

# **VEDLEGG A: ARTIKKEL OG PLAKAT**

## **A.1 Artikkel**

# BÆREKRAFTIG ENDRING I BYGGEBRANSJEN



**Bygg- og anleggsbransjen står i dag foran et grønt og bærekraftig skifte, der valg av materiale vil ha stor betydning for fremtiden. En studentgruppe ved NTNU har i løpet våren 2021 sett på muligheten for å benytte massivtreelementer i dimensjonering av en tårnkonstruksjon.**

Forfattere: Thea Kristine Brenn, Adrian Weidemann Skagseth, Lisa Bakøy Sunde

20.05.2021

## Miljø i søkelys

Det er i de siste årene fokusert mye på det grønne skifte i bygg- og anleggsbransjen. Det er satt inn flere tiltak fra regjeringen som skal sikre at utslippet fra bransjen kuttes. FNs bærekraftsmål angår også bygg- og anleggsbransjen, og målet er å oppfylle disse målene før 2030. Produksjon av materialer som stål og betong er en stor del av all utslipp og trematerialer er derfor på god vei inn igjen, også i bruk som bæring i større konstruksjoner.

## Massivtre som materiale i dag

Massivtre er på tur inn i byggebransjen med stor fart, og det blir produsert flere og flere store konstruksjoner av massivtre. Det er i den siste tiden kommet frem flere produsenter av massivtreelementer også her i Norge. Massivtreelementene har store dimensjoner og god kapasitet og er konkurransedyktig med både betong og stål. Problemet med massivtre er at det er et lett materiale som gir dårligere stabilitet i høyere konstruksjoner.

## Green Advisers AS

Noen av de som virkelig har gått inn for å bringe trekonstruksjoner tilbake i vinden er Green Advisers AS, som har gjennom flere år og prosjekter opparbeidet seg god kunnskap om bruk av tre i store bygg. Denne gangen har de stått i ryggen til en studentgruppe som i et spennende samarbeid har sett på hvor høyt det er mulig å dimensjonere en tårnkonstruksjon med bredde 6m for statiske krefter. Studentene vil ikke bare sette seg inn i massivtreets egenskaper, men også forbindelser som vil kunne binde elementene sammen. Det er benyttet tradisjonelle løsninger, samtidig som nye og innovative løsninger fra blant annet østeriske Rothoblaas.



*Illustrasjon av tårnkonstruksjon dimensjonert med massivtreelementer som bæring*

## Spennende resultater

Det viser seg gjennom resultater i studentoppgaven at store vindlaster og høye trekonstruksjoner ikke går som hånd i hanske. Forskyvningen i toppen øker betraktelig med høyden, og maksimal byggehøyde blir satt til 51 meter. Dimensjoneringen er gjort på grunnlag av statiske laster, og det blir spennende å følge prosjektet i videre arbeid for å kunne se på innvirkningene fra de dynamiske virkningene. 51 meter er likevel høyt og studentenes arbeid kan være med på å fremme og inspirere flere der ute til å rette fokuset bort fra betong og stål, og heller mot massivtre.

## **A.2 Plakat**

## Dimensjonering av tårnkonstruksjon i massivtre

### Structural design of high-rise building in cross-laminated timber



*Tårnkonstruksjonen illustrert ved Atnsjøen, Stor-Elvdal*

#### Prosjektbeskrivelse:

Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvor høyt en tårnkonstruksjon av massivtre kan dimensjoneres, for gitt lasttilfelle ved Atnsjøen i Stor-Elvdal. Massivtre er et materiale som etterlater mindre miljøavtrykk enn konkurrentene betong og stål, som i dag er mest brukt som bærende elementer i høybygg.

#### Analysér:

- Lastberegninger for statiske laster
- Digital modellering i Focus Konstruksjon
- Kapasitetskontroller
- Dimensjonering av forbindelser

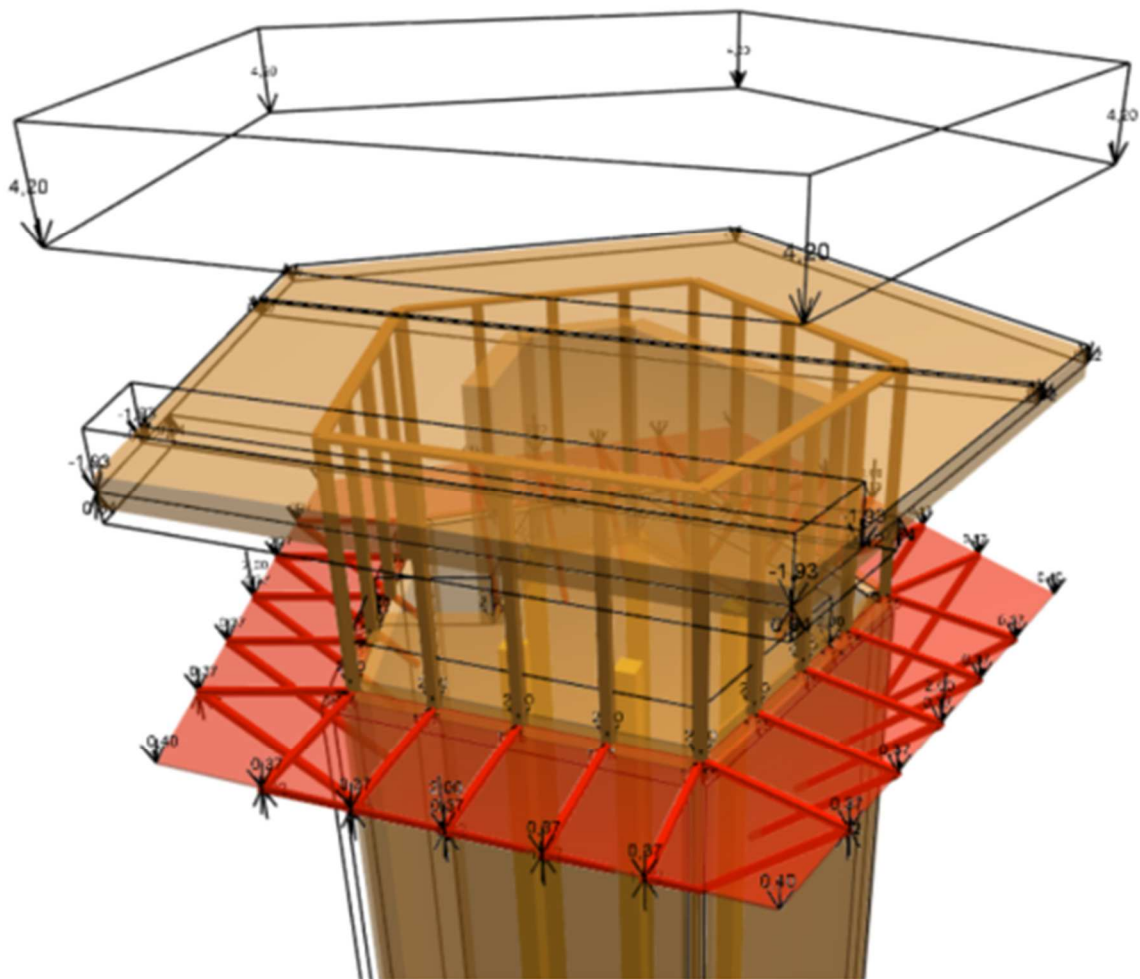
#### Resultat:

Beregninger viser at det oppstår store krefter i tårnkonstruksjonen, hovedsakelig grunnet horisontal vindlast. Dette ga store forskyvninger som resulterte i en maksimal tårnhøyde på 51 meter. Resultatene viser også at massivtreplatene fra Splitkon har høy kapasitet og bestemt høyde setter krav til sterke, innovative forbindelser.

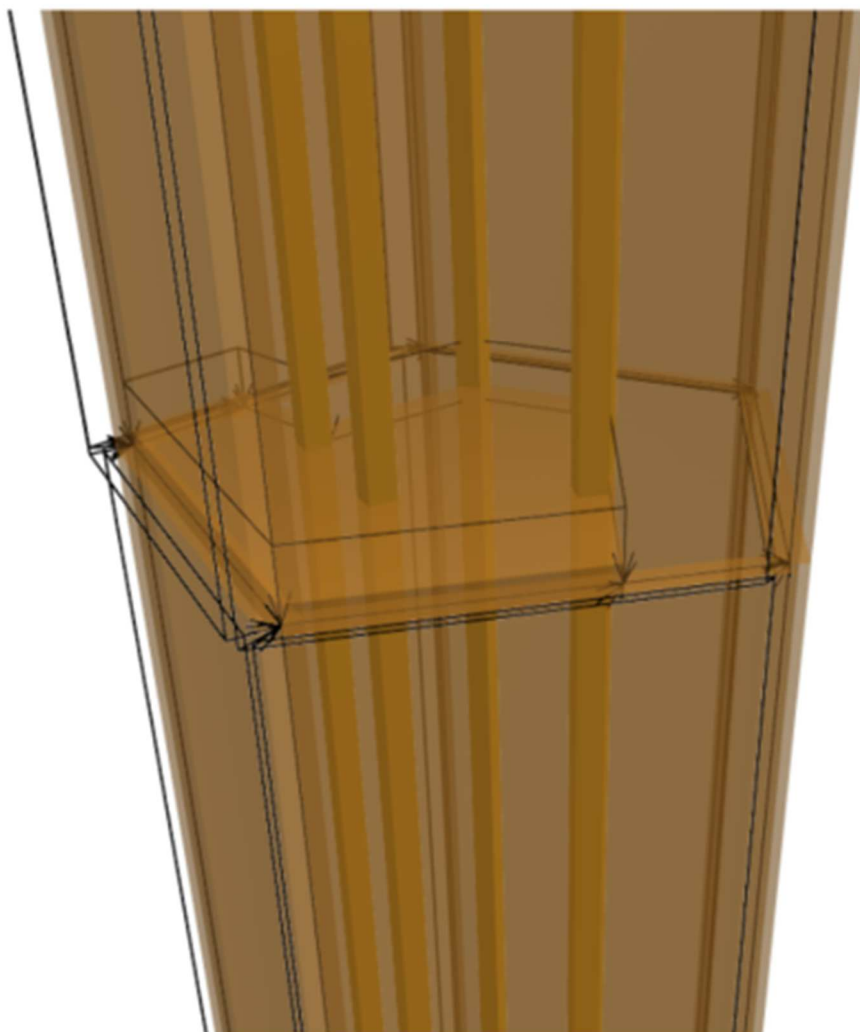
## VEDLEGG B: LASTER OG LASTKOMBINASJONER

### B.1 Laster påført modellen i Focus Konstruksjon

Laster påført modellen i Focus Konstruksjon er vist på dette vedlegget. Laster påført tak og balkong er vist på figuren under. Verdier på laster kan leses av i tabeller under resultat i kapittel 4.1 i rapport.



Vind- og nyttelast påført veggplater og etasjeskiller er vist i figuren under. Verdier leses av her i kapittel 4.1 i rapport.



## B.2: Egenlastberegninger

### Plater:

$$\rho_m := 454 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Midlere densitet massivtre, hentet fra splitkon tekniske godkjenning}$$

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2} \quad \text{Tyngdeakselerasjon}$$

$$b := 3.5 \text{ m} \quad h := 16 \text{ m} \quad t := 0.3 \text{ m} \quad \text{Tverrsnitt}$$

$$V_{plate} := b \cdot h \cdot t = 16.8 \text{ m}^3 \quad \text{Totalt volum plate}$$

$$G_{k.plate} := \rho_m \cdot V_{plate} \cdot \frac{g}{1000} = 75 \text{ kN} \quad \text{Egenlast plate, punktlast}$$

### Total egenlast plater:

$$G_{k.plate} := 75 \text{ kN}$$

$$P_{plate} := G_{k.plate} \cdot 15 = 1125 \text{ kN}$$

### Skiver:

$$A_{skive} := 11.276 \text{ m}^2 \quad \text{Areal av skiven}$$

$$t := 0.3 \quad \text{Tykkelse skive}$$

$$V_{skive} := A_{skive} \cdot t = 3.38 \text{ m}^3 \quad \text{Totalt volum skive}$$

$$G_{k.skive} := \rho_m \cdot V_{skive} \cdot \frac{g}{1000} = 15.07 \text{ kN} \quad \text{Total egenlast skive, punktlast}$$

$$g_{k.skive} := \rho_m \cdot t \cdot \frac{g}{1000} = 1.34 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Total egenlast skive, flatelast}$$

### Total egenlast skiver:

$$P_{skive} := G_{k.skive} \cdot 3 = 45.2 \text{ kN}$$

**Søyler:**

$$\rho_{mean} := 490.5 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Densitet limtre, Gl30h}$$

$$b := 0.24m \quad h := 0.24m \quad l := 16m \quad \text{Tverrsnitt søyler}$$

$$V_{søyle} := b \cdot h \cdot l = 0.92 \, m^3 \quad \text{Totalt volum søyle}$$

$$G_{k.søyle} := V_{søyle} \cdot \rho_{mean} \cdot \frac{g}{1000} = 4.43 \, kN \quad \text{Total egenlast søyle, punktlast}$$

***Total egenlast søyler:***

$$P_{søyle} := G_{k.søyle} \cdot 15 = 66.5 \, kN$$

**Takplate:**

$$A_{tak} := 55.502 \, m^2 \quad \text{Areal takskive}$$

$$t := 0.3 \, m \quad \text{Tykkelse takskive}$$

$$V_{tak} := A_{tak} \cdot t = 16.65 \, m^3 \quad \text{Totalt volum takskive}$$

$$G_{tak} := V_{tak} \cdot \rho_m \cdot \frac{g}{1000} = 74.16 \, kN \quad \text{Total egenlast, punktlast}$$

$$g_{tak} := t \cdot \rho_m \cdot \frac{g}{1000} = 1.34 \, \frac{kN}{m^2} \quad \text{Total egenlast, flatelast}$$

***Total egenlast takplate:***

$$P_{tak} := g_{tak} \cdot A_{tak} \cdot 1 = 74.16 \, kN$$

### Stavelementer balkong:

#### Diagonal:

$$\rho_{steel} := 7852.7 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Densitet, stål}$$

$$A_{HFRHS.80.5} := 0.00149 m^2 \quad \text{Areal tverrsnitt, hentet fra tabell}$$

$$l := 2.12 \quad m \quad \text{Lengde stavelement}$$

$$V_{stav.D} := A_{HFRHS.80.5} \cdot l = 0 \quad m^3 \quad \text{Totalt volum, diagonalstav}$$

$$G_{stav.D} := V_{stav.D} \cdot \rho_{steel} \cdot \frac{g}{1000} = 0.24 kN \quad \text{Total egenlast, punktlast}$$

#### Total egenlast diagonalstaver:

$$P_{stav.D} := G_{stav.D} \cdot 25 = 6.08 \quad kN$$

#### Horisontal:

$$l := 1.5 \quad m \quad \text{Lengde stavelement}$$

$$V_{stav.H} := A_{HFRHS.80.5} \cdot l = 0 \quad m^3 \quad \text{Totalt volum, horisontalstav}$$

$$G_{stav.H} := V_{stav.H} \cdot \rho_{steel} \cdot \frac{g}{1000} = 0.17 \quad kN \quad \text{Total egenlast, punktlast}$$

#### Total egenlast horisontale staver:

$$P_{stav.H} := G_{stav.H} \cdot 25 = 4.3 \quad kN$$

#### Vertikal (rekkverk):

$$l := 1.5 + 0.85 + 0.85 = 3.2 m$$

$$V_{stav.V} := A_{HFRHS.80.5} \cdot l = 0 \quad m^3$$

$$G_{stav.v} := V_{stav.V} \cdot \rho_{steel} \cdot \frac{g}{1000} = 0.37 kN$$

Stålplate:

$$l := 1.5 \text{ m} \quad b := 0.875 \text{ m} \quad t := 0.03 \text{ m} \quad \text{Tverrsnitt stålplate, balkong}$$

$$g_{k.linje.plate} := t \cdot \rho_{steel} \cdot \frac{g}{1000} = 2.3 \quad \frac{kN}{m^2} \quad \text{Total egenlast, flatelast}$$

**Total egenlast balkongplate,:**

$$P_{plate.b} := g_{k.linje.plate} \cdot 34.5 = 79.73 \text{ kN}$$

Toppkonstruksjon:

Innervegger:

$$t := 0.3 \text{ m} \quad h := 2.7 \text{ m} \quad l := 5.9 \text{ m} \quad \text{Tverrsnitt innevegger}$$

$$g_{k.linje.IV} := t \cdot h \cdot \rho_m \cdot \frac{g}{1000} = 3.61 \quad \frac{kN}{m} \quad \text{Total egenlast, linjelast (per m vegg)}$$

**Total egenlast innervegger:**

$$P_{iv} := g_{k.linje.IV} \cdot 5.9 = 21.28 \text{ kN}$$

Stenderverk:

$$\rho_{gl30c} := 430 \quad \frac{kg}{m^3} \quad \text{Densitet limtre Gl30c, hentet fra tabell}$$

$$h := 0.115 \text{ m} \quad b := 0.115 \text{ m} \quad l := 2.7 \text{ m} \quad \text{Tverrsnitt, stenderverk}$$

$$V_{stender} := b \cdot h \cdot l = 0.04 \text{ m}^3 \quad \text{Totalt volum per stender}$$

$$G_{stender} := V_{stender} \cdot \rho_{gl30c} \cdot \frac{g}{1000} = 0.15 \text{ kN} \quad \text{Egenlast per stender, punktlast}$$

**Total egenlast stenderverk:**

$$P_{stender} := G_{stender} \cdot 20 = 3.01 \text{ kN}$$

Svill:

$$l := 3.5 \cdot 5 = 17.5 \text{ m} \quad b := 0.148 \text{ m} \quad h := 0.048 \text{ m} \quad \text{Tverrsnitt svill}$$

$$\rho_{c24} := 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densitet, C24 konstruksjonsvirke}$$

$$g_{linje.svill} := b \cdot h \cdot \rho_{c24} \cdot \frac{g}{1000} = 0.02 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Total egenlast stenderverk:**

$$P_{svill} := g_{linje.svill} \cdot 17.5 = 0.43 \text{ kN}$$

## B.3 Vindlastberegninger

ORIGIN := 1

### Tårnkonstruksjon 51 meter, total høyde:

Leser av referansevindhastighet i tabell NA. 4 (901.1) i NS-EN 1991-1-4:  
Stor-Elvdal kommune i Hedemark:  $V_{b,0}=22 \text{ m/s}$

4.2(2) Basisvindhastighet,  $V_b$

$C_{dir} := 1.0$  Retningsfaktor, 1,0 for alle vindretninger

$C_{season} := 1.0$  Årstidsfaktor

$C_{alt} := 1.0$  Nivåfaktor

$C_{prob} := 1.0$  Returperioden velges til 50 år

$V_{b,0} := 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  referansevindhastigheten for valgt område

$$V_b := C_{dir} \cdot C_{season} \cdot C_{alt} \cdot C_{prob} \cdot V_{b,0} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{NA 4.1})$$

### 4.3 Middelvind

$C_0 := 1.0$  Terrengformfaktoren (satt lik 1,0 med mindre annet angitt i 4.3.3)

$z_0 := 0.05$  Ruhetslengde Valgt terrengkategori fra tabell 4.1: terrengkat. II

$z_{0,II} := 0.05$  Ruhetslengde for terrengkategori II

$z := 48 \text{ m}$  Høyde på konstruksjonen

$$k_r := 0.19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \quad (4.5)$$

$$C_r := k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 1.305 \quad (4.4) \quad \text{Ruhetsfaktoren 4.3.2}$$

#### 4.3.1 Stedsvindhastighet $v_m(z)$

$$V_m := C_r \cdot C_0 \cdot V_b = 28.704 \text{ m/s} \quad (4.3) \quad \text{Stedsvindhastighet}$$

#### 4.5 (1) Vindkasthastighetstrykk $q_p(z_e)$

$$C_{e,b} := 2.1 \quad Z_e = b \quad \text{Eksponeeringsfaktoren, leses av i fig. 4.2}$$

$$C_{e,Zstrip} := 3.35 \quad Z_e = Z_{strip}$$

$$C_{e,h} := 3.45 \quad Z_e = h$$

$$\rho := 1.25 \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densitet, luft}$$

$$q_b := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 = 302.5 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4.10) \quad \text{Basisvindhastighetstrykk}$$

$$q_{p,b} := q_b \cdot C_{e,b} = 635.25 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (4.8) \quad \text{Vindkasthastighetstrykket}$$

$$q_{p,Zstrip} := q_b \cdot C_{e,Zstrip} = 1013.38 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$q_{p,h} := q_b \cdot C_{e,h} = 1043.63 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

### 5.3 Vindkrefter

$F_w$

Beregnet etter metode (2) punkt 5.3(1) i NS-EN 1991-1-4

$$b := 6 \quad m$$

Diameter til den omskrevne sirkel rundt 5.kanten

$$l := 16 \quad m$$

Lengde konstruksjonsdel

$$A_{ref} := b \cdot l = 96 \quad m^2$$

(7.14)

Referanseareal konstruksjonsdel

$$C_s := 1$$

Størrelsesfaktor

$$C_d := 1$$

Dynamisk faktor

$$C_{f,0} := 1.8$$

Kraftfaktoren til konstruksjonen, 5.kant fra tabell 7.11

$$\psi_\lambda := 0.73$$

Endeeffektfaktoren

$$C_f := C_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1.314$$

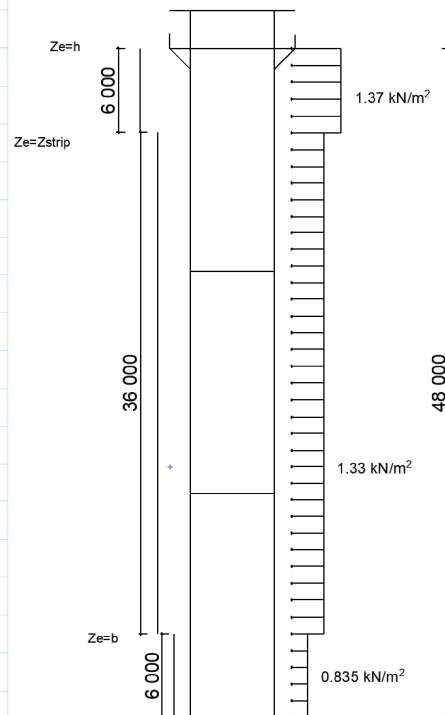
(7.13)

Flatelast:

$$f_{w,b} := C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_{p,b} = 834.72 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$f_{w,Zstrip} := C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_{p,Zstrip} = 1331.57 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$f_{w,h} := C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_{p,h} = 1371.32 \quad \frac{N}{m^2}$$



Vindkrefter fra metode (2)

### 5.3 Vindkraften

$F_w$

Beregnet etter metode (3) punkt 5.3(1) i NS-EN 1991-1-4

Utvendige formfaktorer:

$$c_{pe.10.D} := 0.8$$

Hentet fra tabell 7.1

$$c_{pe.10.E} := -0.7$$

Innvendige formfaktorer:

$$c_{pi.t} := 0.2$$

Hentet fra merknad

$$c_{pi.s} := -0.3$$

7.2.9(6)

**Utvendig trykk for overflate,  $z_e=b$ :**

**Beregnes etter ligning (5.1) og (5.2).**

$$w_{e.b.D} := q_{p.b} \cdot c_{pe.10.D} = 508.2 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$w_{e.b.E} := q_{p.b} \cdot c_{pe.10.E} = -444.675 \quad \frac{N}{m^2}$$

**$z_e=z_{strip}$ :**

$$w_{e.zstrip.D} := q_{p.Zstrip} \cdot c_{pe.10.D} = 810.7 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$w_{e.zstrip.E} := q_{p.Zstrip} \cdot c_{pe.10.E} = -709.363 \quad \frac{N}{m^2}$$

**$z_e=h$ :**

$$w_{e.h.D} := q_{p.h} \cdot c_{pe.10.D} = 834.9 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$w_{e.h.E} := q_{p.h} \cdot c_{pe.10.E} = -730.538 \quad \frac{N}{m^2}$$

**Innvendig trykk for overflate,  $z_i=b$ :**

$$w_{i.b.t} := q_{p.b} \cdot c_{pi.t} = 127.05 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$w_{i.b.s} := q_{p.b} \cdot c_{pi.s} = -190.575 \quad \frac{N}{m^2}$$

**$z_i=z_{strip}$ :**

$$w_{i.zstrip.t} := q_{p.Zstrip} \cdot c_{pi.t} = 202.675 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$w_{i.zstrip.s} := q_{p.Zstrip} \cdot c_{pi.s} = -304.013 \quad \frac{N}{m^2}$$

**$z_i=h$ :**

$$w_{i.h.t} := q_{p.h} \cdot c_{pi.t} = 208.725 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$w_{i.h.s} := q_{p.h} \cdot c_{pi.s} = -313.088 \quad \frac{N}{m^2}$$

Kombinasjon innvendig- og utvendig trykk:

Innvendig sug:

Innvendig trykk:

$z_e=b$ :

$$w_{e1.b.Di} := w_{e.b.D} - w_{i.b.s} = 698.78$$

$$w_{e2.b.Di} := w_{e.b.D} - w_{i.b.t} = 381.15$$

$$w_{e1.b.Ei} := w_{e.b.E} - w_{i.b.s} = -254.1$$

$$w_{e2.b.Ei} := w_{e.b.E} - w_{i.b.t} = -571.73$$

$z_e=zstrip$ :

$$w_{e1.zstrip.Di} := w_{e.zstrip.D} - w_{i.zstrip.s} = 1114.71$$

$$w_{e2.zstrip.Di} := w_{e.zstrip.D} - w_{i.zstrip.t} = 608.03$$

$$w_{e1.zstrip.Ei} := w_{e.zstrip.E} - w_{i.zstrip.s} = -405.35$$

$$w_{e2.zstrip.Ei} := w_{e.zstrip.E} - w_{i.zstrip.t} = -912.04$$

$z_e=h$ :

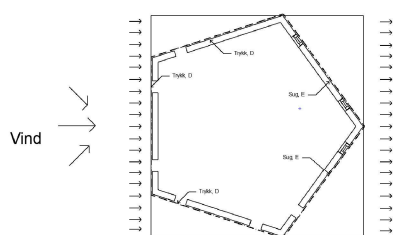
$$w_{e1.h.Di} := w_{e.h.D} - w_{i.h.s} = 1147.99$$

$$w_{e2.h.Di} := w_{e.h.D} - w_{i.h.t} = 626.18$$

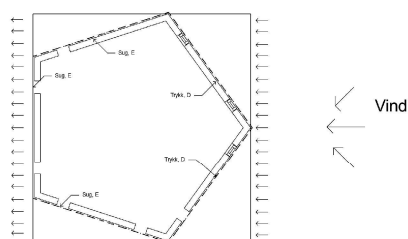
$$w_{e1.h.Ei} := w_{e.h.E} - w_{i.h.s} = -417.45$$

$$w_{e2.h.Ei} := w_{e.h.E} - w_{i.h.t} = -939.26$$

Disse to tilfellene testes både for situasjon 1 og situasjon 2 som vist i figurene under.



Situasjon 1



Situasjon 2

Begge tilfellene ble testen i Focus Konstruksjon, for begge situasjoner. Den verste lastkombinasjonen ble valgt ut fra hvilken som ga størst forskyvning i konstruksjonen av metode (2) og (3).

Resultat: Verste lastkombinasjon, vindlast, ble situasjon 1, innvendig sug med metode (2).

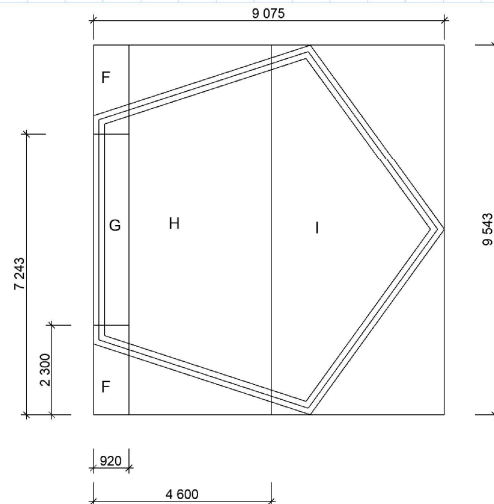
### Vindlast tak og takutstikk

Sone F: A =  $0.1 \text{ m}^2$  Arealet er så lite, ser bort i fra denne

Sone G: A =  $5.23 \text{ m}^2$   $C_{pe.5G} := -2.15$

Sone H: A =  $27.5 \text{ m}^2$   $C_{pe.10H} := -0.7$

Sone I: A =  $22.5 \text{ m}^2$   $C_{pe.10It} := 0.2$   
 $C_{pe.10Is} := -0.2$

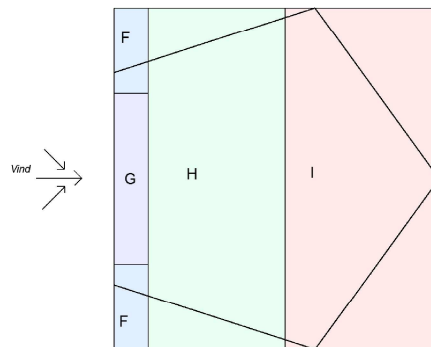


### Innvendig vindtrykk

7.2.9 (6) merknad 2

$C_{pi.t} := 0.2$

$C_{pi.s} := -0.3$



### Totalt vindtrykk soner på tak: (innvendig trykk):

G  $q_{t.G} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.5G} - C_{pi.t}) = -2452.5$   $\frac{N}{m^2}$

H  $q_{t.H} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.10H} - C_{pi.t}) = -939.3$   $\frac{N}{m^2}$

I  $q_{t.It} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.10It} - C_{pi.s}) = 521.8$   $\frac{N}{m^2}$

I  $q_{t.Is} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.10Is} - C_{pi.t}) = -417.5$   $\frac{N}{m^2}$

For sone I velges tilfelle som blir ugünstigst

Totalt vindtrykk soner på tak:(innvendig sug):

$$G \quad q_{t.G} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.5G} - C_{pi.s}) = -1930.7 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$H \quad q_{t.H} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.10H} - C_{pi.s}) = -417.5 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$I \quad q_{t.It} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.10It} - C_{pi.s}) = 521.8 \quad \frac{N}{m^2}$$

$$I \quad q_{t.Is} := q_{p.h} \cdot (C_{pe.10Is} - C_{pi.s}) = 104.4 \quad \frac{N}{m^2}$$

For sone I velges  
tilfelle som blir  
ugunstigst

### 7.2.1 Generelt ( Trykk under takutstikk og balkong):

Merknad 7.2.1 (3) , vindtrykket under takutstikk settes lik trykket på veggen ved takutstikk.

$$w_{e.h.D} = 834.9 \quad \frac{N}{m^2}$$

## B.4 Snølastberegninger

NS-EN 1991-1-3:2003+A1:2015+NA:2018 Snølaster

*Karakteristisk snølast på mark, tabell NA.4.1(901)*

$$S_{k,0} := 4.0 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$H := 710 \quad m.o.h$$

Korrigeres etter punkt NA.4.1(1) på grunn av høyde over havet

$$H_g := 450 \quad m.o.h$$

$$n := \frac{(H - H_g)}{100} = 2.6$$

$$\Delta S_k := 1.0$$

$$S_k := S_{k,0} + n \cdot \Delta S_k = 6.6 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$S_{k,maks} := 6.5 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$S_k > S_{k,maks} \quad \text{da settes :} \quad S_k := S_{k,maks} = 6.5 \quad \frac{kN}{m^2}$$

### 5.2 Lasttilfelle

*Benytter merknad (3)a) for vedvarende/forbigående dimensjonerende situasjoner:*

$$\mu := 0.8$$

Snølastens formfaktor, gitt i tabell 5.2

$$C_e := 0.8$$

eksponeringskoeffisienten, tabell 5.1

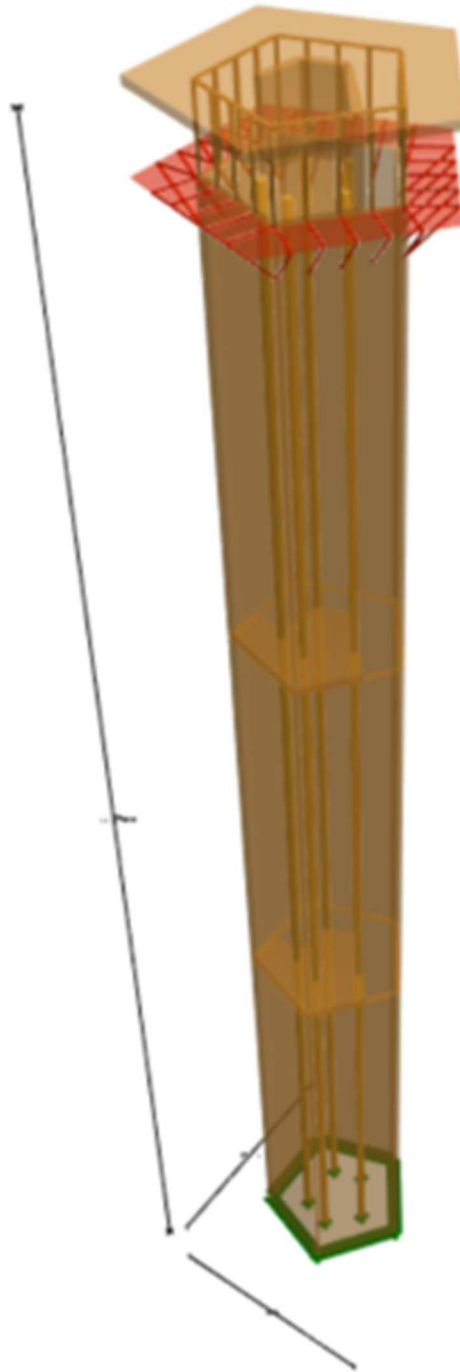
$$C_t := 1$$

den termiske koeffisienten, etter punkt 5.2(8)

$$S := \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 4.2 \quad \frac{kN}{m^2} \quad (5.1) \quad \text{Endelig snølast på tak}$$

## VEDLEGG C: FOCUS KONSTRUKSJON

### C.1 Modell i Focus Konstruksjon



## C.2 Verifisering av Focus Konstruksjon:

### C.2.1 Verifisering av egenvekt av modell i konstruksjon

Nedenfor summeres den totale egenlasten til alle konstruksjonselementene. Resultatet sammenlignes med summeringen av alle reaksjonskreftene i z-retning på modellen i Focus Konstruksjon. Analysen i Focus Konstruksjon kjøres med kun egenlast og uten lastfaktorer.

Håndberegning fra MathCad-dokument:

**Total egenlast plater:**      **Total egenlast skiver:**      **Total egenlast søyler:**

$$P_{plate} := 1125 \quad kN \quad P_{skive} := 45.2 \quad kN \quad P_{søyle} := 66.5 \quad kN$$

**Total egenlast takplate:**      **Total egenlast diagonalstaver:**

$$P_{tak} := 74.16 \quad kN \quad P_{stav.D} := 6.08 \quad kN$$

**Total egenlast horisontale staver:**      **Total egenlast balkongplate,:**

$$P_{stav.H} := 4.3 \quad kN \quad P_{plate.b} := 79.73 \quad kN$$

**Total egenlast innervegger:**      **Total egenlast stenderverk:**

$$P_{iv} := 21.28 \quad kN \quad P_{stender} := 3.01 \quad kN$$

**Total egenlast stenderverk:**

$$P_{svill} := 0.43 \quad kN$$

$$P_{tot} := P_{plate} + P_{tak} + P_{skive} + P_{iv} + P_{stav.D} + P_{stav.H} + P_{svill} + P_{stender} + P_{plate.b} + P_{søyle} = 1425.7 \quad kN$$

Avlesning reaksjonskrefter fra lastanalyse i Focus Konstruksjon:

Reaksjonskrefter, søyler: [kN]

$$R_{s,1} := 23.1 \quad R_{s,2} := 22.39 \quad R_{s,3} := 21.71 \quad R_{s,4} := 21.29 \quad R_{s,5} := 22.7$$

Reaksjonskrefter, opplegg under plater: [kN]

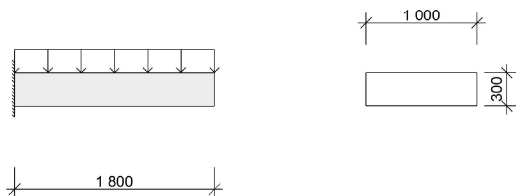
$$R_{p,1} := 316.44 \quad R_{p,2} := 240.06 \quad R_{p,3} := 271.13 \quad R_{p,4} := 270.55 \quad R_{p,5} := 212.37$$

$$R_{FK} := R_{s,1} + R_{s,2} + R_{s,3} + R_{s,4} + R_{s,5} + R_{p,1} + R_{p,2} + R_{p,3} + R_{p,4} + R_{p,5} = 1421.74 \quad kN$$

OK! Kontrollen beviser at modellen i Focus Konstruksjon har inkludert alle konstruksjonselementene og at kraftfordelingen er riktig for egenlasten da alle kreftene blir ført ned til opplager.

## C.2.2 Verifisering nedbøyning takplate

Beregnes ved bjelketeori:



$$L := 1.854 \quad m \quad \rho := 454 \quad \frac{kg}{m^3} \quad S_k := 4.2 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$h := 0.3 \quad m \quad g := 9.81 \quad \frac{m}{s^2}$$

$$b := 1.0 \quad m$$

$$q_e := b \cdot h \cdot \rho \cdot \frac{g}{1000} = 1.3 \quad \frac{kN}{m} \quad \text{Egenlast}$$

$$q_s := S_k \cdot b = 4.2 \quad \frac{kN}{m}$$

Snølast

$$q := q_e + q_s = 5.5 \quad \frac{kN}{m}$$

Total last

$$E := 709000 \quad \frac{kN}{m^2}$$

E-modul om svak akse, hentet fra Splitkon tekniske datablad

$$I := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 0.00225 \quad m^4$$

$$w := \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} = 0.005125 \quad m$$

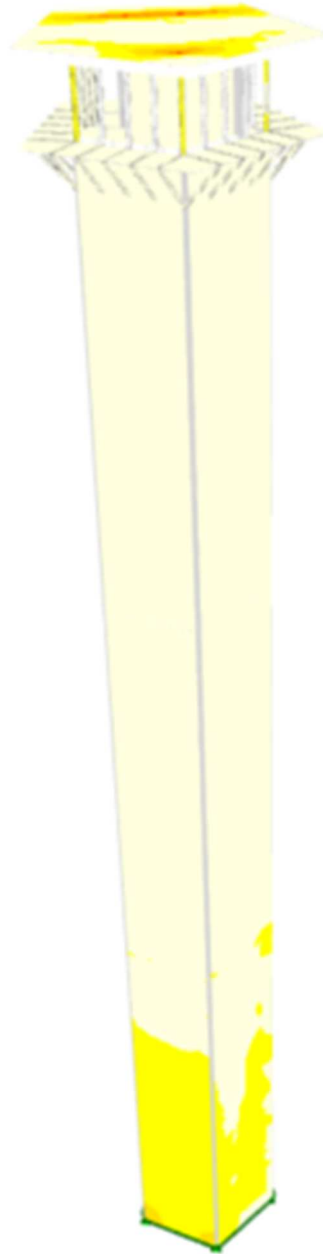
Hentet fra tabell 3.3 i Stålkonstruksjoner

$$w := w \cdot 1000 = 5.125 \quad mm$$

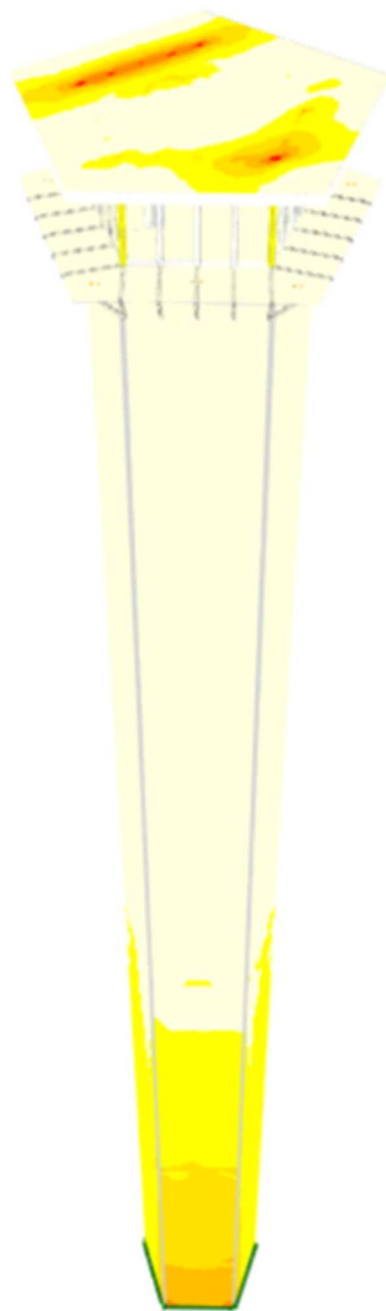
Total nedbøyning i mm på enden av bjelken

### C.3 Kapasitetsanalyse i Focus Konstruksjon

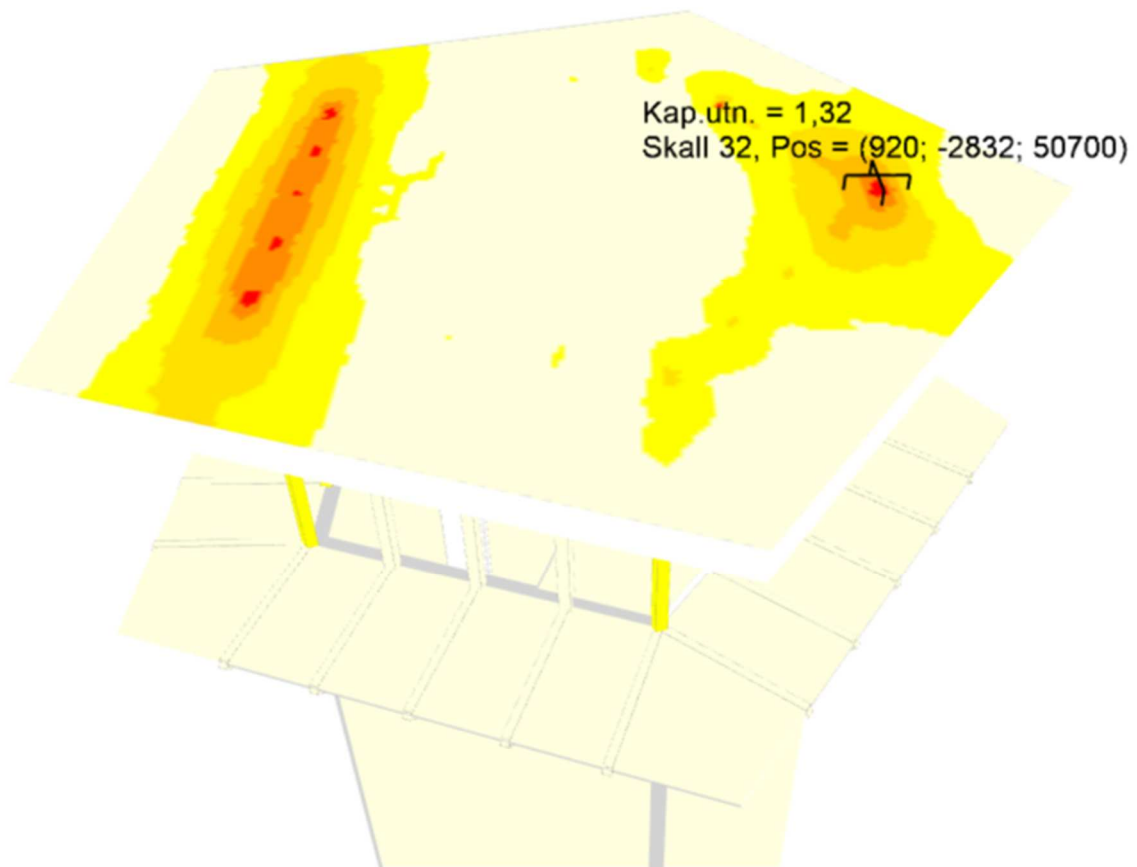
Kapasitetskontrollen for 51 meter tårnkonstruksjonen vises i figuren under.



Kapasitetskontroll for 67 meter tårnkonstruksjonen vises i figuren under.



Kapasitetsutnyttelsen for takplaten, likt resultat for både 51 og 64 meter, er vist i figuren under. Dette danner grunnlaget for nødvendig forsterkning av takplaten, på grunn av kapasitetsoverskridelse.



## VEDLEGG D: BEREGNINGSMETODER

ORIGIN := 1

### D.1: Skjæranalogimetoden

Beregning av styrke- og stivhetsegenskaper i sterk akse til massivtre med skjæranalogimetoden

Beregnes ut fra Hefte 3 Dimensjonering, Treteknisk Håndbok

Element: Splitkon Massivtre 300mm doble yttersjikt

$$E_{T22} := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

$$b := 1000 \text{ mm}$$

$$E_{90.T15} := 230 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{T15} := 11500 \frac{N}{mm^2}$$

$$d_{yttersjikt} := 45 \text{ mm}$$

$$E_{90.T22} := 430 \frac{N}{mm^2}$$

$$d_{innersjikt} := 40 \text{ mm}$$

$$d_1 := d_{yttersjikt} = 45$$

$$d_3 := d_{innersjikt} = 40$$

Bjelke A:

$$EI_A := \frac{b}{12} \cdot \left( (4 \cdot E_{T22} \cdot d_1^3) + (1 \cdot E_{T15} \cdot d_3^3) + (2 \cdot E_{90.T15} \cdot d_3^3) \right) = 4.587 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Bjelke B:

$$z_1 := 127.5 \text{ mm} \quad z_2 := 82.5 \text{ mm} \quad z_3 := 40 \text{ mm}$$

$$z_7 := z_1 \quad z_6 := z_2 \quad z_5 := z_3$$

$$EI_B := b \cdot \left( (2 \cdot E_{T22} \cdot d_1 \cdot z_1^2) + (2 \cdot E_{T22} \cdot d_1 \cdot z_2^2) + (2 \cdot E_{90.T15} \cdot d_3 \cdot z_3^2) \right) = 2.701 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Beregnet E-modul:

$$EI_{ef} := EI_A + EI_B = 2.747 \cdot 10^{13}$$

$$E_{element} := \frac{EI_{ef}}{\frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 300^3} = 12209.434 \frac{N}{mm^2}$$

Skjærmodul (G-modul):

Bjelke A:

$$GA_A := \infty$$

Bjelke B:

$$a := 255 \text{ mm} \quad G_{T22} := 810 \frac{N}{mm^2} \quad G_{T15} := 720 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{T15.90} := 50 \frac{N}{mm^2}$$

$$GA_B := a^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \left( \frac{d_1}{2 \cdot G_{T22} \cdot b} \right) + 2 \cdot \left( \frac{d_3}{G_{T15.90} \cdot b} \right) + 3 \cdot \left( \frac{d_3}{G_{T15} \cdot b} \right)} = 3.568 \cdot 10^7$$

Beregnet skjærmodul:

$$G_{element} := \frac{GA_B}{a \cdot b} = 139.939 \frac{N}{mm^2}$$

## D.2 Kapasitetskontroll innvendige søyler

Søylene kapasitet kontrolleres etter NS-EN 1995-1-1, Prosjektering av trekonstruksjoner

$$N_{ED} := 87.85 \cdot 10^3 \quad N \quad \text{Dimensjonerende aksialkraft}$$

GL32H:

Kapasiteter og data hentet fra tabell 1-2 i limtreboka

$$f_{c.0.k} := 32 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{m.k} := 32 \quad \frac{N}{mm^2} \quad E_{0.05} := 11800 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{mod} := 0.9 \quad 3.1.3 (2)$$

$$\gamma_m := 1.15 \quad \text{Sikkerhetsfaktor for limtre}$$

$$h := 240 \quad mm \quad b := 240 \quad mm \quad l := 16000 \quad mm$$

### 6.1.4(1) : Trykk i fiberretning

Følgende ligning må være oppfylt for at trykkapasitet i fiberretning skal være oppfylt:

$$\sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} \quad (6.2)$$

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_{ED}}{b \cdot h} = 1.53 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c.0.d} := \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = 25.04 \quad \frac{N}{mm^2}$$

*Trykkapasiteten til søylen er tilstrekkelig, OK..*

### 6.3.2 : Søyler utsatt for trykk eller en kombinasjon av trykk og bøyning

Ligning (6.23) og (6.24) må være oppfylt for at søylen skal stå i mot knekking:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{cy} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} \leq 1.0 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{cz} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} \leq 1.0 \quad (6.24)$$

Søylen er ikke utsatt for bøyning:

$$\begin{array}{llll} \sigma_{m.y.d} := 0 & f_{m.y.d} := f_{m.k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 25.04 & \frac{N}{mm^2} & \text{Kan da sette: } k_m := 0 \\ \sigma_{m.z.d} := 0 & f_{m.z.d} := f_{m.k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 25.04 & \frac{N}{mm^2} & \end{array}$$

Søylens kvadratiske tverrsnitt fører til at vi ikke får noe forskjell på sterk- og svak akse.

Søylens knekkklengde før avstivning:  $L_{k.1} := l = 16000 \quad mm$

Søylens knekkklengde etter avstivning: 2 avstivninger pga. trappa:  $L_{k.2} := \frac{l}{3} = 5333.333 \quad mm$

$$i_{y,z} := \frac{h}{\sqrt{12}} = 69.28 \quad mm$$

Formel hentes fra tabell 2.1 i Stålkonstruksjoner

$$\lambda_{y,z.1} := \frac{L_{k.1}}{i_{y,z}} = 230.94$$

$$\lambda_{y,z.2} := \frac{L_{k.2}}{i_{y,z}} = 76.98$$

$$\lambda_{rel.1} := \frac{\lambda_{y,z.1}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 3.83 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel.2} := \frac{\lambda_{y,z.2}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.28$$

Relativt slankhetstall

$\beta_c := 0.1$  For limtre, ligning (6.29)

$$k_{y,z,1} := 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot \left( \lambda_{rel,1} - 0.3 \right) + \lambda_{rel,1}^2 \right) = 8 \quad (6.27)$$

$$k_{y,z,2} := 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot \left( \lambda_{rel,2} - 0.3 \right) + \lambda_{rel,2}^2 \right) = 1.36$$

$$k_{c,1} := \frac{1}{k_{y,z,1} + \sqrt{k_{y,z,1}^2 - \lambda_{rel,1}^2}} = 0.07 \quad (6.25)$$

$$k_{c,2} := \frac{1}{k_{y,z,2} + \sqrt{k_{y,z,2}^2 - \lambda_{rel,2}^2}} = 0.54$$

Sjekker opp mot ligning (6.23):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,1} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0.92 \quad 0.92 \leq 1.0$$

*Det vil ikke skje knekking av søylen på 16m spennlengde, og utnyttelsen av søylens kapasitet ligger på 92%*

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,2} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0.11 \quad 0.11 \leq 1.0$$

*Det vil ikke skje knekking av søylen med avstivninger, og utnyttelsen av søylens kapasitet ligger på 11.%*

*Søylens kapasitet er god nok for dimensjonerende lasttilfellet.*

## D.3 Kapasitetskontroll veggplater

ORIGIN := 1

Massivtrelementene kontrolleres ut i fra The CLT Handbook (TCH) og NS-EN 1995-1-1

**Kapasiteter hentet fra tabell Splitcon:**

### Bøyefasthet

$$k_{mod} := 0.9 \quad \gamma_m := 1.25 \quad \text{tabell 4.3a pr. EN 1995-1-1:20XX}$$

Sterk akse, Y:

$$f_{myk} := 28.6 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{myd} := f_{myk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 20.59 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, X:

$$f_{mxk} := 1.2 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{mxd} := f_{mxk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.86 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Skivevirkning:

Sterk akse, Z1:

$$f_{mkz1} := 21.2 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{mdz1} := f_{mkz1} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 15.26 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, Z2:

$$f_{mkz2} := 5.9 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{mdz2} := f_{mkz2} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 4.25 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### Strekfasthet

Sterk akse, X:

$$f_{tkx} := 15.2 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{tdx} := f_{tkx} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 10.94 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, Y:

$$f_{tky} := 2.1 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{tdy} := f_{tky} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 1.51 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Tverrstrekk, Z:

$$f_{tkz} := 0.4 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{tdz} := f_{tkz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.29 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### **Trykkfasthet**

Sterk akse, X:

$$f_{ckx} := 18.4 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cdx} := f_{ckx} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 13.248 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, Y:

$$f_{cky} := 5.6 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cdy} := f_{cky} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 4.032 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Vinkelrett på fiberretning, Z:

$$f_{ckz} := 3.0 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cdz} := f_{ckz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.16 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### **Skjærfasthet:**

Sterk akse, XZ:

$$f_{vkxz} := 0.7 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdxz} := f_{vkxz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.504 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, YZ:

$$f_{vkyz} := 0.7 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdyz} := f_{vkyz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.504 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Skivevirkning, XY: Hentet fra tabell 3.6 s 38 svensk håndbok. Etter samtale med splitkon er det riktig å anvende dette ( fv090.(x,y)lay.k).

$$f_{vkxy} := 4 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{vdx y} := f_{vkxy} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.88 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vkyx} := 4 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{vdyx} := f_{vkyx} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.88 \quad \frac{N}{mm^2}$$

**Andre arealmoment, I:**  
Beregnes ut i fra formler gitt i tabell 3.9 i TCH.

$$h := 300 \quad b_x := 1000 \quad b_y := 1000 \quad h_x := 220 \quad h_y := 80$$

Om y-akse:

$$t_1 := 45 \quad t_2 := 45 \quad t_3 := 0 \quad t_4 := 40 \quad t_5 := 0 \quad t_6 := 45$$

$$t_7 := 45 \quad a_1 := 127.5 \quad a_2 := 82.5 \quad a_3 := 40 \quad a_4 := 0$$

$$a_5 := 40 \quad a_6 := 82.5 \quad a_7 := 127.5 \quad E_1 := 13 \quad E_2 := 13$$

$$E_3 := 0 \quad E_4 := 11.5 \quad E_5 := 0 \quad E_6 := 13 \quad E_7 := 13 \quad E_{ref} := 12.2$$

$$I_{x.net} := \sum_{i=1}^7 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x \cdot t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^7 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i^2 = 2.249 \cdot 10^9 \quad mm^4$$

Om x-akse:

$$s_1 := 0 \quad s_2 := 0 \quad s_3 := 40 \quad s_4 := 0 \quad s_5 := 40 \quad s_6 := 0$$

$$s_7 := 0 \quad a_1 := 127.5 \quad a_2 := 82.5 \quad a_3 := 40 \quad a_4 := 0 \quad a_5 := 40$$

$$a_6 := 82.5 \quad a_7 := 127.5 \quad E_1 := 0 \quad E_2 := 0 \quad E_3 := 11.5 \quad E_4 := 0$$

$$E_5 := 11.5 \quad E_6 := 0 \quad E_7 := 0 \quad E_{ref} := 12.2$$

$$I_{y.net} := \sum_{i=1}^7 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot \frac{b_y \cdot s_i^3}{12} + \sum_{i=1}^7 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot b_y \cdot s_i \cdot a_i^2 = 1.307 \cdot 10^8 \quad mm^4$$

**Elastisk motstandsmoment, Wy og Wx:**

$$W_x := \frac{2 \cdot I_{x.net}}{h} = 1.499 \cdot 10^7 \quad mm^3$$

$$W_y := \frac{2 \cdot I_{y.net}}{h} = 8.714 \cdot 10^5 \quad mm^3$$

**Effektivt areal, Ax.net, Ay.net:**

$$A_{x.net} := b_x \cdot h_x = 2.2 \cdot 10^5 \quad mm^2$$

$$A_{y.net} := b_y \cdot h_y = 8 \cdot 10^4 \quad mm^2$$

**Sjekker moment- og aksialkapasitet (trykk), om y-aksen:**

$$M_{yEd.s} := 13.21 \cdot 10^6 \quad \frac{Nmm}{m.plate}$$

$$N_{x.t} := 961.42 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m.plate} \quad (\text{trykk})$$

$$\sigma_{myd.t} := \frac{M_{yEd.s}}{W_x} = 0.881 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$A_{x.net} = 2.2 \cdot 10^5 \quad mm^2$$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_{x.t}}{A_{x.net}} = 4.37 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{x.t} = 9.614 \cdot 10^5 \quad N$$

**Sjekker bøyningsskapasitet:**

**Kontrolleres vha NS-EN 1995-1-1**

#### 6.2.4 Kombinert bøyning og aksialt trykk

$$k_m := 1 \quad 6.1.6 (2) \text{ EC5}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{cdx}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd.t}}{f_{myd}} \leq 1.0$$

Forenkling av (6.19) og (6.20)

$$\left( \frac{\sigma_{c0d}}{f_{cdx}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd.t}}{f_{myd}} = 0.152 \quad 0.152 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Sjekker moment- og aksialkapasitet (strekk), om y-aksen:**

$$M_{yEd.s} := 31.061 \cdot 10^6 \quad \frac{Nmm}{m.plate}$$

$$N_{x.s} := 964.5 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m.plate} \quad (\text{strekk})$$

$$\sigma_{myd.s} := \frac{M_{yEd.s}}{W_x} = 2.072 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{t0d} := \frac{N_{x.s}}{A_{x.net}} = 4.384 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Sjekker bøyningsskapasitet:

### 6.2.3 Kombinert bøyning og aksialt strekk

$$k_m := 1.0 \quad 6.1.6 (2) \text{ EC5}$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{tdx}} + \frac{\sigma_{myd.s}}{f_{myd}} \leq 1.0 \quad \text{Forenkling av (6.17) og (6.18)}$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{tdx}} + \frac{\sigma_{myd.s}}{f_{myd}} = 0.501 \quad 0.501 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Første arealmoment, S:**  
**Ligning 3.13 og 3.16 fra TCH**

|                |                   |             |             |               |               |                |
|----------------|-------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|----------------|
| $a_1 := 127.5$ | $a_2 := 82.5$     | $a_3 := 40$ | $a_4 := 0$  | $a_5 := 40$   | $a_6 := 82.5$ | $a_7 := 127.5$ |
| $t_1 := 45$    | $t_2 := 45$       | $t_3 := 0$  | $t_4 := 40$ | $t_5 := 0$    | $t_6 := 45$   | $t_7 := 45$    |
| $b_x := 1000$  | $E_1 := 13$       | $E_2 := 13$ | $E_3 := 0$  | $E_4 := 11.5$ | $E_5 := 0$    | $E_6 := 13$    |
| $E_7 := 13$    | $E_{ref} := 12.2$ | $t_k := 40$ | $a_k := 0$  |               |               |                |

$$S_{x.net} := \sum_{i=1}^4 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i + b_x \cdot \frac{\left(\frac{t_k}{2} - a_k\right)^2}{2} = 1.027 \cdot 10^7 \quad mm^4 \quad (3.13)$$

|                |                   |             |               |             |               |                |
|----------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------|
| $a_1 := 127.5$ | $a_2 := 82.5$     | $a_3 := 40$ | $a_4 := 0$    | $a_5 := 40$ | $a_6 := 82.5$ | $a_7 := 127.5$ |
| $t_1 := 0$     | $t_2 := 0$        | $t_3 := 40$ | $t_4 := 0$    | $t_5 := 40$ | $t_6 := 0$    | $t_7 := 0$     |
| $b_y := 1000$  | $E_1 := 0$        | $E_2 := 0$  | $E_3 := 11.5$ | $E_4 := 0$  | $E_5 := 11.5$ | $E_6 := 0$     |
| $E_7 := 0$     | $E_{ref} := 12.2$ |             |               |             |               |                |

$$S_{R.y.net} := \sum_{i=1}^4 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot b_y \cdot t_i \cdot a_i = 1.508 \cdot 10^6 \quad mm^3 \quad (3.16)$$

**Skjærkontroll utføres etter ligninger gitt i The CLT Handbook:**

**Skjærkontroll parallell til platekant:**

$$\tau_{v.xz.d} \leq f_{vdxz} \quad (3.55)$$

$$V_{xz.d} := 60.49 \cdot 10^3 \quad N$$

$$\tau_{v.xz.d} := \frac{S_{x.net} \cdot V_{xz.d}}{I_{x.net} \cdot b_x} = 0.276202 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdxz} = 0.504 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_{v.xz.d}}{f_{vdxz}} = 0.548$$

OK!

**Rulleskjær:**

$$\tau_{Rv.yz.d} \leq f_{vdyz} \quad (3.56)$$

$$V_{yz.d} := 2.8 \cdot 10^3 \quad N$$

$$\tau_{Rv.yz.d} := \frac{S_{R.y.net} \cdot V_{yz.d}}{I_{y.net} \cdot b_y} = 0.03231$$

$$f_{vdyz} = 0.504 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_{Rv.yz.d}}{f_{vdyz}} = 0.064 \quad \text{OK!}$$

**Skjærkontroll langs platekanten:**

$$\tau_{v.xy.d} \leq f_{v dxy} \quad (3.57)$$

$$N_{xy.d} := 98.42 \cdot 10^3 \quad N \quad N$$

$$\tau_{v.xy.d} := \frac{N_{xy.d}}{A_{x.net}} = 0.447 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_{v.xy.d}}{f_{v dxy}} = 0.155 \quad \text{OK!}$$

$$\tau_{v.yx.d} \leq f_{v d yx} \quad (3.58)$$

$$\tau_{v.yx.d} := \frac{N_{xy.d}}{A_{y.net}} = 1.23 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v d yx} := 2.88 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\tau_{v.yx.d}}{f_{v d yx}} = 0.427 \quad \text{OK!}$$

## D.4 Kapasitetskontroll takplate

NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010 Prosjektering av trekonstruksjoner  
The CLT handbook, Swedish Wood

**Kapasiteter hentet fra tabell Splitcon:**

### Bøyefasthet

$$k_{mod} := 0.9 \quad \gamma_m := 1.25 \quad \text{tabell 4.3a pr.EN 1995-1-1:20XX}$$

Sterk akse, Y:

$$f_{myk} := 28.6 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{myd} := f_{myk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 20.59 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, X:

$$f_{mxk} := 1.2 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{mxd} := f_{mxk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.86 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Skivevirkning:

Sterk akse, Z1:

$$f_{mkz1} := 21.2 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{mdz1} := f_{mkz1} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 15.26 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, Z2:

$$f_{mkz2} := 5.9 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{mdz2} := f_{mkz2} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 4.25 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### Strekfasthet

Sterk akse, X:

$$f_{tkx} := 15.2 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{tdx} := f_{tkx} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 10.94 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, Y:

$$f_{tky} := 2.1 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{tdy} := f_{tky} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 1.51 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Tverrstrekk, Z:

$$f_{tkz} := 0.4 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{tdz} := f_{tkz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.29 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### **Trykkfasthet**

Sterk akse, X:

$$f_{ckx} := 18.4 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cdx} := f_{ckx} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 13.248 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, Y:

$$f_{cky} := 5.6 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cdy} := f_{cky} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 4.032 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Vinkelrett på fiberretning, Z:

$$f_{ckz} := 3.0 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cdz} := f_{ckz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.16 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### **Skjærfasthet:**

Sterk akse, XZ:

$$f_{vkxz} := 0.7 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdxz} := f_{vkxz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.504 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Svak akse, YZ:

$$f_{vkyz} := 0.7 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdyz} := f_{vkyz} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 0.504 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Skivevirkning, XY: Hentet fra tabell 3.6 s 38 svensk håndbok. Etter samtale med splitkon er det riktig å anvende dette

$$f_{vkxy} := 4 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdxxy} := f_{vkxy} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.88 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vkyy} := 4 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vdyx} := f_{vkyy} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.88 \quad \frac{N}{mm^2}$$

**Andre arealmoment, I:**

**Beregn etter formler gitt i tabell 3.9 i The CLT Handbook**

$$h := 300 \quad b_x := 1000 \quad b_y := 1000 \quad h_x := 220 \quad h_y := 80$$

Om y-akse:

$$\begin{array}{lllll} t_1 := 45 & t_2 := 45 & t_3 := 0 & t_4 := 40 & t_5 := 0 & t_6 := 45 \\ t_7 := 45 & a_1 := 127.5 & a_2 := 82.5 & a_3 := 40 & a_4 := 0 & \\ a_5 := 40 & a_6 := 82.5 & a_7 := 127.5 & E_1 := 13 & E_2 := 13 & \\ E_3 := 0 & E_4 := 11.5 & E_5 := 0 & E_6 := 13 & E_7 := 13 & E_{ref} := 12.2 \end{array}$$

$$I_{x.net} := \sum_{i=1}^7 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x \cdot t_i^3}{12} + \sum_{i=1}^7 b_x \cdot t_i \cdot a_i^2 = 2.113 \cdot 10^9 \quad mm^4$$

Om x-akse:

$$\begin{array}{lllll} s_1 := 0 & s_2 := 0 & s_3 := 40 & s_4 := 0 & s_5 := 40 & s_6 := 0 \\ s_7 := 0 & a_1 := 127.5 & a_2 := 82.5 & a_3 := 40 & a_4 := 0 & a_5 := 40 \\ a_6 := 82.5 & a_7 := 127.5 & E_1 := 0 & E_2 := 0 & E_3 := 11.5 & E_4 := 0 \\ E_5 := 11.5 & E_6 := 0 & E_7 := 0 & E_{ref} := 12.2 & & \end{array}$$

$$I_{y.net} := \sum_{i=1}^7 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot \frac{b_y \cdot s_i^3}{12} + \sum_{i=1}^7 b_y \cdot s_i \cdot a_i^2 = 1.381 \cdot 10^8 \quad mm^4$$

**Elastisk motstandsmoment, Wy og Wx:**

$$W_x := \frac{2 \cdot I_{x.net}}{h} = 1.409 \cdot 10^7 \quad mm^3$$

$$W_y := \frac{2 \cdot I_{y.net}}{h} = 9.204 \cdot 10^5 \quad mm^3$$

**Effektivt areal, Ax.net, Ay.net:**

$$A_{x.net} := b_x \cdot h_x = 2.2 \cdot 10^5 \quad mm^2$$

$$A_{y.net} := b_y \cdot h_y = 8 \cdot 10^4 \quad mm^2$$

Sjekker moment- og aksialkapasitet (strekk), om y-aksen:

$$M_{yEd.s} := 16.15 \cdot 10^6 \quad \frac{Nmm}{m.plate}$$

$$N_{x.s} := 0.51 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m.plate} \quad (\text{strekk})$$

$$\sigma_{myd.s} := \frac{M_{yEd.s}}{W_x} = 1.146 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{t0d} := \frac{N_{x.s}}{A_{x.net}} = 0.002 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Sjekker bøyningsskapasitet:

6.2.3 Kombinert bøyning og aksialt strekk

$$k_m := 1.0 \quad 6.1.6 (2) \text{ EC5}$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{tdx}} + \frac{\sigma_{myd.s}}{f_{myd}} \leq 1.0 \quad \text{Forenkling av (6.17) og (6.18)}$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{tdx}} + \frac{\sigma_{myd.s}}{f_{myd}} = 0.056 \quad 0.056 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Første arealmoment, S:**

**Beregnes etter formen (3.13) og (3.16) i The CLT Handbook**

|                |                   |             |             |               |               |                |
|----------------|-------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|----------------|
| $a_1 := 127.5$ | $a_2 := 82.5$     | $a_3 := 40$ | $a_4 := 0$  | $a_5 := 40$   | $a_6 := 82.5$ | $a_7 := 127.5$ |
| $t_1 := 45$    | $t_2 := 45$       | $t_3 := 0$  | $t_4 := 40$ | $t_5 := 0$    | $t_6 := 45$   | $t_7 := 45$    |
| $b_x := 1000$  | $E_1 := 13$       | $E_2 := 13$ | $E_3 := 0$  | $E_4 := 11.5$ | $E_5 := 0$    | $E_6 := 13$    |
| $E_7 := 13$    | $E_{ref} := 12.2$ | $t_k := 40$ | $a_k := 0$  |               |               |                |

$$S_{x.net} := \sum_{i=1}^4 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i + b_x \cdot \frac{\left(\frac{t_k}{2} - a_k\right)^2}{2} = 1.027 \cdot 10^7 \quad mm^4 \quad (3.13)$$

|                |                   |             |               |             |               |                |
|----------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------|
| $a_1 := 127.5$ | $a_2 := 82.5$     | $a_3 := 40$ | $a_4 := 0$    | $a_5 := 40$ | $a_6 := 82.5$ | $a_7 := 127.5$ |
| $t_1 := 0$     | $t_2 := 0$        | $t_3 := 40$ | $t_4 := 0$    | $t_5 := 40$ | $t_6 := 0$    | $t_7 := 0$     |
| $b_y := 1000$  | $E_1 := 0$        | $E_2 := 0$  | $E_3 := 11.5$ | $E_4 := 0$  | $E_5 := 11.5$ | $E_6 := 0$     |
| $E_7 := 0$     | $E_{ref} := 12.2$ |             |               |             |               |                |

$$S_{R.y.net} := \sum_{i=1}^4 \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot b_y \cdot t_i \cdot a_i = 1.508 \cdot 10^6 \quad mm^3 \quad (3.16)$$

**Skjærkontroll utføres etter The CLT Handbook**

**Skjærkontroll parallell til platekant:**

$$\tau_{v.xz.d} \leq f_{vdxz} \quad (3.55)$$

$$V_{xz.d} := 3.49 \cdot 10^3 \quad N$$

$$\tau_{v.xz.d} := \frac{S_{x.net} \cdot V_{xz.d}}{I_{x.net} \cdot b_x} = 0.016962$$

$$f_{vdxz} = 0.504$$

$$\frac{\tau_{v.xz.d}}{f_{vdxz}} = 0.034 \quad \text{OK!}$$

**Rulleskjær:**

$$\tau_{Rv.yz.d} \leq f_{vdyz} \quad (3.56)$$

$$V_{yz.d} := 18.75 \cdot 10^3 \quad N$$

$$\tau_{Rv.yz.d} := \frac{S_{R.y.net} \cdot V_{yz.d}}{I_{y.net} \cdot b_y} = 0.20484$$

$$f_{vdyz} = 0.504$$

$$\frac{\tau_{Rv.yz.d}}{f_{vdyz}} = 0.406 \quad \text{OK!}$$

**Skjærkontroll langs platekanten:**

$$\tau_{v.xy.d} \leq f_{v dxy} \quad (3.57)$$

$$N_{xy.d} := 0.35 \cdot 10^3 \quad N$$

$$\tau_{v.xy.d} := \frac{N_{xy.d}}{A_{x.net}} = 0.002$$

$$f_{v dxy} = 2.88 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\tau_{v.xy.d}}{f_{v dxy}} = 5.524 \cdot 10^{-4}$$

$$\tau_{v.yx.d} \leq f_{v dyx} \quad (3.58)$$

$$\tau_{v.yx.d} := \frac{N_{xy.d}}{A_{y.net}} = 0.004$$

$$\frac{\tau_{v.yx.d}}{f_{v dyx}} = 0.002 \quad \text{OK!}$$

### D.4.1 Forsterkning i takplate

$$B := 115 \quad mm$$

$$H := 300 \quad mm$$

$$a := 30 \quad mm$$

$$L_a := 115 \quad mm$$

$$\gamma_m := 1.25 \quad k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_{m1} := 1.00 \quad k_{c.90} := 1.75$$

$$F_{v.Rd} := 132.7 \cdot 10^3 \quad N \quad \text{Punktlast vinkelrett på fiberretning overside plate}$$

$$F_{c.90.Rd} := 53.8 \cdot 10^3 \quad N \quad \text{Punktlast vinkelrett på fiberretning over opplager}$$

$$f_{c.90.k} := 3.0 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d} := f_{c.90.k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2.16 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Sjekker oppleggsflate uten forsterkning:

$$\tau_d := \frac{1.5 \cdot F_{v.Rd}}{B \cdot H} = 5.77 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d \leq f_{c.90.g.d} \quad \text{IKKE OK!}$$

Velger å bruke skruer som skjærarmering:  
VGS 9x200 ( VGS9200)

$$L := 200 \quad mm$$

$$b := 190 \quad mm$$

$$n_0 := 1 \quad stk$$

$$n_{90} := 1 \quad stk$$

$$n := n_0 \cdot n_{90} = 1 \quad stk$$

$$a_1 := 45 \quad mm \quad a := 1464 \quad mm$$

$$a_2 := 45 \quad mm \quad a_{1.CG} := 1500 \quad mm$$

$$l_{ef.2} := L + (n_0 - 1) \cdot a_1 + \min(a_{1.CG}, L) = 400 \quad mm$$

$$l_{ef.1} := L_a + a + 30 = 1.609 \cdot 10^3 \quad mm$$

$$R_{ax.90.Rk} := 21.59 \cdot 10^3 \quad N$$

$$R_{kik} := 17.25 \cdot 10^3 \quad N$$

$$R_{ax.Rd} := \min\left(\frac{R_{ax.90.Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}, \frac{R_{kik}}{\gamma_{m1}}\right) = 1.554 \cdot 10^4 \quad N$$

$$R_{c.90.Rd} := \min(k_{c.90} \cdot B \cdot l_{ef.1} \cdot f_{c.90.d} + n \cdot R_{ax.Rd}, B \cdot l_{ef.2} \cdot f_{c.90.d}) = 9.936 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{c.90.Rd} \geq R_{c.90.Rd} \quad \text{OK!}$$

## D.5 Kapasitetskontroll stenderverk

NS-EN 1995-1-1:2004+AI:2008+NA:2010 Prosjektering av trekonstruksjoner

$$\gamma_m := 1.15 \quad k_{mod} := 0.9 \quad k_m := 1.0 \quad 6.1.6 (2)$$

Geometri:

$$b := 115 \text{ mm} \quad h := 115 \text{ mm} \quad l_k := 2700 \text{ mm}$$

$$A := b \cdot h = 1.323 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W := \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 2.535 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Laster, hentet fra Focus Konstruksjon:

$$N_{Ed} := 53.97 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{yEd} := 0.57 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{zEd} := 0.05 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_{Ed}}{A} = 4.081 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yEd}}{W} = 2.249 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{zEd}}{W} = 0.197 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kapasiteter:

Hentes ut fra tabell 1-1 i Limtreboka

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{c0d} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{c0k} = 19.174 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{mk} := 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{md} := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{mk} = 23.478 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## **kap 6.2 Tverrsnittskontroll:**

### 6.2.4 kombinert bøyning og aksialt trykk:

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} \leq 1.0 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} \leq 1.0 \quad (6.20)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} = 0.149 \quad 0.149 \leq 1.0 \quad \text{Tv.kontroll OK!}$$

*Tverrsnittskontroll ok, 14,9% av kapasitet utnyttet*

## **kap 6.3 Stabilitet bygningsdeler:**

Ligning (6.23) og (6.24) må være oppfylt for at det ikke skal foregå knekking:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1.0 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1.0 \quad (6.24)$$

Finn  $k_{cy}$ :

$$\beta_c := 0.1 \quad (6.29)$$

$$\lambda_y := \frac{l_k}{h} \cdot \sqrt{12} = 81.331$$

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.233 \quad (6.21)$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2\right) = 1.307 \quad (6.27)$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.575 \quad (6.25)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} = 0.474$$

$$0.474 \leq 1.0$$

*Kapasiteten mot knekking er utnyttet 47,4%*

*Stenderverket har god nok kapasitet. Tverrsnittskontroll og kontroll av knekking OK!*

# VEDLEGG E: FORBINDELSER

## E.1 Dimensjonering forbindelse Spider

$$\gamma_{steel} := 1.00 \quad \gamma_{mT} := 1.25 \quad k_{mod} := 0.9$$

$$f_{ckx} := 18 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$b := 240 \quad mm \quad h := 240 \quad mm$$

$$A := b \cdot h = 57600 \quad mm^2$$

### Kapasiteter:

#### Massivtre:

$$R_{timber.up.k} := f_{ckx} \cdot \frac{A}{1000} = 1036.8 \quad kN$$

$$R_{timber.down.k} := f_{ckx} \cdot \frac{A}{1000} = 1036.8 \quad kN$$

$$R_{timber.up.d} := \frac{R_{timber.up.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{mT}} = 746.496 \quad kN$$

$$R_{timber.down.d} := \frac{R_{timber.down.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{mT}} = 746.496 \quad kN$$

#### Spideren:

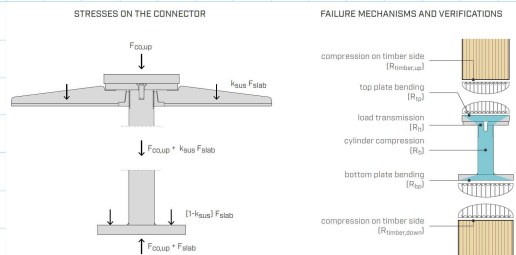
$$R_{tp.k} := 1689 \quad kN$$

$$R_{lt.k} := 2031 \quad kN$$

$$R_{b.k} := 2474 \quad kN$$

$$R_{bp.k} := 2519 \quad kN$$

$$R_{tp.d} := \frac{R_{tp.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{steel}} = 1520.1 \quad kN$$



$$R_{lt.d} := \frac{R_{lt.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{steel}} = 1827.9 \quad kN$$

$$R_{b.d} := \frac{R_{b.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{steel}} = 2226.6 \quad kN$$

$$R_{bp.d} := \frac{R_{bp.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{steel}} = 2267.1 \quad kN$$

### **Belastninger:**

$$F_{co.up.d} := 66.22 \quad kN$$

$$F_{slab.d} := 17.58 \quad kN$$

Fslab=Vzx avlest i Focus pos: -976;957;16000

$$k_{sus} := 0.7$$

Uten forsterkning

### **Kontroller, ligningene nedenfor må være oppfylt for verifikasjon av spider SPI100S300:**

$$\frac{F_{co.up.d}}{\min(R_{timber.up.d}, R_{tp.d}, R_{lt.d})} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{co.up.d} + k_{sus} \cdot F_{slab.d}}{\min(R_{b.d}, R_{bp.d})} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{co.up.d} + F_{slab.d}}{R_{timber.down.d}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{co.up.d}}{\min(R_{timber.up.d}, R_{tp.d}, R_{lt.d})} = 0.089 \quad 0.089 \leq 1.0$$

$$\frac{F_{co.up.d} + k_{sus} \cdot F_{slab.d}}{\min(R_{b.d}, R_{bp.d})} = 0.035 \quad 0.035 \leq 1.0$$

$$\frac{F_{co.up.d} + F_{slab.d}}{R_{timber.down.d}} = 0.112 \quad 0.112 \leq 1.0$$

Kontroll av spider ok, kapasitet ikke utnyttet i det hele tatt.

## E.2 Dimensjonering forbindelse balkong - massivtreplater

Krefter hentet ut fra Focus Konstruksjon:

$$k_{mod} := 0.9 \quad \gamma_m := 1.25$$

$$A_z := 5.05 \cdot 10^3 \quad N$$

$$A_y := 0.14 \cdot 10^3 \quad N$$

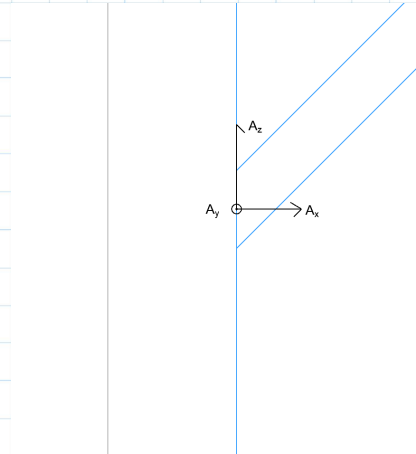
$$A_x := 5.05 \cdot 10^3 \quad N$$

Per bolt:

$$f_z := \frac{A_z}{4} = 1262.5 \quad N$$

$$f_y := \frac{A_y}{4} = 35 \quad N$$

$$f_x := \frac{A_x}{4} = 1262.5 \quad N$$



*Krefter hentet fra Focus Konstruksjon.*

Diagonalstav HFRHS80.80.5:

$$h := 80 \quad mm \quad b := 80 \quad mm \quad t := 5 \quad mm$$

$$f_y := 355 \quad \frac{N}{mm^2} \quad f_u := 510 \quad \frac{N}{mm^2}$$

Stålplate:

$$t_s := 6 \quad mm$$

Bolter:

$$n := 4 \quad stk \quad d := 12 \quad mm \quad \text{Velger M16x120 bolter}$$

$$f_{u,k} := 800 \quad \frac{N}{mm^2} \quad D := 3 \cdot d = 36 \quad mm \quad l_b := 120 \quad mm$$

Massivtre:

$$\rho_k := 454 \quad \frac{kg}{m^3}$$

$$b_m := 300 \quad mm$$

$$f_{czk} := 3.0 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$t_1 := l_b - t_s = 114$$

mm

Inntrengingsdybde

**Kontrollerer avstandskrav for å finne stålplatens størrelse:**

Kontrolleres etter tabell 10.4 i prEN 1995-1-1:20XX

$$a_1 := (4 + 0) \cdot d = 48 \quad mm \quad \text{Her er } \cos(90)=0$$

$$a_2 := 4 \cdot d = 48 \quad mm$$

$$a_{3t} := \max(7 \cdot d, 80) = 84 \quad mm$$

$$a_{4t} := \max(2 + 2 \cdot 1 \cdot d, 3 \cdot d) = 36 \quad mm \quad \text{Her er } \sin(90)=0$$

$$a_{4c} := 3 \cdot d = 36 \quad mm$$

*Her blir minstre tillatt tversnitt på platen 132x84mm.*

### Sjekker kapasitet til sveisforbindelse mellom stålplate og HFRHS-stav:

Velger a-mål ut i fra minstekrav i følge NS-EN 1993-1-8:

$$a_{min} := 3 \quad mm$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$l_w := b = 80 \quad mm$$

$$\gamma_{m2} := 1.25$$

Velger å bruke forenklet metode 4.5.3.3 NS-EN 1993-1-8:

$$q_{wN} := \frac{A_z}{l_w \cdot 4} = 15.781 \quad \frac{N}{mm}$$

$$q_{wM} := 0$$

$$q_{wV} := \frac{A_x}{l_w \cdot 2} = 31.563 \quad \frac{N}{mm}$$

$$q_{wT} := 0$$

$$F_{w.Ed} := \sqrt{\left(q_{wN} + q_{wM}\right)^2 + \left(q_{wV} + q_{wT}\right)^2} = 35.288 \quad (4.2)$$

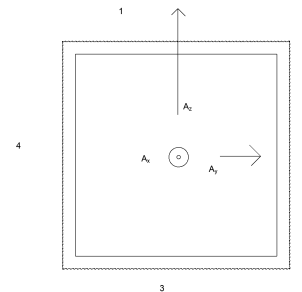
$$f_{vw.d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 261.732$$

$$F_{w.Rd} := f_{vw.d} \cdot a_{min} = 785.196$$

$$F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd} \quad \text{OK!} \quad (4.2)$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = 0.045$$

Formel (4.2) er oppfylt, 4.5% utnyttelse av sveisens kapasitet.



Az tas opp av side 2 og 4

Ay tas opp av side 1 og 3

Ax tas opp av side 1,2,3 og 4

### Sjekker kapasitet til bolteforbindelse stålplate mot tre:

Forbindelsene dimensjoneres etter nytt utkast av trestandard, pr.EN 1995-1-1:20XX:

$$M_{y.Rk} := 0.3 \cdot f_{u.k} \cdot d^{2.6} = 1.535 \cdot 10^5 \quad Nmm \quad (10.30)$$

$$f_{h.0.k} := 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 32.761 \quad \frac{N}{mm^2} \quad (10.32)$$

$$k_{90} := 1.35 + 0.015 \cdot d = 1.53 \quad (10.33)$$

$$\alpha := 90$$

$$\sin \alpha = \alpha_1 := 1 \quad \cos \alpha = \alpha_2 := 0$$

$$f_{h.\alpha.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot (\alpha_1)^2 + (\alpha_2)^2} = 21.412 \quad \frac{N}{mm^2} \quad (10.31)$$

### Aksialbelastede bolter

$$F_{ax.Rk} := \frac{\pi}{4} \cdot 3 \cdot f_{czk} \cdot \left( (D)^2 - (d+1)^2 \right) = 7.966 \cdot 10^3$$

$$F_{ax.Rd} := F_{ax.Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot \frac{1}{1000} = 5.736 \quad kN$$

$$F_{x.Ed} := f_x \cdot \frac{1}{1000} = 1.263 \quad kN$$

$$F_{x.Ed} \leq F_{ax.Rd} \quad \text{Uttrekkskapasitet ok! 22\% kapasitetsutnyttelse, OK!}$$

$$\frac{F_{x.Ed}}{F_{ax.Rd}} = 0.22$$

Forbindelser stål mot tre:

$$f_{v.Rk.1} := 0.4 \cdot f_{h.\alpha.k} \cdot t_1 \cdot d = 1.172 \cdot 10^4 \quad N \quad (10.9)$$

$$f_{v.Rk.2} := 1.15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.\alpha.k} \cdot d} = 1.021 \cdot 10^4 \quad N$$

$$\tau := \min\left(f_{v.Rk.2} \cdot 0.25, \frac{F_{ax.Rk}}{4}\right) = 1.992 \cdot 10^3 \quad N$$

*Velger bruddform 2:*

$$F_{v.Rk} := f_{v.Rk.2} + \tau = 1.221 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rd} := F_{v.Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot \frac{1}{1000} = 8.788 \quad kN$$

$$F_{v.Ed} := f_z \cdot \frac{1}{1000} = 1.263 \quad kN$$

$$F_{v.Ed} \leq F_{v.Rd}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.144 \quad \text{Kapasitetsutnyttelse på 14.4\%, OK!}$$

### E.3 Dimensjonering forbindelse konstruksjon - fundament

Forbindelsene beregnes etter Rothoblaas' tekniske datablad for gitt løsning

#### WHT plate C: WHTPLATE540 LBA nails Ø4x60

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_m := 1.25$$

$$\gamma_{steel} := 1$$

$$R_{CLT} := 83.5 \quad \text{kN}$$

$$R_{k.steel} := 70.6 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.concrete} := 48.2 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.min} := \min \left( \frac{R_{CLT} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}, \frac{R_{k.steel}}{\gamma_{steel}}, R_{d.concrete} \right) = 48.2 \quad \text{kN}$$

$$R_{vertikal} := 964.51 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.min} \geq R_{vertikal}$$

IKKE OK! Trenger større dimensjoner av forbindelsen.

#### TITAN plate C: TPC300 LBA nails Ø4x60

$$R_{CLT} := 49.6 \quad \text{kN}$$

$$R_{k.steel} := 64.0 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.concrete} := 34.4 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.min} := \min \left( \frac{R_{CLT} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}, \frac{R_{k.steel}}{\gamma_{steel}}, R_{d.concrete} \right) = 34.4 \quad \text{kN}$$

$$R_{horisontal} := 64.77 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.min} \geq R_{horisontal}$$

IKKE OK! Trenger større dimensjoner av forbindelsen.

**XS10: XS10160 SBD Ø7,5x135**

$$R_{CLT} := 197.0 \quad \text{kN}$$

$$R_{k.steel} := 59.0 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.min.trykk} := \frac{R_{CLT} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = 141.84$$

$$R_{d.min.strekk} := \frac{R_{k.steel}}{\gamma_{steel}} = 59$$

$$N_{trykk} := 88.54 \quad \text{kN}$$

$$N_{strekk} := 52.22 \quad \text{kN}$$

$$R_{d.min.trykk} \geq N_{trykk}$$

$$R_{d.min.strekk} \geq N_{strekk}$$

OK! Kapasiteten til XS10160 er god!

## **E.4 Dimensjonering forbindelse veggplate - veggplate**

### **Oversiktsliste:**

|        |  |
|--------|--|
| E.4-1  | Skruens aksialkapasitet - vertikale lameller   |
| E.4-2  | Skruens aksialkapasitet - horisontale lameller |
| E.4-3  | Skruens tverrkapasitet - vertikale lameller    |
| E.4-4  | Skruens tverrkapasitet - horisontale lameller  |
| E.4-5  | Belastning - trykkpåkjent skallkant, 1. ETG    |
| E.4-6  | Belastning - strekkpåkjent skallkant, 1.ETG    |
| E.4-7  | Resultater - trykkpåkjent skallkant, 1.ETG     |
| E.4-8  | Resultater - strekkpåkjent skallkant, 1.ETG    |
| E.4-9  | Belastning - trykkpåkjent skallkant, 2. ETG    |
| E.4-10 | Belastning - strekkpåkjent skallkant, 2.ETG    |
| E.4-11 | Resultater - trykkpåkjent skallkant, 2.ETG     |
| E.4-12 | Resultater - strekkpåkjent skallkant, 2.ETG    |
| E.4-13 | Snittkrefter - trykkpåkjent skallkant          |
| E.4-14 | Snittkrefter - strekkpåkjent skallkant         |

# **E.4-1 Skruens aksialkapasitet - vertikale lameller**

Materialdata: WR-T (ETA-12/0062)

Utvendig gjenge-diameter: [mm]  $d := 13$

Innvendig gjenge-diameter: [mm]  $d_1 := 8.5$

Skruehodets diameter: [mm]  $d_h := 22$

Forboring diameter: [mm]  $d_v := 8.0$

Skruens lengde: [mm]  $l_s := 317$

Karakteristisk flytemoment: [Nmm]  $M_{y,k} := 80000$

Karakteristisk uttrekkskapasitet parameter: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{ax,k} := 12.8$

Karakteristisk strekkfasthet parameter: [N]  $f_{tens,k} := 55000$

Karakteristisk flytegrense til skruen: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{y,k} := 800$

Tilhørende denistet for skruene: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_a := 350$

Karakteristisk densitet: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_k := 384.5$   
Midlere verdi hentet fra densitet per sjikt.

Antall skruer:  $n := 11$

Partialfaktoren for forbindelser:  
Tabell 4.3a - prEN 1995  $\gamma_M := 1.3$

Fasthetsfaktor som tar hensyn til virkningen av  
lastvarigheten og fuktinnholdet:  
prEN - 1995  $k_{mod} := 0.9$

#### A.2.4 Avstander til kant og ende:

##### A.2.4.1 Aksialbelastede og tverrbelastede skruer - prEN 1995-1-1, 10.3.1.2. er gjeldende:

(6) Krav til forboring, wide face:

Forutsatt totalt tykkelse:

$$t_{max} := \max \left( 7 d, (13 d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \right) \quad (10.18)$$

$$7 d = 91$$

$$(13 d - 30) \frac{\rho_k}{400} = 133.614$$

$$t_1 := 64 + 64 + 57 = 185$$

$$t_1 > t_{max} \quad \text{Krever ikke forboring}$$

(7) Krav til forboring, edge face:

Forutsatt totalt tykkelse:

$$t_{max} := \max \left( 14 d, (13 d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \right) \quad (10.19)$$

$$14 d = 182$$

$$(13 d - 30) \frac{\rho_k}{200} = 267.228$$

$$t_2 := 84 + 88 = 172$$

$$t_2 < t_{max} \quad \text{Krever forboring, OK}$$

(5) Minsteavstander mellom kant og ende er gitt i Tabell 10.2, med forboring:  
Kun relevante avstander er medtatt i beregningene.

$\alpha := 0 \text{ deg}$

Avstand parallelt på fiberretning:

$$a_1 := (4 + \cos(\alpha)) \cdot d = 65$$

Avstand mellom skrue og belastet ende:

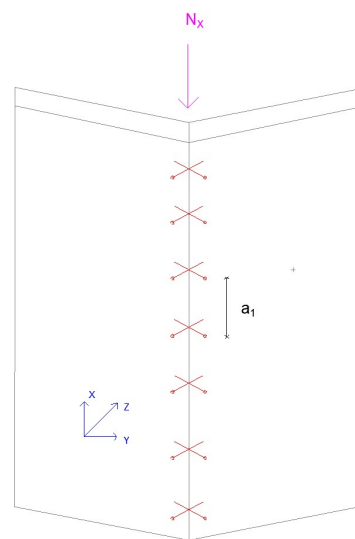
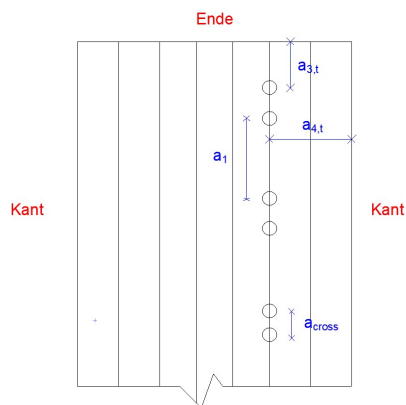
$$a_{3,t} := (7 + (5 \cdot \cos(\alpha))) \cdot d = 156$$

Avstand mellom skrue og belastet kant:

$$a_{4,t} := (3 + (4 \cdot \sin(\alpha))) \cdot d = 39$$

Avstand mellom to kryssende skruer:

$$a_{cross} := 1.5 \cdot d = 19.5 \quad (ETA)$$



### A.2.1 Effektiv inntrengelsesdybde til skruen:

$$\varepsilon := 45 \text{ deg}$$

Her er  $\alpha$  byttet ut med  $\varepsilon$ , da standarden benytter  $\varepsilon$  for vinkelen mellom skueakse og fiberretning.

$$l_{ef} := 132 - \frac{d}{2} = 125.5$$

$$l_{ef} > \min\left\{\left(\frac{4d}{\sin(\varepsilon)}\right); 20d\right\} \quad (2.1)$$

$$l_{ef1} := \frac{4d}{\sin(\varepsilon)} = 73.539$$

$$l_{ef2} := 20d = 260$$

$$l_{ef} = 125.5 \quad \text{OK}$$

### A.2.3.1 Karakteristisk uttrekskapasitet:

$$n_{ef} := n^{0.9} = 8.655 \quad (prEN - 10.44)$$

$$k_{ax} := 1 \quad (2.4)$$

$$F_{ax.\varepsilon.Rk} := n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0.8} = 1.949 \cdot 10^5 \quad (2.3)$$

$$F_{ax.\varepsilon.Rk} = 1.949 \cdot 10^5$$

### A.2.3.2 Karakteristisk gjennomtrekningsmotstand, skruehodet - henvises til prEN-1995:

$$f_{head.k} := 10.0$$

$$F_{ax.\varepsilon.Rk} := n_{ef} \cdot f_{head.k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 4.516 \cdot 10^4 \quad (10.42)$$

Denne kapasiteten er minst, men her kan man sette på en ekstra skive på utsiden av treet, og dermed unngå gjennomtrekning. Regner videre med kapasiteter som ikke enkelt kan forbedres.

### Karakteristisk strekkfasthet - Hentet fra prEN-1995:

$$F_{t.Rk} := n_{ef} \cdot f_{tens.k} = 4.76 \cdot 10^5 \quad (10.43)$$

### A.2.3.3 Karakteristisk trykkfasthet:

$$f_{ax.d} := \frac{f_{ax.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 8.862$$

$$N_{pl.k} := \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y.k} = 4.54 \cdot 10^4 \quad (2.10)$$

$$c_h := (0.19 + 0.012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left( \frac{90 \text{ deg} + \varepsilon}{180 \text{ deg}} \right) = 99.778 \quad (2.13)$$

$$E_s := 210000$$

$$I_s := \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = 256.239 \quad (2.14)$$

$$N_{ki.k} := \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} = 7.327 \cdot 10^4 \quad (2.12)$$

$$\lambda_k := \sqrt{\frac{N_{pl.k}}{N_{ki.k}}} = 0.787 \quad (2.9)$$

$$k := 0.5 \cdot \left( 1 + \left( 0.49 \cdot (\lambda_k - 0.2) \right) + \lambda_k^2 \right) = 0.954 \quad (2.8)$$

$$k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_k^2}} = 0.67 \quad (2.7)$$

$$\gamma_{M1} := 1.05 \quad (NS - EN - 1993 - 1 - 8 - NA)$$

$$N_{pl.d} := \frac{N_{pl.k}}{\gamma_{M1}} = 4.323 \cdot 10^4 \quad (2.11)$$

$$F_{c.ax.Rd} := \min(k_{ax} \cdot f_{ax.d} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot n_{ef}, k_c \cdot N_{pl.d} \cdot n_{ef}) \quad (2.5)$$

$$F_{c.ax.Rd.1} := k_{ax} \cdot f_{ax.d} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot n_{ef} = 1.251 \cdot 10^5$$

$$F_{c.ax.Rd.2} := k_c \cdot N_{pl.d} \cdot n_{ef} = 2.508 \cdot 10^5$$

$$F_{c.ax.Rd} := F_{c.ax.Rd.1} = 1.251 \cdot 10^5$$

$$F_{c.ax.Rk} := \frac{F_{c.ax.Rd} \cdot \gamma_M}{k_{mod}} = 1.807 \cdot 10^5$$

#### Dimensjonerende aksialkapasitet:

Velger den minste av kapasitetene beregnet ovenfor.

$$F_{ax.Rk} := \frac{F_{c.ax.Rk}}{n} = 1.643 \cdot 10^4 \quad N$$

$F_{ax.Rk}$ : Aksialkapasiteten til én skrue

## E.4-2 Skruens aksialkapasitet - horisontale lameller

Materialdata: WR-T (ETA-12/0062)

Utvendig gjenge-diameter: [mm]  $d := 13$

Innvendig gjenge-diameter: [mm]  $d_1 := 8.5$

Skruehodets diameter: [mm]  $d_h := 22$

Forboring diameter: [mm]  $d_v := 8.0$

Skruens lengde: [mm]  $l_s := 283$

Karakteristisk flytemoment: [Nmm]  $M_{y,k} := 80000$

Karakteristisk uttrekkskapasitet parameter: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{ax,k} := 12.8$

Karakteristisk strekkfasthet parameter: [N]  $f_{tens,k} := 55000$

Karakteristisk flytegrense til skruen: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{y,k} := 800$

Tilhørende denistet for skruene: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_a := 350$

Karakteristisk densitet: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_k := 360$   
Midlere verdi hentet fra densitet per sjikt.

Antall skruer:  $n := 11$

Partialfaktoren for forbindelser:  
Tabell 4.3a - prEN 1995  $\gamma_M := 1.3$

Fasthetsfaktor som tar hensyn til virkningen av  
lastvarigheten og fuktinnholdet:  
prEN - 1995  $k_{mod} := 0.9$

#### A.2.4 Avstander til kant og ende:

##### A.2.4.1 Aksialbelastede og tverrbelastede skruer - prEN 1995-1-1, 10.3.1.2 er gjeldene:

(6) Krav til forboring, wide face:

Forutsatt totalt tykkelse:

$$t_{max} := \max \left( 7 d, (13 d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \right) \quad (10.18)$$

$$7 d = 91$$

$$(13 d - 30) \frac{\rho_k}{400} = 125.1$$

$$t_1 := 54 + 57 = 111$$

$$t_1 < t_{max} \quad \text{Krever forboring, OK}$$

(7) Krav til forboring, edge face:

Forutsatt totalt tykkelse:

$$t_{max} := \max \left( 14 d, (13 d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \right) \quad (10.19)$$

$$14 d = 182$$

$$(13 d - 30) \frac{\rho_k}{200} = 250.2$$

$$t_2 := 84 + 88 = 172$$

$$t_2 < t_{max} \quad \text{Krever forboring, OK}$$

(5) Minsteavstander mellom kant og ende er gitt i Tabell 10.2, med forboring:  
Kun relevante avstander er medtatt i beregningene.

$\alpha := 90 \text{ deg}$

Avstand vinkelrett på fiber:

$$a_2 := (3 + \sin(\alpha)) \cdot d = 52$$

Avstand mellom skrue og belastet ende:

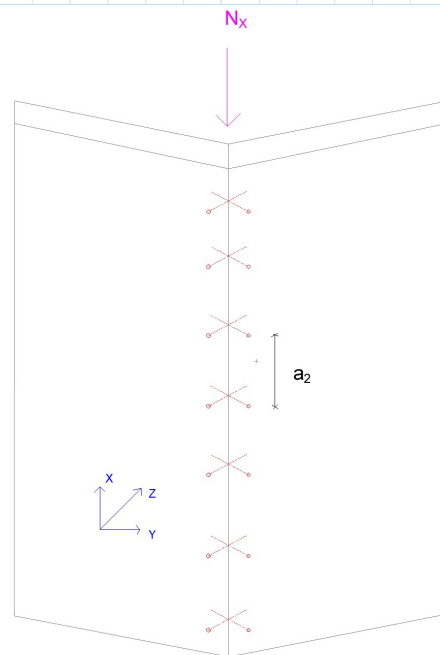
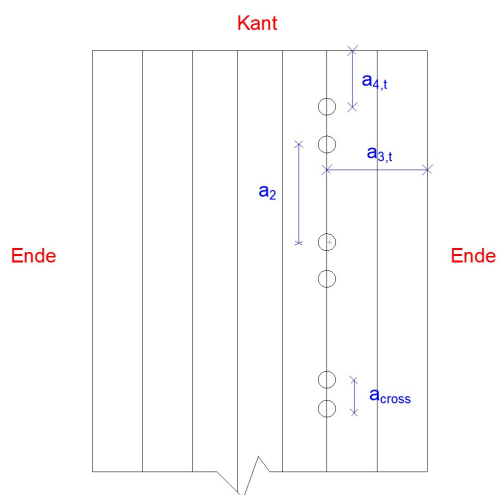
$$a_{3,t} := (7 + (5 \cdot \cos(\alpha))) \cdot d = 91$$

Avstand mellom skrue og belastet kant:

$$a_{4,t} := (3 + (4 \cdot \sin(\alpha))) \cdot d = 91$$

Avstand mellom to kryssende skruer:

$$a_{cross} := 1.5 \cdot d = 19.5 \quad (ETA)$$



### A.2.1 Effektiv inntrengelsesdybde til skruen:

$$\varepsilon := 45 \text{ deg}$$

Her er  $\alpha$  byttet ut med  $\varepsilon$ , da standarden benytter  $\varepsilon$  for vinkelen mellom skueakse og fiberretning.

$$l_{ef} := 172 - \frac{d}{2} = 165.5$$

$$l_{ef} > \min\left\{\left(\frac{4d}{\sin(\varepsilon)}\right); 20d\right\} \quad (2.1)$$

$$l_{ef1} := \frac{4d}{\sin(\varepsilon)} = 73.539$$

$$l_{ef2} := 20d = 260$$

$$l_{ef} = 165.5$$

OK

### A.2.3.1 Karakteristisk uttrekskapasitet:

$$n_{ef} := n^{0.9} = 8.655 \quad (prEN - 10.44)$$

$$k_{ax} := 1.0 \quad (2.4)$$

$$F_{ax.\alpha.Rk} := n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0.8} = 2.438 \cdot 10^5 \quad (2.3)$$

$$F_{ax.\alpha.Rk} = 2.438 \cdot 10^5$$

**A.2.3.2 Karakteristisk gjennomtrekningsmotstand, skruehodet - Henvises til prEN-1995:**

$$f_{head.k} := 10.0$$

$$F_{ax.\varepsilon.Rk} := n_{ef} \cdot f_{head.k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 4.284 \cdot 10^4 \quad (10.42)$$

Denne kapasiteten er minst, men her kan man sette på en ekstra skive på utsiden av treet, og dermed unngå gjennomtrekning. Regner videre med kapasiteter som ikke enkelt kan forbedres.

**Karakteristisk strekkfasthet - Hentet fra prEN-1995:**

$$F_{t.Rk} := n_{ef} \cdot f_{tens.k} = 4.76 \cdot 10^5 \quad (10.43)$$

### A.2.3.3. Karakteristisk trykkfasthet:

$$f_{ax.d} := \frac{f_{ax.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 8.862$$

$$N_{pl.k} := \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y.k} = 4.54 \cdot 10^4 \quad (2.10)$$

$$c_h := (0.19 + 0.012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left( \frac{90 \text{ deg} + \varepsilon}{180 \text{ deg}} \right) = 93.42 \quad (2.13)$$

$$E_s := 210000$$

$$I_s := \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = 256.239 \quad (2.14)$$

$$N_{ki.k} := \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} = 7.09 \cdot 10^4 \quad (2.12)$$

$$\lambda_k := \sqrt{\frac{N_{pl.k}}{N_{ki.k}}} = 0.8 \quad (2.9)$$

$$k := 0.5 \cdot \left( 1 + \left( 0.49 \cdot (\lambda_k - 0.2) \right) + \lambda_k^2 \right) = 0.967 \quad (2.8)$$

$$k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_k^2}} = 0.662 \quad (2.7)$$

$$\gamma_{M1} := 1.05 \quad (NS - EN - 1993 - 1 - 8 - NA)$$

$$N_{pl.d} := \frac{N_{pl.k}}{\gamma_{M1}} = 4.323 \cdot 10^4 \quad (2.11)$$

$$F_{c.ax.Rd} := \min(k_{ax} \cdot f_{ax.d} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot n_{ef}, k_c \cdot N_{pl.d} \cdot n_{ef}) \quad (2.5)$$

$$F_{c.ax.Rd.1} := k_{ax} \cdot f_{ax.d} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot n_{ef} = 1.65 \cdot 10^5$$

$$F_{c.ax.Rd.2} := k_c \cdot N_{pl.d} \cdot n_{ef} = 2.477 \cdot 10^5$$

$$F_{c.ax.Rd} := F_{c.ax.Rd.1} = 1.65 \cdot 10^5$$

$$F_{c.ax.Rk} := \frac{F_{c.ax.Rd} \cdot \gamma_M}{k_{mod}} = 2.383 \cdot 10^5$$

#### Dimensjonerende aksialkapasitet:

Velger den minste av kapasitetene beregnet ovenfor.

$$F_{ax.Rk} := \frac{F_{c.ax.Rk}}{n} = 2.167 \cdot 10^4 \quad N$$

$F_{ax.Rk}$ : Aksialkapasiteten til én skrue

### E.4-3 Skruens tverrkapasitet - vertikale lameller

Materialdata: WR-T (ETA-12/0062)

Utvendig gjenge-diameter: [mm]

$$d := 13$$

Innvendig gjenge-diameter: [mm]

$$d_1 := 8.5$$

Skruehodets diameter: [mm]

$$d_h := 22$$

Forboring diameter: [mm]

$$d_v := 8.0$$

Skruens lengde: [mm]

$$l_s := 317$$

Karakteristisk flytemoment: [Nmm]

$$M_{y,k} := 80000$$

Karakteristisk uttrekkskapasitet parameter: [N/mm<sup>2</sup>]

$$f_{ax,k} := 12.8$$

Karakteristisk strekkfasthet parameter: [N]

$$f_{tens,k} := 55000$$

Karakteristisk flytegrense til skruen: [N/mm<sup>2</sup>]

$$f_{y,k} := 800$$

Tilhørende denistet for skruene: [kg/m<sup>3</sup>]

$$\rho_a := 350$$

Karakteristisk densitet: [kg/m<sup>3</sup>]

$$\rho_k := 384.5$$

Midlere verdi hentet fra densitet per sjikt.

Antall skruer:

$$n := 11$$

Partialfaktoren for forbindelser:  
Tabell 4.3a - prEN 1995

$$\gamma_M := 1.3$$

Fasthetsfaktor som tar hensyn til virkningen av  
lastvarigheten og fuktinnholdet:  
prEN - 1995

$$k_{mod} := 0.9$$

## A.2.2 Tverrbelastede skruer:

### A.2.2.1 prEN 1995-1-1 er gjeldene:

#### 10.7.1 (3) Karakteristisk hullkantfasthet:

Gjennomtrengingsdel og inntrengingsdel

$$\beta := 45 \text{ deg} \quad \varepsilon_1 := 45 \text{ deg} \quad \alpha_1 := 0 \cdot \text{deg}$$

$$k_c := \min \left( \left( \frac{d}{d-2} \right), 1.15 \right) \quad (10.33 \text{ a})$$

$$k_{c1} := \frac{d}{d-2} = 1.182$$

$$k_{c2} := 1.15$$

$$k_c := k_{c2} = 1.15$$

$$k_{90} := 1.35 + 0.015 \cdot d = 1.545 \quad (10.33)$$

Pre-drilled timber:

$$f_{h,k} := \frac{0.082 (1 - 0.01 d) \rho_k}{\left( k_{90} \cdot (\sin(\alpha_1))^2 + (\cos(\alpha_1))^2 \right) \cdot \left( k_c \cdot (\cos(\beta))^2 + (\sin(\beta))^2 \right) \cdot \left( 2.5 \cdot (\cos(\varepsilon_1))^2 + (\sin(\varepsilon_1))^2 \right)} = 14.581 \quad (10.37 \text{ a})$$

### 10.2.2 Tre mot tre forbindelser

(1) Karakteristisk kapasitet for skruer i enkeltsnittet forbindelse:

$$f_{h.1.k} := f_{h.k} = 14.581 \quad f_{h.2.k} := f_{h.k} = 14.581$$

$$\beta := \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} \quad (10.8)$$

$$\beta = 1$$

$$t_1 := 185 \quad t_2 := 132$$

$$M_{y.k} = 8 \cdot 10^4 \quad M_{y.Rk} := M_{y.k}$$

$$F_{v.Rk1} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d = 3.507 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ a)$$

$$F_{v.Rk2} := f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d = 2.502 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ b)$$

$$F_{v.Rk3} := \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left( \sqrt{\beta + 2 \cdot (\beta^2) \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right) + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right) = 1.274 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ c)$$

$$F_{v.Rk4} := 1.05 \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left( \left( \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right) \right) = 1.272 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ d)$$

$$F_{v.Rk5} := 1.05 \frac{f_{h.1.k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \beta} \cdot \left( \left( \sqrt{2 \beta^2 (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \beta) M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right) \right) = 9.382 \cdot 10^3 \quad (10.6 \ e)$$

$$F_{v.Rk6} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d} = 6.333 \cdot 10^3 \quad (10.6 \ f)$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk1}, F_{v.Rk2}, F_{v.Rk3}, F_{v.Rk4}, F_{v.Rk5}, F_{v.Rk6})$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk6}$$

$$F_{v.Rk} = 6.333 \cdot 10^3$$

## (2) Tau-effekt

For enkeltsnittede forbindere settes den karakteristiske uttrekkskapasiteten  $F_{ax,Rk}$  som den minste av  $F_{ax}$ ,  $R_k$  og  $F_{v,Rk} \cdot 100\%$  (for skruer)

$$F_{v.Rk} = 6.333 \cdot 10^3$$

$$F_{ax.Rk} := 1.643 \cdot 10^4$$

$$\Delta F_{vk} := \min\left(F_{v.Rk}, \frac{1}{4} \cdot F_{ax.Rk}\right)$$

$$\frac{F_{ax.Rk}}{4} = 4.108 \cdot 10^3$$

$$\Delta F_{vk} := \frac{F_{ax.Rk}}{4} = 4.108 \cdot 10^3$$

$$F_{v.Rka} := F_{v.Rk1} = 3.507 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ a)$$

$$F_{v.Rkb} := F_{v.Rk2} = 2.502 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ b)$$

$$F_{v.Rkc} := F_{v.Rk3} + \Delta F_{vk} = 1.685 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ c)$$

$$F_{v.Rkd} := F_{v.Rk4} + \Delta F_{vk} = 1.683 \cdot 10^4 \quad (10.6 \text{ d})$$

$$F_{v.Rke} := F_{v.Rk5} + \Delta F_{vk} = 1.349 \cdot 10^4 \quad (10.6 \text{ e})$$

$$F_{v.Rkf} := F_{v.Rk6} + \Delta F_{vk} = 1.044 \cdot 10^4 \quad (10.6 \text{ f})$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rka}, F_{v.Rkb}, F_{v.Rkc}, F_{v.Rkd}, F_{v.Rke}, F_{v.Rkf})$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rkf}$$

$$F_{v.Rk} = 1.044 \cdot 10^4$$

$F_{v.Rk}$  : Tverrkapasiteten til èn enkelt skrue

# **E.4-4 Skruens tverrkapasitet - horisontale lameller**

Materialdata: WR-T (ETA-12/0062)

Utvendig gjenge-diameter: [mm]  $d := 13$

Innvendig gjenge-diameter: [mm]  $d_1 := 8.5$

Skruehodets diameter: [mm]  $d_h := 22$

Forboring diameter: [mm]  $d_v := 8.0$

Skruens lengde: [mm]  $l_s := 283$

Karakteristisk flytemoment: [Nmm]  $M_{y,k} := 80000$

Karakteristisk uttrekkskapasitet parameter: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{ax,k} := 12.8$

Karakteristisk strekkfasthet parameter: [N]  $f_{tens,k} := 55000$

Karakteristisk flytegrense til skruen: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{y,k} := 800$

Tilhørende denistet for skruene: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_a := 350$

Karakteristisk densitet: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_k := 360$   
Midlere verdi hentet fra densitet per sjikt.

Antall skruer:  $n := 11$

Partialfaktoren for forbindelser:  
Tabell 4.3a - prEN 1995  $\gamma_M := 1.3$

Fasthetsfaktor som tar hensyn til virkningen av  
lastvarigheten og fuktinnholdet:  
prEN - 1995  $k_{mod} := 0.9$

## A.2.2 Tverrbelastede skruer:

### A.2.2.1 prEN 1995-1-1 er gjeldene:

#### 10.7.1 (3) Karakteristisk hullkantfasthet:

##### 1. Gjennomtrengingsdel

$$\beta := 45 \text{ deg} \quad \varepsilon_1 := 45 \text{ deg} \quad \alpha_1 := 90 \text{ deg}$$

$$k_c := \min \left( \left( \frac{d}{d-2} \right), 1.15 \right) \quad (10.33 \text{ a})$$

$$k_{c1} := \frac{d}{d-2} = 1.182$$

$$k_{c2} := 1.15$$

$$k_c := k_{c2} = 1.15$$

$$k_{90} := 1.35 + 0.015 \cdot d = 1.545 \quad (10.33)$$

*Pre-drilled timber:*

$$f_{h.1.k} := \frac{0.082 (1 - 0.01 d) \rho_k}{\left( k_{90} \cdot (\sin(\alpha_1))^2 + (\cos(\alpha_1))^2 \right) \cdot \left( k_c \cdot (\cos(\beta))^2 + (\sin(\beta))^2 \right) \cdot \left( 2.5 \cdot (\cos(\varepsilon_1))^2 + (\sin(\varepsilon_1))^2 \right)} = 8.836 \quad (10.37 \text{ a})$$

##### 2. Inntrengingsdel

$$\beta := 45 \text{ deg} \quad \varepsilon_2 := 27 \text{ deg} \quad \alpha_2 := 90 \text{ deg}$$

*Pre-drilled timber:*

$$f_{h.2.k} := \frac{0.082 (1 - 0.01 d) \rho_k}{\left( k_{90} \cdot (\sin(\alpha_2))^2 + (\cos(\alpha_2))^2 \right) \cdot \left( k_c \cdot (\cos(\beta))^2 + (\sin(\beta))^2 \right) \cdot \left( 2.5 \cdot (\cos(\varepsilon_2))^2 + (\sin(\varepsilon_2))^2 \right)} = 7.058 \quad (10.37 \text{ a})$$

## 10.2.2 Tre mot tre forbindelser

(1) Karakteristisk kapasitet for skruer i enkeltsnittet forbindelse:

$$f_{h.1.k} = 8.836$$

$$f_{h.2.k} = 7.058$$

$$\beta := \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} \quad (10.8)$$

$$\beta = 0.799$$

$$t_1 := 111$$

$$t_2 := 172$$

$$M_{y.k} = 8 \cdot 10^4$$

$$M_{y.Rk} := M_{y.k}$$

$$F_{v.Rk1} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d = 1.275 \cdot 10^4 \quad (10.6 a)$$

$$F_{v.Rk2} := f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d = 1.578 \cdot 10^4 \quad (10.6 b)$$

$$F_{v.Rk3} := \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left( \sqrt{\beta + 2 \cdot (\beta^2) \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right)} + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right) = 6.035 \cdot 10^3 \quad (10.6 c)$$

$$F_{v.Rk4} := 1.05 \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left( \left( \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right) \right) = 4.972 \cdot 10^3 \quad (10.6 d)$$

$$F_{v.Rk5} := 1.05 \frac{f_{h.1.k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \beta} \cdot \left( \left( \sqrt{2 \beta^2 (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \beta) M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right) \right) = 6.225 \cdot 10^3 \quad (10.6 e)$$

$$F_{v.Rk6} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d} = 4.646 \cdot 10^3 \quad (10.6 f)$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk1}, F_{v.Rk2}, F_{v.Rk3}, F_{v.Rk4}, F_{v.Rk5}, F_{v.Rk6})$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk6}$$

$$F_{v.Rk} = 4.646 \cdot 10^3$$

(2) Tau-effekt

For enkeltsnittede forbindere settes den karakteristiske uttrekkskapasiteten  $F_{ax,Rk}$  som den minste av  $F_{ax,Rk}$  og  $F_{v,Rk} \cdot 100\%$  (for skruer)

$$F_{v.Rk} = 4.646 \cdot 10^3$$

$$F_{ax.Rk} := 2.167 \cdot 10^4$$

$$\Delta F_{vk} := \min\left(F_{v.Rk}, \frac{1}{4} \cdot F_{ax.Rk}\right)$$

$$\frac{F_{ax.Rk}}{4} = 5.418 \cdot 10^3$$

$$\Delta F_{vk} := F_{v.Rk}$$

$$F_{v.Rka} := F_{v.Rk1} = 1.275 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ a)$$

$$F_{v.Rkb} := F_{v.Rk2} = 1.578 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ b)$$

$$F_{v.Rkc} := F_{v.Rk3} + \Delta F_{vk} = 1.068 \cdot 10^4 \quad (10.6 \ c)$$

$$F_{v.Rkd} := F_{v.Rk4} + \Delta F_{vk} = 9.618 \cdot 10^3 \quad (10.6 \ d)$$

$$F_{v.Rke} := F_{v.Rk5} + \Delta F_{vk} = 1.087 \cdot 10^4 \quad (10.6 \text{ e})$$

$$F_{v.Rkf} := F_{v.Rk6} + \Delta F_{vk} = 9.292 \cdot 10^3 \quad (10.6 \text{ f})$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rka}, F_{v.Rkb}, F_{v.Rkc}, F_{v.Rkd}, F_{v.Rke}, F_{v.Rkf})$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rkf}$$

$$F_{v.Rk} = 9.292 \cdot 10^3$$

$F_{v.Rk}$ : Tverrkapasiteten til en enkelt skrue.

# E.4-5 Belastning - tryktpåkjent skallkant, 1.ETG

$$d := 13 \text{ mm}$$

$$b := 300 \text{ mm}$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$n_{\text{antall.skruer}} := 11$$

## Avstandskrav:

Velger strengeste krav hentet fra vertikale og horisontale lameller og benytter definisjon fra vertikale lameller

vertikale lameller  $a_1 = a_2$  horisontale lameller

vertikale lameller  $a_{3,t} = a_{4,t}$  horisontale lameller

vertikale lameller  $a_{4,t} = a_{3,t}$  horisontale lameller

vertikale lameller  $a_{\text{cross}} = a_{\text{cross}}$  horisontale lameller

$$a_{1.\text{min}} := 65 \text{ mm}$$

$$a_1 := 70 \text{ mm}$$

$$a_{3.t.\text{min}} := 156 \text{ mm}$$

$$a_{3.t} := \frac{67 \text{ mm} \cdot 16}{2} = 536 \text{ mm}$$

$$a_{4.t.\text{min}} := 91 \text{ mm}$$

$$a_{4.t} := 113 \text{ mm}$$

$$a_{\text{cross.min}} := 19.5 \text{ mm}$$

$$a_{\text{cross}} := 20 \text{ mm}$$

$$\text{return if } a_1 \geq a_{1.\text{min}} \mid \text{"OK"}$$

$$\text{return if } a_{3.t} \geq a_{3.t.\text{min}} \mid \text{"OK"}$$

$$\text{return if } a_{\text{cross}} \geq a_{\text{cross.min}} \mid \text{"OK"}$$

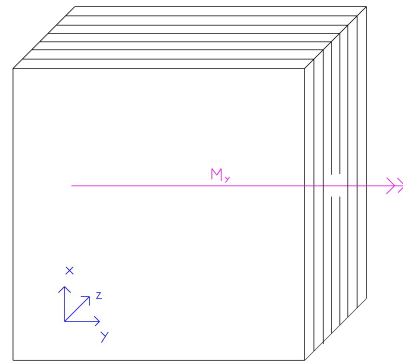
$$\text{return if } a_{4.t} \geq a_{4.t.\text{min}} \mid \text{"OK"}$$

Tilgjengelig plass i høyde:

$$h - d - a_1 \cdot (n_{\text{antall.skruer}} - 1) - (n_{\text{antall.skruer}} \cdot a_{\text{cross}}) = 67 \text{ mm}$$

**Belastning fra moment My:**

$$My := 2.64 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



$$Ip := 2 \cdot (a_1)^2 + 2 \cdot (2 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (3 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (4 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (5 \cdot a_1)^2 = (5.39 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

$$FM_{1.my} := \frac{My}{Ip} \cdot a_1 = 342.86 \text{ N}$$

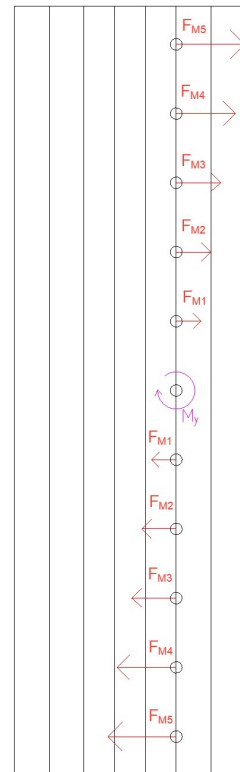
$$FM_{2.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 2 \cdot a_1 = 685.71 \text{ N}$$

$$FM_{3.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = (1.03 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{4.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = (1.37 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{5.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = (1.71 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{my} := FM_{5.my} = (1.71 \cdot 10^3) \text{ N}$$



Krefter som virker på skruen:

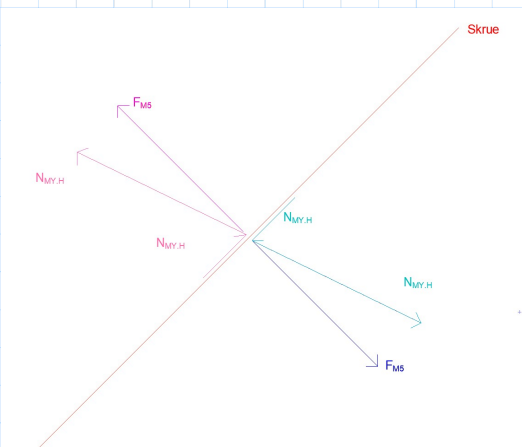
$$V_{my.Horizontalt} := FM_{my} \cdot \sin(81 \text{ deg}) = (1.69 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$N_{my.Horizontalt} := FM_{my} \cdot \cos(81 \text{ deg}) = 268.17 \text{ N}$$

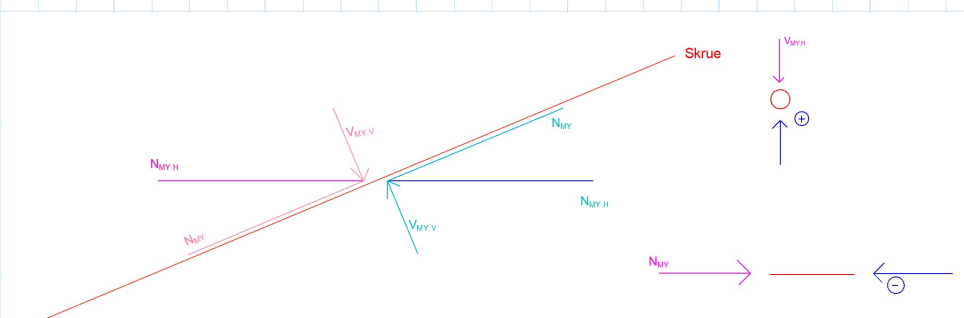
$$N_{my} := N_{my.Horizontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = 189.63 \text{ N}$$

$$V_{my.Vertikalt} := -N_{my.Horizontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = -189.63 \text{ N}$$

Skruen sett ovenifra:



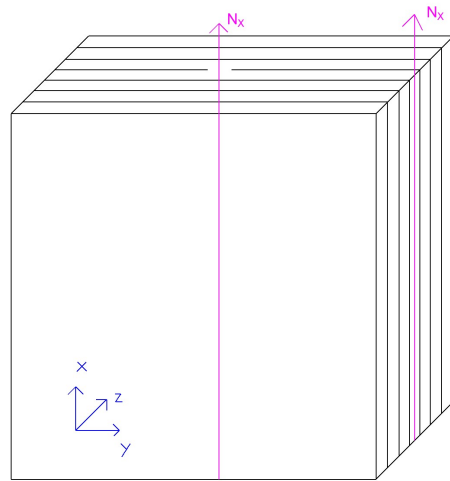
Skruen sett fra siden:



### Belastning fra Nx:

$$Nx := -878.11 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$e := 72.5 \text{ mm}$$



$$M_{nx} := Nx \cdot e = -6.37 \cdot 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot a_1 = -8.27 \cdot 10^3 \text{ N}$$

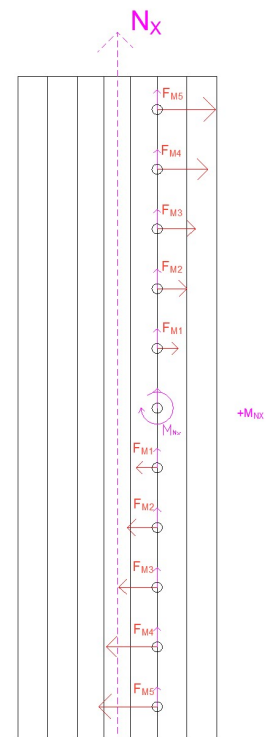
$$FM_{2.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 2 \cdot a_1 = -1.65 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$FM_{3.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = -2.48 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$FM_{4.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = -3.31 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$FM_{5.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = -4.13 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$FM_{nx} := FM_{5.nx} = -4.13 \cdot 10^4 \text{ N}$$



Krefter som virker på skruen:

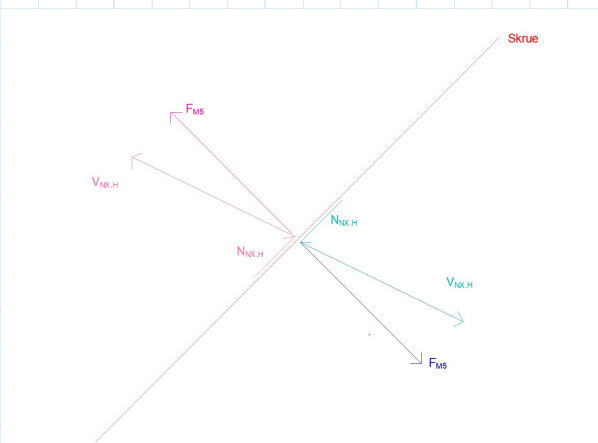
$$V_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \sin(81 \text{ deg}) = -4.08 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$N_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \cos(81 \text{ deg}) = -6.47 \cdot 10^3 \text{ N}$$

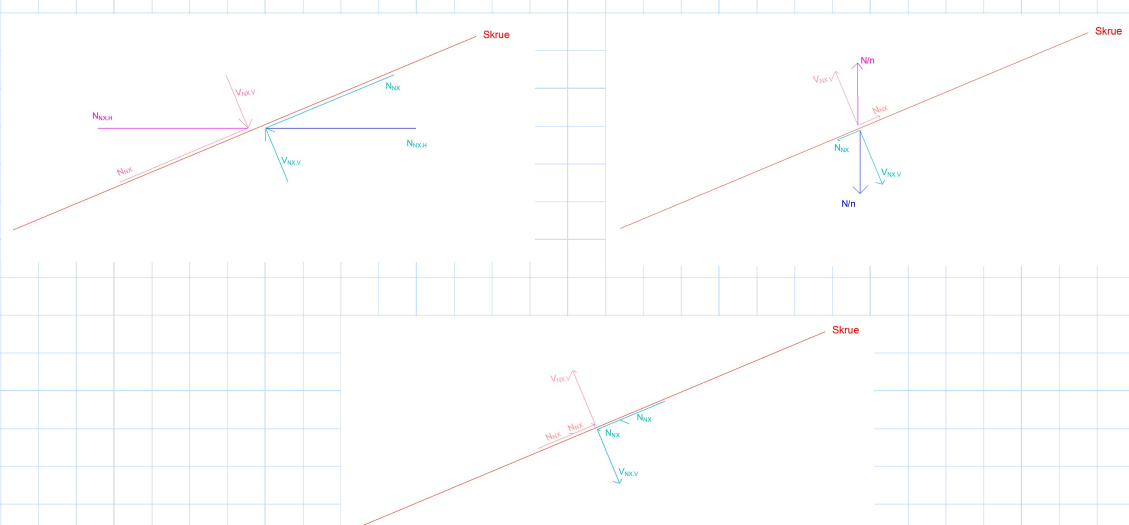
$$N_{nx} := N_{nx.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skrue}}} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = -6.1 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$V_{nx.Vertikalt} := -N_{nx.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skrue}}} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = -5.19 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Skruen sett ovenifra:



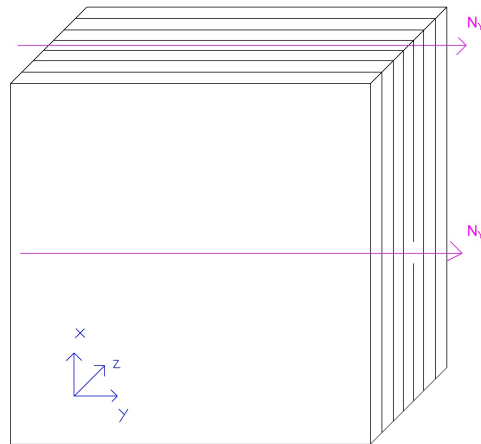
Skruen sett fra siden:



### Belastning fra Ny:

$$N_y := -4.5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$e := 72.5 \text{ mm}$$

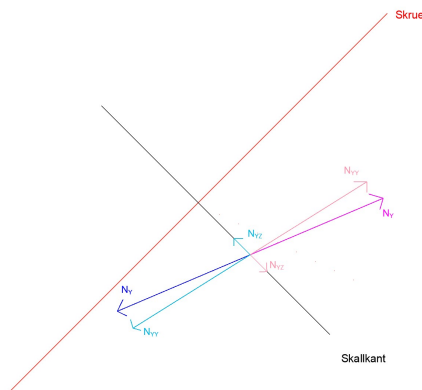


Dekomponerer 1. gang

$$N_{yz} := -N_y \cdot \cos(54 \text{ deg}) = (2.65 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$N_{yy} := N_y \cdot \sin(54 \text{ deg}) = -3.64 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Skruen sett ovenifra:



Dekomponerer 2. gang

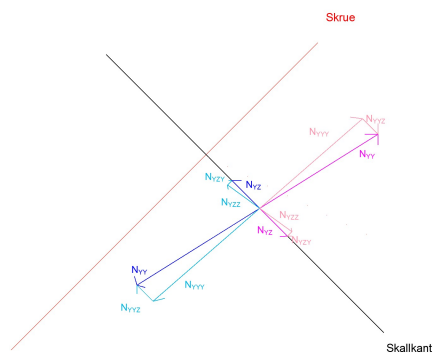
$$Ny_{yy} := Ny_y \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -3.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Ny_{yz} := -Ny_y \cdot \sin(9 \text{ deg}) = 569.51 \text{ N}$$

$$Ny_{zy} := Ny_z \cdot \sin(9 \text{ deg}) = 413.77 \text{ N}$$

$$Ny_{zz} := Ny_z \cdot \cos(9 \text{ deg}) = (2.61 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Skruen sett ovenifra:

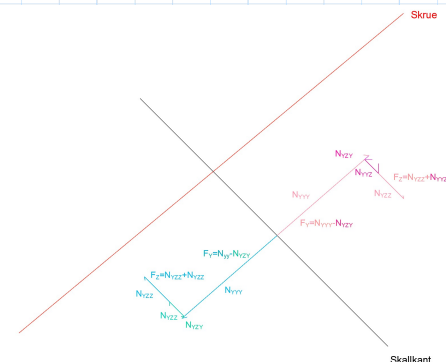


Legger sammen komponentene:

$$Fy := Ny_{yy} + Ny_{zy} = -3.18 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Fz := Ny_{yz} + Ny_{zz} = (3.18 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Skruen sett ovenifra:



Moment pga.Fy:

$$M_{ny} := -Fy \cdot e = (2.31 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot a_1 = 29.96 \text{ N}$$

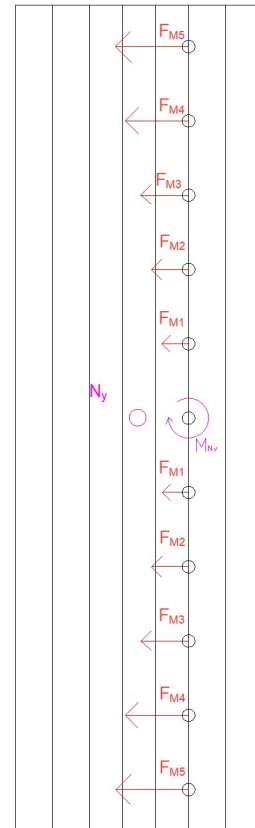
$$FM_{2.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 2 \cdot a_1 = 59.92 \text{ N}$$

$$FM_{3.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = 89.88 \text{ N}$$

$$FM_{4.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = 119.84 \text{ N}$$

$$FM_{5.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = 149.8 \text{ N}$$

$$FM_{ny} := FM_{5.ny} = 149.8 \text{ N}$$



Krefter som virker på skruen:

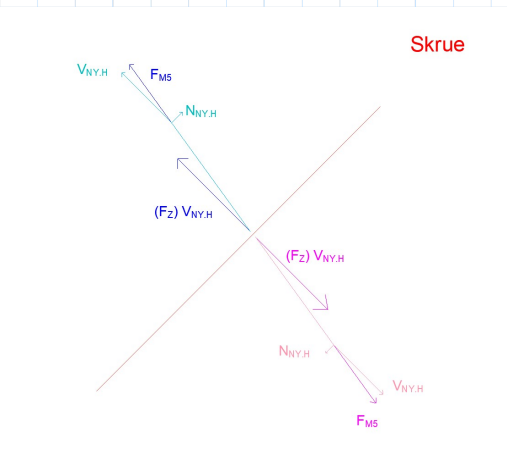
$$V_{ny.Horisontalt} := \frac{Fz}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \sin(81 \text{ deg}) = 437.23 \text{ N}$$

$$N_{ny.Horisontalt} := \frac{Fy}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \cos(81 \text{ deg}) = -265.84 \text{ N}$$

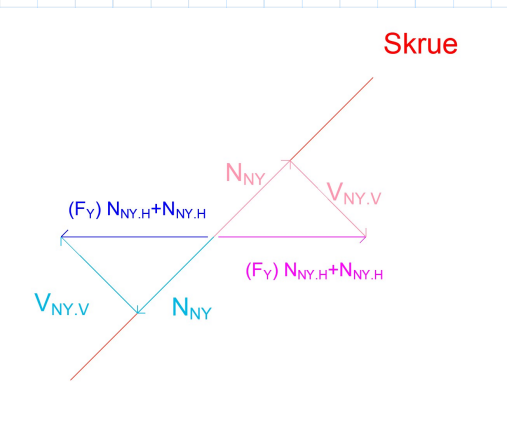
$$N_{ny} := N_{ny.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = -187.98 \text{ N}$$

$$V_{ny.Vertikalt} := -N_{ny.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = 187.98 \text{ N}$$

Skrue sett ovenfra:



Skrue sett fra siden:



**Summerer bidraget fra  $M_y$ ,  $N_x$  og  $N_y$ :**

Skjærkrefter vertikalt:

$$V_{\text{Vertikalt}} := V_{m_y.\text{Vertikalt}} + V_{n_x.\text{Vertikalt}} + V_{n_y.\text{Vertikalt}} = -5.19 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Skjærkrefter horisontalt:

$$V_{\text{Horisontalt}} := V_{m_y.\text{Horisontalt}} + V_{n_x.\text{Horisontalt}} + V_{n_y.\text{Horisontalt}} = -3.87 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Aksialkrefter:

(+) Strekk, (-) Trykk

$$N := N_{m_y} + N_{n_x} + N_{n_y} = -6.1 \cdot 10^4 \text{ N}$$

**Summerer skjærkrefter og aksialkrefter:**

$$F_{v.Ed} := \sqrt{(V_{\text{Vertikalt}})^2 + (V_{\text{Horisontalt}})^2} = (6.47 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$F_{ax.Ed} := N = -6.1 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Kapasitet til ett par skruer

ORIGIN := 1

## E.4-6 Belastning - strekkpåkjent skallkant, 1.ETG

$$d := 13 \text{ mm}$$

$$b := 300 \text{ mm}$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$n_{\text{antall.skruer}} := 11$$

### Avstandskrav:

Kontroll i vedlegget "Kryssførende skruer, belastning - trykkpåkjent skallkant 1.ETG".  
Gjelder også for strekkpåkjent skallkant.

$$a_1 := 70 \text{ mm}$$

$$a_{\text{cross}} := 20 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} := \frac{67 \text{ mm} \cdot 16}{2} = 536 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} := 113 \text{ mm}$$

*Forklaring av krefter, moment, vinkler og dekomponeringer er gjort i vedlegg  
"E.4-5 Belastning - trykkpåkjent skallkant, 1.ETG".*

**Belastning fra moment My:**

$$My := -3.74 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Ip := 2 \cdot (a_1)^2 + 2 \cdot (2 a_1)^2 + 2 \cdot (3 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (4 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (5 \cdot a_1)^2 = (5.39 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

$$FM_{1.my} := \frac{My}{Ip} \cdot a_1 = -485.71 \text{ N}$$

$$FM_{2.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 2 a_1 = -971.43 \text{ N}$$

$$FM_{3.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = -1.46 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$FM_{4.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = -1.94 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$FM_{5.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = -2.43 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$FM_{my} := FM_{5.my} = -2.43 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{my.Horisontalt} := FM_{my} \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -2.4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{my.Horisontalt} := FM_{my} \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -379.91 \text{ N}$$

$$N_{my} := N_{my.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = -268.64 \text{ N}$$

$$V_{my.Vertikalt} := -N_{my.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = 268.64 \text{ N}$$

### Belastning fra Nx:

$$Nx := 584.1 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$e := 72.5 \text{ mm}$$

$$M_{nx} := Nx \cdot e = (4.23 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot a_1 = (5.5 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{2.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 2 a_1 = (1.1 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$FM_{3.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = (1.65 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$FM_{4.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = (2.2 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$FM_{5.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = (2.75 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$FM_{nx} := FM_{5.nx} = (2.75 \cdot 10^4) \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \cos(9 \text{ deg}) = (2.72 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$N_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \sin(9 \text{ deg}) = (4.3 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$N_{nx} := N_{nx.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skruer}}} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = (4.06 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$V_{nx.Vertikalt} := -N_{nx.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skruer}}} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = (3.45 \cdot 10^4) \text{ N}$$

**Belastning fra Ny:**

$$Ny := 7.25 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$e := 72.5 \text{ mm}$$

Dekomponerer 1. gang

$$Ny_z := -Ny \cdot \cos(54 \text{ deg}) = -4.26 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Ny_y := Ny \cdot \sin(54 \text{ deg}) = (5.87 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Dekomponerer 2. gang

$$Ny_{yy} := Ny_y \cdot \cos(9 \text{ deg}) = (5.79 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Ny_{yz} := -Ny_y \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -917.55 \text{ N}$$

$$Ny_{zy} := Ny_z \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -666.64 \text{ N}$$

$$Ny_{zz} := Ny_z \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -4.21 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Legger sammen komponentene:

$$Fy := Ny_{yy} + Ny_{zy} = (5.13 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Fz := Ny_{yz} + Ny_{zz} = -5.13 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Moment pga.Fy:

$$M_{ny} := -Fy \cdot e = -3.72 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot a_1 = -48.27 \text{ N}$$

$$FM_{2.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 2 a_1 = -96.54 \text{ N}$$

$$FM_{3.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 3 a_1 = -144.81 \text{ N}$$

$$FM_{4.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 4 a_1 = -193.08 \text{ N}$$

$$FM_{5.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = -241.35 \text{ N}$$

$$FM_{ny} := FM_{5.ny} = -241.35 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{ny.Horisontalt} := \frac{Fz}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -704.42 \text{ N}$$

$$N_{ny.Horisontalt} := \frac{Fy}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \sin(9 \text{ deg}) = 428.29 \text{ N}$$

$$N_{ny} := N_{ny.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = 302.85 \text{ N}$$

$$V_{ny.Vertikalt} := -N_{ny.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = -302.85 \text{ N}$$

**Summerer bidraget fra  $M_y$ ,  $N_x$  og  $N_y$ :**

Skjærkrefter vertikalt:

$$V_{Vertikalt} := V_{my.Vertikalt} + V_{nx.Vertikalt} + V_{ny.Vertikalt} = (3.45 \cdot 10^4) \text{ N}$$

Skjærkrefter horisontalt:

$$V_{Horisontalt} := V_{my.Horisontalt} + V_{nx.Horisontalt} + V_{ny.Horisontalt} = (2.41 \cdot 10^4) \text{ N}$$

Aksialkrefter:

(+) Strekk, (-) Trykk

$$N := N_{my} + N_{nx} + N_{ny} = (4.06 \cdot 10^4) \text{ N}$$

**Summerer skjærkrefter og aksialkrefter:**

$$F_{v.Ed} := \sqrt{(V_{Vertikalt})^2 + (V_{Horisontalt})^2} = (4.2 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$F_{ax.Ed} := N = (4.06 \cdot 10^4) \text{ N}$$

Kapasitet til ett par skruer

## E.4-7 Resultater - tryktpåkjent skallkant, 1.ETG

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{def} := 1$$

**Aksialkapasitet per skrue:**

$$F_{ax.Rk.v} := 1.643 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk.h} := 2.167 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk} := F_{ax.Rk.v} + F_{ax.Rk.h} = 3.81 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk}}{\gamma_M} = 2.64 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

**Tverr-kapasitet per enkelt skrue:**

$$F_{v.Rk.v} := 1.044 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rk.h} := 9.292 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk.v} + F_{v.Rk.h} = 1.97 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 1.37 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

### Aksialbelastning per skrue:

$$F_{ax.Ed} := \frac{(6.10 \cdot 10^4)}{2} = 3.05 \cdot 10^4 \quad N$$

Beregningene gjort for belastningen er med hensyn på de støstre kreftene fordelt på den mest belastet skruen. Altså en skrue i ett krysspar.

### Skjærbelastning per skrue:

$$F_{v.Ed} := \frac{(6.47 \cdot 10^4)}{2} = 3.24 \cdot 10^4 \quad N$$

### Kontroll Aksial:

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} = 1.16$$

IKKE OK

### Kontroll Skjær:

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 2.37$$

IKKE OK

### 10.7.3 Kombinert tverrbelastede og aksialt belastede skrueforbindelser, hentet fra prEN 1995-1-1

(1) For skrueforbindelser som utsettes for en kombinasjon av aksial last og tverrlast, må betingelsen i uttrykk (10.28) oppfylles.

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (prEN - 10.28)$$

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 = 6.95 \quad \text{IKKE OK}$$

## E.4-8 Resultater - strekkpåkjent skallkant, 1.ETG

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{def} := 1$$

### Aksialkapasitet per skrue:

$$F_{ax.Rk.v} := 1.643 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk.h} := 2.167 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk} := F_{ax.Rk.v} + F_{ax.Rk.h} = 3.81 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk}}{\gamma_M} = 2.64 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 \ b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

### Tverr-kapasitet per enkelt skrue:

$$F_{v.Rk.v} := 1.044 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rk.h} := 9.292 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk.v} + F_{v.Rk.h} = 1.97 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 1.37 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 \ b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

**Aksialbelastning per skrue:**

$$F_{ax.Ed} := \frac{(4.06 \cdot 10^4)}{2} = 2.03 \cdot 10^4 \quad N$$

Beregningene gjort for belastningen er med hensyn på de støstre kreftene fordelt på den mest belastet skruen. Altså en skrue i ett krysspar.

**Skjærbelastning per skrue:**

$$F_{v.Ed} := \frac{(4.20 \cdot 10^4)}{2} = 2.1 \cdot 10^4 \quad N$$

**Kontroll Aksial:**

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} = 0.77$$

OK

**Kontroll Skjær:**

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 1.54$$

IKKE OK

**10.7.3 Kombinert tverrbelastede og aksialt belastede skrueforbindelser, hentet fra prEN-1995-1-1**

(1) For skrueforbindelser som utsettes for en kombinasjon av aksial last og tverrlast, må betingelsen i uttrykk (10.28) oppfylles.

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (prEN - 10.28)$$

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 = 2.96$$

IKKE OK

ORIGIN := 1

## E.4-9 Belastning - tryktpåkjent skallkant, 2.ETG

$$d := 13 \text{ mm}$$

$$b := 300 \text{ mm}$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$n_{\text{antall.skruer}} := 11$$

### Avstandskrav:

Kontroll i vedlegget "kryssførende skruer, belastning - tryktpåkjent skallkant 1.ETG".

$$a_1 := 70 \text{ mm}$$

$$a_{\text{cross}} := 20 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} := \frac{67 \text{ mm} \cdot 16}{2} = 536 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} := 113 \text{ mm}$$

*Forklaring av krefter, moment, vinkler og dekomponeringer er gjort i vedlegg "E.4-5 Belastning - tryktpåkjent skallkant, 1.ETG".*

**Belastning fra moment My:**

$$My := 0.38 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Ip := 2 \cdot (a_1)^2 + 2 \cdot (2 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (3 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (4 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (5 \cdot a_1)^2 = (5.39 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

$$FM_{1.my} := \frac{My}{Ip} \cdot a_1 = 49.35 \text{ N}$$

$$FM_{2.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 2 \cdot a_1 = 98.7 \text{ N}$$

$$FM_{3.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = 148.05 \text{ N}$$

$$FM_{4.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = 197.4 \text{ N}$$

$$FM_{5.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = 246.75 \text{ N}$$

$$FM_{my} := FM_{5.my} = 246.75 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{my.Horisontalt} := FM_{my} \cdot \sin(81 \text{ deg}) = 243.72 \text{ N}$$

$$N_{my.Horisontalt} := FM_{my} \cdot \cos(81 \text{ deg}) = 38.6 \text{ N}$$

$$N_{my} := N_{my.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = 27.29 \text{ N}$$

$$V_{my.Vertikalt} := -N_{my.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = -27.29 \text{ N}$$

### Belastning fra Nx:

$$Nx := -352.55 \cdot 10^3 \text{ N} \quad e := 72.5 \text{ mm}$$

$$M_{nx} := Nx \cdot e = -2.56 \cdot 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot a_1 = -3.32 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$FM_{2.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 2 \cdot a_1 = -6.64 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$FM_{3.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = -9.96 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$FM_{4.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = -1.33 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$FM_{5.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = -1.66 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$FM_{nx} := FM_{5.nx} = -1.66 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \sin(81 \text{ deg}) = -1.64 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$N_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \cos(81 \text{ deg}) = -2.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{nx} := N_{nx.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skruer}}} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = -2.45 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$V_{nx.Vertikalt} := -N_{nx.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skruer}}} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = -2.08 \cdot 10^4 \text{ N}$$

**Belastning fra Ny:**

$$Ny := 1.5 \cdot 10^3 \text{ N} \quad e := 72.5 \text{ mm}$$

Dekomponerer 1. gang

$$Ny_z := -Ny \cdot \cos(54 \text{ deg}) = -881.68 \text{ N}$$

$$Ny_y := Ny \cdot \sin(54 \text{ deg}) = (1.21 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Dekomponerer 2. gang

$$Ny_{yy} := Ny_y \cdot \cos(9 \text{ deg}) = (1.2 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Ny_{yz} := -Ny_y \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -189.84 \text{ N}$$

$$Ny_{zy} := Ny_z \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -137.92 \text{ N}$$

$$Ny_{zz} := Ny_z \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -870.82 \text{ N}$$

Legger sammen komponentene:

$$Fy := Ny_{yy} + Ny_{zy} = (1.06 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Fz := Ny_{yz} + Ny_{zz} = -1.06 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Moment pga.Fy:

$$M_{ny} := -Fy \cdot e = -7.69 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot a_1 = -9.99 \text{ N}$$

$$FM_{2.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 2 a_1 = -19.97 \text{ N}$$

$$FM_{3.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 3 a_1 = -29.96 \text{ N}$$

$$FM_{4.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 4 a_1 = -39.95 \text{ N}$$

$$FM_{5.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = -49.93 \text{ N}$$

$$FM_{ny} := FM_{5.ny} = -49.93 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{ny.Horisontalt} := \frac{Fz}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \sin(81 \text{ deg}) = -145.74 \text{ N}$$

$$N_{ny.Horisontalt} := \frac{Fy}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \cos(81 \text{ deg}) = 88.61 \text{ N}$$

$$N_{ny} := N_{ny.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = 62.66 \text{ N}$$

$$V_{ny.Vertikalt} := -N_{ny.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = -62.66 \text{ N}$$

**Summerer bidraget fra  $M_y$ ,  $N_x$  og  $N_y$ :**

Skjærkrefter vertikalt:

$$V_{\text{Vertikalt}} := V_{m_y.\text{Vertikalt}} + V_{n_x.\text{Vertikalt}} + V_{n_y.\text{Vertikalt}} = -2.09 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Skjærkrefter horisontalt:

$$V_{\text{Horisontalt}} := V_{m_y.\text{Horisontalt}} + V_{n_x.\text{Horisontalt}} + V_{n_y.\text{Horisontalt}} = -1.63 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Aksialkrefter:

(+) Strekk, (-) Trykk

$$N := N_{m_y} + N_{n_x} + N_{n_y} = -2.44 \cdot 10^4 \text{ N}$$

**Summerer skjærkrefter og aksialkrefter:**

$$F_{v.Ed} := \sqrt{(V_{\text{Vertikalt}})^2 + (V_{\text{Horisontalt}})^2} = (2.65 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$F_{ax.Ed} := N = -2.44 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Kapasitet til ett par skruer

ORIGIN := 1

## E.4-10 Belastning - strekkpåkjent skallkant, 2.ETG

$$d := 13 \text{ mm}$$

$$b := 300 \text{ mm}$$

$$h := 1000 \text{ mm}$$

$$n_{\text{antall.skruer}} := 11$$

### Avstandskrav:

Kontroll i vedlegget "Kryssførende skruer, belastning - trykkpåkjent skallkant 1.ETG".  
Gjelder også for strekkpåkjent skallkant.

$$a_1 := 70 \text{ mm}$$

$$a_{\text{cross}} := 20 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} := \frac{67 \text{ mm} \cdot 16}{2} = 536 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} := 113 \text{ mm}$$

*Forklaring av krefter, moment, vinkler og dekomponeringer er gjort i vedlegg  
"E.4-5 Belastning - trykkpåkjent skallkant, 1.ETG".*

**Belastning fra moment My:**

$$My := -0.45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$Ip := 2 \cdot (a_1)^2 + 2 \cdot (2 a_1)^2 + 2 \cdot (3 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (4 \cdot a_1)^2 + 2 \cdot (5 \cdot a_1)^2 = (5.39 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

$$FM_{1.my} := \frac{My}{Ip} \cdot a_1 = -58.44 \text{ N}$$

$$FM_{2.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 2 a_1 = -116.88 \text{ N}$$

$$FM_{3.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = -175.32 \text{ N}$$

$$FM_{4.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = -233.77 \text{ N}$$

$$FM_{5.my} := \frac{My}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = -292.21 \text{ N}$$

$$FM_{my} := FM_{5.my} = -292.21 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{my.Horisontalt} := FM_{my} \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -288.61 \text{ N}$$

$$N_{my.Horisontalt} := FM_{my} \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -45.71 \text{ N}$$

$$N_{my} := N_{my.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = -32.32 \text{ N}$$

$$V_{my.Vertikalt} := -N_{my.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = 32.32 \text{ N}$$

### Belastning fra Nx:

$$Nx := 184.66 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$e := 72.5 \text{ mm}$$

$$M_{nx} := Nx \cdot e = (1.34 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot a_1 = (1.74 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{2.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 2 a_1 = (3.48 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{3.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 3 \cdot a_1 = (5.22 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{4.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 4 \cdot a_1 = (6.95 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{5.nx} := \frac{M_{nx}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = (8.69 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$FM_{nx} := FM_{5.nx} = (8.69 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \cos(9 \text{ deg}) = (8.59 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$N_{nx.Horisontalt} := FM_{nx} \cdot \sin(9 \text{ deg}) = (1.36 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$N_{nx} := N_{nx.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skruer}}} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = (1.28 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$V_{nx.Vertikalt} := -N_{nx.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) + \frac{Nx}{n_{\text{antall.skruer}}} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = (1.09 \cdot 10^4) \text{ N}$$

**Belastning fra Ny:**

$$Ny := -6.31 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$e := 72.5 \text{ mm}$$

Dekomponerer 1. gang

$$Ny_z := -Ny \cdot \cos(54 \text{ deg}) = (3.71 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Ny_y := Ny \cdot \sin(54 \text{ deg}) = -5.1 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Dekomponerer 2. gang

$$Ny_{yy} := Ny_y \cdot \cos(9 \text{ deg}) = -5.04 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Ny_{yz} := -Ny_y \cdot \sin(9 \text{ deg}) = 798.58 \text{ N}$$

$$Ny_{zy} := Ny_z \cdot \sin(9 \text{ deg}) = 580.2 \text{ N}$$

$$Ny_{zz} := Ny_z \cdot \cos(9 \text{ deg}) = (3.66 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Legger sammen komponentene:

$$Fy := Ny_{yy} + Ny_{zy} = -4.46 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Fz := Ny_{yz} + Ny_{zz} = (4.46 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Moment pga.Fy:

$$M_{ny} := -Fy \cdot e = (3.23 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$FM_{1.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot a_1 = 42.01 \text{ N}$$

$$FM_{2.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 2 a_1 = 84.02 \text{ N}$$

$$FM_{3.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 3 a_1 = 126.03 \text{ N}$$

$$FM_{4.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 4 a_1 = 168.04 \text{ N}$$

$$FM_{5.ny} := \frac{M_{ny}}{Ip} \cdot 5 \cdot a_1 = 210.05 \text{ N}$$

$$FM_{ny} := FM_{5.ny} = 210.05 \text{ N}$$

Krefter som virker på skruen:

$$V_{ny.Horisontalt} := \frac{Fz}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \cos(9 \text{ deg}) = 613.09 \text{ N}$$

$$N_{ny.Horisontalt} := \frac{Fy}{n_{\text{antall.skruer}}} + FM_{ny} \cdot \sin(9 \text{ deg}) = -372.76 \text{ N}$$

$$N_{ny} := N_{ny.Horisontalt} \cdot \cos(45 \text{ deg}) = -263.58 \text{ N}$$

$$V_{ny.Vertikalt} := -N_{ny.Horisontalt} \cdot \sin(45 \text{ deg}) = 263.58 \text{ N}$$

**Summerer bidraget fra  $M_y$ ,  $N_x$  og  $N_y$ :**

Skjærkrefter vertikalt:

$$V_{Vertikalt} := V_{my.Vertikalt} + V_{nx.Vertikalt} + V_{ny.Vertikalt} = (1.12 \cdot 10^4) \text{ N}$$

Skjærkrefter horisontalt:

$$V_{Horisontalt} := V_{my.Horisontalt} + V_{nx.Horisontalt} + V_{ny.Horisontalt} = (8.91 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Aksialkrefter:

(+) Strekk, (-) Trykk

$$N := N_{my} + N_{nx} + N_{ny} = (1.25 \cdot 10^4) \text{ N}$$

**Summerer skjærkrefter og aksialkrefter:**

$$F_{v.Ed} := \sqrt{(V_{Vertikalt})^2 + (V_{Horisontalt})^2} = (1.43 \cdot 10^4) \text{ N}$$

$$F_{ax.Ed} := N = (1.25 \cdot 10^4) \text{ N}$$

Kapasitet til ett par skruer

## E.4-11 Resultater - tryktpåkjent skallkant, 2.ETG

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{def} := 1$$

### Aksialkapasitet per skrue:

$$F_{ax.Rk.v} := 1.643 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk.h} := 2.167 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk} := F_{ax.Rk.v} + F_{ax.Rk.h} = 3.81 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk}}{\gamma_M} = 2.64 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

### Tverr-kapasitet per enkelt skrue:

$$F_{v.Rk.v} := 1.044 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rk.h} := 9.292 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk.v} + F_{v.Rk.h} = 1.97 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 1.37 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

### Aksialbelastning per skrue:

$$F_{ax.Ed} := \frac{(2.44 \cdot 10^4)}{2} = 1.22 \cdot 10^4 \quad N$$

Beregningene gjort for belastningen er med hensyn på de støstre kreftene fordelt på det mest belastede skrueparet. Deles derfor på 2 for å finne belastning per skrue.

### Skjærbelastning per skrue:

$$F_{v.Ed} := \frac{(2.65 \cdot 10^4)}{2} = 1.33 \cdot 10^4 \quad N$$

### Kontroll Aksial:

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} = 0.46$$

OK

### Kontroll Skjær:

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.97$$

OK

### 10.7.3 Kombinert tverrbelastede og aksialt belastede skrueforbindelser, hentet fra prEN 1995-1-1

(1) For skrueforbindelser som utsettes for en kombinasjon av aksial last og tverrlast, må betingelsen i uttrykk (10.28) oppfylles.

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (prEN - 10.28)$$

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 = 1.15$$

IKKE OK

ORIGIN := 1

## E.4-12 Resultater - strekkpåkjent skallkant, 2.ETG

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_M := 1.3$$

$$k_{def} := 1$$

**Aksialkapasitet per skrue:**

$$F_{ax.Rk.v} := 1.643 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk.h} := 2.167 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rk} := F_{ax.Rk.v} + F_{ax.Rk.h} = 3.81 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{ax.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk}}{\gamma_M} = 2.64 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

**Tverr-kapasitet per enkelt skrue:**

$$F_{v.Rk.v} := 1.044 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rk.h} := 9.292 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk.v} + F_{v.Rk.h} = 1.97 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 1.37 \cdot 10^4 \quad N \quad (prEN - 4.14 b)$$

Kapasitetsberegning ikke sammenliknbart med SFS datablad.

**Aksialbelastning per skrue:**

$$F_{ax.Ed} := \frac{(1.25 \cdot 10^4)}{2} = 6.25 \cdot 10^3 \quad N$$

Beregningene gjort for belastningen er med hensyn på de støstre kreftene fordelt på det mest belastede skrueparet. Deles derfor på 2 for å finne belastning per skrue.

**Skjærbelastning per skrue:**

$$F_{v.Ed} := \frac{(1.43 \cdot 10^4)}{2} = 7.15 \cdot 10^3 \quad N$$

**Kontroll Aksial:**

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} = 0.24$$

OK

**Kontroll Skjær:**

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.52$$

OK

**10.7.3 Kombinert tverrbelastede og aksialt belastede skrueforbindelser, hentet fra prEN 1995-1-1**

(1) For skrueforbindelser som utsettes for en kombinasjon av aksial last og tverrlast, må betingelsen i uttrykk (10.28) oppfylles.

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (prEN - 10.28)$$

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 = 0.33 \quad \text{OK}$$

ORIGIN := 1

## E.4-13 Snittkrefter - trykkpåkjent skallkant

Krefter i [kN] og [kNm] per meter skallkant.

Kant 4, knutepunkt: 3-18

Trykk -  
Strekk +

### 1.ETG

$N_x$

$$\begin{array}{r} -14049.68 \quad (1) \\ -14024.85 \quad (1) \end{array}$$

$$\frac{-14049.68}{16} = -878.11$$

$N_y$

$$\begin{array}{r} -50.03 \quad (1) \\ -71.98 \quad (1) \end{array}$$

$$\frac{-71.98}{16} = -4.5$$

$M_y$

$$\begin{array}{r} 41.18 \quad (2) \\ 42.26 \quad (2) \end{array}$$

$$\frac{42.26}{16} = 2.64$$

$N_{xy}$

$$\begin{array}{r} 140.02 \quad (2) \\ 154.8 \quad (2) \end{array}$$

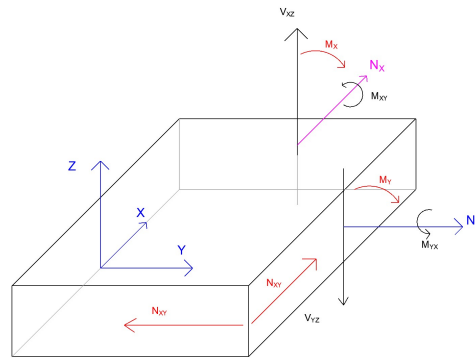
$$\frac{140.02 - 154.8}{16} = -0.92$$

Neglisjerbar

$M_x$

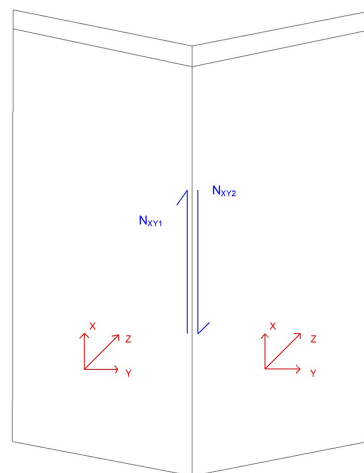
$$\begin{array}{r} 8.04 \quad (2) \\ 8.78 \quad (2) \end{array}$$

Neglisjerbar



Figuren ovenfor viser plassering og retning for kreftene omtalt i dette vedlegget.

Som figuren ovenfor viser tilhører  $N_{xy}$  skallkanten. I hovedsak er dette en kraft som skal medregnes i dimensjoneringen. Men i oppgavens tilfelle har bidraget fra  $N_{xy}$  likt fortegn fra begge skall som deler skallkant. Dette resulterer i at kreftene reduserer hverandre og blir neglisjerbar, slik som figuren nedenfor viser.



Mxy

0.63 (2)  
-0.57 (2)

Neglisjerbar

Vzx

21.8 (1)  
20.75 (10)

Ikke relevant

Vzy

-2.97 (2)  
5.18 (2)  
Neglisjerbar

Kant 4 , knutepunkt: 8-30

## 2. ETG

Nx

-5640.85 (1)  
-5640.85 (1)

$$\frac{-5640.85}{16} = -352.55$$

Ny

11.16 (2)  
23.96 (1)

$$\frac{23.96}{16} = 1.5$$

My

5.08 (2)  
6.04 (2)

$$\frac{6.04}{16} = 0.38$$

ORIGIN := 1

## E.4-14 Snittkrefter - strekkpåkjent skallkant

Krefter i [kN] og [kNm] per meter skallkant

Trykk -  
Strekk +

Kant 1, knutepunkt: 5-20  
**1.ETG**

Kant 2, knutepunkt: 1-16  
**1.ETG**

Nx

9345.60 (2)  
8811.80 (2)

$$\frac{9345.6}{16} = 584.1$$

Nx

9288.17 (2)  
8530.57 (2)

$$\frac{9288.17}{16} = 580.51$$

Ny

22.34 (2)  
69.19 (12)

$$\frac{69.19}{16} = 4.32$$

Ny

3.29 (1)  
116.06 (16)

$$\frac{116.06}{16} = 7.25$$

My

-47.31 (12)  
-20.15 (12)

$$\frac{-47.31}{16} = -2.96$$

My

-59.8 (12)  
-8.49 (12)

$$\frac{-59.8}{16} = -3.74$$

Nxy

-533.73 (12)  
-767.11 (12)

Nxy

523.35 (12)  
817.67 (1)

Mx

-3.34 (2)  
-4.46 (2)

Mx

-3.71 (2)  
-4.79 (2)

Mxy

$$\begin{array}{r} 1.47 \\ 2.51 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

Mxy

$$\begin{array}{r} -2.46 \\ -3.26 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

Vzx

$$\begin{array}{r} -40.67 \\ 18.11 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

Vzx

$$\begin{array}{r} -31.57 \\ 0.78 \end{array} \quad \begin{array}{l} (11) \\ (3) \end{array}$$

Vzy

$$\begin{array}{r} -3.14 \\ 4.28 \end{array} \quad \begin{array}{l} (11) \\ (2) \end{array}$$

Vzy

$$\begin{array}{r} 2.71 \\ -4.69 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

Kant 1, knutepunkt: 20-32  
**2.ETG**

Kant 2, knutepunkt 16-33  
**2. ETG**

Nx

$$\begin{array}{r} 2908.67 \\ 2714.91 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

Nx

$$\begin{array}{r} 2954.51 \\ 2726.52 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

$$\frac{2908.67}{16} = 181.79$$

$$\frac{2954.51}{16} = 184.66$$

Ny

$$\begin{array}{r} -100.89 \\ -22.87 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (1) \end{array}$$

Ny

$$\begin{array}{r} -39.87 \\ -47.28 \end{array} \quad \begin{array}{l} (1) \\ (2) \end{array}$$

$$\frac{-100.89}{16} = -6.31$$

$$\frac{-47.28}{16} = -2.96$$

My

$$\begin{array}{r} 1.82 \\ 4.96 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (2) \end{array}$$

My

$$\begin{array}{r} -7.26 \\ -0.49 \end{array} \quad \begin{array}{l} (1) \\ (1) \end{array}$$

$$\frac{4.96}{16} = 0.31$$

$$\frac{-7.26}{16} = -0.45$$

## **E.5: Dimensjonering forbindelse dekke - veggplate**

### **Oversiktsliste:**

- |       |  |
|-------|--|
| E.5-1 | Skruens aksialkapasitet                        |
| E.5-2 | Skruens tverrkapasitet                         |
| E.5-3 | Belastning horisontal stålplate                |
| E.5-4 | Belastning vertikal stålplate                  |
| E.5-5 | Kapasitet til plateforbindelsen - horisontal   |
| E.5-6 | Kapasitet til plateforbindelsen - vertikal     |
| E.5-7 | Kontroll av bruddformer stålplate - horisontal |
| E.5-8 | Kontroll av bruddformer stålplate - vertikal   |

## E.5-1 Skruens aksialkapasitet

ORIGIN := 1

### Skrue/plate forbindelse mellom vegg og etasjeskiller:

Materialdata: HBS Plate fra Rothoblaas

Utvendig gjenge-diameter: [mm]  $d := 8$

Innvendig gjenge-diameter: [mm]  $d_1 := 5.4$

Skruehodets diameter: [mm]  $d_h := 14.5$

Forboring diameter: [mm]  $d_v := 5.0$

Skruens lengde: [mm]  $l_s := 120$

Karakteristisk flytemoment: [Nmm]  $M_{y,k} := 20100$

Karakteristisk uttrekkskapasitet parameter: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{ax,k} := 11.7$

Hulldiameter plate: [mm]  $d_0 := 11$

Karakteristisk strekkfasthet parameter: [N]  $f_{tens,k} := 20100$

Karakteristisk gjennomtrekningsmotstand: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{head,k} := 10.5$

Karakteristisk flytegrense til skruen: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{y,k} := 1000$

Tilhørende densitet for skruene: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_a := 350$

Karakteristisk densitet: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_k := 360$

Antall skruer:  $n := 14$

Tykkelse stålplate:  $t_{steel} := 8$

Partialfaktoren for forbindelsen:

$$\gamma_{M.timber} := 1.25$$

prEN 1995-1-1 Tabell 4.3a

$$\gamma_{M.steel} := 1.05$$

NS-EN 1993 NA.2.2(2)

$$\gamma_{M.screw} := 1.25$$

Fasthetsfaktor som tar hensyn til virkningen av lastvarigheten og fuktinnholdet:

$$k_{mod} := 0.9$$

prEN 1995-1-1 Tabell 5.1

### 10.7.2 Aksialbelastede skruer:

Minste avstander, wide face, forutsatt total tykkelse  $t > 12d$ :

Forutsatt totalt tykkelse:

$$12 \cdot d = 96$$

prEN 1995-1-1 10.7.2(2)

$$t := 45 + 45 + 45 + 45 + 40 = 220$$

$$220 > 96$$

OK

Minsteavstander mellom tverrbelastede skruer:

HBS Plate Rothoblaas

$\alpha := 0 \text{ deg}$  - vinkel mellom fiberretning og last

Avstand parallellt med fiberretning:

$$a_{1.min} := 5 \cdot d \cdot 0.7 = 28$$

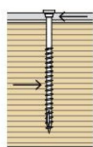
Avstand vinkelrett med fiberretning:

$$a_{2.min} := 3 \cdot d \cdot 0.7 = 16.8$$

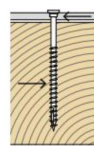
Avstand fra sentrum skruer i trevirke til belastet kant:

$$a_{4.t.min} := 3 \cdot d = 24$$

#### MINIMUM DISTANCES FOR SHEAR LOADS | STEEL-TO-TIMBER



Load-to-grain angle  $\alpha = 0^\circ$



Load-to-grain angle  $\alpha = 90^\circ$

| SCREWS INSERTED WITH PRE-DRILLING HOLE |      |                       |    |     | SCREWS INSERTED WITH PRE-DRILLING HOLE |                       |    |    |    |
|--|------|-----------------------|----|-----|--|-----------------------|----|----|----|
| $d_1$                                  | [mm] | 8                     | 10 | 12  |  | 8                     | 10 | 12 |    |
| $a_1$                                  | [mm] | $5 \cdot d \cdot 0.7$ | 28 | 35  | 42                                     | $4 \cdot d \cdot 0.7$ | 22 | 28 | 34 |
| $a_2$                                  | [mm] | $3 \cdot d \cdot 0.7$ | 17 | 21  | 25                                     | $4 \cdot d \cdot 0.7$ | 22 | 28 | 34 |
| $a_{3,t}$                              | [mm] | $12 \cdot d$          | 96 | 120 | 144                                    | $7 \cdot d$           | 56 | 70 | 84 |
| $a_{3,c}$                              | [mm] | $7 \cdot d$           | 56 | 70  | 84                                     | $7 \cdot d$           | 56 | 70 | 84 |
| $a_{4,t}$                              | [mm] | $3 \cdot d$           | 24 | 30  | 36                                     | $7 \cdot d$           | 56 | 70 | 84 |
| $a_{4,c}$                              | [mm] | $3 \cdot d$           | 24 | 30  | 36                                     | $3 \cdot d$           | 24 | 30 | 36 |

Kontrollerer mot avstandskrav fra stål: Tabell 3.3 NS-EN 1993-1-8

**Minimumsavstander:**

Hullavstand horisontalt:

$$p_2 := 1.2 \cdot d_0 = 13.2$$

Hullavstand vertikalt:

Innbyrdet forskjøvet skruerader

$$p_1 := 2.2 \cdot d_0 = 24.2$$

Endeavstand horisontalt:

$$e_1 := 1.2 \cdot d_0 = 13.2$$

Kantavstand vertikalt:

$$e_2 := 1.2 \cdot d_0 = 13.2$$

Skrå avstand mellom hullrader:

$$L := 2.4 \cdot d_0 = 26.4$$

**Maksimumsavstander:**

Hullavstand horisontalt:

$$p_{1,max} := 14 \cdot t_{steel} = 112$$

Hullavstand vertikalt:

Innbyrdet forskjøvet skruerader

$$p_{2,max} := 14 \cdot t_{steel} = 112$$

Ingen krav til  $e_1$  og  $e_2$  da stålet ikke utsettes for klimatiske påvirkninger eller andre korrosive påvirkninger.

Velger avstander som er innenfor avstandskrav:

$$a_1 := 30$$

$$e_1 := 50$$

Velger  $e_1 = e_2 = 50$  for å lage lik avstand mellom sveis og første rad lik Rothoblaas.

$$a_2 := 30$$

$$e_2 := 50$$

Må ha  $e_1 = e_2$  da kreftene virker horisontalt og vertikalt

**Effektiv inntrengelsesdybde til skruen:**

Vinkel mellom fiberretning og skrueakse:  $\varepsilon := 90 \text{ deg}$

$$l_{ef1} := 95 - d = 87$$

$$l_{ef1} > \min\left\{\left(\frac{6 d}{\sin(\varepsilon)}\right); 20d\right\} \quad (10.37 \text{ g})$$

$$l_{efa} := \frac{6 d}{\sin(\varepsilon)} = 48$$

$$l_{efb} := 20 d = 160$$

$$l_{ef1} = 87$$

OK

$$l_{ef2} := 95 - d = 87$$

$$l_{ef2} > \min\left\{\left(\frac{4 d}{\sin(\varepsilon)}\right); 20d\right\} \quad (\text{ETA-11/0030})$$

$$l_{efc} := \frac{4 d}{\sin(\varepsilon)} = 32$$

$$l_{efd} := 20 d = 160$$

$$l_{ef2} = 87$$

OK

**Minimum inntrengelsesdybde:**

$$6 d = 48$$

prEN 1995-1-1 10.7.2(3)

Gjenget del av skruen = 95 mm

$$l_{ef2} = 87$$

OK

Karakteristisk uttrekkskapasitet:

$$n_{ef} := n^{0.9} = 10.753 \quad (10.44)$$

$$k_{\beta} := 1 \quad (10.40)$$

$$k_{ax} := 1 \quad (10.39)$$

$$6 \leq d \leq 12 \quad d = 8 \quad OK \quad (10.38 \text{ b})$$

$$\frac{d_1}{d} = 0.7 \quad OK \quad (10.38 \text{ c})$$

$$\beta := 90 \text{ deg} \quad OK \quad (10.40 \text{ a})$$

$$f_{ax.90.k} := 10 \quad \frac{N}{mm^2} \quad (10.41 \text{ a})$$

Timber

$$F_{ax.\varepsilon.Rk1} := \frac{n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax.90.k} \cdot d \cdot l_{ef1}}{k_{\beta}} \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 7.654 \cdot 10^4 \quad (10.38)$$

CLT

$$F_{ax.\varepsilon.Rk2} := \frac{n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef2}}{k_{\beta}} \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 8.956 \cdot 10^4 \quad (\text{ETA-11/0030})$$

Karakteristisk uttrekkskapasitet:

$$F_{ax.\varepsilon.Rk} := F_{ax.\varepsilon.Rk2} = 8.956 \cdot 10^4 \quad N$$

**Karakteristisk gjennomtrekningsmotstand, skruehodet:**

$$F_{ax.\varepsilon.Rk3} := n_{ef} \cdot f_{head.k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 2.428 \cdot 10^4 \quad (10.42)$$

Ikke relevant da sammenføyningen har stålplate mellom tre og skruehode, forbindelsen skal ikke trekke sammen 2 tredeler.

**Karakteristisk strekkfasthet:**

$$F_{t.Rk} := n_{ef} \cdot f_{tens.k} = 2.161 \cdot 10^5 \quad (10.43)$$

**Karakteristisk trykkfasthet:**

$$\varepsilon := 90 \text{ deg} \quad k_c := 0.6 \quad \text{Tabell 10.6a}$$

$$N_{pl.k} := \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y.k} = 2.29 \cdot 10^4 \quad (10.43 \text{ c})$$

$$F_{b.Rk} := 1.18 \cdot k_c \cdot N_{pl.k} \cdot n_{ef} = 1.744 \cdot 10^5 \quad (10.43 \text{ b})$$

$$F_{c.\alpha.Rk} := \min(F_{ax.\varepsilon.Rk}, F_{b.Rk}) \quad (10.43 \text{ a})$$

$$F_{c.\alpha.Rk} := F_{ax.\varepsilon.Rk} = 8.956 \cdot 10^4 \quad N$$

$$F_{c.\alpha.Rk} := \frac{F_{c.\alpha.Rk}}{n} = 6.397 \cdot 10^3 \quad N$$

**Skrueens karakteristiske aksialkapasitet blir da:**

$$\frac{F_{ax.\varepsilon.Rk}}{n} = 6.397 \cdot 10^3$$

## E.5-2 Skruens tverrkapasitet

ORIGIN := 1

Materialdata: HBS Plate fra Rothoblaas

Utvendig gjenge-diameter: [mm]  $d := 8$

Innvendig gjenge-diameter: [mm]  $d_1 := 5.4$

Skruhodets diameter: [mm]  $d_h := 14.5$

Forboring diameter: [mm]  $d_v := 5.0$

Skruens lengde: [mm]  $l_s := 120$

Karakteristisk flytemoment: [Nmm]  $M_{y.k} := 20100$

Karakteristisk uttrekkskapasitet  
parameter: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{ax.k} := 11.7$

Hulldiameter plate: [mm]  $d_0 := 11$

Karakteristisk strekkfasthet parameter:  
[N]  $f_{tens.k} := 20100$

Karakteristisk  
gjennomtrekningsmotstand: [N/mm<sup>2</sup>]  $f_{head.k} := 10.5$

Karakteristisk flytegrense til skruen:  
[N/mm<sup>2</sup>]  $f_{y.k} := 1000$

Tilhørende densitet for skruene: [kg/  
m<sup>3</sup>]  $\rho_a := 350$

Karakteristisk densitet: [kg/m<sup>3</sup>]  $\rho_k := 360$

Antall skruer:  $n := 14$

Tykkelse stålplate:  $t_{steel} := 8$

Partialfaktoren for forbindelsen:

$$\gamma_{M.timber} := 1.25$$

prEN 1995-1-1 Tabell 4.3a

$$\gamma_{M.steel} := 1.05$$

NS-EN 1993 NA.2.2(2)

$$\gamma_{M.screw} := 1.25$$

Fasthetsfaktor som tar hensyn til virkningen av lastvarigheten og fuktinnholdet:

$$k_{mod} := 0.9$$

prEN 1995-1-1 Tabell 5.1

### 10.7.1 Tverrbelastede skruer:

#### Karakteristisk forankringsstyrke:

Vinkel mellom skruens akse og *wide face*:  $\beta := 90 \text{ deg}$

Vinkel mellom skruens akse og fiberretning:  $\varepsilon := 90 \text{ deg}$

$$k_c := \min\left(\frac{d}{d-2}, 3\right) \quad (10.33 \text{ a})$$

$$k_{c1} := \frac{d}{d-2} = 1.333$$

$$k_{c2} := 3$$

$$k_c := k_{c1} = 1.333$$

Pre-drilled softwood LVL:

$$f_{h.k1} := \frac{0.082 \rho_k \cdot (1 - 0.01 \cdot d)}{\left(k_c \cdot (\cos(\beta))^2 + (\sin(\beta))^2\right) \left(2.5 \cdot (\cos(\varepsilon))^2 + (\sin(\varepsilon))^2\right)} = 27.158 \quad (10.37 \text{ c})$$

Pre-drilled softwood CLT:

$$f_{h.k2} := \frac{0.082 \rho_k \cdot (1 - 0.01 \cdot d)}{\left(2.5 \cdot (\cos(\varepsilon))^2 + (\sin(\varepsilon))^2\right)} = 27.158 \quad \text{ETA-11/0030}$$

Skruens karakteristiske forankringsstyrke:

$$f_{h.k} := f_{h.k2} = 27.158 \quad \frac{N}{mm^2}$$

### 10.2.3 Stål mot tre forbindelser

Karakteristisk kapasitet for hver forbindelse per snitt:

$$t_1 := 95 - d = 87 \quad \text{Inntrengelsesdybde}$$

$$M_{y.Rk} := M_{y.k} \quad \text{HBS Plate Rothoblaas}$$

$$F_{v.Rk1} := f_{h.k} \cdot t_1 \cdot d = 1.89 \cdot 10^4 \quad (10.10 \text{ c})$$

$$F_{v.Rk2} := f_{h.k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) = 8.154 \cdot 10^3 \quad (10.10 \text{ d})$$

$$F_{v.Rk3} := 2.3 \cdot \sqrt{M_{y.Rk} \cdot f_{h.k} \cdot d} = 4.806 \cdot 10^3 \quad (10.10 \text{ e})$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk1}, F_{v.Rk2}, F_{v.Rk3})$$

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk3}$$

$$F_{v.Rk} = 4.806 \cdot 10^3$$

### Taueffekt etter 10.2.2(2):

For enkeltsnittede forbindere settes den karakteristiske uttrekkskapasiteten  $F_{ax,Rk}$  som den minste av  $F_{ax}$ ,  $R_k$  og  $F_{v,Rk} \cdot 100\%$  (for skruer)

$$F_{v,Rk} = 4.806 \cdot 10^3 \quad F_{ax,\varepsilon,Rk} := 6.397 \cdot 10^3 \quad F_{ax,Rk} := F_{ax,\varepsilon,Rk}$$

$$\Delta F_{vk} := \min \left( F_{v,Rk}, \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right) \quad \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1.599 \cdot 10^3$$

Taueffekt blir da:

$$\Delta F_{vk} := \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1.599 \cdot 10^3$$

$$F_{v,Rkc} := F_{v,Rk1} = 1.89 \cdot 10^4 \quad (10.10 \ c)$$

$$F_{v,Rkd} := F_{v,Rk2} + \Delta F_{vk} = 9.754 \cdot 10^3 \quad (10.10 \ d)$$

$$F_{v,Rke} := F_{v,Rk3} + \Delta F_{vk} = 6.406 \cdot 10^3 \quad (10.10 \ e)$$

$$F_{v,Rk} := \min (F_{v,Rkc}, F_{v,Rkd}, F_{v,Rke})$$

$$F_{v,Rk} := F_{v,Rke}$$

Tverrkapasiteten til en enkelt skrue:

$$F_{v,Rk} = 6.406 \cdot 10^3 \quad N$$

### E.5-3 Belastning horisontal stålplate

ORIGIN := 1

Valgte avstander i stålplaten: [mm]

$$p_1 := 30$$

$$p_2 := 30$$

$$n := 14$$

$$e_1 := 50$$

$$e_2 := 50$$

$$d_0 := 11$$

$$s := 15$$

$$b := 220$$

$$h := 160$$

**Moment My:**

Moment My fra skall 12 kant 32-33 med lengde 3.5m  $M_y := 11.49 \text{ kNm}$

$$M_y := 3.28 \cdot 10^6 \frac{Nmm}{mm}$$

$$I_p := \left( \left( \frac{p_2}{2} \right)^2 \cdot 2 \right) + \left( (p_2)^2 \cdot 4 \right) + \left( \left( \frac{3 p_2}{2} \right)^2 \cdot 2 \right) + \left( (2 \cdot p_2)^2 \cdot 4 \right) + \left( (p_1)^2 \cdot 10 \right) = 3.15 \cdot 10^4$$

$$FM := \frac{M_y}{I_p} \cdot p_1 = 3.124 \cdot 10^3$$

$$N_{\text{enkelt.skrue}} := FM = 3.124 \cdot 10^3 \quad N$$

$$N_{\text{vertikal.plate}} := FM \cdot n = 4.373 \cdot 10^4 \quad N$$

**Normalkraft Nx og Ny som gir skjærbelastning:**

Normalkraft Nx fra skall 12 kant 33-35 med lengde 2.288m  $N_x := 18.58 \text{ kN}$

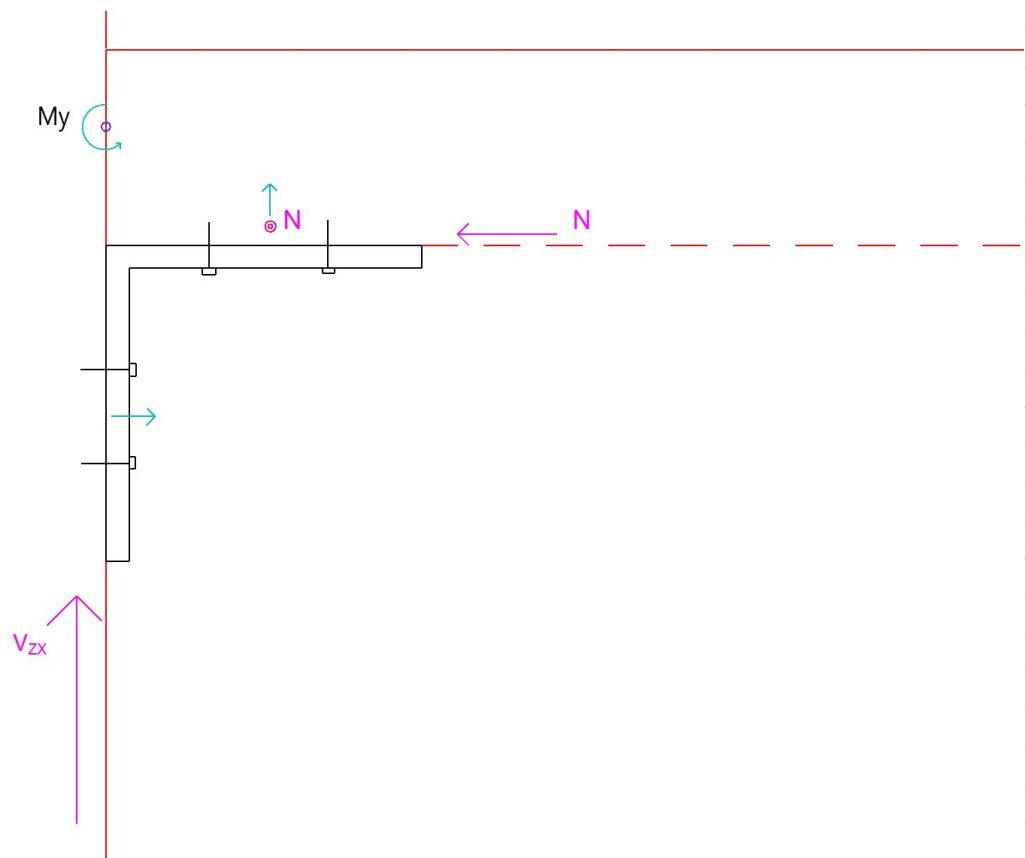
Normalkraft Ny fra skall 6 kant 32-33 med lengde 3.5m  $N_y := 28.48 \text{ kN}$

$$N_x := 8.14 \cdot 10^3 \frac{N}{m} \quad N_y := 8.14 \cdot 10^3 \frac{N}{m}$$

$$V_{\text{horisontal.plate}} := \sqrt{N_x^2 + N_y^2} = 1.151 \cdot 10^4 \frac{N}{m}$$

$$V_{\text{enkelt.skrue}} := \frac{V_{\text{horisontal.plate}}}{14} = 822.264 \frac{N}{m}$$

Figur under viser skisse over lastsituasjon for forbindelsen.



### E.5-4 Belastning vertikal stålplate

ORIGIN := 1

Valgte avstander i stålplaten: [mm]

$$p_1 := 30$$

$$p_2 := 30$$

$$n := 14$$

$$e_1 := 50$$

$$e_2 := 50$$

$$d_0 := 11$$

$$s := 15$$

$$b := 220$$

$$h := 160$$

**Moment My:**

Moment My fra skall 12 kant 32-33 med lengde 3.5m  $M_y := 11.49 \text{ kNm}$

$$M_y := 3.28 \cdot 10^6 \frac{\text{Nmm}}{\text{mm}}$$

$$I_p := \left( \left( \frac{p_2}{2} \right)^2 \cdot 2 \right) + \left( (p_2)^2 \cdot 4 \right) + \left( \left( \frac{3 p_2}{2} \right)^2 \cdot 2 \right) + \left( (2 \cdot p_2)^2 \cdot 4 \right) + \left( (p_1)^2 \cdot 10 \right) = 3.15 \cdot 10^4$$

$$FM := \frac{M_y}{I_p} \cdot p_1 = 3.124 \cdot 10^3$$

$$N_{\text{enkelt.skrue}} := FM = 3.124 \cdot 10^3 \quad N$$

$$N_{\text{vertikal.plate}} := FM \cdot n = 4.373 \cdot 10^4 \quad N$$

**Skjærkraft Vzx:**

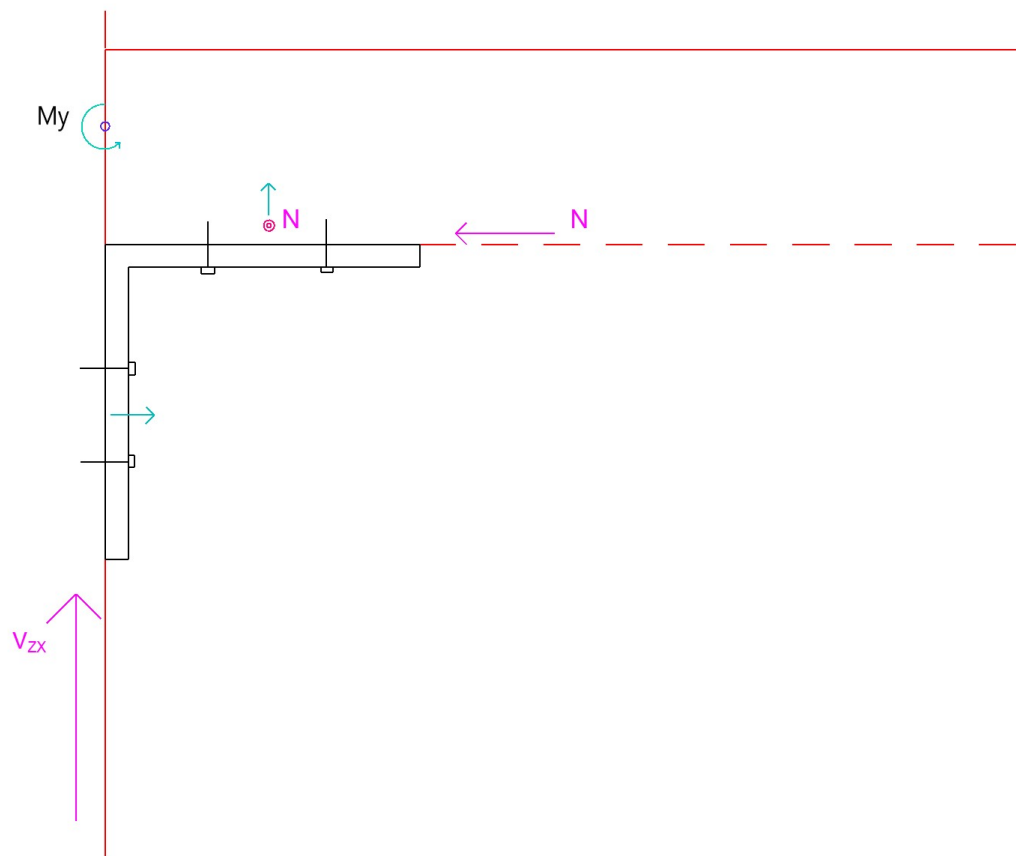
Skjærkraft Vzx fra skall 6 kant 20-21 med lengde 1.17m  $V_{zx} := 32.79 \text{ kN}$

$$V_{zx} := 28.03 \cdot 10^3 \frac{N}{m}$$

$$V_{\text{enkelt.skrue}} := \frac{V_{zx}}{n} = 2.002 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m}$$

$$V_{\text{vertikal.plate}} := V_{zx} = 2.803 \cdot 10^4 \quad \frac{N}{m}$$

Figur under viser skisse over lastsituasjonen for forbindelsen.



### E.5-5 Kapasitet til plateforbindelsen - horisontal

ORIGIN := 1

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_M := 1.25 \quad \text{prEN 1995-1-1 Tabell 4.3a}$$

$$k_{def} := 1$$

**Kapasitet til skruer i horisontal plate:**

**Aksialkapasitet per skrue:**

$$F_{ax.Rk.h} := 6.397 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{ax.Rd.h} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk.h}}{\gamma_M} = 4.606 \cdot 10^3 \quad N \quad (4.14 \ b)$$

**Skjærkapasitet per skrue:**

$$F_{v.Rk.h} := 6.406 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Rd.h} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk.h}}{\gamma_M} = 4.612 \cdot 10^3 \quad N \quad (4.14 \ b)$$

**Belastning til skruer i horisontal plate:**

**Aksialbelastning per skrue:** Fra belastning horisontal plate

$$N_{enkelt.skrue} := 3.124 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{ax.Ed.h} := N_{enkelt.skrue} = 3.124 \cdot 10^3 \quad N$$

**Skjærbelastning per skrue:** Fra belastning horisontal plate

$$V_{enkelt.skrue} := 822.264 \quad N$$

$$F_{v.Ed.h} := V_{enkelt.skrue} = 822.264 \quad N$$

**Kontroll Aksial:**

$$F_{ax.Rd} \geq F_{ax.Ed}$$

$$F_{ax.Rd.h} = 4.606 \cdot 10^3 >$$

$$F_{ax.Ed.h} = 3.124 \cdot 10^3$$

$$R_{ax.Rd.Rothoblaas} := 6.912 \cdot 10^3$$

Fra HBS Plate Rothoblaas

**Kontroll Skjær:**

$$F_{v.Rd} \geq F_{v.Ed}$$

$$F_{v.Rd.h} = 4.612 \cdot 10^3 >$$

$$F_{v.Ed.h} = 822.264$$

$$R_{v.Rd.Rothoblaas} := 4.457 \cdot 10^3$$

Fra HBS Plate Rothoblaas

**10.7.3(1) Kombinert tverrbelastede og aksialt belastede skrueforbindelser:**

For skrueforbindelser som utsettes for en kombinasjon av aksial last og tverrlast, må betingelsen i uttrykk (10.28) oppfylles.

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (10.28)$$

$$\left( \frac{F_{ax.Ed.h}}{F_{ax.Rd.h}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed.h}}{F_{v.Rd.h}} \right)^2 = 0.492 \quad OK$$

## E.5-6 Kapasitet til plateforbindelsen - vertikal

ORIGIN := 1

$$k_{mod} := 0.9$$

$$\gamma_M := 1.25 \quad \text{prEN 1995-1-1 Tabell 4.3a}$$

$$k_{def} := 1$$

**Kapasitet til skruer i vertikal plate:**

**Aksialkapasitet per skrue:**

$$F_{ax.Rk.v} := 6.397 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{ax.Rd.v} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk.v}}{\gamma_M} = 4.606 \cdot 10^3 \quad N \quad (4.14 \text{ b})$$

**Skjærkapasitet per skrue:**

$$F_{v.Rk.v} := 6.406 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Rd.v} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk.v}}{\gamma_M} = 4.612 \cdot 10^3 \quad N \quad (4.14 \text{ b})$$

**Belastning til skruer i vertikal plate:**

**Aksialbelastning per skrue:** Fra belastning vertikal plate

$$N_{enkelt.skrue} := 3.124 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{ax.Ed.v} := N_{enkelt.skrue} = 3.124 \cdot 10^3 \quad N$$

**Skjærbelastning per skrue:** Fra belastning vertikal plate

$$V_{enkelt.skrue} := 2.002 \cdot 10^3 \quad N$$

$$F_{v.Ed.v} := V_{enkelt.skrue} = 2.002 \cdot 10^3 \quad N$$

**Kontroll Aksial:**

$$F_{ax.Rd} \geq F_{ax.Ed}$$

$$F_{ax.Rd.v} = 4.606 \cdot 10^3 > F_{ax.Ed.v} = 3.124 \cdot 10^3$$

$$R_{ax.Rd.Rothoblaas} := 6.912 \cdot 10^3$$

**Kontroll Skjær:**

$$F_{v.Rd} \geq F_{v.Ed}$$

$$F_{v.Rd.v} = 4.612 \cdot 10^3 > F_{v.Ed.v} = 2.002 \cdot 10^3$$

$$R_{v.Rd.Rothoblaas} := 4.457 \cdot 10^3$$

**10.7.3(1) Kombinert tverrbelastede og aksialt belastede skrueforbindelser:**

For skrueforbindelser som utsettes for en kombinasjon av aksial last og tverrlast, må betingelsen i uttrykk (10.28) oppfylles.

$$\left( \frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (10.28)$$

$$\left( \frac{F_{ax.Ed.v}}{F_{ax.Rd.v}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v.Ed.v}}{F_{v.Rd.v}} \right)^2 = 0.648$$

## E.5-7 Kontroll av bruddformer stålplate - horisontal

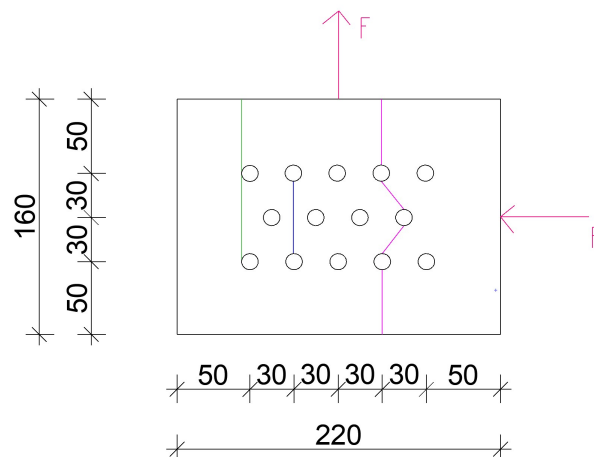
ORIGIN := 1

### Kontroll av grunnmaterialet:

|   |                       |                |
|---|-----------------------|----------------|
| Fasthetsklasse skruer: HBS Plate                          | 10.9                  |                |
| $f_{u,b}$ [N/mm <sup>2</sup> ]:                           | $f_{u,b} := 1000$     |                |
| $f_{y,b}$ [N/mm <sup>2</sup> ]:                           | $f_{y,b} := 900$      |                |
| Partialfaktor:  | $\gamma_{M2} := 1.25$ | NS-EN 1993-1-8 |
|   | $\gamma_{M0} := 1.05$ |                |
| Diameter ugjenget del skrue [mm]:                         | $d_s := 5.8$          |                |
| Ytre gjengediameter [mm]:                                 | $d := 8$              |                |
| Innvendig gjengediameter [mm]:                            | $d_1 := 5.4$          |                |
| Grunnmaterialets bruddfasthet, S355 [N/mm <sup>2</sup> ]: | $f_u := 510$          |                |
| Grunnmaterialets flytegrense [N/mm <sup>2</sup> ]:        | $f_y := 355$          |                |
| Tykkelsen til stålplaten [mm]:                            | $t := 8$              |                |
| Hulldiameter [mm]:  | $d_0 := 11$           |                |
| Antall skruer:  | $n := 14$             |                |

### Valgte avstander i stålplaten:

|             |             |            |
|-------------|-------------|------------|
| $p_1 := 30$ | $p_2 := 30$ | $b := 220$ |
| $e_1 := 50$ | $e_2 := 50$ | $h := 160$ |
| $s := 15$   |             |            |



**Tabell 3.4 - Dimensjonerende kapasitet for individuelle festemidler påkjent av avskjæring og/eller strekk:**

**Avskjæringskapasitet per snitt:**

$A := 26.56$  Interpolert areal fra tilsvarende M-klasse skruer

$\alpha_v := 0.5$

$$F_{v.Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{u.b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1.062 \cdot 10^4 \quad (\text{Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8})$$

Total avskjæringskapasitet:

$$F_{v.Rd} := F_{v.Rd} \cdot n = 1.487 \cdot 10^5$$

Denne avskjæringskapasiteten er regnet ut i fra M-klasse skruer, og er derfor ikke representativ for videre beregning. Bytter derfor ut verdien  $F_{v.Rd}$  med skjærkapasitet beregnet med prEN 1995-1-1.

$$F_{v.Rd} := \frac{6.406 \cdot 10^3}{\gamma_{M2}} \cdot n = 7.175 \cdot 10^4$$

Kmod utelates her da det ses på kapasiteten til skruen mot stålplaten og ikke mot trevirket.

**Kapasitet for hullkanttrykk:** Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8

$$k_1 := \min \left( 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) \quad k_{1.1} := 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 11.027$$

$$k_{1.2} := 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 2.118 \quad k_{1.3} := 2.5$$

$$k_1 := k_{1.2} = 2.118 \quad \alpha_{d.1} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 1.515$$

$$\alpha_{b.2} := \frac{f_{u.b}}{f_u} = 1.961 \quad \alpha_{d.2} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0.659$$

$$\alpha_b := \min \left( \alpha_d, \frac{f_{u.b}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_d := \alpha_{d.2}$$

$$\alpha_b := \alpha_{d.2} = 0.659 \quad \alpha_{b.3} := 1.0$$

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2.643 \cdot 10^4$$

(Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8)

Totalt hullkanttrykkapasitet:

$$F_{b.Rd} := F_{b.Rd} \cdot n = 3.7 \cdot 10^5$$

**Strekkapasitet:** Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8

$$A_s := 16.56 \quad \text{Interpolert areal fra tilsvarende M-klasse skruer}$$

$$k_2 := 0.9$$

$$F_{t.Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{u.b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1.192 \cdot 10^4$$

(Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8)

Total strekkapasitet:

$$F_{t.Rd} := F_{t.Rd} \cdot n = 1.669 \cdot 10^5$$

Denne strekkapasiteten er regnet ut i fra M-klasse skruer, og er derfor ikke representativ for videre beregning. Bytter derfor ut verdien  $F_{t.Rk}$  med  $R_{tens.k}$  fra Rothoblaas, tabell på nederste ark

$$F_{t.Rd} := \frac{2.010 \cdot 10^4}{\gamma_{M2}} \cdot n = 2.251 \cdot 10^5$$

Kmod utelates her da det ses på kapasiteten til skruen mot stålplaten og ikke mot trevirket.

**Kontroll utrivning av grunnmaterialet:**

**Blokkutrivning:** 3.10.2 NS-EN 1993-1-8

$$A_{nt} := ((2 \cdot p_1) - d_0) \cdot t = 392$$

$$A_{nv} := ((p_1 + p_1 + e_1) - (1.5 \cdot d_0)) \cdot t = 748$$

Ant og Anv velges konservativt med tanke på at plate angripes med krefter på begge sider. Ant er blå strek og Anv er grønn strek i figur ovenfor.

Total kapasitet mot blokkutrivning:

$$V_{eff.1.Rd} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} = 3.059 \cdot 10^5 \quad (3.9)$$

**Strekk:**

**Brudd i bruttotverrsnitt: 10.5.1 i Dimensjonering av stålkonstruksjoner av PKL**

$$A := h \cdot t = 1.28 \cdot 10^3$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 4.328 \cdot 10^5 \quad (10.10)$$

**Brudd i nettotverrsnitt: 10.5.1 i Dimensjonering av stålkonstruksjoner av PKL**

$$A_{net} := \left( (e_1 + s + s + e_1) - (3 \cdot d_0) \right) \cdot t = 776$$

$$N_{u.Rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2.849 \cdot 10^5 \quad (10.10)$$

$$N_{pl.Rd} > N_{u.Rd}$$

Forbindelsen tilfredsstiller ikke kravet til duktilitet. Men avskjæringskapasitet er fortsatt dimensjonerende.

**Kontroll av strekk i grunnmaterialet:** Som følge av total strekkraft i to retninger på platen.

$$N_{t.Rd} := \min(N_{pl.Rd}, N_{u.Rd})$$

$$N_{t.Rd} := N_{u.Rd} = 2.849 \cdot 10^5$$

$$N_{horizontal.plate} := 1.628 \cdot 10^4$$

Total aksialkraft summert fra belastning horisontal plate,  $N_x + N_y$

$$N_{Ed} := N_{horizontal.plate}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t.Rd}} = 0.057$$

OK

**Kontroll kombinert avskjæring og strekk:**

$$F_{v.Ed} := N_{horizontal.plate} = 1.628 \cdot 10^4$$

$$F_{t.Ed} := 4.373 \cdot 10^4$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.Ed}}{1.4 \cdot F_{t.Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8})$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.Ed}}{1.4 \cdot F_{t.Rd}} = 0.366 \quad OK$$

**Kontroll hullkanttrykk:** For alle skruehull

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{Tabell 3.2 NS-EN 1993-1-8})$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.044 \quad OK$$

**Kontroll avskjæring:** For alle skruer

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{Tabell 3.2 NS-EN 1993-1-8})$$

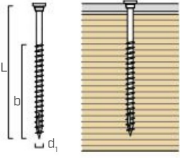

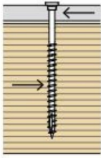
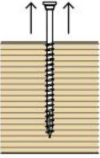
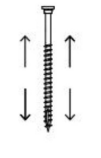
$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.227 \quad OK$$

**Kontroll blokkutrivning:** Som følge av total aksialkraft i to retninger på platen.

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff.1.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff.1.Rd}} = 0.053 \quad OK$$

# Kapasitetstabell fra teknisk datablad HBS Plate Rothoblaas

|   |           |           | SHEAR   |   | TENSION  |   |
|---|-----------|-----------|---|---|--|---|
| geometry  |           |           | thin steel-to-timber plate <sup>(1)</sup>   | thick steel-to-timber plate <sup>(2)</sup>  | thread withdrawal <sup>(3)</sup>   | steel tension   |
|  |           |           |  |  |  |  |
| d <sub>1</sub><br>[mm]  | L<br>[mm] | b<br>[mm] | R <sub>V,k</sub><br>[kN]  | R <sub>V,k</sub><br>[kN]  | R <sub>ax,k</sub><br>[kN]  | R <sub>tens,k</sub><br>[kN]   |
| 8   | 80        | 55        | 4,07  | 5,18  | 5,56   | 20,10   |
|   | 100       | 75        | 4,58  | 5,69  | 7,58   |   |
|   | 120       | 95        | 5,08  | 6,19  | 9,60   |   |
|   | 140       | 110       | 5,36  | 6,57  | 11,11  |   |
|   | 160       | 130       | 5,36  | 7,08  | 13,13  |   |
| 10  | 100       | 75        | 6,01  | 7,84  | 9,47   | 31,40   |
|   | 120       | 95        | 6,87  | 8,47  | 12,00  |   |
|   | 140       | 110       | 7,34  | 8,95  | 13,89  |   |
|   | 160       | 130       | 7,74  | 9,58  | 16,42  |   |
|   | 180       | 150       | 7,74  | 10,21   | 18,94  |   |
| 12  | 120       | 90        | 8,19  | 10,17   | 13,64  | 33,90   |
|   | 140       | 110       | 8,94  | 10,92   | 16,67  |   |
|   | 160       | 120       | 9,32  | 11,30   | 18,18  |   |
|   | 180       | 140       | 9,55  | 12,06   | 21,21  |   |
|   | 200       | 160       | 9,55  | 12,82   | 24,24  |   |

## E.5-8 Kontroll av bruddformer stålplate - vertikal

ORIGIN := 1

### Kontroll av grunnmaterialet:

Fasthetsklasse skruer: HBS Plate

10.9

$f_{u,b}$  [N/mm<sup>2</sup>]:

$f_{u,b} := 1000$

$f_{y,b}$  [N/mm<sup>2</sup>]:

$f_{y,b} := 900$

Partialfaktor:

$\gamma_{M2} := 1.25$

NS-EN 1993-1-8

$\gamma_{M0} := 1.05$

Diameter ugjenget del skrue [mm]:

$d_s := 5.8$

Ytre gjengediameter [mm]:

$d := 8$

Innvendig gjengediameter [mm]:

$d_1 := 5.4$

Grunnmaterialets bruddfasthet, S355 [N/mm<sup>2</sup>]:

$f_u := 510$

Grunnmaterialets flytegrense [N/mm<sup>2</sup>]:

$f_y := 355$

Tykkelsen til stålplaten [mm]:

$t := 8$

Hulldiameter [mm]:

$d_0 := 11$

Antall skruer:

$n := 14$

### Valgte avstander i stålplaten:

$p_1 := 30$

$p_2 := 30$

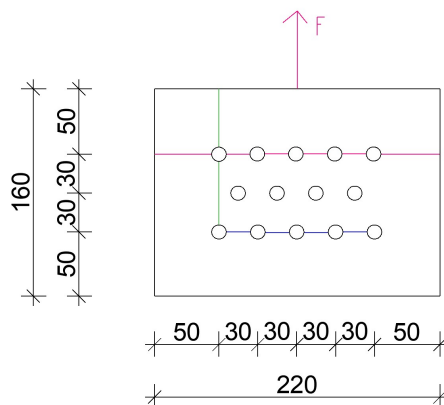
$b := 220$

$e_1 := 50$

$e_2 := 50$

$h := 160$

$s := 15$



**Tabell 3.4 - Dimensjonerende kapasitet for individuelle festemidler påkjent av avskjæring og/eller strekk:**

**Avskjæringskapasitet per snitt:**

$A := 26.56$  Interpolert areal fra tilsvarende M-klasse skruer

$$\alpha_v := 0.5$$

$$F_{v.Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{u.b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1.062 \cdot 10^4 \quad (\text{Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8})$$

Total avskjæringskapasitet:

$$F_{v.Rd} := F_{v.Rd} \cdot n = 1.487 \cdot 10^5$$

Denne avskjæringskapasiteten er regnet ut i fra M-klasse skruer, og er derfor ikke representativ for videre beregning. Bytter derfor ut verdien  $F_{v.Rd}$  med skjærkapasitet beregnet med prEN 1995-1-1.

$$F_{v.Rd} := \frac{6.406 \cdot 10^3}{\gamma_{M2}} \cdot n = 7.175 \cdot 10^4$$

Kmod utelates her da det ses på kapasiteten til skruen mot stålplaten og ikke mot trevirket.

**Kapasitet for hullkanttrykk: Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8**

$$k_1 := \min \left( 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) \quad k_{1.1} := 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 11.027$$

$$k_{1.2} := 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 2.118 \quad k_{1.3} := 2.5$$

$$k_1 := k_{1.2} = 2.118 \quad \alpha_{d.1} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 1.515$$

$$\alpha_{b.2} := \frac{f_{u.b}}{f_u} = 1.961 \quad \alpha_{d.2} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0.659$$

$$\alpha_b := \min \left( \alpha_d, \frac{f_{u.b}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_d := \alpha_{d.2}$$

$$\alpha_b := \alpha_{d.2} = 0.659 \quad \alpha_{b.3} := 1.0$$

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2.643 \cdot 10^4$$

(Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8)

Totalt hullkanttrykkapasitet:

$$F_{b.Rd} := F_{b.Rd} \cdot n = 3.7 \cdot 10^5$$

**Strekkapasitet:**

$$A_s := 16.56 \quad \text{Interpolert areal fra tilsvarende M-klasse skruer}$$

$$k_2 := 0.9$$

$$F_{t.Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{u.b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1.192 \cdot 10^4$$

(Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8)

Total strekkapasitet:

$$F_{t.Rd} := F_{t.Rd} \cdot n = 1.669 \cdot 10^5$$

Denne strekkapasiteten er regnet ut i fra M-klasse skruer, og er derfor ikke representativ for videre beregning. Bytter derfor ut verdien  $F_{t.Rk}$  med  $R_{tens.k}$  fra Rothoblaas.

$$F_{t.Rd} := \frac{2.010 \cdot 10^4}{\gamma_{M2}} \cdot n = 2.251 \cdot 10^5$$

Kmod utelates her da det ses på kapasiteten til skruen mot stålplassen og ikke mot trevirket.

**Kontroll utrivning av grunnmaterialet:**

**Blokkutrivning:** 3.10.2 NS-EN 1993-1-8

$$A_{nt} := ((p_2 \cdot 4) - (4 \cdot d_0)) \cdot t = 608$$

Ant er blå strek i figur og Anv er grønn strek i figur ovenfor.

$$A_{nv} := ((p_1 + p_1 + e_1) - (1.5 \cdot d_0)) \cdot 2 \cdot t = 1.496 \cdot 10^3$$

Total kapasitet mot blokkutrivning:

$$V_{eff.1.Rd} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} = 5.401 \cdot 10^5 \quad (3.9)$$

**Strekk:**

**Brudd i bruttotverrsnitt: 10.5.1 i Dimensjonering av stålkonstruksjoner av PKL**

$$A := b \cdot t = 1.76 \cdot 10^3$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 5.95 \cdot 10^5 \quad (10.10)$$

**Brudd i nettotverrsnitt: 10.5.1 i Dimensjonering av stålkonstruksjoner av PKL**

$$A_{net} := (b - (5 \cdot d_0)) \cdot t = 1.32 \cdot 10^3$$

$$N_{u.Rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 4.847 \cdot 10^5 \quad (10.10)$$

$$N_{pl.Rd} > N_{u.Rd}$$

Forbindelsen tilfredsstiller ikke kravet til duktilitet. Men avskjæringskapasitet er fortsatt dimensjonerende.

**Kontroll av strekk i grunnmaterialet:** Som følge av total summert skjærkraft i vinkelrett på platens plan

$$N_{t.Rd} := \min(N_{pl.Rd}, N_{u.Rd})$$

$$N_{t.Rd} := N_{u.Rd} = 4.847 \cdot 10^5$$

$$V_{zx} := 28.03 \cdot 10^3$$

Total Vzx fra belastning vertikal plate

$$N_{Ed} := V_{zx}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t.Rd}} = 0.058$$

OK

**Kontroll kombinert avskjæring og strekk:**

$$F_{v.Ed} := V_{zx} = 2.803 \cdot 10^4$$

$$F_{t.Ed} := 4.373 \cdot 10^4$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.Ed}}{1.4 \cdot F_{t.Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{Tabell 3.4 NS-EN 1993-1-8})$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.Ed}}{1.4 \cdot F_{t.Rd}} = 0.529 \quad OK$$

**Kontroll hullkanttrykk:** For alle skruehull

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{Tabell 3.2 NS-EN 1993-1-8})$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.076 \quad OK$$

**Kontroll avskjæring:** For alle skruer

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1.0 \quad (\text{Tabell 3.2 NS-EN 1993-1-8})$$

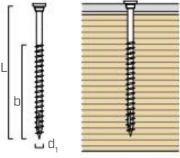
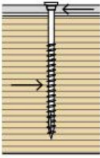
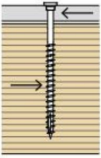
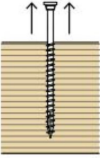
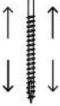
$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.391 \quad OK$$

**Kontroll blokkutrivning:** Som følge av total summert skjærkraft i vinkelrett på platens plan

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff.1.Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff.1.Rd}} = 0.052 \quad OK$$

# Kapasitetstabell fra teknisk datablad HBS Plate Rothoblaas

|   |           |           | SHEAR   |   | TENSION  |   |
|---|-----------|-----------|---|---|--|---|
| geometry  |           |           | thin steel-to-timber plate <sup>(1)</sup>   | thick steel-to-timber plate <sup>(2)</sup>  | thread withdrawal <sup>(3)</sup>   | steel tension   |
|  |           |           |  |  |  |  |
| d <sub>1</sub><br>[mm]  | L<br>[mm] | b<br>[mm] | R <sub>V,k</sub><br>[kN]  | R <sub>V,k</sub><br>[kN]  | R <sub>ax,k</sub><br>[kN]  | R <sub>tens,k</sub><br>[kN]   |
| 8   | 80        | 55        | 4,07  | 5,18  | 5,56   | 20,10   |
|   | 100       | 75        | 4,58  | 5,69  | 7,58   |   |
|   | 120       | 95        | 5,08  | 6,19  | 9,60   |   |
|   | 140       | 110       | 5,36  | 6,57  | 11,11  |   |
|   | 160       | 130       | 5,36  | 7,08  | 13,13  |   |
| 10  | 100       | 75        | 6,01  | 7,84  | 9,47   | 31,40   |
|   | 120       | 95        | 6,87  | 8,47  | 12,00  |   |
|   | 140       | 110       | 7,34  | 8,95  | 13,89  |   |
|   | 160       | 130       | 7,74  | 9,58  | 16,42  |   |
|   | 180       | 150       | 7,74  | 10,21   | 18,94  |   |
| 12  | 120       | 90        | 8,19  | 10,17   | 13,64  | 33,90   |
|   | 140       | 110       | 8,94  | 10,92   | 16,67  |   |
|   | 160       | 120       | 9,32  | 11,30   | 18,18  |   |
|   | 180       | 140       | 9,55  | 12,06   | 21,21  |   |
|   | 200       | 160       | 9,55  | 12,82   | 24,24  |   |

## E.6: Dimensjonering forbindelse vegg - vegg breddekant

ORIGIN := 1

### Kontroll av trykk-krefter mellom platene i global z-retning:

$$\gamma_M := 1.25$$

prEN 1995-1-1 Tabell 4.3a

$$k_{mod} := 0.9$$

$$f_{c.k.x} := 18.4 \frac{N}{mm^2}$$

Fra Tabell 3 Sintef Teknisk Godkjenning for Splitkon krysslimt tre

$$h_x := 220 \text{ mm}$$

Redusert tverrsnittsbredde, summerte vertikale lameller i platens lengderetning

$$b_x := 3500 \text{ mm}$$

Skallkantens lengde

$$N_x := 1578.31 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Summert trykkkraft fra skall 7 kant 17-18

### Krav fra The CLT Handbook:

$$\sigma_{c.x.d} \leq f_{c.0.xlay.d} \quad (3.45)$$

$$A_{x.net} := h_x \cdot b_x = 7.7 \cdot 10^5 \quad \text{Tabell 3.9}$$

$$f_{c.0.xlay.k} := f_{c.k.x} = 18.4 \frac{N}{mm^2}$$

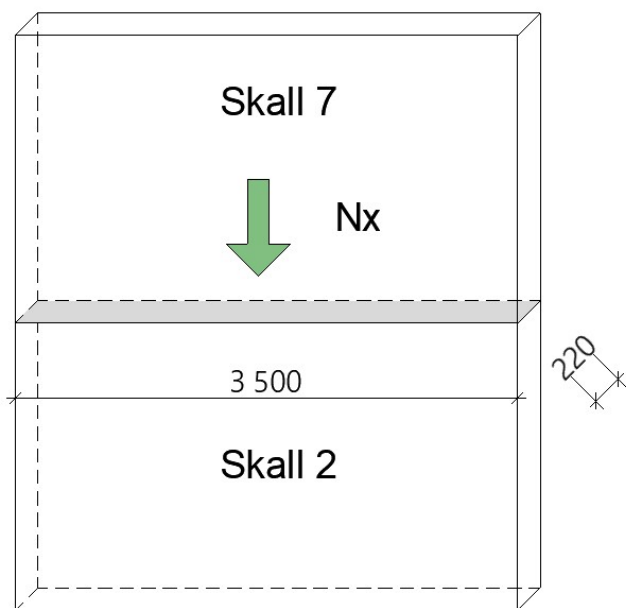
$$\sigma_{c.x.d} := \frac{N_x}{A_{x.net}} = 2.05 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c.0.xlay.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.xlay.k}}{\gamma_M} = 13.248$$

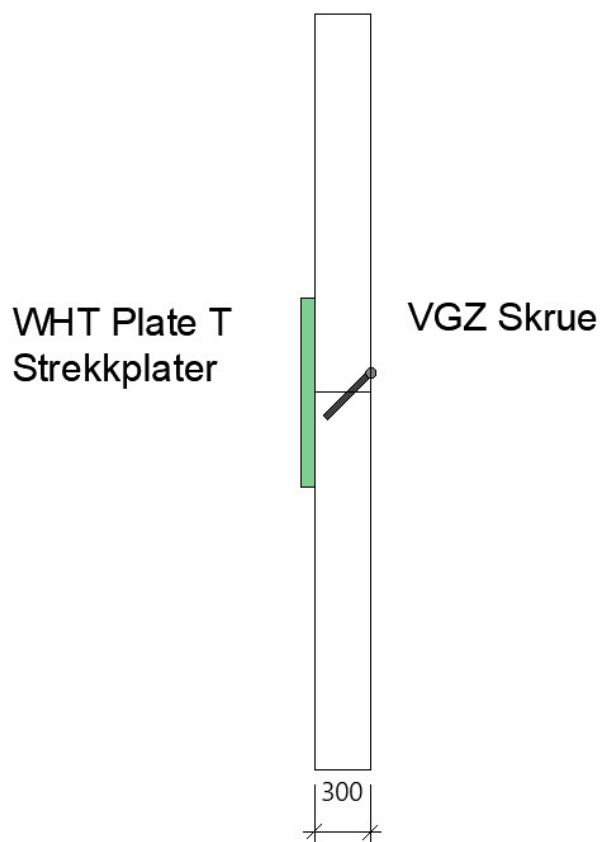
$$\frac{\sigma_{c.x.d}}{f_{c.0.xlay.d}} \leq 1.0$$

$$\frac{\sigma_{c.x.d}}{f_{c.0.xlay.d}} = 0.155 \quad OK$$

Kontaktflaten mellom platene tar opp trykket som oppstår i skallkanten og fibrene knuses ikke.



Benytter en forbindelse mellom breddekanten til veggplatene slik som vist på bildet under. Beregninger for Rothoblaas VGZ Skrue gjøres ikke i denne oppgaven. Følgende regneark tar for seg strekkbelastning og kapasitet til utvendig strekkplate



## Kontroll av strekk-krefter mellom platene i global z-retning:

ORIGIN := 1

Benytter WHT PLATE T til å ta opp strekkraft. Festes med HBS Plate skruer.

### WHT PLATE T

Total høyde plate [mm]:  $H := 820$

Bredde plate [mm]:  $B := 145$

Antall hull i platen med kamstørrelse 11 mm [stk]:  $n_{v\varnothing 11} := 80$

Godstykkelse [mm]:  $s := 5$

### HBS Plate

Ytre gjengediameter skrue [mm]:  $d_1 := 8$

Lengde skrue [mm]:  $L := 100$

Antall skruer totalt [stk]:  $n_{skruer} := 80$

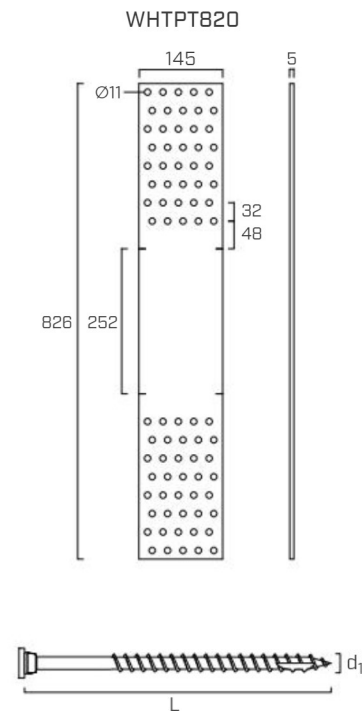
Kontroll av platen:  $k_{mod} := 0.9$

$\gamma_{M.steel} := 1.05$      $\gamma_{M.timber} := 1.25$

Kapasitet:

$R_{k.timber} := 176.1$      $kN$

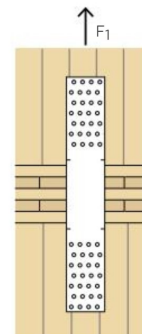
$R_{d.timber} := \frac{R_{k.timber} \cdot k_{mod}}{\gamma_{M.timber}} = 126.792$      $kN$



## ■ STATIC VALUES | TIMBER-TO-TIMBER TENSILE JOINT

WHT PLATE T

| CODE     | R <sub>1,k</sub> TIMBER    |                         |                         | R <sub>1,k</sub> STEEL |                    |
|----------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|
|          | holes fastening Ø11        |                         | R <sub>1,k</sub> timber | R <sub>1,k</sub> steel | Y <sub>steel</sub> |
|          | HBS PLATE<br>Ø x L<br>[mm] | n <sub>v</sub><br>[pcs] |                         |                        |                    |
| WHTPT600 | Ø8,0 x 80                  | 15 + 15                 | 56,8                    | 80,3                   | Y <sub>M2</sub>    |
|          | Ø8,0 x 100                 | 15 + 15                 | 62,1                    |                        |                    |
| WHTPT720 | Ø8,0 x 80                  | 28 + 28                 | 104,7                   | 135,9                  | Y <sub>M2</sub>    |
|          | Ø8,0 x 100                 | 28 + 28                 | 115,8                   |                        |                    |
| WHTPT820 | Ø8,0 x 80                  | 40 + 40                 | 158,5                   | 206,6                  | Y <sub>M2</sub>    |
|          | Ø8,0 x 100                 | 40 + 40                 | 176,1                   |                        |                    |



$$R_{k.steel} := 206.6$$

$$R_{d.steel} := \frac{R_{k.steel} \cdot k_{mod}}{\gamma_{M.steel}} = 177.086$$

### Belastning:

$N_x$  er summerte strekkrefter langs skallkant fordelt på bredden.

Er oppgitt i kN per meter plate.

$$N := 1359.76 \quad kN \quad \text{Fra skall 10 kant 20-16}$$

$$N := 1218.29 \quad kN \quad \text{Fra skall 5 kant 20-16}$$

$$N_x := \frac{1359.76 + 1218.29}{2} = 1.289 \cdot 10^3 \quad kN \quad \text{Interpolerer kreftene for midlere strekkraft som virker summert langs skallkant}$$

$$N_x := \frac{N_x}{3.5} = 368.293 \quad \frac{kN}{m} \quad \text{Dividerer på 3.5m for å finne strekkraft per meter skallkant.}$$

### Antall nødvendige plater:

$$n_{plater} := \frac{N_x}{R_{d.timber}} = 2.905$$

$$n_{plater} := 3$$

Det er behov for 3 WHT PLATE T per meter plate.

### Kontroll av skruene:

$$\gamma_{M.steel.screw} := 1.25 \quad \text{prEN 1995-1-1 Tabell 4.3a}$$

Skjærkapasitet til en skrue:

$$R_{v.k} := 4.58 \cdot 10^3 \quad N \quad \begin{array}{l} \text{Fra tabell "Static Values" HBS Plate} \\ \text{Rothoblaas. For } t=4\text{mm tykk stålplate.} \\ \text{Konservativt da brukt WHTPT820 har } t=5\text{mm.} \\ \text{Se utklipp nedenfor.} \end{array}$$

$$R_{v.d} := \frac{R_{v.k} \cdot k_{mod}}{\gamma_{M.steel.screw}} = 3.298 \cdot 10^3 \quad N$$

### Belastning:

$N_x$ -kraften fordeles på 3 plater som beregnet ovenfor. Det antas at skruene ikke belastes likt, og kontrollerer derfor om skruene på nedre del av platen tåler skjærbelastningen alene.  $N_{x.skrue}$  er kraften som hver enkelt skrue belastes med.

$$N_x = 368.293 \quad kN$$

$$N_{x.skrue} := \frac{N_x \cdot 1000}{n_{plater} \cdot \frac{n_{skruer}}{2}} = 3.069 \cdot 10^3 \quad N$$

Kontroll:

$$\frac{N_{x.skrue}}{R_{v.d}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{x.skrue}}{R_{v.d}} = 0.931 \quad OK$$

### ■ STATIC VALUES

CHARACTERISTIC VALUES  
EN 1995:2014

| geometry      |           |           | SHEAR                                     |  | TENSION                          |                      |
|---------------|-----------|-----------|---|--|----------------------------------|----------------------|
|               |           |           | thin steel-to-timber plate <sup>(1)</sup> | thick steel-to-timber plate <sup>(2)</sup> | thread withdrawal <sup>(3)</sup> | steel tension        |
|               |           |           |   |  |                                  |                      |
| $d_1$<br>[mm] | L<br>[mm] | b<br>[mm] | $R_{v,k}$<br>[kN]                         | $R_{v,k}$<br>[kN]                          | $R_{ax,k}$<br>[kN]               | $R_{tens,k}$<br>[kN] |
| 8             | 80        | 55        | $S_{PLATE} = 4,0 \text{ mm}$<br>4,07      | $S_{PLATE} = 8,0 \text{ mm}$<br>5,18       | 5,56                             | 20,10                |
|               | 100       | 75        |   |  | 7,58                             |                      |
|               | 120       | 95        |   |  | 9,60                             |                      |
|               | 140       | 110       |   |  | 11,11                            |                      |
|               | 160       | 130       |   |  | 13,13                            |                      |
| 10            | 100       | 75        | $S_{PLATE} = 5,0 \text{ mm}$<br>6,01      | $S_{PLATE} = 10,0 \text{ mm}$<br>7,84      | 9,47                             | 31,40                |
|               | 120       | 95        |   |  | 12,00                            |                      |
|               | 140       | 110       |   |  | 13,89                            |                      |
|               | 160       | 130       |   |  | 16,42                            |                      |
|               | 180       | 150       |   |  | 18,94                            |                      |
| 12            | 120       | 90        | $S_{PLATE} = 6,0 \text{ mm}$<br>8,19      | $S_{PLATE} = 12,0 \text{ mm}$<br>10,17     | 13,64                            | 33,90                |
|               | 140       | 110       |   |  | 16,67                            |                      |
|               | 160       | 120       |   |  | 18,18                            |                      |
|               | 180       | 140       |   |  | 21,21                            |                      |
|               | 200       | 160       |   |  | 24,24                            |                      |

Nedenfor vises utførelse med utvendige strekkplater, WHTPT820 fra Rothoblaas. På 3,5m bredde trengs 11 stk plater.

