

## Dimensjonering av bjelker

### Innhold

Eurokoder: .....	1
Generelle dimensjoner og laster .....	2
Generelle laster .....	4
Egenlast .....	4
Snølast: .....	4
Vindlast .....	4
Vindlast – med turbelens .....	5
Vindlast – utan turbelens .....	7
Limtre: .....	9
Tak A: .....	9
Geometri og dimensjoner: .....	10
Total last uten sedum – Tak A .....	13
Moment, Skjær og aksialkraft.....	14
Tester om bjelkene holder på tak A før sedum tak.....	15
Total last med sedum – Tak A .....	18
Tak B .....	19
Geometri og dimensjoner .....	19
Total last uten sedum .....	20
Kontroll av ny løsning, Før stang.....	21
Kontroll av ny løsning – Etter stang .....	22

### Eurokoder:

Det skal brukes Eurokoder ved beregninger, og de viktigste er:

NS-EN 1991-1-3 Eurokode 1; Laster på konstruksjoner - Del 1-3: Allmenne laster - Snølaster

NS-EN 1991-1-4 Eurokode 1; Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster

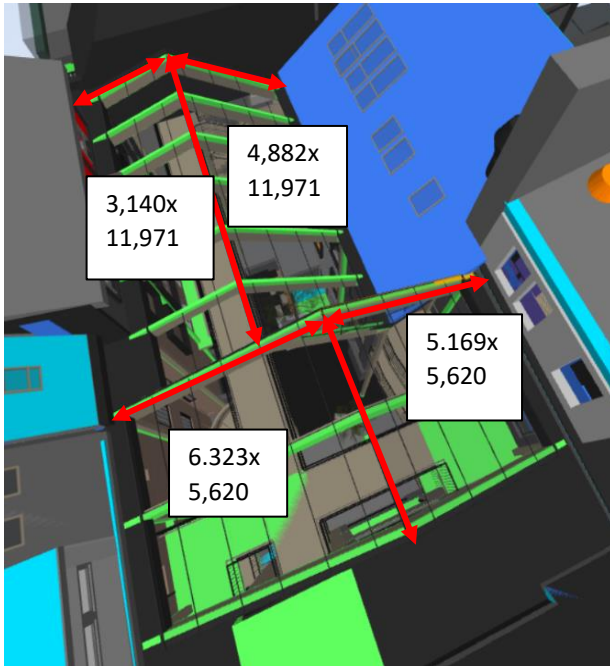
NS-EN 1993-1-1 Eurokode 3; Prosjektering av stålkonstruksjoner

NS-EN 1995-1-1 Eurokode 5; Prosjektering av trekonstruksjoner

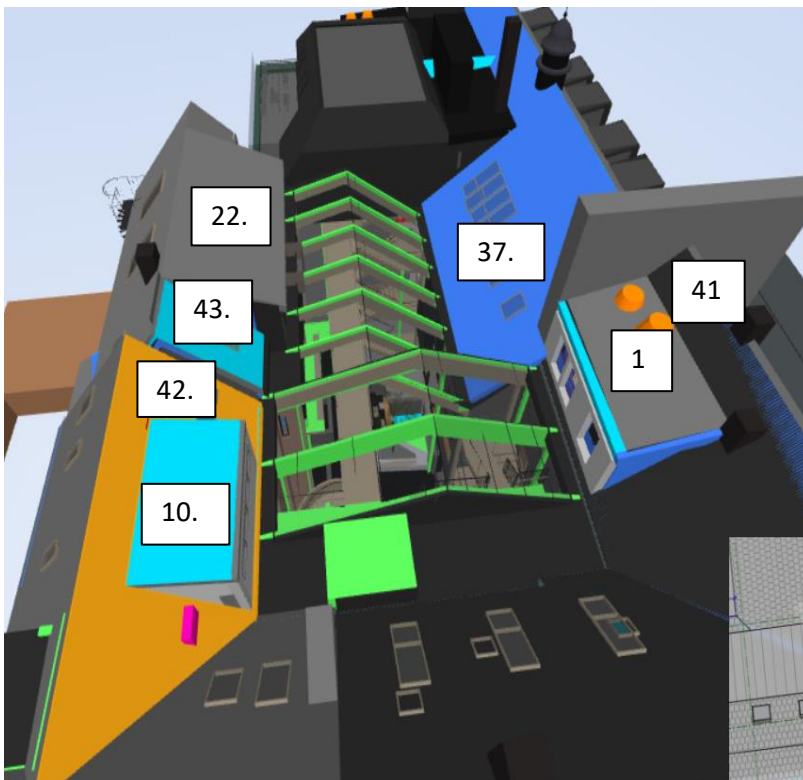
- NS-EN 1995-1-1 Prosjektering av trekonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler for bygninger
- NS-EN 1995-1-2 Prosjektering av trekonstruksjoner – Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering
- NS-EN 1995-2 Prosjektering av trekonstruksjoner – Del 2: Bruer

## Generelle dimensjoner og laster

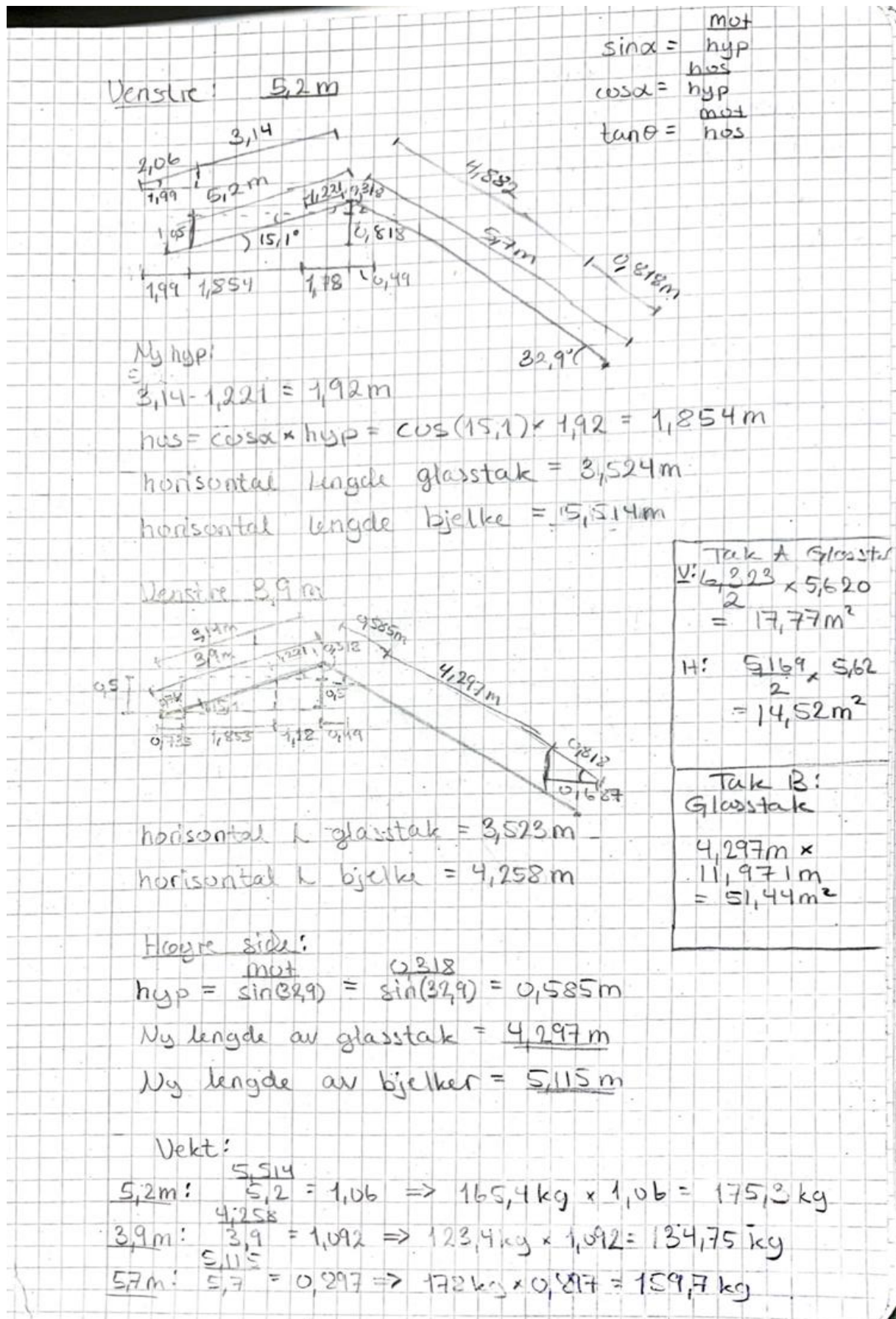
Dimensjonene av glasstaket:



Vinklene på takene rundt:



Geometrien av tak B i det alternative forslaget



## Generelle laster

### Egenlast

Glasstaket er estimert til en vekt på 100 kg/m<sup>2</sup>

Limtre GL 30 C [Tab 4]

Sedumtak har en vekt på 50 kg/m<sup>2</sup> når mett

Blågrønt tak vil ha en vekt på ca 300 – 400 kg/m<sup>2</sup>

### Snølast:

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k$$

$$C_e = 1, C_t = 1 \rightarrow S = \mu_i \times S_k$$

$$H = 22 \text{ m} \rightarrow H_{<H_g} = 150 \text{ m [Tabell NA.4.1(901)]}$$

Dermed blir  $S_k = S_{k0}$

For Bergen er  $S_{k0} = 2,0 \text{ kN/m}^2$  [Tabell NA.4.1(901)]

### Vindlast

Siden målepunktet har en høyde på ca 400m, ligger Castbergkvaralet innenfor rekkevidden på 8h av fjellets høyde og har turbulensrisiko. Som følge av disse faktorene regnet vi med terrengruhetskategori 2, topografi -og terrengformfaktor på 1,75 og 0,9. Her fant vi at middelvindshastigheten er lik 27,63 m/s, og dermed etter de topografiske forholdene, samt turbulens tatt i betraktning, fant vi at vindlasten  $q_{kast} = 1,70 \text{ kN/m}^2$ .

Vindlast 2:  
 Type 3  $\alpha = 30^\circ$   
 Terrengruhetskat II  
 $BS < 8h$   $C_0(z) = 0,9$   $KI = 1,75$

$q_p = q_{p(z)} \times K3$   
 $q_{p(z)} = f(V_m(z), I_v(z))$  Middelvind hastighet  
 $I_v(z) = C_0(z) \times C_r(z) \times V_b$  Stedsvind

$V_b = V_{b0} \times C_{dir} \times C_{season} \times C_{alt} \times C_{prob}$   
 $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 26 m/s 1,0 1,0 1,0 1,0

$V_b = 26 \text{ m/s}$

$C_r(z)$  - Terrengruhetsfaktor -  
 $C_0(z)$  - Topografifaktor -  $C_0(z) = 0,9$

II:  $k_r = 0,19$   $z_0(m) = 0,05$   $z_{min}(m) = 4$

Turbulensintensitet  
 $I_v(z) = f(C_0(z), KI) = f(0,9, 1,75)$   
 $I_v = \frac{KI}{C_0(z) \times \ln(\frac{z}{z_0})} = \frac{1,75}{0,9 \times \ln(\frac{25}{0,05})} = 0,313$

$C_r(z) = k_r \times \ln(\frac{z}{z_0}) \times C_r(z = z_{min})$   
 $\Rightarrow 0,19 \times \ln(\frac{25}{0,05}) > 0,19 \times \ln(\frac{25}{0,05})$   
 $\Rightarrow 1,181 > 0,83$   
 $C_r(z) = 1,181$

$V_m(z) = C_0(z) \times C_r(z) \times V_b = 0,9 \times 1,181 \times 26$   
 $= 27,63 \text{ m/s}$

$q_p(z) = [1 + 2 \times k_p \times I_v(z)] q_m(z)$   
 $q_m(z) = \frac{1}{2} \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times (27,63 \text{ m/s})^2 = 477,13 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$   
 $q_p(z) = [1 + 2 \times 3,5 \times 0,313] \times 477,13 = 1522,52 \text{ N/m}^2$   
 $= 1,52252 \text{ kN/m}^2$

K3: II  $\rightarrow$  I  $\Delta n = 1$  ca 0,5 km  $\approx 0,65$   
 $K3 = 1,14$   
 $q_{kast} = 1,70 \text{ kN/m}^2$

Tab 7.4a Formfaktorer for Sal- og trauetak  
 $\alpha \approx 15^\circ$  [Tak 1] Vinden treffer  $0^\circ$

H:  $C_p = -0,3$ ,  $C_p = +0,2$  [7.4a]

J:  $C_p = -0,4$ ,  $C_p = +0,0$



$h_0 \rightarrow$  trykk  $h_e \rightarrow$  sug

H på hele taket:

$$q_H = C_H \times q_{kast} = -0,3 \times 1,7 \text{ kN/m}^2 = -0,51 \text{ kN/m}^2 \text{ (Sug)}$$

$$q_{\text{f}} = 0,2 \times 1,7 \text{ kN/m}^2 = 0,34 \text{ kN/m}^2 \text{ (Trykk)}$$

J på hele taket:

$$q_J = -0,4 \times 1,7 = -0,68 \text{ kN/m}^2 \text{ (Sug)}$$

$$q_{\text{f}} = 0,0 \times 1,7 = 0 \text{ (ke siden)}$$

$$q_{kast} = 1,7 \text{ kN/m}^2 + 0,68 \text{ kN/m}^2 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

## Vedlegg 2

Vindlast – uten turbulens

Stredvindhastigheten:  $V_m(z) = C_r(z) \times C_o(z) \times V_o$   
Ruhetsfaktor  $C_r(z)$ :

$$C_r(z) =$$

[NA 4.1] Kategori nummer IV

$$\Rightarrow k_r = 0,24 \quad z_o(m) = 1,0 \quad z_{min}(m) = 1,0$$

Høydefaktor  $C_{alt}$  [Tab NA.4 (901-2) og (901-3)]

$$C_{alt} = 1,0 \quad C_{dir} = 1,0 \quad C_{exas} = 1,0$$

$$C_{prob} =$$

$$V_{bo} = 26 \text{ m/s} = V_o$$

Terrengruhetsfaktor:

$$C_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) > C_r(z = z_{min})$$

$$z \approx 25 \text{ m} \quad z > z_{min}$$

$$C_r(z) = 0,24 \times \ln\left(\frac{25}{1}\right) = \underline{0,7725}$$

Middelvindhastighet:

$$V_m(z) = C_o(z) \times C_r(z) \times V_o$$

$$V_m(z) = 1,0 \times 0,7725 \times 26 \text{ m/s} \\ = 20,085 \text{ m/s}$$

$$H < H_o \Rightarrow C_{alt} = 1,0$$

$$V_o = V_{bo}$$

$$C_o(z) = 1,0$$

$$q_{po}(z) = 800 \text{ Nm}^{-2} \quad [\text{NA 6.1 c}] \\ \approx 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Vindlast} = q_{\text{kast}} = q_p(z) \times K_B$$

Ingen topografi effekt:  $C_o(z) = K_T = 0$

$$q(z)_p = q_{po}(z) \times K_B \quad \text{Tab NA.4(901.7)}$$

Sone B kat IV  $\rightarrow$  kat III  
~~IV - I = 3~~

$X_B: X_B \approx 500 \text{ m}$  ~~IV - I = 3~~ [NA.4(901.6)]

$\Delta n_{BA} = IV - I = III = 3$  [Tab NA.4.1] Terr. nivå

$K_B = 1.4$  [Tabell V.1]

$$q_{\text{kast}} = 0.81 \text{ kN/m}^2 \times 1.4 = \underline{1.12 \text{ kN/m}^2}$$

For å forenkle vindlasten så brukes den samme over hele taket på  $2,4 \text{ kN/m}^2$

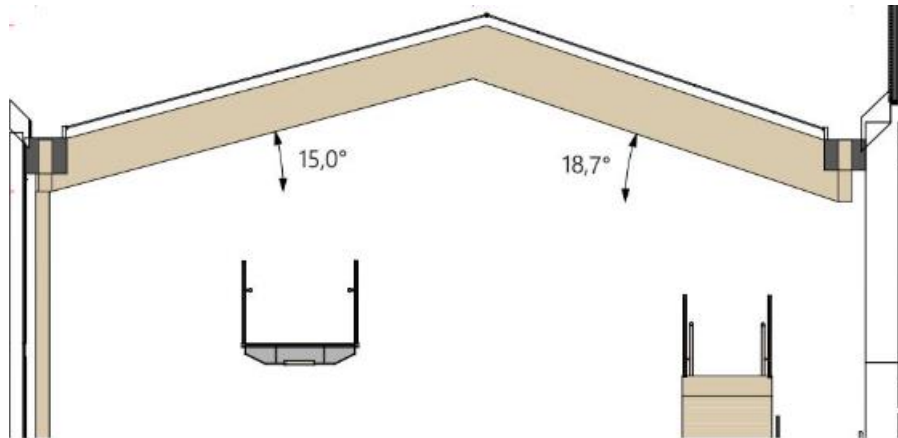


## Limtre:

**Tabell 1-1.** Fasthetsklasser definert i EN 14080 for kombinert limtre.

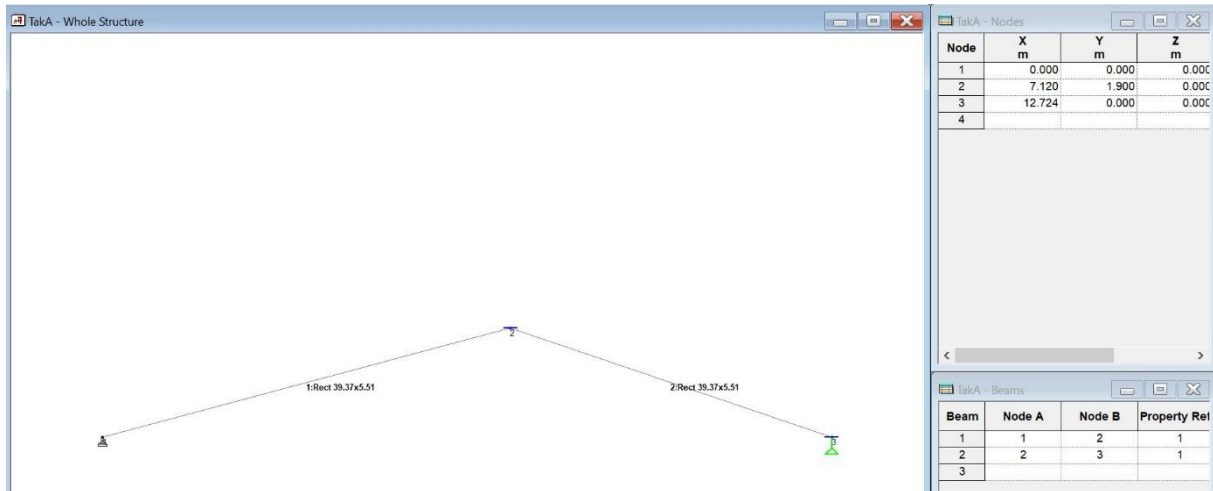
Egenskap	Symbol	Limtre fasthetsklasse						
		GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
Bøyefasthet	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Strekfasthet	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Trykkfasthet	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Skjærfasthet (skjær og torsjon)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Rulleskjærfasthet	$f_{r,g,k}$	1,2						
Elastisitetsmodul	$E_{0,g,mean}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	$E_{0,g,05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Skjærmodul	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	542						
Rulleskjærmodul	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densitet	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

## Tak A:



## Vedlegg 2

### Geometri og dimensjoner:



### Bjelke 1-3:

	Høyre	Venstre
Lengde bjelke(meter)	7,371	5,916
Vekt bjelke (kg)	486,5	386,4
Høyde bjelke (mm)	1000	1000
Tykkelse bjelke (mm)	140	140
Spenn glasstak (meter)	2,810	2,810

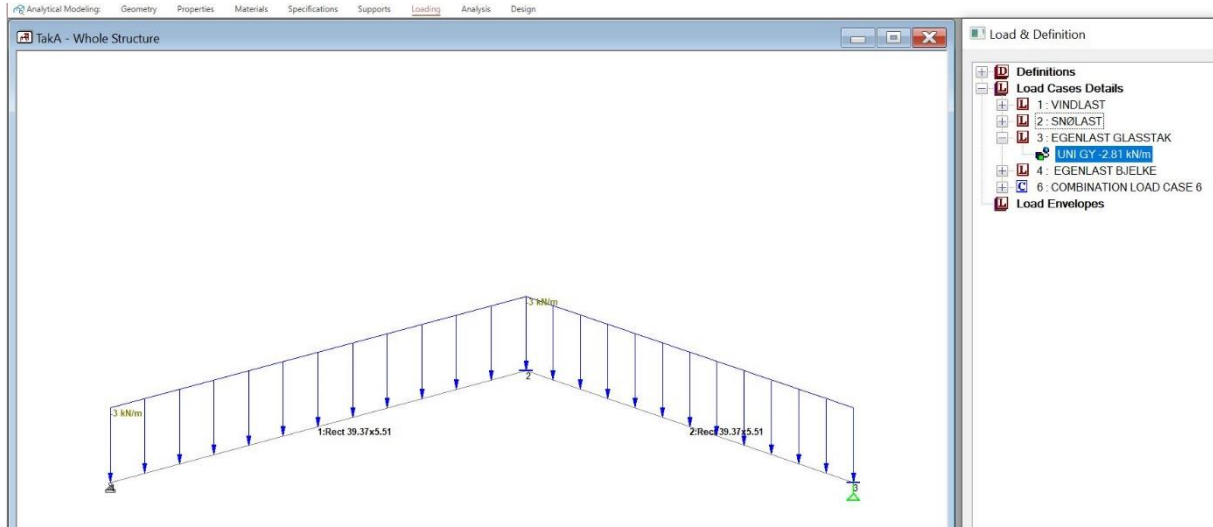
### Egenlast:

Høyre	venstre
$Q = 486,5 \text{ kg} \times 9,81 = 4,772 \text{ kN}$ $\frac{4,772 \text{ kN}}{7,371 \text{ m} \times \cos(15,1)} = 0,67 \text{ kN/m}$	$Q = 386,4 \text{ kg} \times 9,81 = 3,79 \text{ kN}$ $\frac{3,79 \text{ kN}}{5,916 \text{ m} \times \cos(18,7)} = 0,676 \text{ kN/m}$

### Egenlast glasstak:

## Vedlegg 2

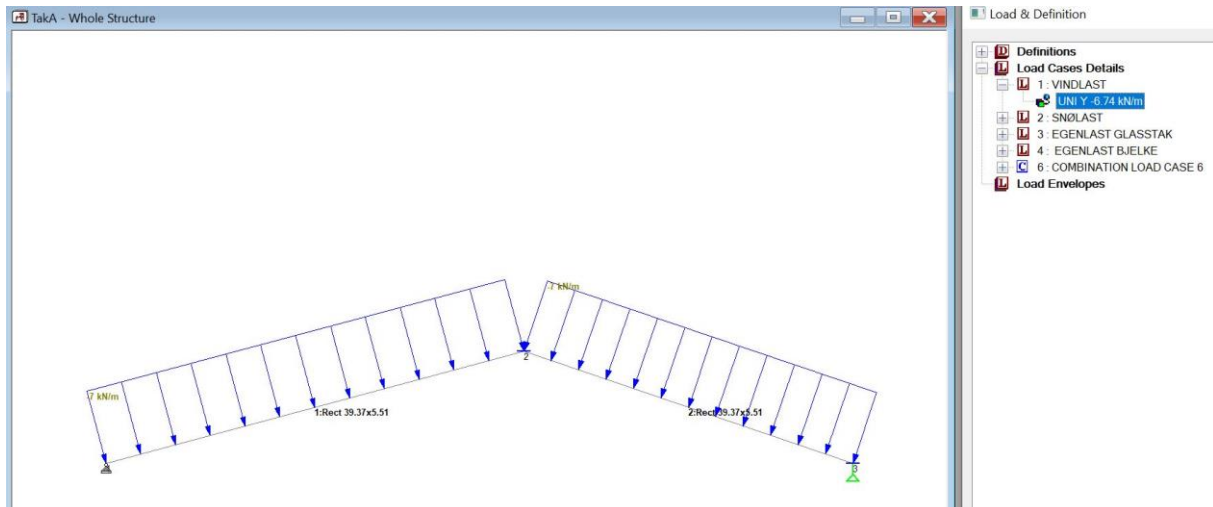
Glasstak  $\rightarrow 1 \text{ kN/m}^2 \times 2,81\text{m} = 2,81 \text{ kN/m}$



Nyttelast – Tak A

Sedumtak  $\rightarrow 50 \text{ kg/m}^2 = 50 \times 9,81 \times 2,81 = 1,38 \text{ kN/m}$

Vindlast – Tak A

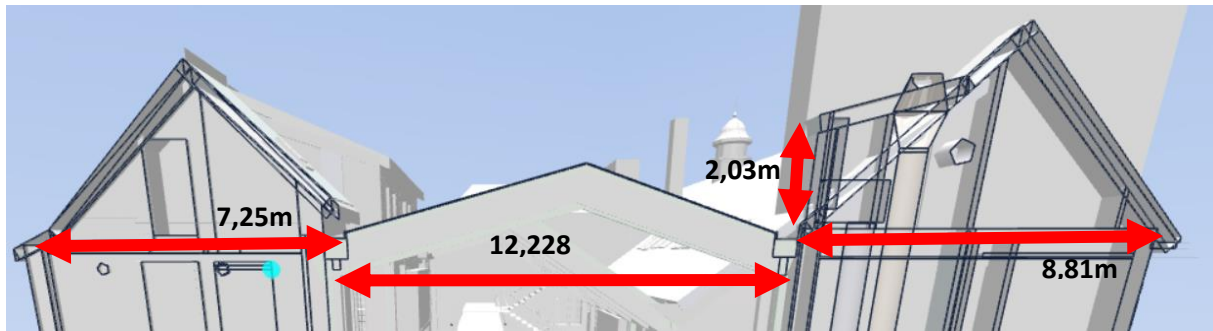


Snølast – Tak A:

Her er det to tilfeller på grunn av varierende høyder til rundtliggende tak, og vinkler på rundtliggende tak

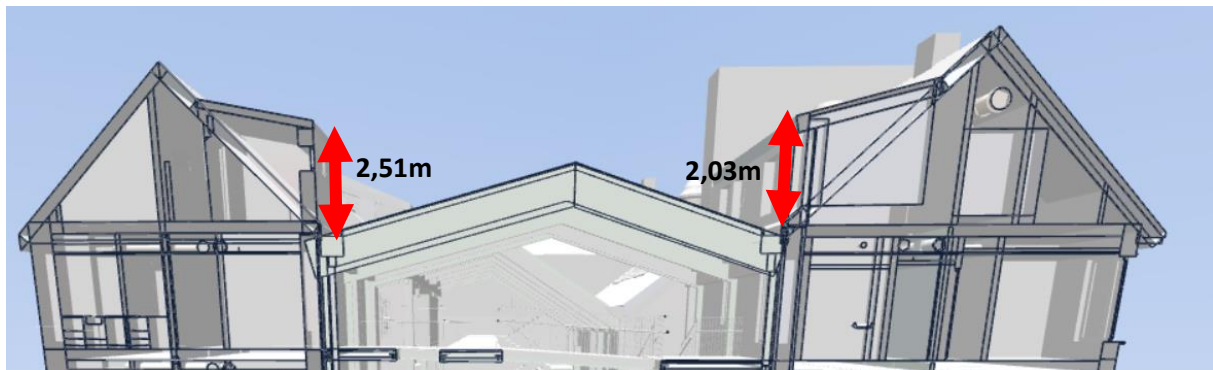
## Vedlegg 2

### Tilfelle 1



Venstre side:	Høyre side:
For sagtak: $\alpha = 42,9^\circ$ $\mu_1 = \frac{0,8(60-\alpha)}{30} = \frac{0,8(60-42,9)}{30} = 0,456$ [Tabell 5.2: formfaktorer for snølast: $\mu_2 = 1,6$ [Tabell 5.2] $S_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,456 = \underline{0,912 \text{ kN/m}^2}$ $S_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 1,6 = \underline{3,2 \text{ kN/m}^2}$	For tak som grenser eller ligger nært høyere byggverk er $\mu_1 = 0,8$ $\mu_2 = \mu_s + \mu_w$ $\alpha = 15^\circ \rightarrow \mu_s = 0$ (formfaktor som skyldes ras fra det høyereliggende taket) $\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma x h}{S_k} = \frac{12,23 + 8,81}{2 \times 2,03} \leq \frac{2 \text{ kN/m}^3 \times 2,03}{2,0 \text{ kN/m}^2}$ $5,18 \leq 2,03$ Anbefalt omfang er $0,8 \leq \mu_w \leq 4$ $\mu_w = 2,03$ (formfaktor som skyldes vind) $\mu_2 = 2,03$ $S_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,8 = \underline{1,6 \text{ kN/m}^2}$ $S_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 2,03 = \underline{4,06 \text{ kN/m}^2}$

### Tilfelle 2:



$$\alpha = 10,3^\circ$$

$$\mu_1 = 0,8 \text{ [Tabell 5.2]}$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma x h}{S_k} = \frac{12,23 + 7,25}{2 \times 2,51} \leq \frac{2 \text{ kN/m}^3 \times 2,51}{2,0 \text{ kN/m}^2} \rightarrow 3,88 \leq 2,51$$

$$\mu_w = 2,51$$

$$\alpha \leq 15^\circ \rightarrow \mu_s = 0$$

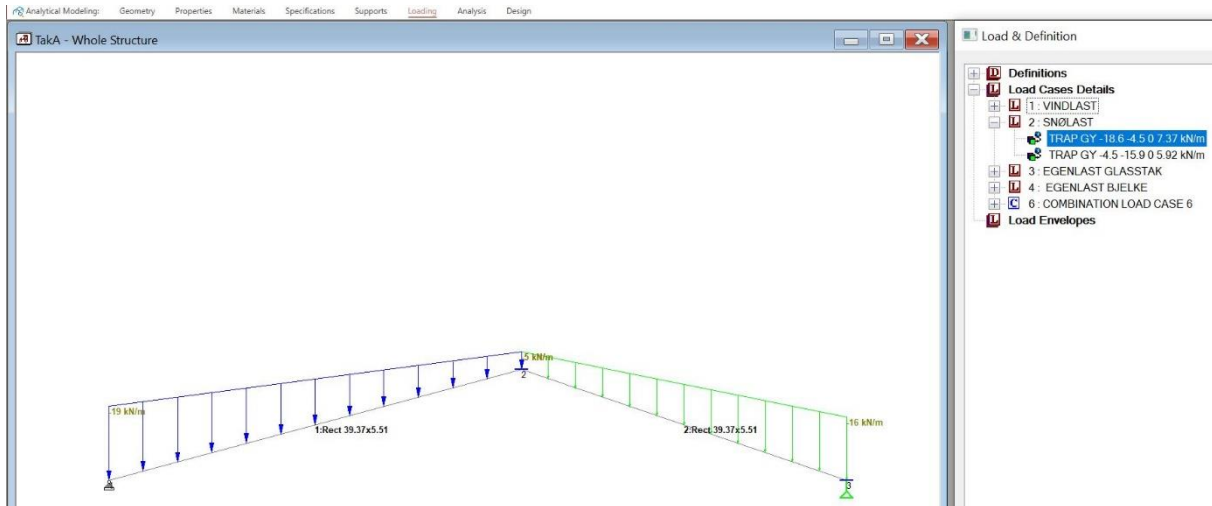
$$\mu_2 = 2,51$$

## Vedlegg 2

$$S_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,8 = \underline{1,6 \text{ kN/m}^2}$$

$$S_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 2,51 = \underline{5,02 \text{ kN/m}^2}$$

For å forenkle så brukes den verste snølasten på hele taket; på den lange bjelken brukes  $5,02 \text{ kN/m}^2$ , og på den kortere bjelken brukes en snølast på  $4,06 \text{ kN/m}^2$



### Total last uten sedum – Tak A

$$L_1 = 7,271 \text{ m}, L_2 = 5,9162 \text{ m}$$

Snølast: lang bjelke  $\rightarrow 5,02$  og  $1,6 \text{ kN/m}^2$ , kort bjelke  $\rightarrow 4,06$  og  $1,6 \text{ kN/m}^2$

Lang bjelke:

$$\text{Span} = 2,81 \text{ m}$$

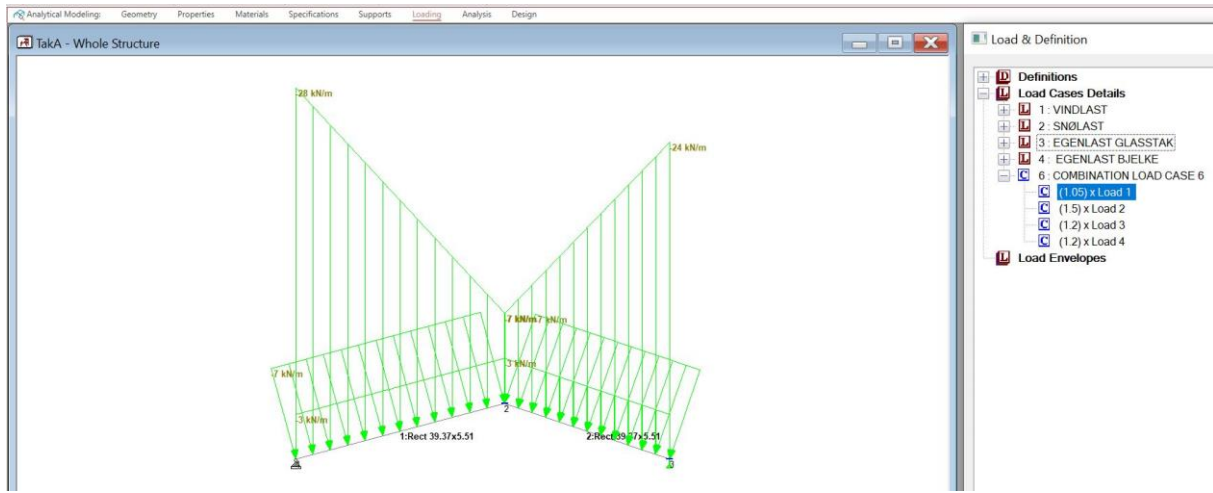
$$\text{Glasstak} \rightarrow 1 \text{ kN/m}^2 \times 2,81 \text{ m} = 2,81 \text{ kN/m}$$

$$G_{\text{takA lang}} = (2,81 \text{ m} (1,5 \times 5,02) + (1,05 \times 2,04)) + 1,2 \times (0,68 + 2,81) = \underline{31,36 \text{ kN/m}}$$

Kort bjelke:

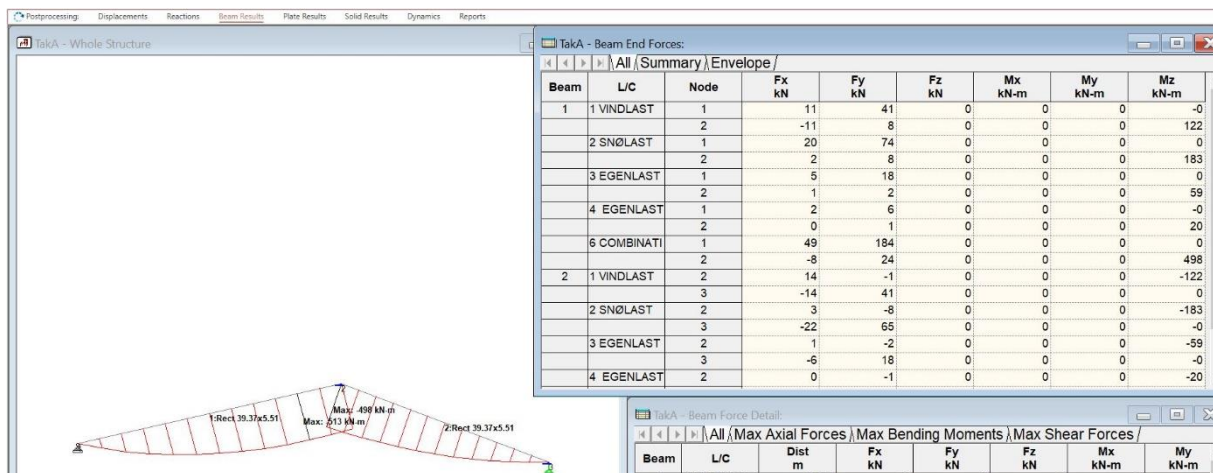
$$G_{\text{takA kort}} = (2,81 \text{ m} (1,5 \times 4,06) + (1,05 \times 2,04)) + 1,2 \times (0,68 + 2,81) = \underline{27,32 \text{ kN/m}}$$

## Vedlegg 2

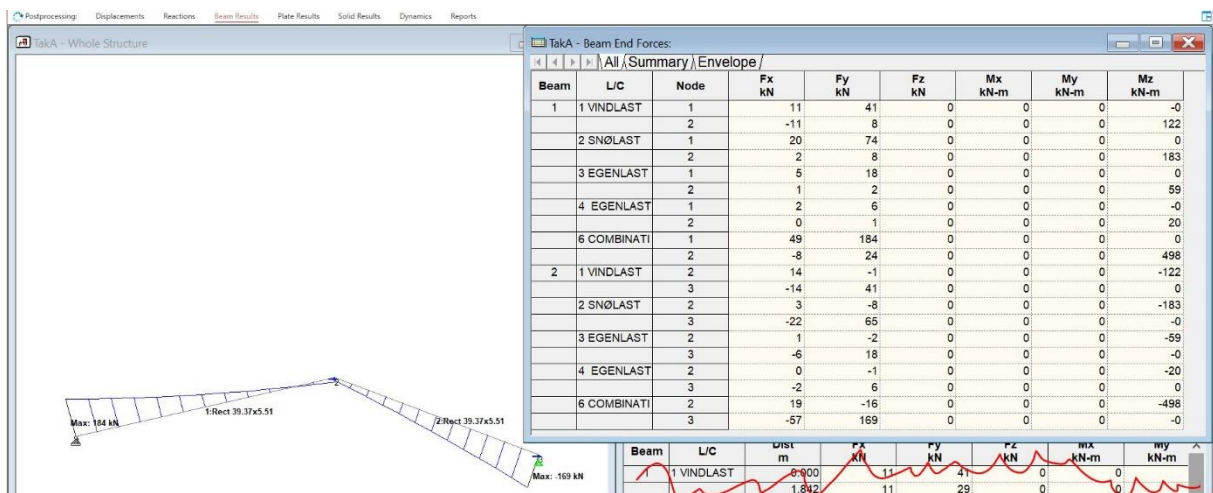


Moment, Skjær og aksialkraft

### Momenter



### Skjærkraft



## Vedlegg 2

### Tester om bjelkene holder på tak A før sedum tak

Tester bare de mest kritiske bjelkene da alle bjelkene skal ha samme dimensjoner

Max Momenter: -498kNm (kort) og 513kNm (lang)

**Tak A → tester bjelke med lengde 7,37m:** h = 1000 mm, b = 140mm

Bending strength:  $f_{m,g,k} = 30 \text{ N/mm}^2$  [Tab 4]

Tensile strength:  $f_{t,0,g,k} = 19,6 \text{ N/mm}^2$

Shear strength:  $f_{v,g,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$

$f_{t,90,g,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$

*Kombinert virkning: aksialkraft og moment Tak A (1):*

M = 513 kNm ved knutepunktet

V = 184 kN

For verdien av  $k_{mod}$ : For egenvekt, som er en permanent last, er verdien 0,6. For nytteaster (snø, vind) så er dette en korttidslast eller halvårslast, og har verdien 0,8 eller 0,9. For å gjøre det lettere å regne med, brukes en  $k_{mod}$  på 0,7 i dette tilfellet.

$k_{mod} = 0,7$  [tab 3],  $k_{sys} = 1$ ,  $k_h = 1$ ,  $\gamma_m = 1,15$  [tan N.A2.3]

$A = b \times h = 140 \times 1000 = 140\,000 \text{ mm}^2$

$W_y = b \times (h^2/6) = 140\text{mm} \times (1000^2/6) = 2,3 \times 10^7 \text{ mm}^3$

$B_{ef} = 0,67 \times b$  (6.13a)

#### **Spenningskontroll bøyning: Tak A – 7,37m**

$\sigma_{mf} = M_f/W_y = 513 \times 10^6 / 2,3 \times 10^7 = 22,3 \text{ N/mm}^2$

$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod} / \gamma_m = 30(?)\text{N/mm}^2 \times 0,7/1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{mf} / f_{md} \times k_h = 22,3 / 18,26 \times 1 = 1,22 \rightarrow$  mer enn 1 = **ikke OK**

#### **Skjær:**

$f_{vd} = f_{vk} \times k_{mod} / \gamma_m = 3,5 \times 0,7/1,15 = 2,13 \text{ N/mm}^2$

$V_{max} = 184 \text{ kN}$

$T_{vf} = V_f/b_{ef} \times h = 184 \times 10^3 / 93,8 \times 1000 = 1,96 \text{ N/mm}^2$

$T_{vf}/f_{vd} = 1,96 / 2,13 = 0,92$  mindre enn 1 = OK

#### **Trykk vinkelrett på fiberretningen: bare opplager**

Sjekker både opplagerpunkt og lastpunkt\*

Opplegg:

Oppleggslengde = 180mm

$k_{c90} = 1$  eller 1,75

## Vedlegg 2

$$\sigma_{c90f} = V_f / \text{oppleggslengde} \times b =$$

$$f_{c90d} = f_{c90k} \times k_{mod} / \gamma_m = 2,5 \text{ N/mm}^2 \times 0,7 / 1,15 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

### Spenningskontroll bøyning: Tak A – 5,916

$$M = 498 \text{ kNm}$$

$$V = 169 \text{ kN}$$

$$\sigma_{mf} = M_f / W_y = 498 \times 10^6 / 2,3 \times 10^7 = 21,65 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod} / \gamma_m = 30(?) \text{ N/mm}^2 \times 0,7 / 1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{mf} / f_{md} \times kh = 21,65 / 18,26 \times 1 = 1,18 \rightarrow \text{mer enn } 1 = \text{ikke OK}$$

### Skjær:

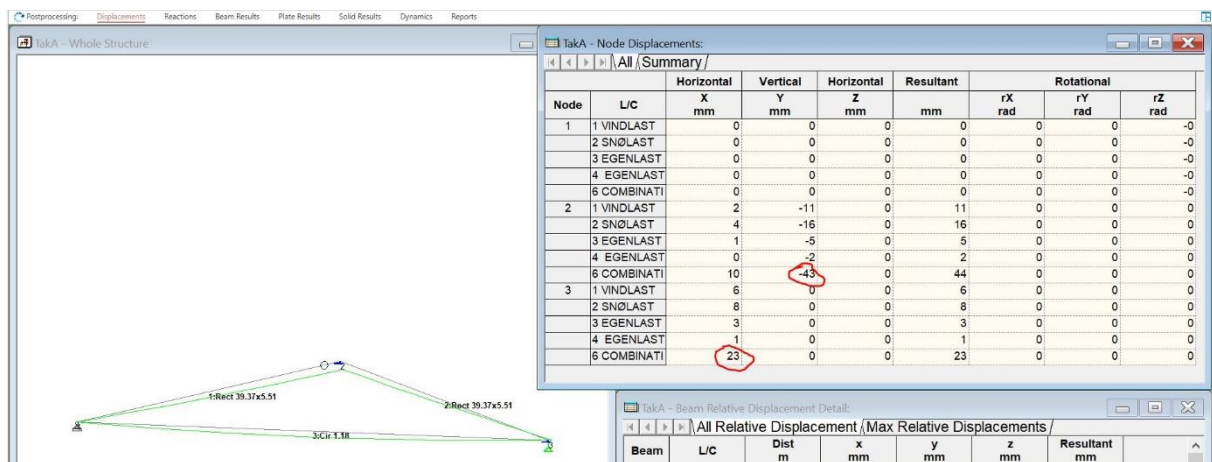
$$f_{vd} = f_{vk} \times k_{mod} / \gamma_m = 3,5 \times 0,7 / 1,15 = 2,13 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\max} = 169 \text{ kN}$$

$$T_{vf} = V_f / b_{ef} \times h = 169 \times 10^3 / 93,8 \times 1000 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{vf} / f_{vd} = 1,8 / 2,13 = 0,84 \text{ mindre enn } 1 = \text{OK}$$

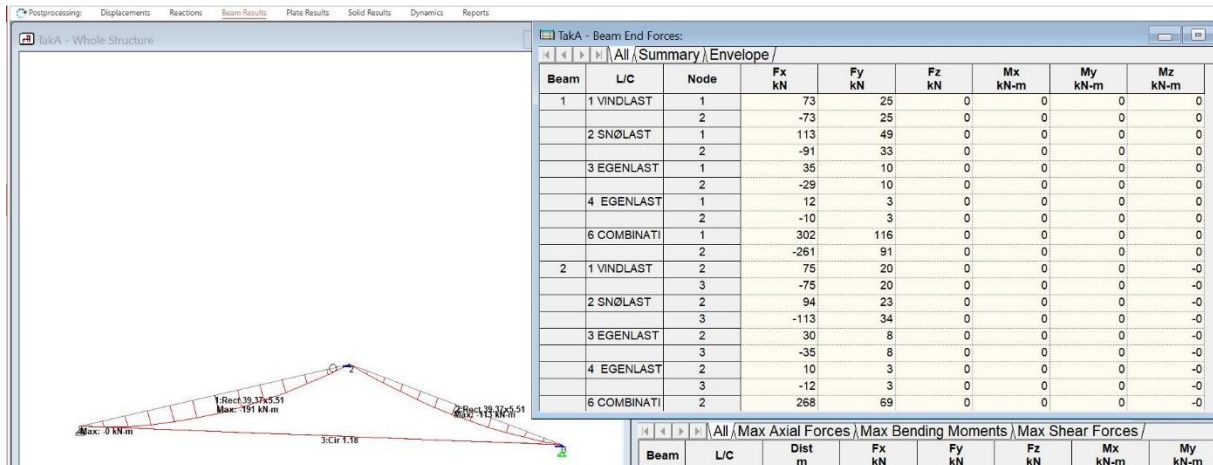
Siden Momentet er for stort burde det settes inn stag mellom bjelkene.



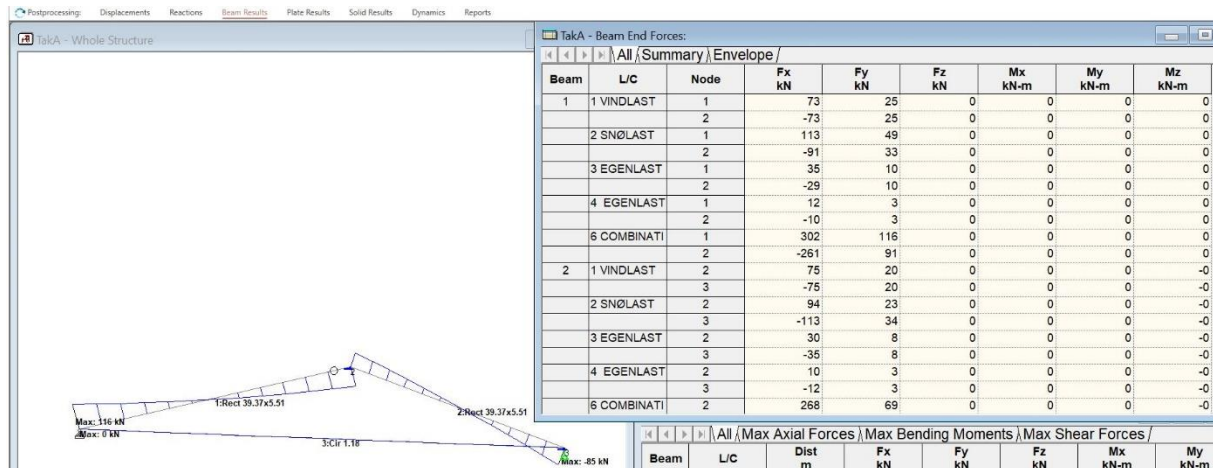


## Vedlegg 2

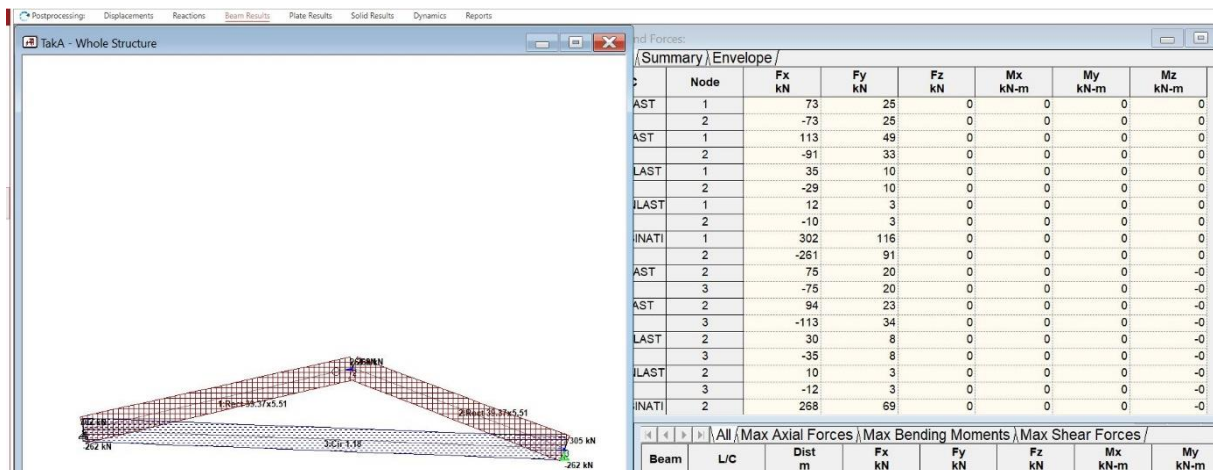
### Moment med stag:



### Skjær med stag:



### Aksialkraft med stag:



### Spenningskontroll bøying med stag: Tak A – 7,37m

$$\sigma_{mf} = M_f / W_y = 191 \times 10^6 / 2,3 \times 10^7 = 8,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod} / \gamma_m = 30(?) \text{ N/mm}^2 \times 0,7 / 1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$$

## Vedlegg 2

$$O_{mf} / f_{md} \times kh = 8,3 / 18,26 \times 1 = 0,45 \rightarrow \text{OK}$$

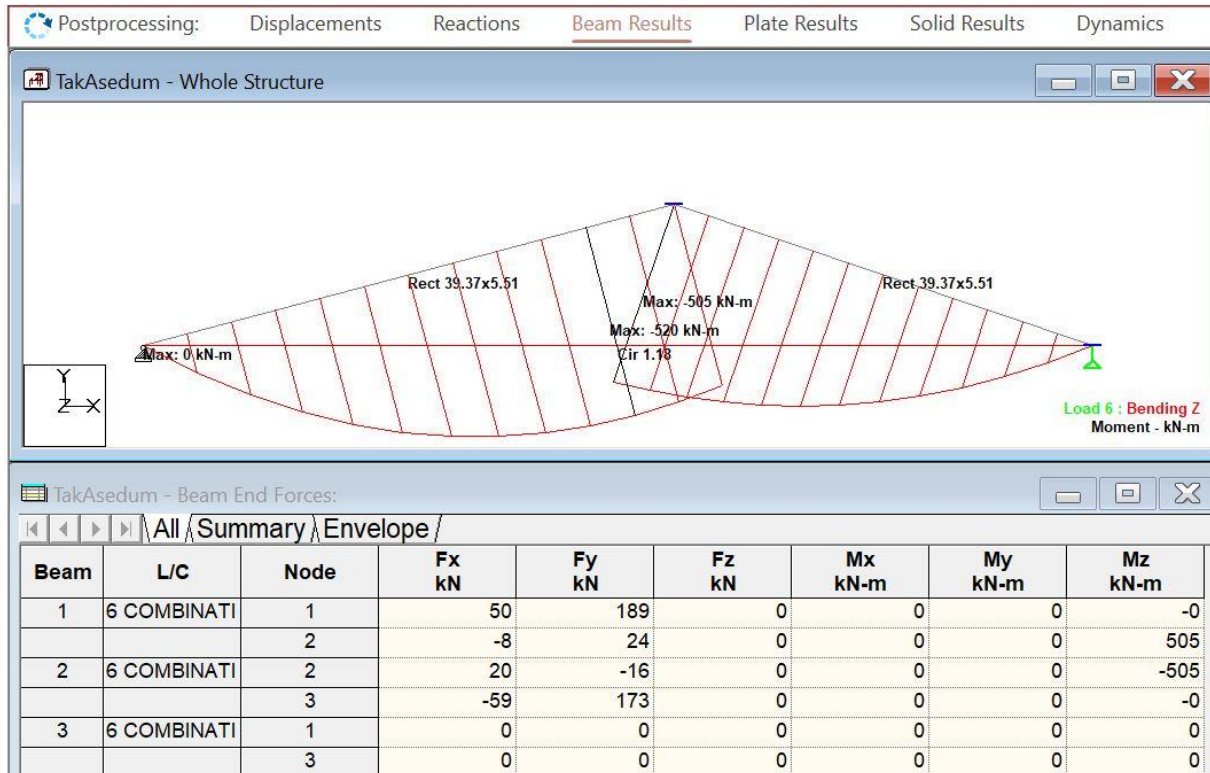
### Spenningskontroll bøying med stag: Tak A – 5,916m

$$O_{mf} = M_f / W_y = 113 \times 10^6 / 2,3 \times 10^7 = 4,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod} / \gamma_m = 30(?) \text{ N/mm}^2 \times 0,7 / 1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$$

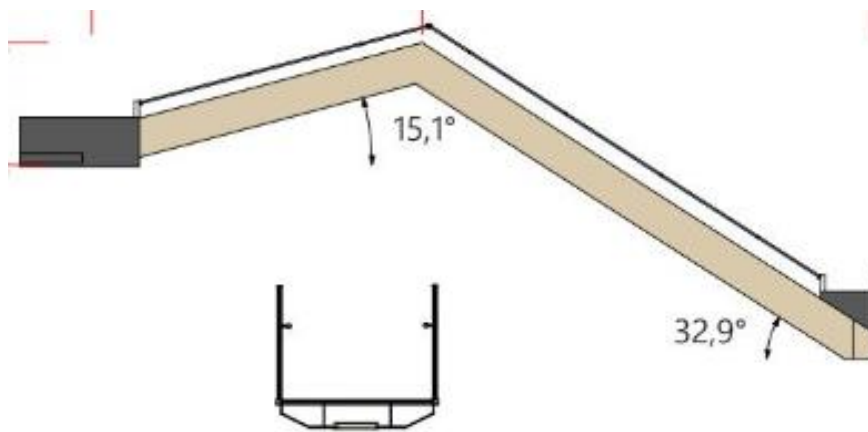
$$O_{mf} / f_{md} \times kh = 4,9 / 18,26 \times 1 = 0,27 \rightarrow \text{OK}$$

### Total last med sedum – Tak A



Kreftene og momentane som treffer bjelken er noe større enn uten sedum tak, men forskjellene er så små. Siden beregningene her kun er en indikasjon på om bjelkene er sterke nok, tar vi ikke beregningene om igjen på tak A.

## Tak B



### Geometri og dimensjoner

#### Bjelke 4-5

	Venstre	Høyre
Lengde bjelke(meter)	5,2	5,7
Vekt bjelke, net/grosss (kg)	165,4/x	178/184,1
Høyde bjelke	585	585
Lengde bjelke	115	115
Spenn glasstak (meter)	1,923(mot tak A) og 1,98	1,923(mot tak A) og 1,98
Vekt glasstak (kg)		

#### Bjelke 5-10

	Venstre	Høyre
Lengde bjelke(meter)	3,9	5,7
Vekt bjelke, net/gross (kg)	123,4/x	178/184
Høyde bjelke (mm)	585	585
Bredde bjelke (mm)	115	115
Spenn glasstak (meter)	1,98	1,98
Vekt glasstak (kg)		

#### Egenlast tak B

Venstre:	Høyre:
5,2 m: Vekt = 165,4 kg $q = 0,312 \text{ kN/m}$	5,7 m: Vekt = 178 kg $Q = 0,306 \text{ kN/m}$
3,9 m: Vekt = 123,4 kg $q = 0,31 \text{ kN/m}$	

Egenlasten av bjelkene på tak B vil bli den samme etter heving og flating av tak B

## Vedlegg 2

Nyttelast – Tak B

$$100 \times 1,98 \times 9,81 = 1,942 \text{ kN/m}$$

### Snølast – Tak B:

Her er det også to tilfeller av samme grunn som tak A

#### Tak B – tilfelle 1

Venstre side: kort l = 5,2	Høyre side: lang
For sagtak: $\alpha = 43^\circ$ $\mu_1 = 0,448$ [Tabell 5.2: formfaktorer for snølast] $\mu_2 = 1,6$ [Tabell 5.2] $S_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,448 = \underline{0,896 \text{ kN/m}^2}$ $S_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 1,6 = \underline{3,2 \text{ kN/m}^2}$	For sagtak: $\alpha = 37,8^\circ$ $\mu_1 = 0,592$ $\mu_2 = 1,6$ $S_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,592 = \underline{1,184 \text{ kN/m}^2}$ $S_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 1,6 = \underline{3,2 \text{ kN/m}^2}$

#### Tilfelle 2 (kort) L = 3,9m

For tak som grenser eller ligger nært høyere byggverk er  $\mu_1 = 0,8$

$$\alpha = 15,1^\circ$$

$$\mu_1 = 0,8 \text{ [Tabell 5.2]}$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_w = \rightarrow 2.539 \leq 2.356$$

$$\mu_w = 2.356$$

$$\mu_2 = 2,356$$

$$S_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 0,8 = \underline{1,6 \text{ kN/m}^2}$$

$$S_2 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \times 2,356 = \underline{4,712 \text{ kN/m}^2}$$

For å forenkle snølasten brukes den verste snølasten; på den lengste bjelken brukes en snølast på  $3,2 \text{ kN/m}^2$ , og på den kortere bjelken brukes en snølast på  $4,712 \text{ kN/m}^2$

#### Total last uten sedum

Span = 1,92 m og 1,98  $\rightarrow$  bruker 2m

$$\text{Glasstak} \rightarrow 12,8 \times 2 = 25,6 \text{ kN/m}$$

*Kort bjelke:*

$$G_{\text{takBkort}} = (2\text{m} \times (1,5 \times 4,712)) + (1,05 \times 2,04) + 1,2 \times (0,31 + 2,81) = \underline{22,16 \text{ kN/m}}$$

## Vedlegg 2

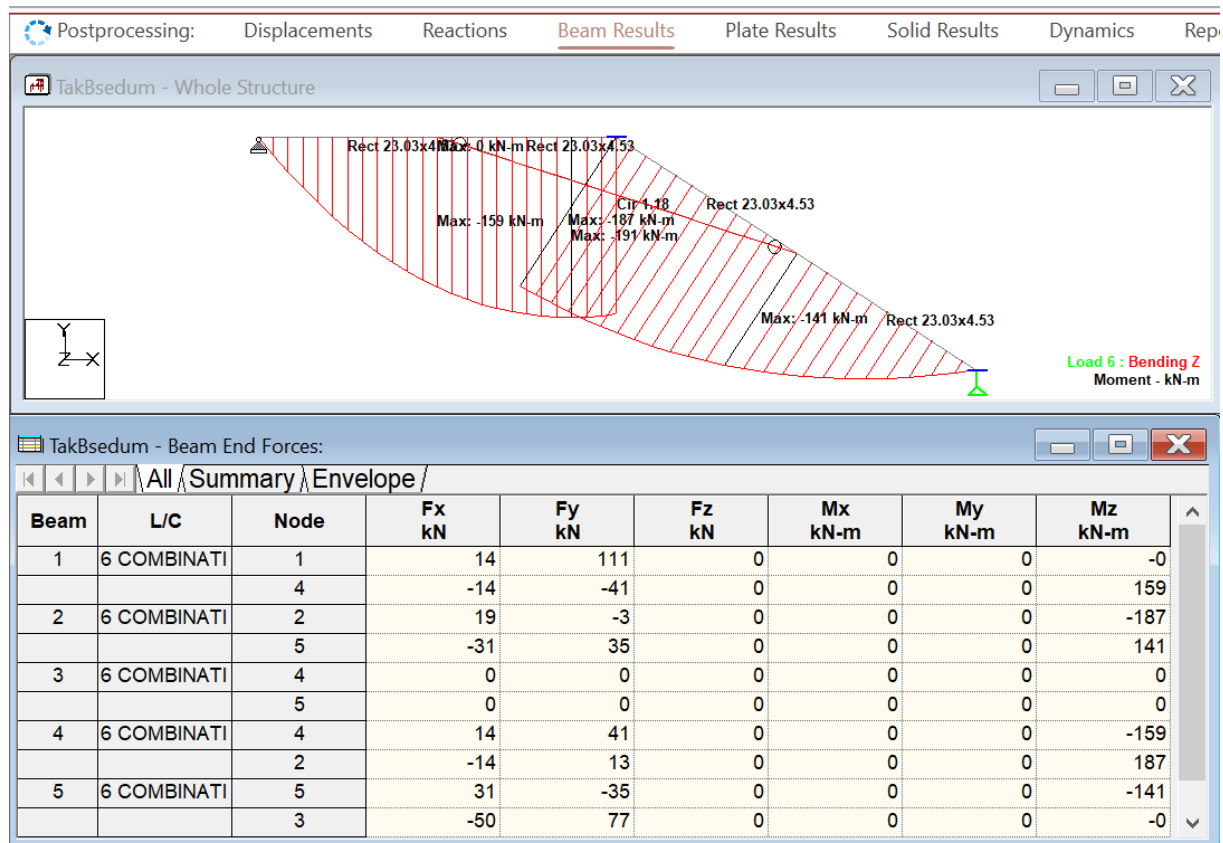
Lang bjelke:

Snølast 3,2 og 1,184 kN/m

$$G = 2 \times ((1,5 \times 3,2) + (1,05 \times 2,04)) + 1,2 \times (0,31 + 2,81) = \underline{17,63 \text{ kN/m}}$$

Kontroll av ny løsning- Før stang

Tester om bjelkene holder etter løsningsforslaget – etter flating og heving av tak B, og med blågrønt tak



**Tak B – 5:** h = 585mm, b = 115 mm

$$M = 159 \text{ kNm}$$

$$M = 191 \text{ kNm (knutepunkt)}$$

$$V = 111 \text{ kN}$$

**Spenningskontroll bøyning:**

$$W_y = 115 \times 585^2 / 6 = 6,56 \times 10^6$$

$$\sigma_{mf} = M_f / W_y = 191 \times 10^6 / 6,56 \times 10^6 = 29,11 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod} / \gamma_m = 30 \times 0,7 / 1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$$

$$29,11 / 18,26 = 1,59 \text{ mer enn } 1 = \text{ikke OK}$$

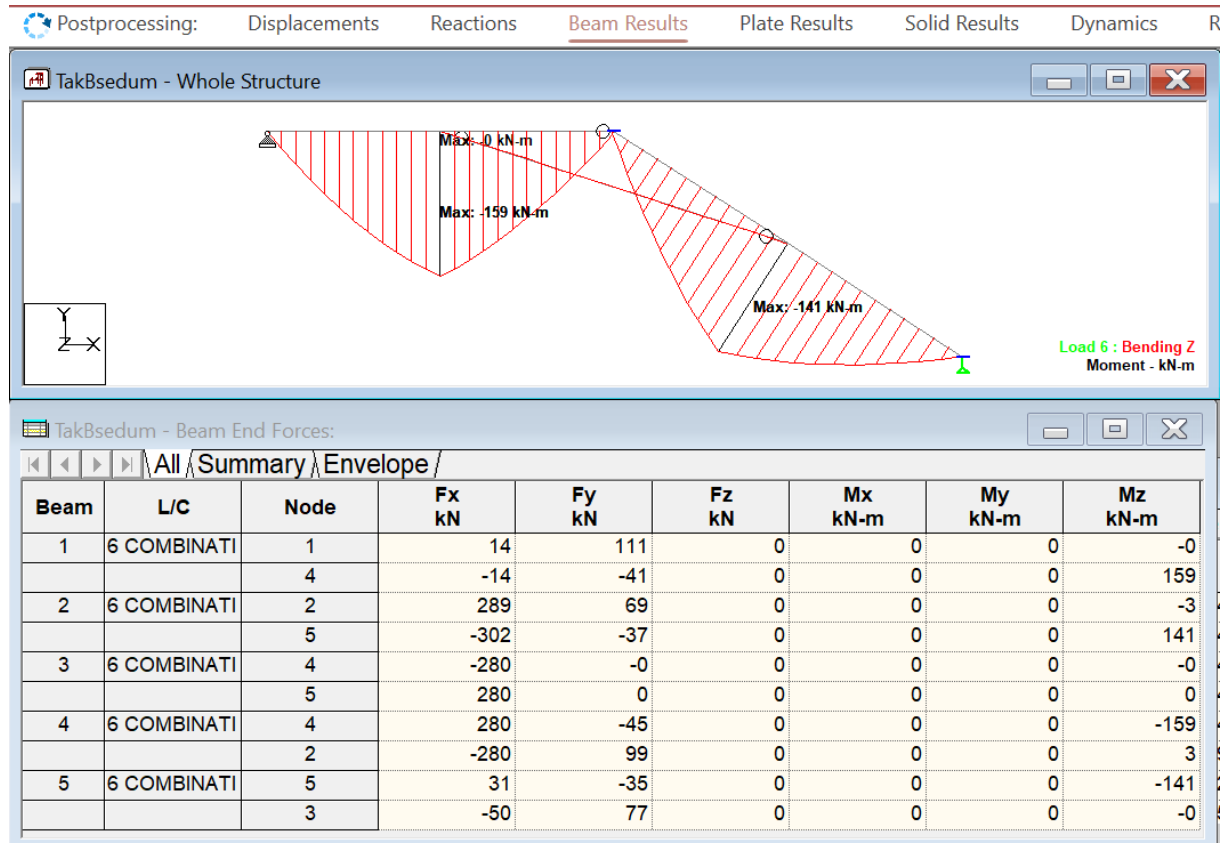
## Vedlegg 2

$$\sigma_{mf} = M_f/W_y = 159 \times 10^6 / 6,56 \times 10^6 = 24,24 \text{ N/mm}^2$$

24,24 / 18,26 = 1,32 mer enn 1 = ikke OK

### Kontroll av ny løsning – Etter stang

Tester om bjelkene holder etter løsningsforslaget – etter flating og heving av tak B, og med blågrønt tak



**Tak B – 5:** h = 585mm, b = 115 mm

$$M = 159 \text{ kNm}$$

$$M = 141 \text{ kNm}$$

$$V = 111 \text{ kN}$$

#### Spenningskontroll bøyning:

$$W_y = 115 \times 585^2/6 = 6,56 \times 10^6$$

$$\sigma_{mf} = M_f/W_y = 141 \times 10^6 / 6,56 \times 10^6 = 21,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod}/\gamma_m = 30 \times 0,7/1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$$

21,5 / 18,26 = 1,18 mer enn 1 = ikke OK

$$\sigma_{mf} = M_f/W_y = 159 \times 10^6 / 6,56 \times 10^6 = 24,24 \text{ N/mm}^2$$

## Vedlegg 2

$$f_{md} = f_{mk} \times k_{mod} / \gamma_m = 30 \times 0,7 / 1,15 = 18,26 \text{ N/mm}^2$$

$$24,24 / 18,26 = 1,33 \text{ mer enn } 1 = \text{ikke OK}$$