_{a,432} = 0.67 \cdot 210 = 141\text{GPa}$

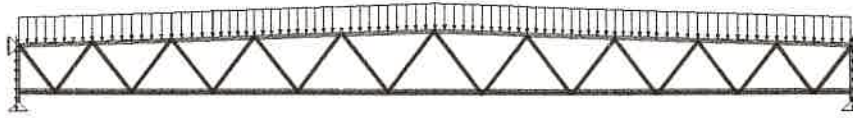
Dvs. at stålets styrke ved  $t=432^{\circ}$  (275MPa) er større end den regningsmæssige styrke anvendt ved kold dimensionering (269MPa). Da lasten under brand er væsentlig mindre end de regningsmæssige laste anvendt ved kold dimensionering, er styrken tilstrækkelig under brand. Dette udsgan gælder dog ikke for komponenter, hvor udknækning er dimensiongivende.

Der skal regnes med at hele tagfladen har mistet sin stivhed/styrke i hele hallen under disse temperaturer.

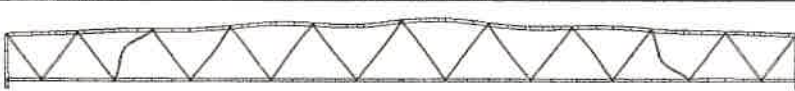
### 9.1 Udknækning

Ingen understøtning tagskive.

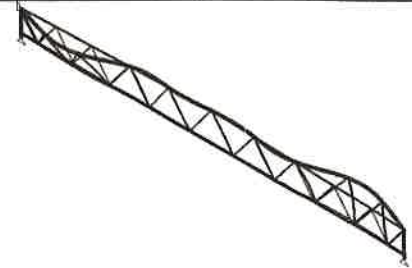
Overflange gitterspær akse E-K :



Gitterspær belastet med egenvægt,  $N_{\text{Overflange}} = -305\text{kN}$



Plan søjleudknækning  $f_{\text{Plan}} = 8.1$



Rumlig søjleudknækning  $f_{\text{Rum}} = 1.6$

Udknækningsberegninger med  $E=141\text{MPa}$ .

Plan udknækning overflange:

$$\begin{aligned} N_{\text{Egenvægt}} &= 305\text{kN} \\ N_{\text{Eu}} &= 8.1 \cdot 305 = 2454\text{kN} \\ \sigma_{\text{Eu}} &= 2454 / 5.38 = 456\text{MPa} \\ \lambda_{342} &= \sqrt{275 / 456} = 0.77 \\ \varphi_{342} &= \frac{1}{2} \cdot (1 + 0.53 \cdot 0.77 + 0.77^2) = 1.0 \\ \chi_{fi} &= (1 + \sqrt{1^2 - 0.77^2})^{-1} = 0.61 \\ N_{\text{cr},342} &= 0.61 \cdot 275 \cdot 5.38 = 902\text{kN} > 305 \text{ OK} \end{aligned}$$

Rumlig udknækning overflange:

$$\begin{aligned} N_{\text{Egenvægt}} &= 250\text{kN i det udknækkede område} \\ N_{\text{Eu}} &= 1.6 \cdot 250 = 640\text{kN} \\ \sigma_{\text{Eu}} &= 640 / 5.38 = 119\text{MPa} \\ \lambda_{342} &= \sqrt{275 / 119} = 1.52 \\ \varphi_{342} &= \frac{1}{2} \cdot (1 + 0.53 \cdot 1.52 + 1.52^2) = 2.06 \\ \chi_{fi} &= (2.06 + \sqrt{2.06^2 - 1.52^2})^{-1} = 0.29 \\ N_{\text{cr},342} &= 0.29 \cdot 275 \cdot 5.38 = 414\text{kN} > 250 \text{ OK} \end{aligned}$$

Vindgitter :

Vindgitre skal under brand blot optage 12% af de vindlast som gitrene er blevet dimensioneret for i kold tilstand. Med den begrænsede reduktion i styrke og stivhed under brand vurderes det umiddelbart at den der er tilstrækkelig styrke og stivhed.