

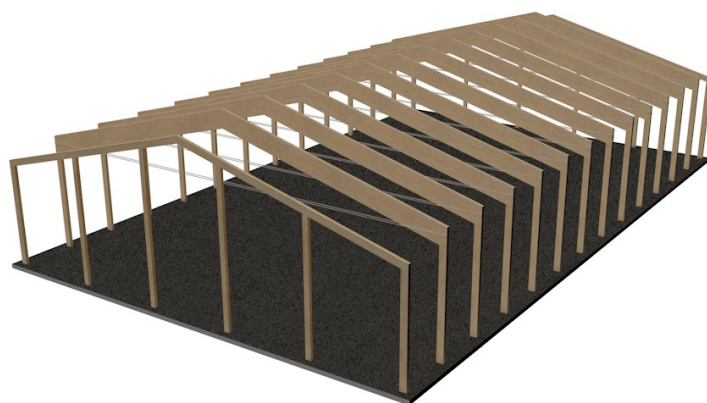
Arslan Mohammad Irshad
Ali Afaq Mehmood

Prosjektering av bærekonstruksjon i limtre for næringsbygg

Vedleggsrapport
Prosjektnr.: 38 - 2019

Bacheloroppgave i byggingeniør
Mai 2019

Vedleggsrapport



Bachelor

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

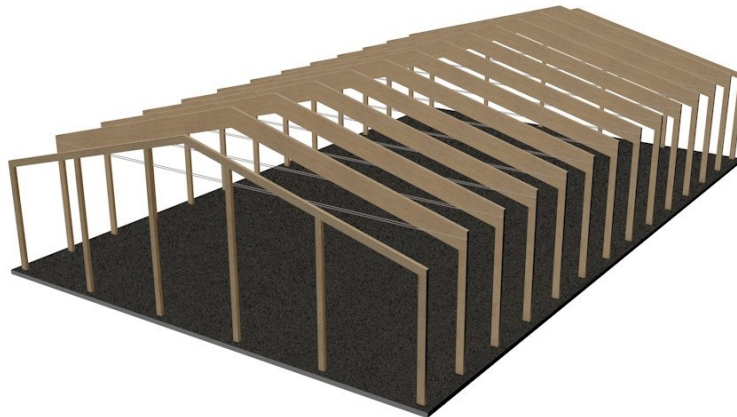
Innhold

Vedlegg A	3
A Artikkel	4
Vedlegg B	5
B Plakat	6
Vedlegg C	7
C1 Snølast	8
C2 Vindlast	9
Vedlegg D	13
D1 Snølast	14
D2 Vindlast	15
D3 Overgurt - Bruddgrense	22
D4 Søyte - Bruddgrense	32
D5 Strekkstag - Bruddgrense	41
D6 Overgurt - Bruksgrense	44
D7 Søyte - Bruksgrense	47
D8 Møneforbindelse	49
D9 Raftforbindelse	57
D10 Strekkstagforbindelse	67
D11 Vindavstivning	77
Vedlegg E	81
E1 Kostnadsestimat - Fase 1	82
E2 Kostnadsestimat - Fase 2	83
Vedlegg F	84
F1 Aksonometrisk framstilling	85
F2 Plantegning	86
F3 Takramme	87
F4 Veggsøyte	88
F5 Gavl	89
F6 Møneforbindelse	90
F7 Raftforbindelse	91
F8 Strekkbåndforbindelse	92
F9 Skjøthylse	93
F10 Hullplater og spiker	94
F11 Strekkstagforankring	95

Vedlegg A

Artikkel

Fremtidens byggemateriale?



3D-modell av limtrekonstruksjonen. (Illustrasjonsbilde: ARCHICAD)

Skrevet av: Arslan Mohammad Irshad og Ali Afaq Mehmood

Institusjon: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Kan limtre som byggemateriale være et konkurransedyktig alternativ for større bygg?

Nøkkelord: Limtre, bygg, CO₂, miljø.

Å bygge mindre bygg i tre har vært en lang tradisjon i Norge. I senere tid har miljøproblematikken bidratt til endringer i byggenæringen og redusering av CO₂-utslipp er en stor del av av denne problematikken. Bruk av limtre som byggemateriale i større bygg kan derfor være en viktig bidragsyter for reduksjon av CO₂-utslippene.

Limtre som byggemateriale

Limtre innehar mange av de samme egenskapene, med tanke på styrke og stivhet, som de mer etablerte byggematerialene benyttet i byggeindustrien. Limtre har blant annet høy styrke i forhold til egenvekten; faktisk et bedre styrkeforhold enn det stål har. Dette tillater derfor at man kan bygge limtrekonstruksjoner med store spenn.

Samtidig er limtre også ganske formbart, og gjør det mulig med vilkårlige og variable tverrsnitt. (1)

Miljø

Limtre er et fornybart, bærekraftig og miljøvennlig byggemateriale. Ved å bruke limtre som byggemateriale i større konstruksjoner kan man bespare miljøet for store utslipp, forutsatt at treet stammer fra et sertifisert og bærekraftig skogbruk. I tillegg kan limtreet gjenvinnes og gjenbrukes som klima-

nøytral bioenergi for produksjon av andre treprodukter. Bruk av tre gir også andre gode fordeler som et bra inneklima, akustikk og gode varmeisolerende egenskaper. (2)

Limtre bidrar også til å redusere CO₂-utslippet ved at det har en evne til å ta opp og lagre CO₂.

Limtre eller annet byggemateriale?

Sammenliknet med de mer tradisjonelle byggematerialene brukt i større bygg så kommer limtre ganske godt ut med tanke på styrke i forhold til egenvekt og miljø. Limtre med sine egenskaper fører med seg mange andre fordeler. I tillegg vil bruken av limtre muliggjøre flere bygg av høyere arkitektonisk kvalitet.

Referanser

[1]Limtreboka. Moelv: Norske limprodusenters for-
ening; 2015. s.2-3

[2]Hvorfor er tre et miljøvennlig bygge-materiale?
TreFokus; Hentet 07.05.2019 fra
<http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/miljo-og-berekraft/hvorfor-er-tre-et-miljovennlig-byggemateriale->

Vedlegg B

Plakat

Prosjektering av bærekonstruksjon i limtre for næringsbygg

Design of Support Structure in Glulam for Commercial Buildings

Studenter:

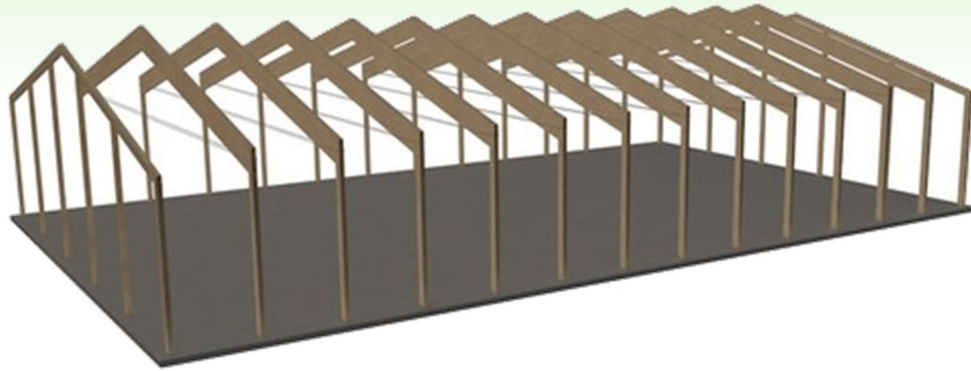
Ali Afaq Mehmood og Arslan Mohammad Irshad

Prosjektnr.: 38 - 2019

Intern veileder: Per Otto Yttervoll

Oppdragsgiver: Green Advisers AS

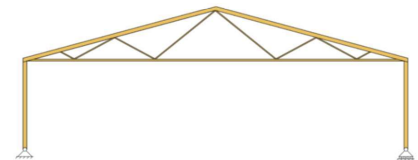
Ekstern veileder: Joakim Dørum



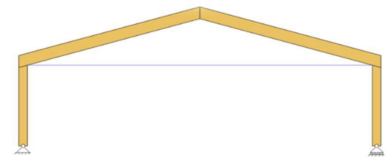
Problemdefinering

Prosjektering av bærekonstruksjon for et næringsbygg i limtre. Ved hjelp av alternativanalyse skal en optimal løsning velges for bærekonstruksjonen. Analysen innebærer detaljberegninger av rammen og knutepunktene, samt utarbeidelse av arbeidstegninger.

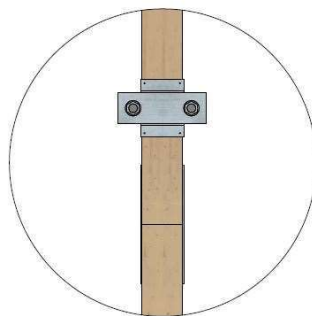
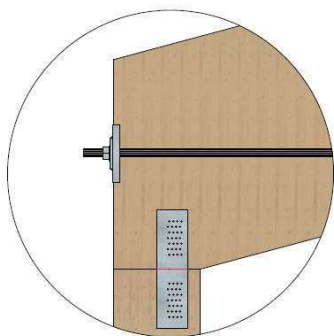
Alternativ B var det mest optimale systemet med hensyn til kostnad og utnyttelsesgrad.



Alternativ A
WW-takstol



Alternativ B
Takramme med stålstrekkstag



Detalj av forbindelse mellom søyle, overgurt og strekkstag.

Elementløsning

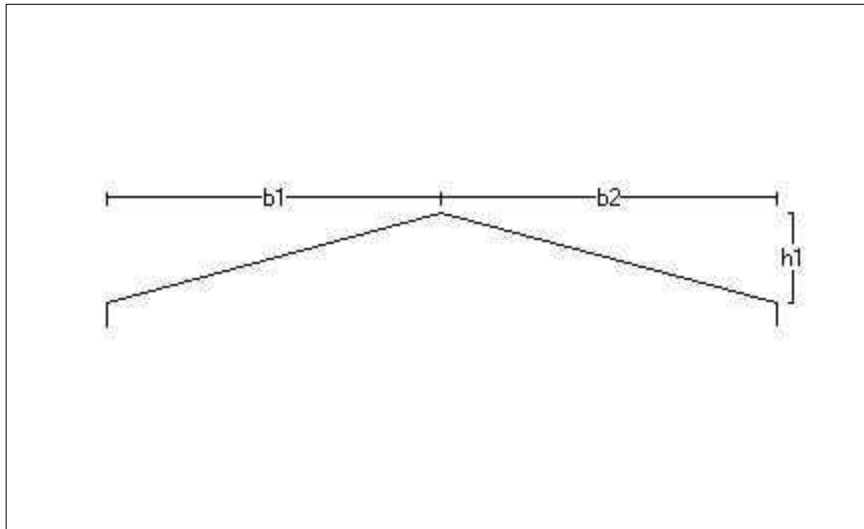
Knutepunktselementene lages på en prefabrikasjonshall og fraktes i sin helhet til byggeplass. Dette vil minske sjansen for menneskelige feil og redusere monteringsiden.

Vedlegg C

Ove Sletten

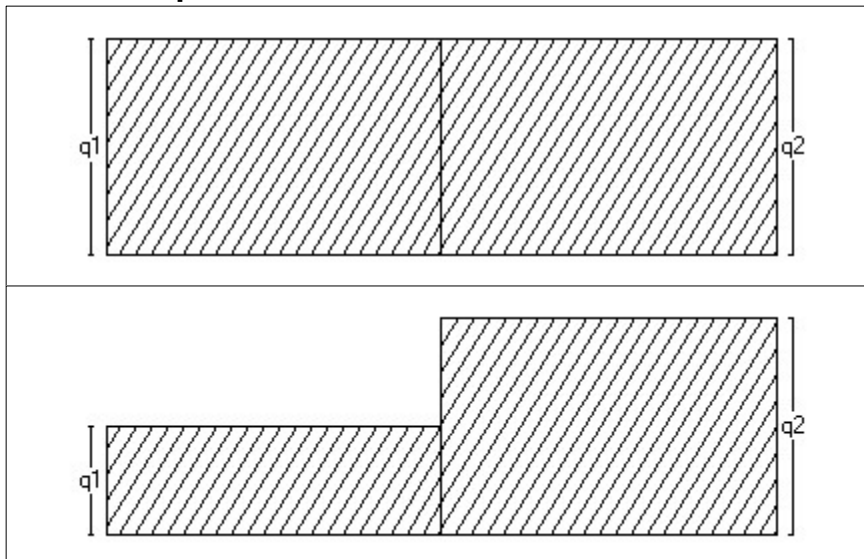
Dataprogram: LastBeregning versjon 6.2.5 Laget av Sletten Byggdata AS
 Standard NS-EN 1991-1-3: Snølaster
 Data er lagret på fil: C:\Users\ali-m\OneDrive\NTNU\3. År\1. Bacheloroppgave\3.
 Underlagsdokumenter\Dimensjonerende laster og krefter\Ove Sletten\Snølast.sls

1. Geometri



b1 15000 mm
 b2 15000 mm
 h1 4019 mm

2. Snølast på tak



Last nr.:1
 q1 3,20 kN/m²
 q2 3,20 kN/m²

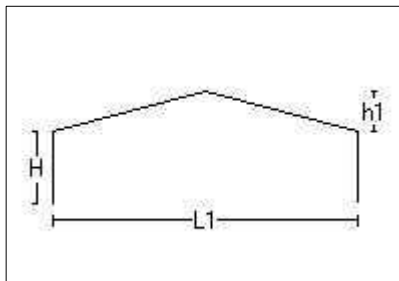
Last nr.:2
 q1 1,60 kN/m²
 q2 3,20 kN/m²

3. Snølastdata

Fylke	Nordland
Kommune	Bodø
Sted	
Byggets plassering (moh)	15 moh
Eksponeeringskoeffisient C_e	1
Termisk koeffisient C_t	1
Snølast, S:	4 kN/m ²

Dataprogram: LastBeregning versjon 6.2.5 Laget av Sletten Byggdata AS
Standard NS-EN 1991-1-4: Vindlaster
Data er lagret på fil: C:\Users\ali-m\OneDrive\NTNU\3. År\1. Bacheloroppgave\3.
Underlagsdokumenter\Dimensjonerende laster og krefter\Ove Sletten\Vindlast.sls

1. Geometri



h1	4019	mm
H	7000	mm
L1	30000	mm

Byggets lengde, L2: 50000 mm
Takvinkel : 15,00 (grader)

Vertikalsnitt

2. Vindhastighet

Fylke: Nordland Kommune: Bodø Referansevindhastighet: 30 m/s
Byggested, høyde over havet (m): 0 Calt: 1
Returperiode (år):50 Cprob: 1
Årstidsfaktoren, Cseason: 1 hele året
Vindretning (region):Bruker retningsfaktoren C-ret: 1
Basisvindhastighet: 30 m/s
Høyde Z over grunnivået: 11,019 m

BYGGSTEDETS TERRENGDATA

Terrengruhetskategori I: Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker.
Terrengruhetsfaktoren Kt: 0,17 Ruhetslengden Zo (m): 0,01 Zmin (m): 2 Vm (m/s): 35,72 Cr: 1,19

TOPOGRAFI: Ingen topografisk påvirkning.

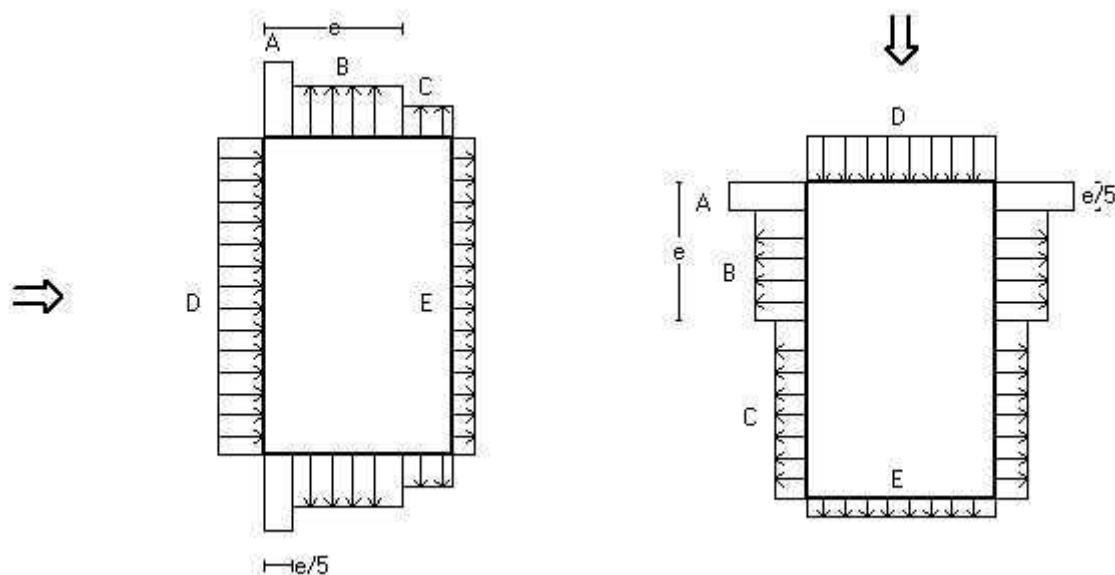
Terrengformfaktor Co(z): 1 Turbulensfaktor Ki: 1

Vkast: 50,51 m/s

Qkast: 1,595 kN/m²

3. Yttervegger

3.1 Utvendig vindlast



Vindretning 0 grader. $e=22038 \text{ mm}$

Vindretning 90 grader. $e=22038 \text{ mm}$

Vindinnfallsretning på 0 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,72	-0,33
Utvendig last (kN/m ²)	-1,91	-1,28	-0,80	1,14	-0,53
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1,40	-1,10	-0,50	1,00	-0,33
Utvendig last (kN/m ²)	-2,23	-1,75	-0,80	1,59	-0,53
Utstrekning (mm)	4408	17630	7962	50000	50000

Vindinnfallsretning på 90 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,70	-0,30
Utvendig last (kN/m ²)	-1,91	-1,28	-0,80	1,12	-0,48
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1,40	-1,10	-0,50	1,00	-0,30
Utvendig last (kN/m ²)	-2,23	-1,75	-0,80	1,59	-0,48
Utstrekning (mm)	4408	17630	27962	30000	30000

Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.

3.2 Innvendig vindlast

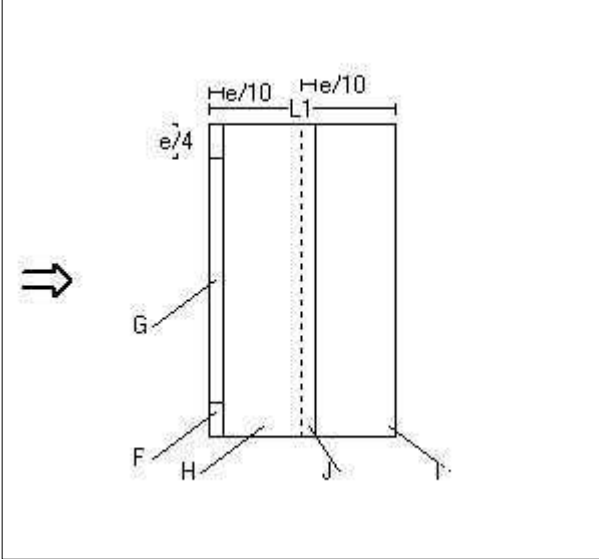
Bygning uten dominerende vindfasade

Beregn innvendig vindlast for $u=0.2$ overtrykk og $u=-0.3$ (undertrykk)

	Undertrykk	Overtrykk
Formfaktor	-0,30	0,20
Innvendig last (kN/m²)	-0,48	0,32

4 Overside av tak

Taktype: Saltak
L1=30000 mm L2=50000 mm
Cpe,10 Gjelder for hele bygget. (>=10m2)
Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.



Utstrekning (mm)

e=22038
e/4=5510
e/10=2204

Alt.1. LO-side:Sug, LE-side:Sug

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-0,90	-1,44	5510x2204
G	-0,80	-1,28	38981x2204
H	-0,30	-0,48	50000x12796
I	-0,40	-0,64	50000x12796
J	-1,00	-1,59	50000x2204

Alt.2. LO-side:Sug, LE-side:Trykk

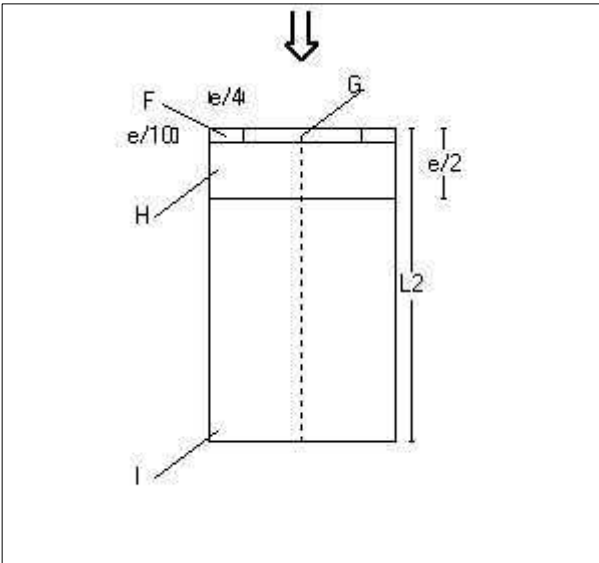
	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-0,90	-1,44	5510x2204
G	-0,80	-1,28	38981x2204
H	-0,30	-0,48	50000x12796
I	0,00	0,00	50000x12796
J	0,00	0,00	50000x2204

Alt.3. LO-side:Trykk, LE-side:Sug

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	0,20	0,32	5510x2204
G	0,20	0,32	38981x2204
H	0,20	0,32	50000x12796
I	-0,40	-0,64	50000x12796
J	-1,00	-1,59	50000x2204

Alt.4. LO-side:Trykk, LE-side:Trykk

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	0,20	0,32	5510x2204
G	0,20	0,32	38981x2204
H	0,20	0,32	50000x12796
I	0,00	0,00	50000x12796
J	0,00	0,00	50000x2204

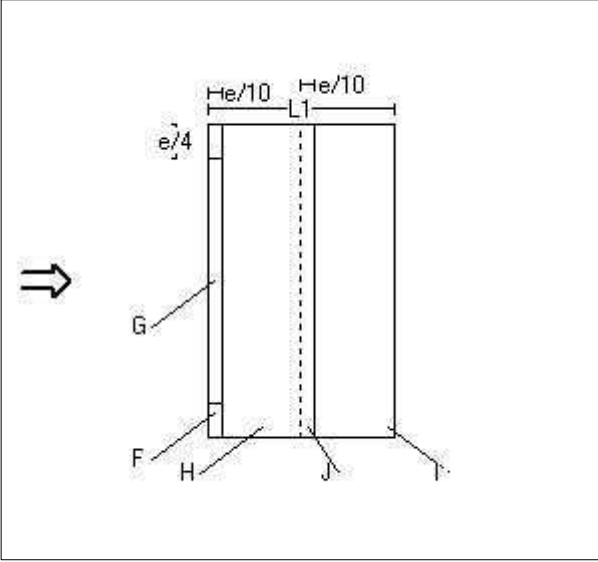


Utstrekning (mm)

e=22038
e/4=5510
e/10=2204

	Cpe,10	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon (mm)
F	-1,30	-2,07	5510x2204
G	-1,30	-2,07	18981x2204
H	-0,60	-0,96	30000x8815
I	-0,50	-0,80	30000x38981

Taktype: Saltak
L1=30000 mm L2=50000 mm
Cpe,1 Gjelder for en lokal flate på 1m2. Benyttes ved dimensjonering av limfuger, spikring, båndstål o.l.
Interpoleringsformel for belastet areal A mellom 1 og 10 m2 : $C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) * \log_{10} A$
Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.



Utstrekning (mm)

e=22038
e/4=5510
e/10=2204

Alt.1. LO-side:Sug, LE-side:Sug

	Cpe,1	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2,00	-3,19	5510x2204
G	-1,50	-2,39	38981x2204
H	-0,30	-0,48	50000x12796
I	-0,40	-0,64	50000x12796
J	-1,50	-2,39	50000x2204

Alt.2. LO-side:Sug, LE-side:Trykk

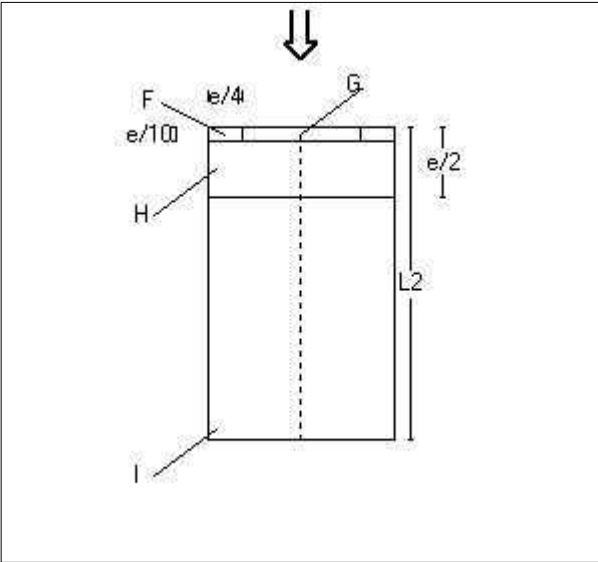
	Cpe,1	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2,00	-3,19	5510x2204
G	-1,50	-2,39	38981x2204
H	-0,30	-0,48	50000x12796
I	0,00	0,00	50000x12796
J	0,00	0,00	50000x2204

Alt.3. LO-side:Trykk, LE-side:Sug

	Cpe,1	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon(mm)
F	0,20	0,32	5510x2204
G	0,20	0,32	38981x2204
H	0,20	0,32	50000x12796
I	-0,40	-0,64	50000x12796
J	-1,50	-2,39	50000x2204

Alt.4. LO-side:Trykk, LE-side:Trykk

	Cpe,1	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon(mm)
F	0,20	0,32	5510x2204
G	0,20	0,32	38981x2204
H	0,20	0,32	50000x12796
I	0,00	0,00	50000x12796
J	0,00	0,00	50000x2204



Utstrekning (mm)

e=22038
e/4=5510
e/10=2204

	Cpe,1	Last (kN/m2)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2,00	-3,19	5510x2204
G	-2,00	-3,19	18981x2204
H	-1,20	-1,91	30000x8815
I	-0,50	-0,80	30000x38981

Vedlegg D

Håndberegninger

Snølast - Manuell beregning

NS-EN 1991-1-3

Karakteristisk snølast på tak

Dette gjelder for bygg plassert tom. 150 moh.

Formfaktor: $\mu_1 := 0.8$ (Tabell 5.2)

Eksponeringskoeffisient: $C_e := 1$ (5.2(7))

Termisk koeffisient: $C_t := 1$ (5.2(8))

Kar. snølast på mark: $s_{k,0} := 4 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$ (NA.4.1)

Kar. snølast på tak: $s_k := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{k,0} = 3.2 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$ (L 5.1)

Lasttilfeller - Se figur 5.3

Lasttilfelle 1: $s_{k1} := 1.0 \cdot s_k = 3.2 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$

Lasttilfelle 2: $s_{k1} := 0.5 \cdot s_k = 1.6 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$

Ved situasjon (i) så benyttes lasttilfelle 1 ved begge takflater.

Ved situasjon (ii) så benyttes lasttilfelle 1 ved den ene takfalten og lasttilfelle 2 på den andre takflaten. Dette skyldes snødriv. (Figur 5.3)

Vindlast - Manuell beregning

NS-EN 1991-1-4

Basisvindhastighet

Retningsfaktor $c_{dir} := 1.0$ (4.2(2) - Merknad 2)

Årstidsfaktor $c_{season} := 1.0$ (4.2(2) - Merknad 3)

Referansevindhastighet $v_{b,0} := 30 \left[\frac{m}{s} \right]$ (NA.4.2)

Basisvindhastighet: $v_b := c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 30 \left[\frac{m}{s} \right]$ (L. 4.1)

Stedvindhastighet

Hentes fra NA. 4.3.2 - Tabell NA.4.1

Valgt terrengruhetskategori I:

Ruhetsfaktor: $k_r := 0.17$

Ruhetslengde: $z_0 := 0.01 \left[m \right]$

Minimunshøyde: $z_{min} := 1 \left[m \right]$

Høyde over terreng: $z := 11.019 \left[m \right]$

Terrengruhetsfaktor: $c_r := k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 1.191$ (L 4.4)

Årstidsfaktor: $c_o := 1.0$ (4.3.1(1) - Merknad 1)

Referansevindhastighet: $v_{b,0} := 30 \left[\frac{m}{s} \right]$

Stedsvindhastighet: $v_m := c_r \cdot c_o \cdot v_b = 35.724 \left[\frac{m}{s} \right]$ (L. 4.3)

Vindkasthastighetstrykk

Har valgt terrengruhetskategori I og $z = 11.019$ m.
Avlesning av krysningspunkt er vist på figur 4.2.

Eksponeringsfaktor $c_e := 2.83$ (Figur 4.2)

Lufttetthet: $\rho := 1.25 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ (4.5(1) - Merknad 2)

Basisvindhastighetstrykk $q_b := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 562.5 \left[\frac{N}{m^2} \right]$ (L 4.10)

Vindkasthastighetstrykket: $q_p := c_e \cdot q_b = 1.592 \cdot 10^3 \left[\frac{N}{m^2} \right]$ (L. 4.8)

Formfaktor - Vegg

Formfaktorerer for vegg bestemmes etter 7.2.2

$$b := 50000 \text{ [mm]} \quad h := 11019 \text{ [mm]} \quad d := 30000 \text{ [mm]}$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 22038 \text{ [mm]}$$

Tilfelle 1

Formfaktorer for vertikal vegg i et rektangulært bygg ($\theta = 0^\circ$)

Soner	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$				
1	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,5
0,367*	-1,2	-0,8	-0,5	+0,72	-0,33
0,25	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

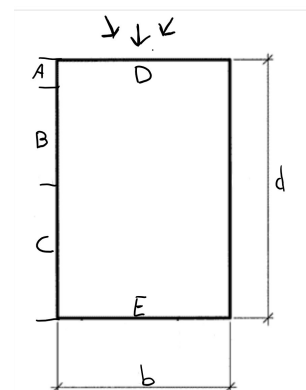
*Lineær interpolasjon er benyttet for å finne tilnærmet verdi (7.2.2(2) – Merknad 1)

Tilfelle 2

Formfaktorer for vertikal vegg i et rektangulært bygg ($\theta = 90^\circ$)

Soner	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$				
$\leq 0,25^*$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

*h/d gir en verdi på 0.22. d = 50m



Vindlaster - Vegg

Gjelder for tilfelle 1:

Sone A	$w_{k.A.0} := q_p \cdot (-1.2) = -1.91 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone B	$w_{k.B.0} := q_p \cdot (-0.8) = -1.274 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone C	$w_{k.C.0} := q_p \cdot (-0.5) = -795.938$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone D	$w_{k.D.0} := q_p \cdot (0.72) = 1.146 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone E	$w_{k.E.0} := q_p \cdot (-0.33) = -525.319$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$

Gjelder for tilfelle 2:

Sone A	$w_{k.A.90} := q_p \cdot (-1.2) = -1.91 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone B	$w_{k.B.90} := q_p \cdot (-0.8) = -1.274 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone C	$w_{k.C.90} := q_p \cdot (-0.5) = -795.938$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone D	$w_{k.D.90} := q_p \cdot (0.7) = 1.114 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone E	$w_{k.E.90} := q_p \cdot (-0.3) = -477.563$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$

Formfaktor - Tak

Formfaktorerer for tak bestemmes etter 7.2.5

$$b := 50000 \text{ [mm]} \quad h := 11019 \text{ [mm]} \quad e := \min(b, 2 \cdot h) = 22038 \text{ [mm]}$$

Tilfelle 1

Formfaktorerer for saltak ($\theta = 0^\circ$)

Soner	F	G	H	I	J
Takvinkel: 15°	C _{pe,10}				
Kombinasjon 1	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
Kombinasjon 2	-0,9	-0,8	-0,3	0	0
Kombinasjon 3	+0,2	+0,2	+0,2	-0,4	-1,0
Kombinasjon 4	+0,2	+0,2	+0,2	0	0

Tilfelle 2

Formfaktorerer for saltak ($\theta = 90^\circ$)

Soner	F	G	H	I
Takvinkel: 15°	C _{pe,10}			
Kombinasjon 1	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5

Vindlaster - Tak

Gjelder for tilfelle 1:

Kombinasjon 1

Sone F	$w_{k.F1.0} := q_p \cdot (-0.9) = -1.433 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone G	$w_{k.G1.0} := q_p \cdot (-0.8) = -1.274 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone H	$w_{k.H1.0} := q_p \cdot (-0.3) = -477.563$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone I	$w_{k.I1.0} := q_p \cdot (-0.4) = -636.75$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone J	$w_{k.J1.0} := q_p \cdot (-1.0) = -1.592 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$

Kombinasjon 2

Sone F	$w_{k.F2.0} := q_p \cdot (-0.9) = -1.433 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone G	$w_{k.G2.0} := q_p \cdot (-0.8) = -1.274 \cdot 10^3$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone H	$w_{k.H2.0} := q_p \cdot (-0.3) = -477.563$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone I	$w_{k.I2.0} := q_p \cdot (0) = 0$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$
Sone J	$w_{k.J2.0} := q_p \cdot (0) = 0$	$\left[\frac{N}{m^2} \right]$

Kombinasjon 3

$$\text{Sone F} \quad w_{k.F3.0} := q_p \cdot (0.2) = 318.375 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone G} \quad w_{k.G3.0} := q_p \cdot (0.2) = 318.375 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone H} \quad w_{k.H3.0} := q_p \cdot (0.2) = 318.375 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone I} \quad w_{k.I3.0} := q_p \cdot (-0.4) = -636.75 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone J} \quad w_{k.J3.0} := q_p \cdot (-1.0) = -1.592 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Kombinasjon 4

$$\text{Sone F} \quad w_{k.F4.0} := q_p \cdot (0.2) = 318.375 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone G} \quad w_{k.G4.0} := q_p \cdot (0.2) = 318.375 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone H} \quad w_{k.H4.0} := q_p \cdot (0.2) = 318.375 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone I} \quad w_{k.I4.0} := q_p \cdot (0) = 0 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone J} \quad w_{k.J4.0} := q_p \cdot (0) = 0 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Gjelder for tilfelle 2:

$$\text{Sone F} \quad w_{k.F.90} := q_p \cdot (-1.3) = -2.069 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone G} \quad w_{k.G.90} := q_p \cdot (-1.3) = -2.069 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone H} \quad w_{k.H.90} := q_p \cdot (-0.6) = -955.125 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\text{Sone I} \quad w_{k.I.90} := q_p \cdot (-0.5) = -795.938 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Dimensjonering av overgurt (sperrebjelke)

- Bruddgrensetilstand
- EC5

Valgte dimensjoner:

$$H := 1170 \quad [mm] \quad B := 215 \quad [mm]$$

Material: GL30C

Karakteristisk bøyefasthet	$f_{mk} := 30 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
----------------------------	--

Karakteristisk skjærfasthet	$f_{vk} := 3.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
-----------------------------	---

Karakteristisk strekkfasthet i fiberretning	$f_{t0k} := 19.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
---	---

Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning	$f_{c0k} := 24.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
--	---

Karakteristisk trykkfasthet på tvers av fiberretning	$f_{c90k} := 2.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
--	---

Dimensjonerende strekkfasthet på tvers av fiberretning	$f_{t90k} := 0.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
--	---

Knekk lengde om y-aksen (sterk akse)	$L_{ky} := 15529 \quad [mm]$
--------------------------------------	------------------------------

Knekk lengde om z-aksen (svak akse)	$L_{kz} := 0 \quad [mm]$
-------------------------------------	--------------------------

Effektiv berøringslengde	$l_{ef} := 450 \quad [mm]$
--------------------------	----------------------------

Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse (Tab. 3.1)	$k_{mod} := 0.9$
---	------------------

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)	$\gamma := 1.15$
---	------------------

5% - fraktilen av elastisitetsmodul	$E_{0.05} := 10800 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
-------------------------------------	---

Areal av tversnitt	$A := H \cdot B = 251550 \quad [\text{mm}^2]$
Effektiv kontaktflate	$A_{ef} := l_{ef} \cdot B = 96750 \quad [\text{mm}^2]$
2. Arealmoment om y-aksen	$I_y := \frac{1}{12} \cdot B \cdot H^3 = 2.87 \cdot 10^{10} \quad [\text{mm}^4]$
Motstandsmoment om y-aksen	$W_y := \frac{1}{6} \cdot B \cdot H^2 = 4.905 \cdot 10^7 \quad [\text{mm}^3]$
Høydefaktor (EC5: 3.3)	$k_h := 1.0$

Dimensjonerende fastheter

Dimensjonerende bøyefasthet om y-aksen

$$f_{myd} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma} \cdot k_h = 23.478 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende bøyefasthet om z-aksen

$$f_{mzd} := f_{myd} = 23.478 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende strekkfasthet i fiberretning

$$f_{t0d} := \frac{f_{t0k} \cdot k_{mod}}{\gamma} \cdot k_h = 15.261 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende trykkfasthet i fiberretning

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 19.174 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende strekkfasthet på tvers av fiberretning

$$f_{t90d} := \frac{f_{t90k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 0.391 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende trykkfasthet på tvers av fiberretning

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 1.957 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende skjærfasthet

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 2.739 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Opptrendende krefter

Moment: $M_{ed} := 725.7 \cdot 10^6 \quad [Nmm]$

Dimensjonerende
bøyepening om y-aksen:

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{ed}}{W_y} = 14.794 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Dimensjonerende
bøyepening om z-aksen:

$$\sigma_{mzd} := 0$$

Skjær: $V_{ed} := 179.4 \cdot 10^3 \quad [N]$

Dimensjonerende skjærspenning:

$$k_{cr} := 0.67 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.7(2)})$$

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot B = 144.05 \quad [mm] \quad (6.13a)$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{b_{ef} \cdot H} = 1.597 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Aksial: $N_{c.ed} := 772.35 \cdot 10^3 \quad [N]$

$$N_{t.ed} := 0$$

Dimensjonerende aksialspenning:

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_{c.ed}}{A} = 3.07 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad \sigma_{c90d} := \frac{V_{ed}}{A_{ef}} = 1.854 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_{t0d} := \frac{N_{t.ed}}{A} = 0$$

Bøyning - 6.1.6

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.63 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.441 \quad (6.12)$$

Skjær - 6.1.7

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\tau_d}{f_{vd}} \leq 1 \quad (6.13)$$

Beregninger

$$\frac{\tau_d}{f_{vd}} = 0.583 \quad (6.13)$$

Aksial (Strekk) - 6.1.2

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} \leq 1 \quad (6.1)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} = 0 \quad (6.1)$$

Aksial (Trykk) - 6.1.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \leq 1 \quad (6.2)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} = 0.16 \quad (6.2)$$

Aksial (Trykk) vinkelrett på fiberretning - 6.1.5

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_{c.90} := 1.0 \quad (\text{EC5: 6.1.5(4)})$$

$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c.90} \cdot f_{c90d}} \leq 1 \quad (6.3)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c.90} \cdot f_{c90d}} = 0.948 \quad (6.3)$$

Kombinasjon bøyning og aksialt strekk - 6.2.3

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.18)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.63 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.441 \quad (6.18)$$

Kombinasjon bøyning og aksialt trykk - 6.2.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.20)$$

Beregninger

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.656 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.467 \quad (6.20)$$

Stabilitetskontroll - knekking - 6.3.2

Kombinasjon trykk og bøyning

Knekkklengde om sterk akse (y-aksen) $L_{ky} = 15529 \quad [mm]$

Slankhet om y-aksen

$$\lambda_y := \frac{L_{ky}}{H} \cdot \sqrt{12} = 45.978$$

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.697 \quad (6.21)$$

Knekkklengde om svak akse (z-aksen) $L_{kz} = 0 \quad [mm]$

Slankhet om z-aksen

$$\lambda_z := \frac{L_{kz}}{B} \cdot \sqrt{12} = 0$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0 \quad (6.22)$$

Beregner faktorene etter EC5: 6.3.2(3)

$$\beta_c := 0.1 \quad \text{for limtre} \quad (6.29)$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 0.763 \quad (6.27)$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 0.485 \quad (6.28)$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.932 \quad (6.25)$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 1.031 \quad (6.26)$$

Kontroll - Kombinasjon bøyning og trykk

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.802 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.596 \quad (6.24)$$

Stabilitetskontroll - vippling - 6.3.3

Må sjekkes mot når bøyning opptrer alene og når den opptrer i kombinasjon med aksialt trykk.

Fritt opplagt bjelke med jevnt fordelt last. Last påføres på toppkant av bjelke
--> adderes med 2H

$$L := L_{ky} = 15529 \text{ [mm]}$$

$$l_{ef} := 0.9 \cdot L + 2 \cdot H = 16316.1 \text{ [mm]} \quad (\text{Tabell 6.1})$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{0.78 \cdot B^2}{H \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 20.398 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt[2]{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}} = 1.213 \quad (0.75 \leq \lambda_{rel.m} \leq 1.4) \quad (6.30)$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} = 0.65 \quad (6.34)$$

Kontroll - Bøyning

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_{crit} := 1.0 \quad (\text{Trykkdelen er fastholdt sideveis av takskivene}) \quad (6.34)$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \leq 1 \quad (6.33)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} = 0.63 \quad (6.33)$$

Kontroll - Kombinasjon bøyning og trykk

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_{crit} = 1 \quad (6.34)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + \left(\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \right)^2 \leq 1 \quad (6.35)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + \left(\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \right)^2 = 0.552 \quad (6.35)$$

Dimensjonering av søyle

- Bruddgrensetilstand
- EC5

Valgte dimensjoner:

$$H := 450 \quad [mm] \quad B := 215 \quad [mm]$$

Material: GL30C

Karakteristisk bøyefasthet	$f_{mk} := 30 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Karakteristisk skjærfasthet	$f_{vk} := 3.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Karakteristisk strekkfasthet i fiberretning	$f_{t0k} := 19.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning	$f_{c0k} := 24.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Karakteristisk trykkfasthet på tvers av fiberretning	$f_{c90k} := 2.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Dimensjonerende strekkfasthet på tvers av fiberretning	$f_{t90k} := 0.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Knekk lengde om y-aksen (sterk akse)	$L_{ky} := 7000 \quad [mm]$
Knekk lengde om z-aksen (svak akse)	$L_{kz} := 0 \quad [mm]$
Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse (Tab. 3.1)	$k_{mod} := 0.9$
Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)	$\gamma := 1.15$
5% - fraktilen av elastisitetsmodul	$E_{0.05} := 10800 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Areal av tversnitt

$$A := H \cdot B = 9.675 \cdot 10^4 \quad [\text{mm}^2]$$

2. Arealmoment om y-aksen

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot B \cdot H^3 = 1.633 \cdot 10^9 \quad [\text{mm}^4]$$

Motstandsmoment om y-aksen

$$W_y := \frac{1}{6} \cdot B \cdot H^2 = 7.256 \cdot 10^6 \quad [\text{mm}^3]$$

Høydefaktor (EC5: 3.3)

$$k_h := \min \left(\left(\frac{600}{H} \right)^{0.1}, 1.1 \right)$$

$$k_h = 1.029$$

Dimensjonerende fastheter

Dimensjonerende bøyefasthet om y-aksen

$$f_{myd} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma} \cdot k_h = 24.163 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende bøyefasthet om z-aksen

$$f_{mzd} := f_{myd} = 24.163 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende strekkfasthet i fiberretning

$$f_{t0d} := \frac{f_{t0k} \cdot k_{mod}}{\gamma} \cdot k_h = 15.706 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende trykkfasthet i fiberretning

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 19.174 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende strekkfasthet på tvers av fiberretning

$$f_{t90d} := \frac{f_{t90k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 0.391 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende trykkfasthet på tvers av fiberretning

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 1.957 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende skjærfasthet

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 2.739 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Dimensjonerende trykkfasthet i vinkel på fiberretning

$$f_{cad} := \frac{f_{c0d}}{\frac{f_{c0d}}{f_{c90d}} \cdot \sin(75 \text{ deg})^2 + \cos(75 \text{ deg})^2}$$

$$f_{cad} = 2.082 \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Opptrendende krefter

Skjær: $V_{ed} := 21.10 \cdot 10^3 \text{ [N]}$

Dimensjonerende skjærspenning

$$k_{cr} := 0.67 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.7(2)})$$

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot B = 144.05 \quad [\text{mm}] \quad (6.13a)$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{b_{ef} \cdot H} = 0.488 \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Aksial: $N_{c.ed} := 391.50 \cdot 10^3 \text{ [N]}$

$$N_{t.ed} := 0$$

Dimensjonerende aksialspenning

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_{c.ed}}{A} = 4.047 \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma_{t0d} := \frac{N_{t.ed}}{A} = 0$$

Moment: $M_0 := 38.88 \cdot 10^6 \quad [\text{Nmm}]$

Beregner bare opptredende moment om sterk akse (y-aksen) da tverrlast er plassert her med samtidig fungerende trykkraft (normalkraft). Tar her også hensyn til at normalkraften gir et bidrag til moment (ΔM), gjennom nedbøying, i tillegg til tverrlastens momentbidrag (M_0)

Knekk lengde om y-aksen $L_{ky} = 7000 \quad [\text{mm}]$

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot E_{0.05} \cdot I_y}{L_{ky}^2} = 3.552 \cdot 10^6 \quad [\text{N}]$$

Moment pga. tverrlast

$$M_0 = 38.88 \cdot 10^6 \quad [\text{Nmm}]$$

Totalt moment

$$M_{ed} := \frac{M_0}{1 - \frac{N_{c.ed}}{N_{cr}}} = 43.697 \cdot 10^6 \quad [Nmm]$$

Dimensjonerende
bøyespenning om y-aksen:

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{ed}}{W_y} = 6.022 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Dimensjonerende
bøyespenning om z-aksen:

$$\sigma_{mzd} := 0$$

Bøyning - 6.1.6

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.249 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.174 \quad (6.12)$$

Skjær - 6.1.7

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\tau_d}{f_{vd}} \leq 1 \quad (6.13)$$

Beregninger

$$\frac{\tau_d}{f_{vd}} = 0.178 \quad (6.13)$$

Aksial (Strek) - 6.1.2

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} \leq 1 \quad (6.1)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} = 0 \quad (6.1)$$

Aksial (Trykk) - 6.1.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \leq 1 \quad (6.2)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} = 0.211 \quad (6.2)$$

Kombinasjon bøyning og aksialt strekk - 6.2.3

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.18)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.249 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.174 \quad (6.18)$$

Kombinasjon bøyning og aksialt trykk - 6.2.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.20)$$

Beregninger

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.294 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.219 \quad (6.20)$$

Stabilitetskontroll - knekking - 6.3.2

Kombinasjon trykk og bøyning

Knekkklengde om sterk akse (y-aksen) $L_{ky} = 7000$ [mm]

Slankhet om y-aksen

$$\lambda_y := \frac{L_{ky}}{H} \cdot \sqrt{12} = 53.886$$

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.817 \quad (6.21)$$

Knekkklengde om svak akse (z-aksen) $L_{kz} = 0$ [mm]

Slankhet om z-aksen

$$\lambda_z := \frac{L_{kz}}{B} \cdot \sqrt{12} = 0$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0 \quad (6.22)$$

Beregner faktorene etter EC5: 6.3.2(3)

$$\beta_c := 0.1 \quad \text{for limtre} \quad (6.29)$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 0.86 \quad (6.27)$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 0.485 \quad (6.28)$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.887 \quad (6.25)$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 1.031 \quad (6.26)$$

Kontroll - Kombinasjon bøyning og trykk

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_m := 0.7 \quad \text{for rektangulære tverrsnitt av limtre} \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.487 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.379 \quad (6.24)$$

Stabilitetskontroll - vippling - 6.3.3

Må sjekkes mot når bøyning opptrer alene og når den opptrer i kombinasjon med aksialt trykk.

Fritt opplagt bjelke med jevnt fordelt last. Last påføres på toppkant av bjelke
--> adderes med 2H

$$L := L_{ky} = 7000 \quad [mm]$$

$$l_{ef} := 0.9 \cdot L + 2 \cdot H = 7200 \quad [mm] \quad (\text{Tabell 6.1})$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{0.78 \cdot B^2}{H \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 120.185 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt[2]{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.5 \quad (\lambda_{rel.m} \leq 0.75) \quad (6.30)$$

$$k_{crit} := 1.0 \quad (6.34)$$

Kontroll - Bøyning

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_{crit} = 1 \quad (6.34)$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \leq 1 \quad (6.33)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} = 0.249 \quad (6.33)$$

Kontroll - Kombinasjon bøyning og trykk

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_{crit} = 1 \quad (6.34)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + \left(\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \right)^2 \leq 1 \quad (6.35)$$

Beregninger

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + \left(\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \right)^2 = 0.267 \quad (6.35)$$

Dimensjonering av strekkstag

- Bruddgrensetilstand
- EC3
- PRETEC

Valgte dimensjoner:

$$D := 42 \quad [mm]$$

$$\text{Antall stenger:} \quad n := 2$$

Material: 540-S

$$\text{Flytespenning} \quad f_y := 540 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Strekfasthet} \quad f_{ub} := 700 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)} \quad \gamma_{M0} := 1.05$$

$$\text{Elastisitetsmodul} \quad E := 210000 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Lengde} \quad L := 30000 \quad [mm]$$

$$\text{Takhøyde} \quad f := 4019 \quad [mm]$$

$$\text{Takvinkel} \quad \alpha := 15 \text{ } \textcolor{blue}{deg}$$

$$\text{Areal av tversnitt} \quad A_S := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 = 2770.885 \quad [mm^2]$$

Nødvendig mengde**Opptredende laster**

$$q_d := 47.01 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Mengde:

$$A_{n\ddot{o}dvendig} := \frac{q_d \cdot L^2}{8 \cdot f} \cdot \frac{1.4}{f_{ub}} = 2631.811 \quad [mm^2] \quad (9-14)$$

$$\text{Betingelse:} \quad \frac{A_{n\ddot{o}dvendig}}{A_S} \leq 1.0$$

$$\text{Beregning:} \quad \frac{A_{n\ddot{o}dvendig}}{A_S} = 0.95$$

Sikkerhet mot løfting

Strekkbånd kan bare ta opp strekkrefter og konstruksjonen vil derfor bare fungere for lastkombinasjoner som gir strekk. Dette kriteriet er oppfylt hvis følgende betingelse er tilfredsstillt:

Opptredende laster:

$$\text{Vindlast (sug):} \quad w_{sug} := 9.183 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$\text{Egenlast:} \quad g := 22.851 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\text{Betingelse:} \quad \frac{\left(\frac{w_{sug}}{2} \cdot \frac{L^2}{8 \cdot f} \cdot \left(1 - \tan(\alpha)^2 \right) \right)}{\frac{g \cdot L^2}{8 \cdot f}} \leq 1.0 \quad (9-11)$$

$$\text{Beregning: } \frac{\left(\frac{w_{sug}}{2} \cdot \frac{L^2}{8 \cdot f} \cdot \left(1 - \tan(\alpha)^2 \right) \right)}{\frac{g \cdot L^2}{8 \cdot f}} = 0.187 \quad (9-11)$$

Kapasitetskontroll - EC3

Dimensjonerende krefter:

$$N_{t.ed} := 696.58 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Aksial (Strekk) - 6.2.3

Må oppfylle følgende betingelser:

$$N_{pl.rd} := A_S \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1.425 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.6)$$

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{pl.rd}} \leq 1 \quad (6.5)$$

Beregninger

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{pl.rd}} = 0.489 \quad (6.5)$$

Kapasitetskontroll - PRETEC

Følgende verdier er hentet fra PRETEC sine kataloger:

$$N_{t.rd} := n \cdot 571 \cdot 10^3 = 1.142 \cdot 10^6 \quad [N]$$

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{t.rd}} \leq 1$$

Beregninger

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{t.rd}} = 0.61$$

Dimensjonering av overgurt (sperrebjelke)

- Bruksgrensetilstand
- EC5

Valgte dimensjoner:

$$H := 1170 \quad [mm] \quad B := 215 \quad [mm] \quad (\text{Bjelke})$$

$$D := 42 \quad [mm] \quad n := 2 \quad (\text{Strekstag})$$

Material: GL30C
540-SPartialfaktor for materialegenskaper
(sikkerhetsfaktor)

$$\gamma := 1.15$$

Deformasjonsfaktor

$$k_{def} := 0.8$$

Bruddfasthet i stål

$$f_{ub} := 700 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Elastisitetsmodulen - middelverdi
(stål)

$$E_S := 210000 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Elastisitetsmodulen - middelverdi
(limtre)

$$E_{0,mean} := 13000 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Takkvinkel

$$\alpha := 15 \text{ deg}$$

Takkhøyde

$$f := 4019 \quad [mm]$$

Spennvidde

$$L_{spenn} := 30000 \quad [mm]$$

Lengde overgurt

$$L := 15529 \quad [mm]$$

Areal av tversnitt (bjelke)

$$A_B := H \cdot B = 251550 \quad [mm^2]$$

Areal av tversnitt (strekstag)

$$A_S := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 = 2770.885 \quad [mm^2]$$

2. Arealmoment om y-aksen

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot B \cdot H^3 = 28.696 \cdot 10^9 \quad [mm^4]$$

Opptredende laster og faktorer

$$\textbf{Egenlast:} \quad q_{k,G} := 22.851 \left[\frac{N}{mm} \right] \quad \psi_{0,G} := 1.0 \quad \psi_{1,G} := 1.0 \quad \psi_{2,G} := 1.0$$

$$\textbf{Snø:} \quad q_{k,s} := 12.32 \left[\frac{N}{mm} \right] \quad \psi_{0,s} := 0.7 \quad \psi_{1,s} := 0.5 \quad \psi_{2,s} := 0.2$$

$$\textbf{Vind:} \quad q_{k,w} := 1.232 \left[\frac{N}{mm} \right] \quad \psi_{0,w} := 0.6 \quad \psi_{1,w} := 0.2 \quad \psi_{2,w} := 0$$

Forskyvninger**Ved spenn:**

Verdier er hentet fra Focus konstruksjon:

$$w_{fin} := 59.0$$

$$Krav := \frac{L}{250} = 62.116 \quad [mm]$$

$$\textbf{Betingelse:} \quad \frac{w_{fin}}{Krav} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{w_{fin}}{Krav} = 0.95$$

Ved m ne:

$$w_{inst.G} := \frac{(2 \cdot q_{k.G}) \cdot L_{spenn}^2}{8 \cdot \tan(\alpha)^2 \cdot (E_{0.mean} \cdot A_B)} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + 0 \cdot \frac{(E_{0.mean} \cdot A_B)}{(E_S \cdot A_S)} \right) = 24.299 \quad [mm]$$

$$w_{inst.s} := \frac{(2 \cdot q_{k.s}) \cdot L_{spenn}^2}{8 \cdot \tan(\alpha)^2 \cdot (E_{0.mean} \cdot A_B)} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + 0 \cdot \frac{(E_{0.mean} \cdot A_B)}{(E_S \cdot A_S)} \right) = 13.101 \quad [mm]$$

$$w_{inst.w} := \frac{(q_{k.w} \cdot \cos(\alpha)) \cdot L_{spenn}^2}{8 \cdot \tan(\alpha)^2 \cdot (E_{0.mean} \cdot A_B)} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)^3} + 0 \cdot \frac{(E_{0.mean} \cdot A_B)}{(E_S \cdot A_S)} \right) = 0.633 \quad [mm]$$

$$w_{fin.G} := w_{inst.G} \cdot (1 + k_{def}) = 43.738 \quad [mm] \quad Krav := \frac{L_{spenn}}{500} = 60 \quad [mm]$$

$$w_{fin.Q1} := w_{inst.s} \cdot (1 + \psi_{2.s} \cdot k_{def}) = 15.197 \quad [mm]$$

$$w_{fin.Qi} := w_{inst.w} \cdot (\psi_{0.w} + \psi_{2.w} \cdot k_{def}) = 0.38 \quad [mm]$$

$$w_{fin} := w_{fin.G} + w_{fin.Q1} + w_{fin.Qi}$$

$$w_{fin} = 59.314 \quad [mm] \quad Krav := \frac{L_{spenn}}{350} = 85.714 \quad [mm]$$

$$\textbf{Betingelse:} \quad \frac{w_{fin}}{Krav} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{w_{fin}}{Krav} = 0.692$$

Dimensjonering av søyle

- Bruksgrensetilstand
- EC5

Valgte dimensjoner:

$$H := 450 \quad [mm] \quad B := 215 \quad [mm]$$

Material: GL30C

Partialfaktor for materialegenskaper
(sikkerhetsfaktor)

$$\gamma := 1.15$$

Deformasjonsfaktor

$$k_{def} := 0.8$$

5% - fraktilen av elastisitetsmodul

$$E_{0.05} := 10800 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Elastisitetsmodulen - middelvei
(limtre)

$$E_{0.mean} := 13000 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Areal av tversnitt

$$A := H \cdot B = 96750 \quad [mm^2]$$

2. Arealmoment om y-aksen

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot B \cdot H^3 = 1.633 \cdot 10^9 \quad [mm^4]$$

Søylelengde

$$L := 7000 \quad [mm]$$

Opptredende laster og faktorer

$$\textbf{Vind:} \quad q_{k.w} := 4.412 \quad \left[\frac{N}{mm} \right] \quad \psi_{0.w} := 0.6 \quad \psi_{1.w} := 0.2 \quad \psi_{2.w} := 0$$

Forskyvninger

$$w_{inst.w} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k.w} \cdot L^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} = 6.499 \quad [mm]$$

$$w_{fin.G} := 0$$

$$w_{fin.Q1} := w_{inst.w} \cdot (1 + \psi_{2.w} \cdot k_{def}) = 6.499 \quad [mm]$$

$$w_{fin.Qi} := 0$$

$$w_{fin} := w_{fin.G} + w_{fin.Q1} + w_{fin.Qi} = 6.499 \quad [mm] \quad Krav := \frac{L}{300} = 23.333 \quad [mm]$$

$$\textbf{Betingelse:} \quad \frac{w_{fin}}{Krav} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{w_{fin}}{Krav} = 0.279$$

Dimensjonering av knutepunkt - møne

- Bruddgrensetilstand
- EC5

Valgte dimensjoner:

$$H_P := 330 \quad [mm]$$

$$\text{Tykkelse plate: } t_P := 5 \quad [mm]$$

$$B_P := 510 \quad [mm]$$

B_P er for ene halvdel av platen

$$\text{Antall spikre: } n := 168$$

$$\text{Lengde spiker } l := 80 \quad [mm]$$

Material: GL30C
S355

Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse (Tab. 3.1)

$$k_{mod} := 0.9$$

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)

$$\gamma_M := 1.3$$

Takvinkel

$$\alpha := 15 \text{ deg}$$

Trådens strekkfasthet

$$f_u := 600 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk densitet

$$\rho_k := 390 \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Inntrengningsdybde

$$t_{pen} := 61 \quad [mm]$$

Tykkelse på tredel som er i kontakt med spikerhodet

$$t_1 := l - t_P = 75 \quad [mm]$$

Inntrengningsdybde i tredel som mottar spissen

$$t_2 := t_1 = 75 \quad [mm]$$

Forbinderens diameter

$$d := 6 \quad [mm]$$

Diameter spikerhode

$$d_h := d \cdot 2 = 12 \quad [mm]$$

Karakteristisk hullkantfasthet i tredelen

$$f_{h.k} := 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3}$$

$$f_{h.k} = 18.682 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk hullkantfasthet i tredel
nr 2

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

$$f_{h.2.k} = 18.682 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk flytemoment

$$M_{y.rk} := 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2.6}$$

$$M_{y.rk} = 18987.411 \quad [Nmm]$$

Karakteristisk uttrekksmotstand:

$$f_{ax.k1} := 6.125 \cdot \left(1 + \frac{1.5 \cdot d}{t_{pen}} \right) \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right) = 7.832 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$f_{ax.k2} := (10.92 - 0.0158 \cdot d - 0.0968 \cdot t_{pen}) \left(\frac{\rho_k}{320} \right)^2 = 7.309 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$f_{ax.k} := \min(f_{ax.k1}, f_{ax.k2}) = 7.309 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk uttrekkskapasitet

$$F_{ax.rk} := f_{ax.k} \cdot d \cdot t_{pen}$$

$$F_{ax.rk} = 2.675 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Opptredende krefter

$$V_{ed} := 179.41 \cdot 10^3 \quad [N] \quad N_{ed} := 681.24 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{ed,z} := N_{ed} \cdot \sin(\alpha) + V_{ed} \cdot \cos(\alpha) = 349.615 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Kraft:
$$F_{ed,z,1} := 0.5 \frac{F_{ed,z}}{n} = 1.041 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Moment pga kraft eksentrisitet:
$$M_0 := \frac{1}{4} F_{ed,z} \cdot B_P = 44.576 \cdot 10^6 \quad [Nmm]$$

Antall kolonner per fjerdedel av halve platen: $k := 7$

Horisontal senteravstand a $a := 29$

$$r_{x1} := 14.5 \quad r_{y1} := 11 \quad I_{p1} := \sum_{n=0}^k \left((r_{x1} + n \cdot a)^2 + (r_{y1})^2 \right) = 143938$$

$$r_{x2} := r_{x1} \quad r_{y2} := 32 \quad I_{p2} := \sum_{n=0}^k \left((r_{x2} + n \cdot a)^2 + (r_{y2})^2 \right) = 151162$$

$$r_{x3} := r_{x1} \quad r_{y3} := 53 \quad I_{p3} := \sum_{n=0}^k \left((r_{x3} + n \cdot a)^2 + (r_{y3})^2 \right) = 165442$$

$$r_{x4} := r_{x1} \quad r_{y4} := 74 \quad I_{p4} := \sum_{n=0}^k \left((r_{x4} + n \cdot a)^2 + (r_{y4})^2 \right) = 186778$$

$$r_{x5} := r_{x1} \quad r_{y5} := 95 \quad I_{p5} := \sum_{n=0}^k \left((r_{x5} + n \cdot a)^2 + (r_{y5})^2 \right) = 215170$$

$$r_{x6} := r_{x1} \quad r_{y6} := 116 \quad I_{p6} := \sum_{n=0}^k \left((r_{x6} + n \cdot a)^2 + (r_{y6})^2 \right) = 250618$$

$$I_p := 4 \cdot (I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} + I_{p4} + I_{p5} + I_{p6}) = 4452432 \quad [mm^2]$$

Mest belastede spikre:

$$r_x := r_{x1} + (k - 1) \cdot 29 = 188.5 \text{ [mm]}$$

$$r_y := r_{y6} = 116 \text{ [mm]}$$

$$F_{ed.y} := F_{ed.z.1} + \frac{M_0}{I_p} \cdot r_x = 2.928 \cdot 10^3 \text{ [N]} \quad F_{ed.x} := \frac{M_0}{I_p} \cdot r_y = 1.161 \cdot 10^3 \text{ [N]}$$

$$F_{ed} := \sqrt{F_{ed.x}^2 + F_{ed.y}^2} = 3.15 \cdot 10^3 \text{ [N]}$$

Mest belastede spikre: $F_{v.ed} := F_{ed} = 3.15 \cdot 10^3 \text{ [N]}$

Forbindelser stål mot tre - 8.2.3

De karakteristiske kapasitetene er gitt for hver forbiner per snitt

For en enkeltsnittet vilkårlig tykk stålplate

$$F_{v.rk.c} := f_{h.k} \cdot t_1 \cdot d = 8.407 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (\text{Bruddform c})$$

$$F_{v.rk.d} := f_{h.k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt[2]{2 + \frac{4 \cdot M_{y.rk}}{f_{h.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) = 3.835 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (\text{Bruddform d})$$

$$F_{v.rk.e} := 2.3 \cdot \sqrt[2]{M_{y.rk} \cdot f_{h.k} \cdot d} = 3.355 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (\text{Bruddform e})$$

$$F_{v.rk} := \min(F_{v.rk.c}, F_{v.rk.d}, F_{v.rk.e}) = 3.355 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\text{Taueffekt:} \quad Tau := 0.6 \cdot F_{ax.rk} = 1.605 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Karakteristisk kapasitet:

$$F_{v.rk} := F_{v.rk} + Tau = 4.96 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Endelig karakteristisk kapasitet

$$F_{v.rd} := F_{v.rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 3.434 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} = 0.917$$

Dimensjonering av stålplaten

- Bruddgrensetilstand
- EC3

EC5: 8.2.3(2)P - Stålplaten styrke skal kontrolleres etter EC3.

Material: S355

Flytespenning $f_y := 355 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Strekfasthet $f_u := 490 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor) $\gamma_{M0} := 1.05$

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor) $\gamma_{M2} := 1.25$

Opptrendende krefter

Skjær: $V_{ed} := F_{ed,z} = 349.615 \cdot 10^3 \quad [N]$

Moment: $M_{ed} := \frac{1}{4} \cdot V_{ed} \cdot B_P = 44.576 \cdot 10^6 \quad [Nmm]$

Skjær - EC3: 6.2.6

Må oppfylle følgende betingelser:

$$A_v := \frac{2 \cdot B_P \cdot H_P}{2 \cdot (B_P + H_P)} \cdot H_P = 66.118 \cdot 10^3 \quad [mm^2]$$

$$V_{c,rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 12.906 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.18)$$

Kontroll

$$\frac{V_{ed}}{V_{c.rd}} \leq 1 \quad (6.17)$$

Beregninger

$$\frac{V_{ed}}{V_{c.rd}} = 0.027 \quad (6.17)$$

Bøyningsmoment- EC3: 6.2.5

Må oppfylle følgende betingelser:

Hull for festemidler kan sees bort fra hvis (6.16) er oppfylt

$$A_P := 2 \cdot B_P \cdot H_P = 336.6 \cdot 10^3 \quad [mm^2]$$

$$A_{net} := A_P - 2 \cdot n \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot (d+1))^2 = 323.669 \cdot 10^3 \quad [mm^2]$$

$$N_{pl.rd} := \frac{A_P \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 113.803 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.6)$$

$$N_{u.rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 114.19 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.7)$$

$$\textbf{Krav:} \quad \frac{N_{pl.rd}}{N_{u.rd}} \leq 1.0 \quad (6.16)$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{N_{pl.rd}}{N_{u.rd}} = 0.997 \quad (6.16)$$

$$W_{pl} := \left(\frac{1}{4} \cdot 2 \cdot B_P \cdot H_P^2 \right) = 27.77 \cdot 10^6 \quad [mm^3]$$

$$M_{c.rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 9.389 \cdot 10^9 \quad [Nmm] \quad (6.13)$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{c.rd}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Beregninger

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,rd}} = 0.005 \quad (6.12)$$

Avstandskrav

EC5: Tabell 8.2

EC5: 8.3.1.3(1) - Innbyrdes spikeravstander kan multipliseres med 0.7. Ende- og kantavstander forblir det samme.

Vinkel mellom kraft og fiberretning: $\alpha := 75 \text{ } ^\circ$

$$a_1 := 0.7 \cdot (5 + 7 \cdot |\cos(\alpha)|) \cdot d = 28.61 \text{ } [mm]$$

$$a_2 := 0.7 \cdot (5 \cdot d) = 21 \text{ } [mm]$$

$$a_{3,t} := (10 + 5 \cdot \cos(\alpha)) \cdot d = 67.76 \text{ } [mm]$$

$$a_{3,c} := 10 \cdot d = 60 \text{ } [mm]$$

$$a_{4,t} := (5 + 5 \sin(\alpha)) \cdot d = 58.98 \text{ } [mm]$$

$$a_{4,c} := 5 \cdot d = 30 \text{ } [mm]$$

Dimensjonering av knutepunkt - opplegg

- Bruddgrensetilstand
- EC5

Valgte dimensjoner:

$$H_P := 310 \quad [mm]$$

$$\text{Tykkelse plate } t_P := 5 \quad [mm]$$

$$B_P := 160 \quad [mm]$$

Hp er for ene halvdel av platen

$$\text{Antall spikre: } n := 28$$

$$\text{Lengde spiker } l := 80 \quad [mm]$$

Material: GL30C
S355

Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse (Tab. 3.1)

$$k_{mod} := 0.9$$

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)

$$\gamma_M := 1.3$$

Takvinkel

$$\alpha := 15 \text{ deg}$$

Trådens strekkfasthet

$$f_u := 600 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk densitet

$$\rho_k := 390 \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Inntrengningsdybde

$$t_{pen} := 61 \quad [mm]$$

Tykkelse på tredel som er i kontakt med spikerhodet

$$t_1 := l - t_P = 75 \quad [mm]$$

Inntrengningsdybde i tredel som mottar spissen

$$t_2 := t_1 = 75 \quad [mm]$$

Forbinderens diameter

$$d := 6 \quad [mm]$$

Diameter spikerhode

$$d_h := d \cdot 2 = 12 \quad [mm]$$

Karakteristisk hullkantfasthet i tredelen

$$f_{h.k} := 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3}$$

$$f_{h.k} = 18.682 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk hullkantfasthet i tredel nr 2

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

$$f_{h.2.k} = 18.682 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk flytemoment

$$M_{y.rk} := 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2.6}$$

$$M_{y.rk} = 18987.411 \quad [Nmm]$$

Karakteristisk uttrekksmotstand:

$$f_{ax.k1} := 6.125 \cdot \left(1 + \frac{1.5 \cdot d}{t_{pen}} \right) \cdot \left(\frac{\rho_k}{350} \right) = 7.832 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$f_{ax.k2} := (10.92 - 0.0158 \cdot d - 0.0968 \cdot t_{pen}) \left(\frac{\rho_k}{320} \right)^2 = 7.309 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$f_{ax.k} := \min(f_{ax.k1}, f_{ax.k2}) = 7.309 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Karakteristisk uttrekkskapasitet

$$F_{ax.rk} := f_{ax.k} \cdot d \cdot t_{pen}$$

$$F_{ax.rk} = 2.675 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Opptredende krefter

$$F_{ed.z} := 60.41 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{ed.x} := 21.10 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Kraft:

$$F_{ed.z.1} := 0.5 \frac{F_{ed.z}}{n} = 1.079 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{ed.x.1} := 0.5 \frac{F_{ed.x}}{n} = 376.786 \quad [N]$$

Moment pga kraft eksentrisitet:

$$M_0 := \frac{1}{4} F_{ed.x} \cdot H_P = 1.635 \cdot 10^6 \quad [Nmm]$$

Vertikal senteravstand a:

$$a := 21 \quad k := 3$$

$$r_{x1} := 10.5 \quad r_{y1} := 29 \quad I_{p1} := 7 \cdot r_{x1}^2 + 2 \cdot \sum_{n=1}^k (r_{y1} \cdot n)^2 = 24319.75$$

$$r_{x2} := r_{x1} \quad r_{y2} := 29 \quad I_{p2} := 7 \cdot (r_{x2} + a)^2 + 2 \cdot \sum_{n=1}^k (r_{y2} \cdot n)^2 = 30493.75$$

$$I_p := 2 \cdot (I_{p1} + I_{p2}) = 109627 \quad [mm^2]$$

Mest belastede spikre:

$$r_x := r_{x1} + a = 31.5 \quad [mm]$$

$$r_y := 3 \cdot r_{y1} = 87 \quad [mm]$$

$$F_{ed.y.1} := F_{ed.z.1} + \frac{M_0}{I_p} \cdot r_x = 1.549 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{ed.x.1} := F_{ed.x.1} + \frac{M_0}{I_p} \cdot r_y = 1.675 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{ed} := \sqrt{F_{ed.x.1}^2 + F_{ed.y.1}^2} = 2.281 \cdot 10^3 [N]$$

Mest belastede spikre:

$$F_{v.ed} := F_{ed} = 2.281 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Forbindelser stål mot tre - 8.2.3

De karakteristiske kapasitetene er gitt for hver forbiner per snitt

For en enkeltsnittet tykk stålplate

$$F_{v.rk.c} := f_{h.k} \cdot t_1 \cdot d = 8.407 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (\text{Bruddform c})$$

$$F_{v.rk.d} := f_{h.k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt[2]{2 + \frac{4 \cdot M_{y.rk}}{f_{h.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) = 3.835 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (\text{Bruddform d})$$

$$F_{v.rk.e} := 2.3 \cdot \sqrt[2]{M_{y.rk} \cdot f_{h.k} \cdot d} = 3.355 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (\text{Bruddform e})$$

$$F_{v.rk} := \min(F_{v.rk.c}, F_{v.rk.d}, F_{v.rk.e}) = 3.355 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\text{Taueffekt:} \quad \tau := \min(0.6 \cdot F_{ax.rk}) = 1.605 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Karakteristisk kapasitet:

$$F_{v.rk.2} := F_{v.rk} + \tau = 4.96 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Endelig karakteristisk kapasitet

$$F_{v.rd} := F_{v.rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 2.323 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\text{Kontroll:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} \leq 1.0$$

$$\text{Beregning:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} = 0.982$$

Tverrstrekk - 8.1.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$b := 215 \quad [mm]$$

$$h_e := 122 \quad [mm]$$

$$h := 450 \quad [mm]$$

$$w := 1.0 \quad (8.4)$$

$$F_{90.rk} := 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 38.942 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (8.4)$$

Endelig karakteristisk kapasitet

$$F_{90.rd} := F_{90.rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 2.696 \cdot 10^4 \quad [N]$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{F_{ed.x}}{F_{90.rd}} \leq 1 \quad (8.2)$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{F_{ed.x}}{F_{90.rd}} = 0.783 \quad (8.2)$$

Blokkskjærbrudd og pluggskjærbrudd - EC5: Tillegg A

Må oppfylle følgende betingelser:

$$f_{t0k} := 19.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad f_{vk} := 3.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$l_v := 29 \text{ [mm]} \quad l_t := 21 \text{ [mm]}$$

$$t_{ef} := 2 \cdot \sqrt{\frac{M_{y.rk}}{f_{h.k} \cdot d}} = 26.03 \quad (A.7)$$

$$L_{net.t} := \sum_{i=1}^3 l_t = 63 \text{ [mm]} \quad (A.5)$$

$$L_{net.v} := \sum_{i=1}^7 l_v = 203 \text{ [mm]} \quad (A.4)$$

$$A_{net.v} := \frac{L_{net.v}}{2} \cdot (L_{net.t} + 2 \cdot t_{ef}) = 11678.548 \text{ [mm]} \quad (A.3)$$

$$A_{net.t} := L_{net.t} \cdot t_1 = 4725 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (A.2)$$

$$F_{bs.rk} := \max(1.5 \cdot A_{net.t} \cdot f_{t0k}, 0.7 \cdot A_{net.v} \cdot f_{vk}) = 138.206 \cdot 10^3 \text{ [N]} \quad (A.1)$$

$$F_{bs.rd} := F_{bs.rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 95.681 \cdot 10^3 \text{ [N]}$$

$$\textbf{Krav:} \quad \frac{F_{ed.z}}{F_{bs.rd}} \leq 1$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{F_{ed.z}}{F_{bs.rd}} = 0.631$$

Dimensjonering av stålplaten

- Bruddgrensetilstand
- EC3

EC5: 8.2.3(2)P - Stålplaten styrke skal kontrolleres etter EC3.

Material: S355

Flytespenning $f_y := 355 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Strekkfasthet $f_u := 490 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Partialfaktor for materialegenskaper
(sikkerhetsfaktor) $\gamma_{M0} := 1.05$

Partialfaktor for materialegenskaper
(sikkerhetsfaktor) $\gamma_{M2} := 1.25$

Opptrendende krefter

Aksial: $N_{ed} := F_{ed,z} = 60.41 \cdot 10^3 \quad [N]$

Skjær: $V_{ed} := F_{ed,x} = 21.1 \cdot 10^3 \quad [N]$

Moment: $M_{ed} := M_0 = 1.635 \cdot 10^6 \quad [Nmm]$

Aksial - EC3: 6.2.3

Må oppfylle følgende betingelser:

$$A_P := 2 \cdot B_P \cdot H_P = 99200 \quad [mm^2]$$

$$A_{net} := A_P - \left(2 \cdot n \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot (d + 1))^2 \right) = 97044.867 \quad [mm^2]$$

$$N_{u.rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = 40.759 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.7)$$

$$N_{t.rd} := \frac{A_P \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 33.539 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.6)$$

$$N_{t.rd} := \min(N_{t.rd}, N_{u.rd}) = 33.539 \cdot 10^6 \quad [N]$$

Kontroll

$$\frac{N_{ed}}{N_{t.rd}} \leq 1 \quad (6.5)$$

Beregninger

$$\frac{N_{ed}}{N_{t.rd}} = 0.002 \quad (6.5)$$

Skjær- EC3: 6.2.6

Må oppfylle følgende betingelser:

$$A_v := \frac{2 \cdot B_P \cdot H_P}{2 \cdot (B_P + H_P)} \cdot B_P = 16.885 \cdot 10^3 \quad [mm^2]$$

$$V_{c.rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 3.296 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.18)$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{c.rd}} \leq 1 \quad (6.17)$$

Beregninger

$$\frac{V_{ed}}{V_{c.rd}} = 0.006 \quad (6.17)$$

Bøyningsmoment- EC3: 6.2.5

Må oppfylle følgende betingelser:

Hull for festemidler kan sees bort fra hvis (6.16)
er oppfylt

$$A_P := 2 \cdot B_P \cdot H_P = 99.2 \cdot 10^3 \quad [mm^2]$$

$$A_{net} := A_P - 2 \cdot n \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot (d + 1))^2 = 97.045 \cdot 10^3 \quad [mm^2]$$

$$N_{pl.rd} := \frac{A_P \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 33.539 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.6)$$

$$N_{u.rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 34.237 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.7)$$

$$\textbf{Krav:} \quad \frac{N_{pl.rd}}{N_{u.rd}} \leq 1.0 \quad (6.16)$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{N_{pl.rd}}{N_{u.rd}} = 0.98 \quad (6.16)$$

$$W_{pl} := 2 \left(\frac{1}{4} \cdot B_P \cdot H_P^2 \right) = 7.688 \cdot 10^6 \quad [mm^3]$$

$$M_{c.rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 2.599 \cdot 10^9 \quad [Nmm] \quad (6.13)$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{c.rd}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Beregninger

$$\frac{M_{ed}}{M_{c.rd}} = 0.001 \quad (6.12)$$

Avstandskrav

EC5: Tabell 8.2

EC5: 8.3.1.3(1) - Innbyrdes spikeravstander kan multipliseres med 0.7. Ende- og kantavstander forblir det samme.

Vinkel mellom kraft og fiberretning: $\alpha := 75 \text{ deg}$

$$a_1 := 0.7 \cdot (5 + 7 \cdot |\cos(\alpha)|) \cdot d = 28.61 \text{ [mm]}$$

$$a_2 := 0.7 \cdot (5 \cdot d) = 21 \text{ [mm]}$$

$$a_{3,t} := (10 + 5 \cdot \cos(\alpha)) \cdot d = 67.76 \text{ [mm]}$$

$$a_{3,c} := 10 \cdot d = 60 \text{ [mm]}$$

$$a_{4,t} := (5 + 5 \sin(\alpha)) \cdot d = 58.98 \text{ [mm]}$$

$$a_{4,c} := 5 \cdot d = 30 \text{ [mm]}$$

Dimensjonering av knutepunkt - strekkstag (forankring)

Valgte dimensjoner:

Diameter strekkstag	$D := 42 \text{ [mm]}$
Bredde taksperre	$B := 215 \text{ [mm]}$
Høyde taksperre	$H := 1170 \text{ [mm]}$
Bredde kontaktplate	$B_K := 219 \text{ [mm]}$
Høyde kontaktplate	$H_K := 300 \text{ [mm]}$
Bredde ankerplate	$B_A := 460 \text{ [mm]}$
Høyde ankerplate	$H_A := 160 \text{ [mm]}$
Tykkelse ankerplate	$t_A := 15 \text{ [mm]}$
Effektivt halsmål (a-mål)	$a := 7 \text{ [mm]}$

Dimensjonering av kontaktplate

- Bruddgrensetilstand
- EC5

Material: Tre - GL30C
Stål - S355

Karakteristisk trykkfasthet i fiberretning $f_{c0k} := 24.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Karakteristisk trykkfasthet på tvers av fiberretning $f_{c90k} := 2.5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

Takvinkel $\alpha := 15 \text{ deg}$

Spikerdiamter $d := 4 \text{ [mm]}$

Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse (EC5: Tab. 3.1) $k_{mod} := 0.9$

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor) $\gamma := 1.15$

Faktor som tar hensyn til virkningen av spenningen vinkelrett på fiberretning (EC5: 6.1.6(2)) $k_{c,90} := 1.0$

Dimensjonerende fastheter

Dimensjonerende trykkfasthet i fiberretning

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 19.174 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Dimensjonerende trykkfasthet på tvers av fiberretning

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma} = 1.957 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Opptrendende krefter

Aksial: $N_{t.ed} := 696.58 \cdot 10^3 \text{ [N]}$

Dimensjonerende kontakttrykk (aksialspenning)

$$\sigma_{cad} := \frac{N_{t.ed}}{B_K \cdot H_K} = 10.602 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Trykkspenning i vinkel på fiberretning - EC5: 6.2.2

Må oppfylle følgende betingelser:

$$k_{c,90} = 1 \quad (\text{EC5: 6.1.6(2)})$$

$$\frac{\frac{\sigma_{cad}}{f_{c0d}}}{\frac{f_{c0d}}{k_{c,90} \cdot f_{c90d}} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} \leq 1 \quad (6.16)$$

Beregninger

$$\frac{\frac{\sigma_{cad}}{f_{c0d}}}{\frac{f_{c0d}}{k_{c,90} \cdot f_{c90d}} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = 0.879 \quad (6.16)$$

Avstandskrav

EC5: Tabell 8.2

$$a_{3,c} := 10 \cdot d = 40 \quad [mm]$$

Ut til bjelkens side som er
høyden (til høyre)

$$a_{4,c} := 5 \cdot d = 20 \quad [mm]$$

Oppover mot bjelkens side
som er bredde

Dimensjonering av ankerplate

- Bruddgrensetilstand
- EC3

EC5: 8.2.3(2)P - Stålplatens styrke skal kontrolleres etter EC3.

Material: S355

Flytespenning

$$f_y := 355 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Strekkfasthet

$$f_u := 490 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Hulldiameter (strekkstag)

$$d_0 := D + 3 = 45 \quad [mm]$$

Partialfaktor for materialegenskaper
(sikkerhetsfaktor)

$$\gamma_{M0} := 1.05$$

Partialfaktor for materialegenskaper
(sikkerhetsfaktor)

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Elastisitetsmodul

$$E := 210000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Opptrendende krefter

Aksial: $N_{t.ed} := 696.58 \cdot 10^3 \quad [N]$

Moment: $M_{ed} := \frac{1}{2} \cdot N_{t.ed} \cdot (0.5 \cdot 45 + 30) = 18.285 \cdot 10^6 \quad [Nm]$

Strekk - EC3: 6.2.3

Må oppfylle følgende betingelser:

$$A_A := B_A \cdot H_A = 73600 \quad [mm^2]$$

$$A_{net} := A_A - 2 \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot (D + 3))^2 = 70419.137 \quad [mm^2]$$

$$N_{pl.rd} := \frac{A_A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 24.884 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.6)$$

$$N_{u.rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 24.844 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.7)$$

$$N_{t.rd} := \min(N_{pl.rd}, N_{u.rd}) = 24.844 \cdot 10^6 \quad [N]$$

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{t.rd}} \leq 1 \quad (6.5)$$

Beregninger

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{t.rd}} = 0.028 \quad (6.5)$$

Trykk - EC3: 6.2.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$A_A := B_A \cdot H_A = 73600 \quad [mm^2]$$

$$N_{c.rd} := \frac{A_A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 24.884 \cdot 10^6 \quad [N] \quad (6.10)$$

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{c.rd}} \leq 1 \quad (6.9)$$

Beregninger

$$\frac{N_{t.ed}}{N_{c.rd}} = 0.028 \quad (6.9)$$

Bøyningsmoment- EC3: 6.2.5

Må oppfylle følgende betingelser:

$$W_{pl} := \left(\frac{1}{4} B_A \cdot H_A^2 \right) - \left(2 \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot (D + 3))^2 \right) = 2.941 \cdot 10^6 \text{ [mm}^3 \text{]}$$

$$M_{c.rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 994.277 \cdot 10^6 \text{ [Nmm]} \quad (6.13)$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{c.rd}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Beregninger

$$\frac{M_{ed}}{M_{c.rd}} = 0.018 \quad (6.12)$$

Dimensjonering av festemiddel

- Bruddgrensetilstand
- EC3

Det benyttes muttere med underskiver for å feste strekkstag til ankerplate.

Material: Stål - S355
Mutter - Klasse 8 VF

Flytespenning for forbindelse	$f_{yb} := 640 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
-------------------------------	---

Strekkfasthet for forbindelse	$f_{ub} := 800 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
-------------------------------	---

Flytespenning	$f_y := 355 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
---------------	--

Strekkfasthet	$f_u := 490 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
---------------	--

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)	$\gamma_{M2} := 1.25$
--	-----------------------

Strekkfaktor	$k_2 := 0.9$
--------------	--------------

Tykkelse plate	$t_A = 15 \text{ [mm]}$
----------------	-------------------------

Diameter mutter	$D = 42 \text{ [mm]}$
-----------------	-----------------------

Spenningsareal	$A_s := 0.8 \cdot \pi \cdot (0.5 \cdot D)^2$
	$A_s = 1108.354 \text{ [mm}^2\text{]}$

Opptrendende krefter

Aksial:	$N_{t.ed} := 696.58 \cdot 10^3 \text{ [N]}$
----------------	---

	$F_{t.ed} := 0.5 \cdot N_{t.ed} = 348.29 \cdot 10^3 \text{ [N]}$
--	--

Strekk - EC3-1-8: Tabell 3.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$F_{t.rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 638.412 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\frac{F_{t.ed}}{F_{t.rd}} \leq 1$$

Beregninger

$$\frac{F_{t.ed}}{F_{t.rd}} = 0.546$$

Gjennomlokking - EC3-1-8: Tabell 3.4

Må oppfylle følgende betingelser:

$$B_{p.rd} := 0.6 \cdot \pi \cdot D \cdot t_A \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 465.509 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\frac{F_{t.ed}}{B_{p.rd}} \leq 1$$

Beregninger

$$\frac{F_{t.ed}}{B_{p.rd}} = 0.748$$

Avstandskrav

EC3: Tabell 3.3

$$e_1 := 1.2 \cdot d_0 = 54 \quad [mm]$$

$$e_2 := e_1 = 54 \quad [mm]$$

$$p_1 := 2.2 \cdot d_0 = 99 \quad [mm]$$

Dimensjonering av sveis

- Bruddgrensetilstand
- EC3

En sveis skal benyttes for å koble sammen ankerplaten med kontaktplaten. Sveisen plasseres langs bredden av ankerplaten

Material: Stål - S355

$$\text{Flytespenning} \quad f_y := 355 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Strekfasthet} \quad f_u := 490 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Korrelasjonsfaktor} \quad \beta_w := 0.9$$

$$\text{Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$\text{Lengde sveis} \quad L_w := 215 \quad [mm]$$

$$\text{Effektivt halsmål (a-mål)} \quad a = 7 \quad [mm]$$

Opptrendende krefter

$$\text{Aksial:} \quad N_{t.ed} := 696.58 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$q_{w.N} := \frac{N_{t.ed}}{2 \cdot L_w} = 1.62 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$\sigma_N := \frac{N_{t.ed}}{\sqrt{2} \cdot L_w \cdot a} = 327.28 \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\text{Kraft per lengdeenhet:} \quad q_{w.ed} := \sqrt{(q_{w.N})^2} = 1.62 \cdot 10^3 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Forenklet metode - EC3-1-8: 4.5.3.3

Må oppfylle følgende betingelser:

$$q_{w.rd} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2} \cdot \beta_w} \cdot a = 1.76 \cdot 10^3 \quad [N] \quad (4.3)$$

$$\frac{q_{w.ed}}{q_{w.rd}} \leq 1 \quad (4.2)$$

Beregninger

$$\frac{q_{w.ed}}{q_{w.rd}} = 0.92 \quad (4.2)$$

Retningsmetoden - EC3-1-8: 4.5.3.2

Må oppfylle følgende betingelser:

$$\frac{\frac{\sigma_N}{f_u}}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} \leq 1 \quad (4.1)$$

Beregninger

$$\frac{\frac{\sigma_N}{f_u}}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = 0.751 \quad (4.1)$$

Dimensjonering av vindavstivning - forenklet

- Bruddgrensetilstand
- EC5

Material: GL30C
S355

Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse (Tab. 3.1)

$$k_{mod} := 0.9$$

Partialfaktor for materialegenskaper (sikkerhetsfaktor)

$$\gamma_M := 1.3$$

Byggets lengde

$$L_B := 50000 \quad [mm]$$

Byggets bredde

$$B_B := 30000 \quad [mm]$$

Vegghøyde

$$h := 7000 \quad [mm]$$

Mønehøyde

$$h_m := 11019 \quad [mm]$$

Høyde langvegg

$$h := 7000 \quad [mm]$$

Mønehøyde

$$h_m := 11019 \quad [mm]$$

Sperrelengde

$$l_s := 15529 \quad [mm]$$

Forbindelsesmiddelets karakteristiske kapasitet

$$F_{f.rk} := 1.52 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Forbindelsesmiddel dimensjonerende kapasitet

$$F_{f.rd} := F_{f.rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$F_{f.rd} = 1.052 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Senteravstand mellom forbindelsesmidler

$$s := 100 \quad [mm]$$

Gavlvegg

Valgte dimensjoner:

Antall veggskiver

$$n := 5$$

Bredde veggskive

$$b := 5712 \quad [mm]$$

Opptredende krefter

$$q := 1.719 \cdot 10^{-3} \cdot h = 12.033 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$F_{v.ed} := \frac{q \cdot L_B}{2} = 300.825 \cdot 10^3 [N]$$

Forenklet konstruksjonsanalyse av veggskiver - 9.2.4.2

Den dimensjonerende kapasiteten for en veggskive:

$$b_0 := \frac{1}{2} \cdot h_m = 5509.5 \quad [mm]$$

$$c := \frac{b}{b_0} = 1.037 \quad \text{hvis} \quad b < b_0 \quad b_0 = 5509.5 \quad [mm]$$

$$c := 1.0 \quad \text{hvis} \quad b \geq b_0 \quad b = 5712 \quad [mm]$$

$$F_{v.rd.i} := \frac{1.2 \cdot F_{f.rd} \cdot b \cdot c}{s} = 72.129 \cdot 10^3 [N]$$

$$F_{v.rd} := n \cdot F_{v.rd.i} = 360.647 \cdot 10^3 [N]$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} = 0.834$$

Langvegg

Valgte dimensjoner:

Antall veggskiver

$$n := 13$$

Bredde veggskive

$$b := 3635 \quad [mm]$$

Opptredende krefter

$$q := 1.68 \cdot 10^{-3} \cdot h_m = 18.512 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$F_{v.ed} := \frac{q \cdot B_B}{2} = 277.679 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Forenklet konstruksjonsanalyse av veggskiver - 9.2.4.2

Den dimensjonerende kapasiteten for en veggskive:

$$b_0 := \frac{1}{2} \cdot h = 3500 \quad [mm]$$

$$c := \frac{b}{b_0} = 1.039 \quad \text{hvis} \quad b < b_0$$

$$b_0 = 3500 \quad [mm]$$

$$c := 1.0 \quad \text{hvis} \quad b \geq b_0$$

$$b = 3635 \quad [mm]$$

$$F_{v.rd.i} := \frac{1.2 \cdot F_{f.rd} \cdot b \cdot c}{s} = 45.902 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{v.rd} := n \cdot F_{v.rd.i} = 596.722 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} = 0.465$$

Tak

Valgte dimensjoner:

Antall takskiver

$$n := 2 \cdot 13 = 26$$

Bredde takskive

$$b := 3635 \quad [mm]$$

Opptredende krefter

$$q := 1.68 \cdot 10^{-3} \cdot h_m = 18.512 \quad \left[\frac{N}{mm} \right]$$

$$F_{v.ed} := \frac{q \cdot B_B}{2} = 277.679 \cdot 10^3 \quad [N]$$

Forenklet konstruksjonsanalyse av veggskiver- 9.2.4.2

Den dimensjonerende kapasiteten for en takskive:

$$b_0 := \frac{1}{2} \cdot l_s = 7764.5 \quad [mm]$$

$$c := 1.0 \quad \text{hvis} \quad b \geq b_0 \quad b_0 = 7764.5 \quad [mm]$$

$$c := \frac{b}{b_0} = 0.468 \quad \text{hvis} \quad b < b_0 \quad b = 3635 \quad [mm]$$

$$F_{v.rd.i} := \frac{1.2 \cdot F_{f.rd} \cdot b \cdot c}{s} = 21.489 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$F_{v.rd} := n \cdot F_{v.rd.i} = 558.718 \cdot 10^3 \quad [N]$$

$$\textbf{Kontroll:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} \leq 1.0$$

$$\textbf{Beregning:} \quad \frac{F_{v.ed}}{F_{v.rd}} = 0.497$$

Vedlegg E

Økonomi

Overslagsberegning av kostnad

Alternativ A					
Element	Materiale	Bredde [mm]	Høyde [mm]	Lengde [mm]	Volum [m³]
<u>1</u>	Limtre GL30c	160	280	7000	0,314
<u>2</u>		160	280	7000	0,314
<u>3</u>		240	720	15819	2,734
<u>4</u>		240	720	15819	2,734
<u>5</u>		160	280	30560	1,369
<u>6</u>		160	200	1672	0,054
<u>7</u>		160	80	4815	0,062
<u>8</u>		160	200	3344	0,107
<u>9</u>		160	80	5015	0,064
<u>10</u>		160	80	5015	0,064
<u>11</u>		160	200	3344	0,107
<u>12</u>		160	80	4815	0,062
<u>13</u>		160	200	1672	0,054
	Sum	2240	3400	105890	8,036

Alternativ B					
Element	Materiale	Bredde [mm]	Høyde [mm]	Lengde [mm]	Volum [m ³]
1	Limtre GL30c	280	360	7000	0,706
2		280	360	7000	0,706
3		280	1485	16299,6	6,777
4		280	1485	16299,6	6,777
5	Rundstål	Diameter = 2*36 mm		30720	0,063
Sum		1120	3690	46599,2	14,966

* Summert uten profildata til element 5

	Bredde [mm]	Lengde [mm]
Byggets mål	30000	50000

	Senteravstand [m]	Antall rammer
Alternativ A	1250	41
Alternativ B	3125	17

* Antar gavlerammer som lik kostnad

	Massetetthet [kg]	Pris [kr/m ³]	Pris [kr/kg]
Limtre GL30c	430	12000	-
Rundstål	7850	-	25

	Alt A	Alt B
Kostnad per ram	kr 96 432	kr 191 865
Totalkostnad	kr 3 953 715	kr 3 261 697

	Per ramme	Total
Differanse	kr 95 432	kr 692 018

Overslagsberegning av kostnad

Alternativ B					
Element	Materiale	Bredde [mm]	Høyde [mm]	Lengde [mm]	Volum [m ³]
1	Limtre GL30c	215	450	7000	0,677
2		215	450	7000	0,677
3		215	1170	15529	3,906
4		215	1170	15529	3,906
5	Rundstål 540-S	Diameter = 2*42 mm		31800	0,088
Sum		860	3240	45058	9,167

* Summert uten profildata til element 5

	Bredde [mm]	Lengde [mm]
Byggets mål	30000	50000

	Senteravstand [mm]	Antall rammer
Alternativ B	3850	14

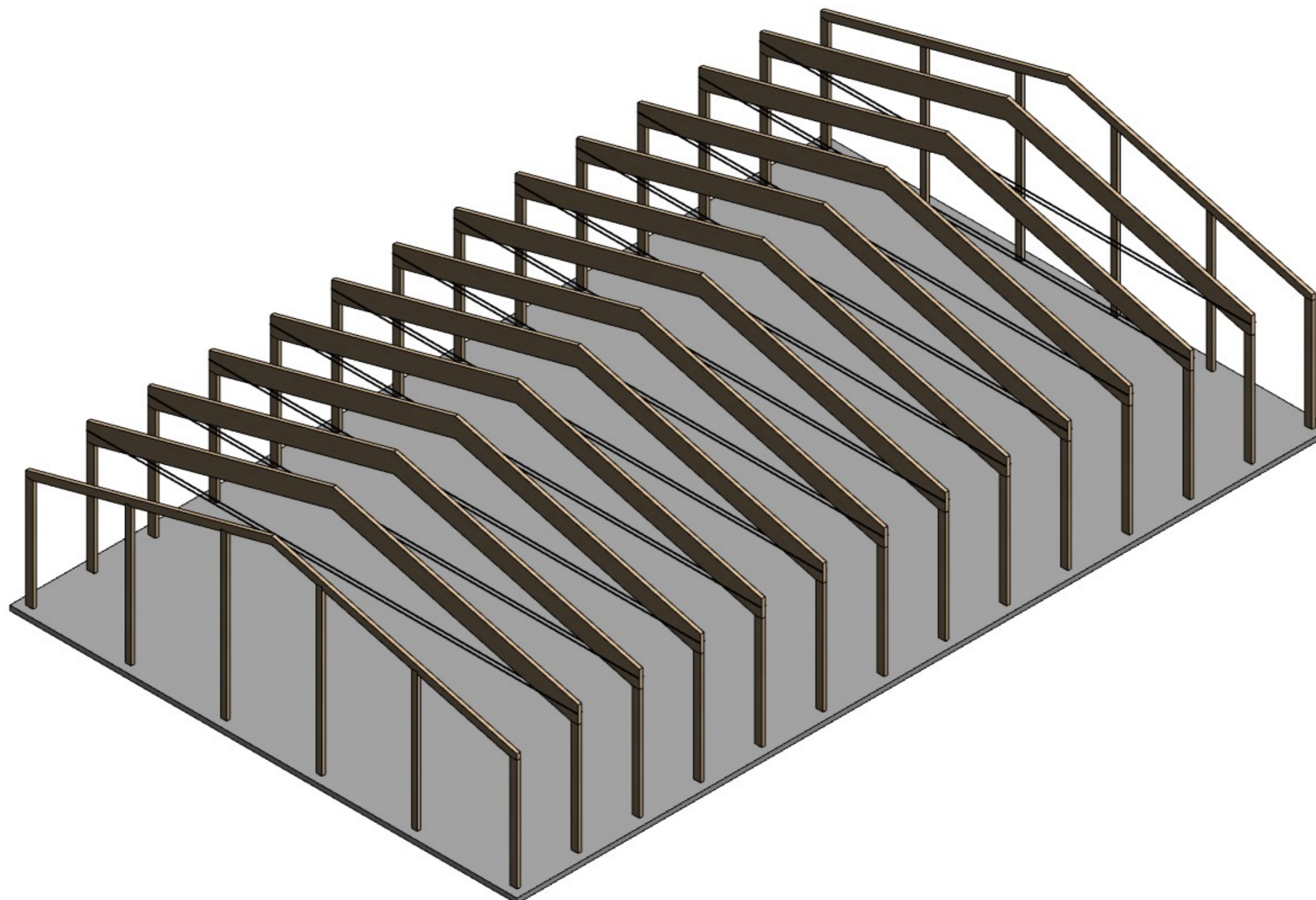
*Antar gavlerammer som lik kostnad

	Massetetthet [kg/m ³]	Pris [kr/m ³]	Pris (per enhet)
Limtre GL30c	430	12000	-
Strekstag (Pretec)	7850	-	15550

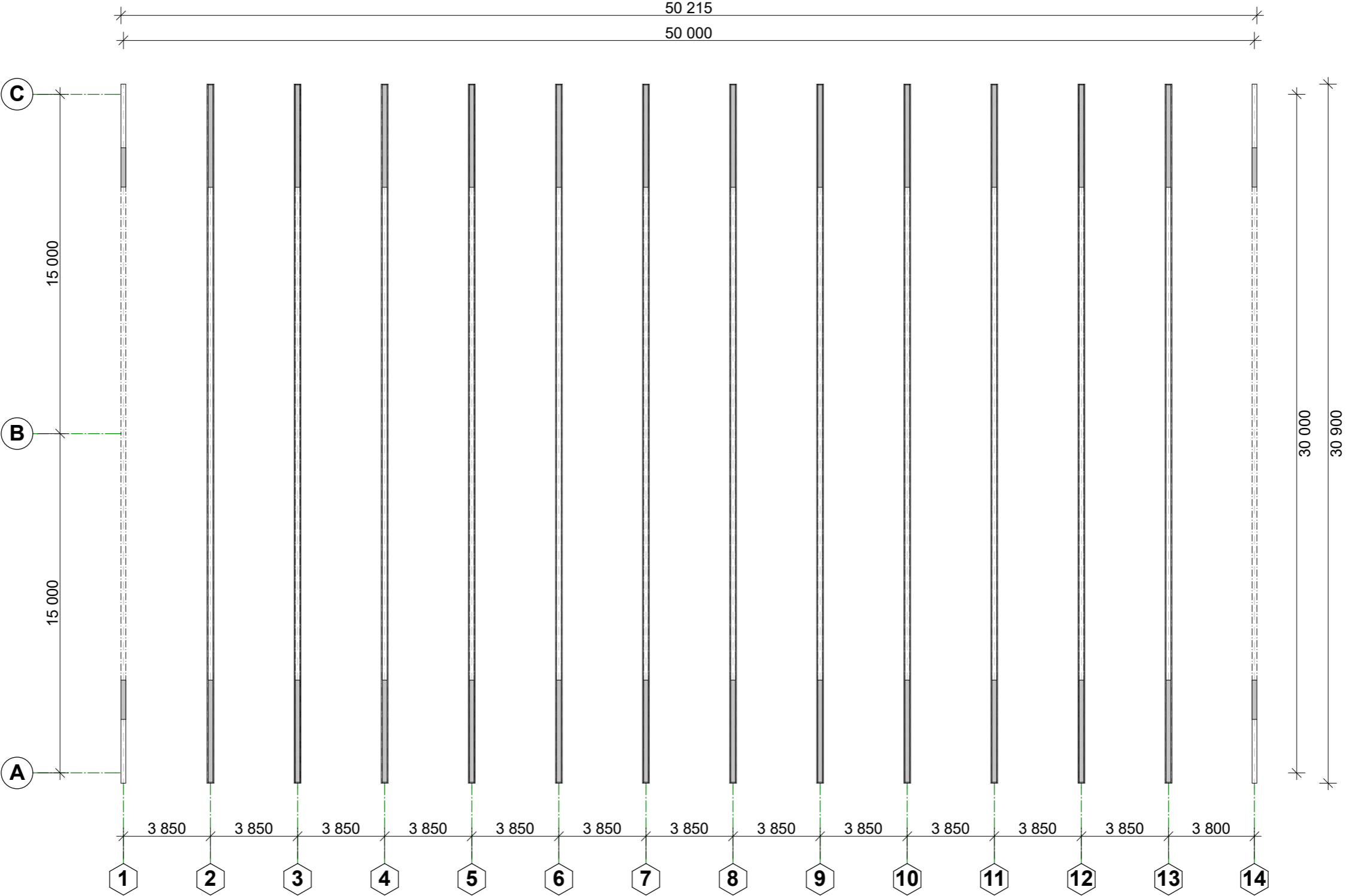
	Alt B
Kostnad per ramme	kr 125 556
Totalkostnad	kr 1 757 780

Vedlegg F

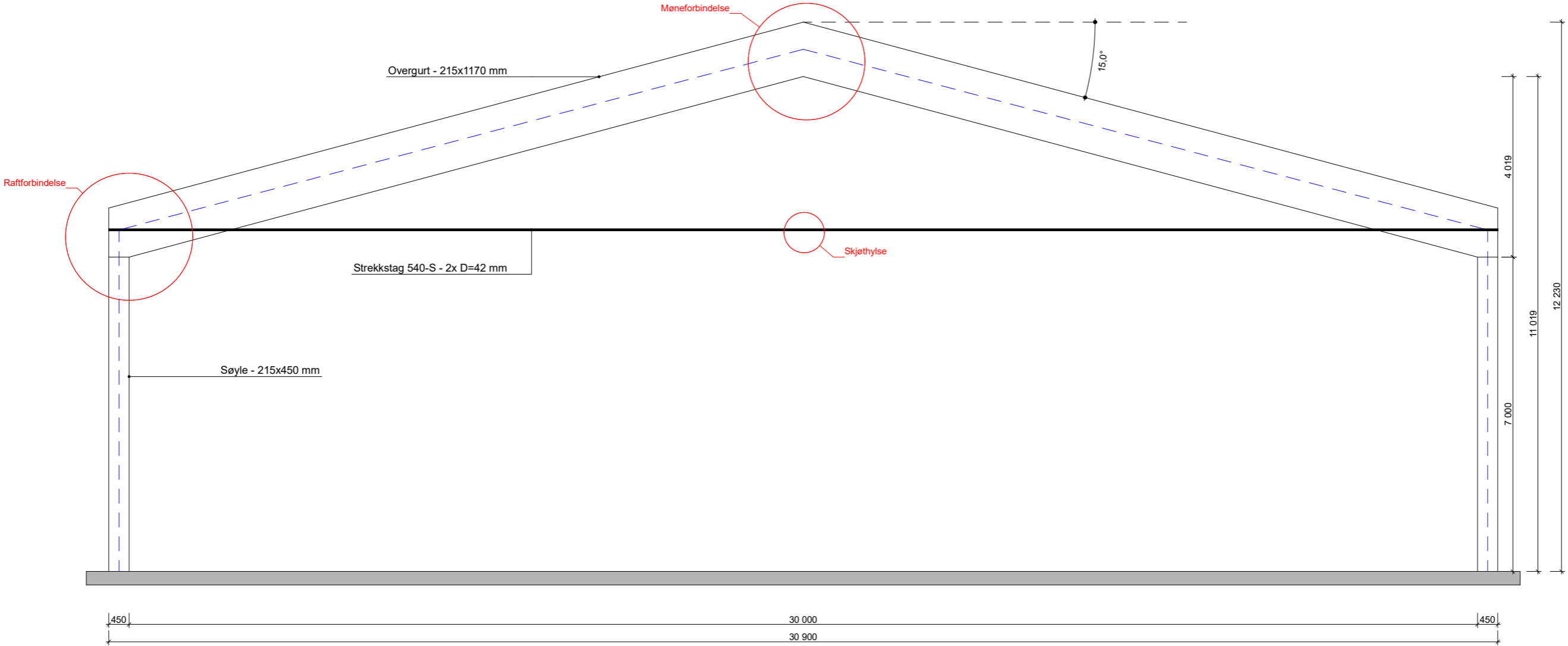
Arbeidstegninger



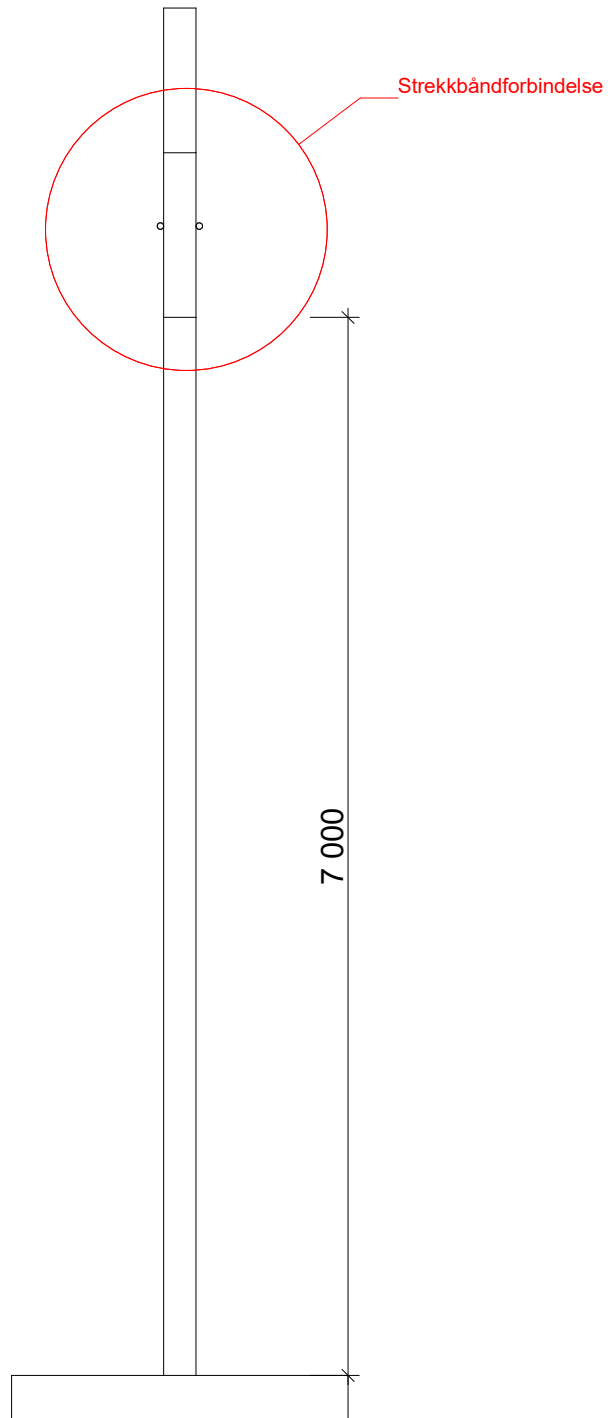
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av:	Kontroll	Dato 11.05.2019
Type tegning: Aksonometrisk fremstilling	Tegningsnr F1		Målestokk



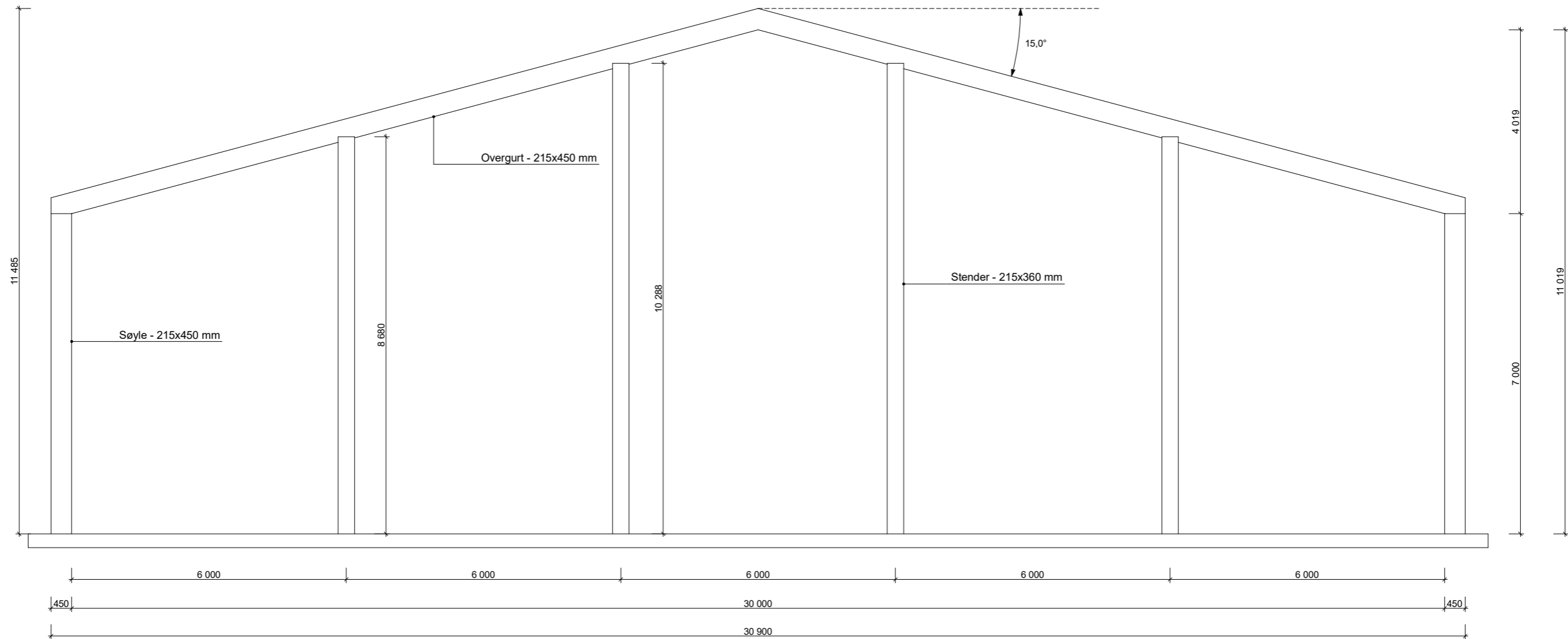
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.M.I	Kontroll A.A.M	Dato 09.05.2019
Type tegning: Plantegning	Tegningsnr F2		Målestokk 1:200



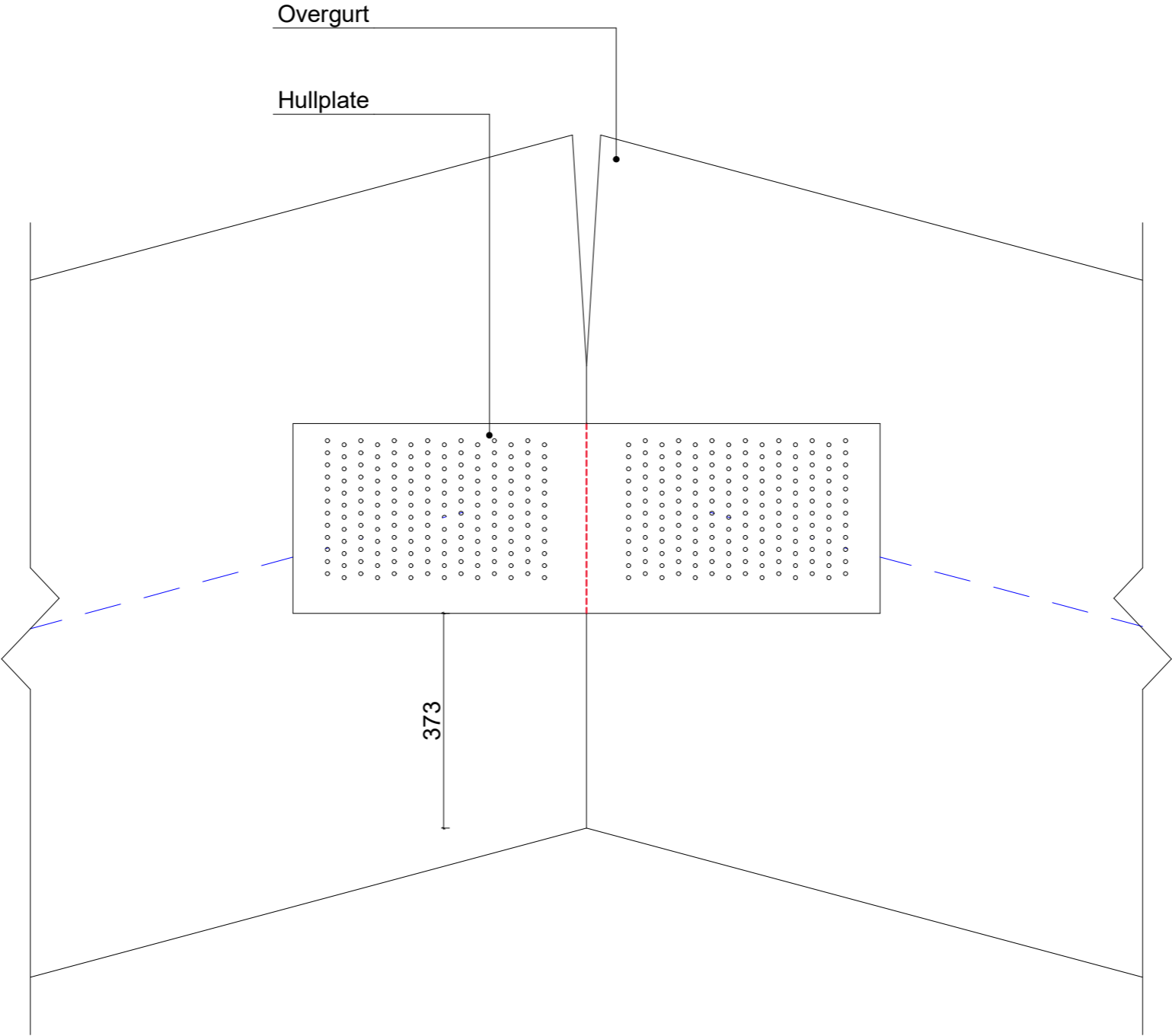
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.M.I	Kontroll A.A.M	Dato 09.05.2019
Type tegning: Takramme	Tegningsnr F3		Målestokk 1:100



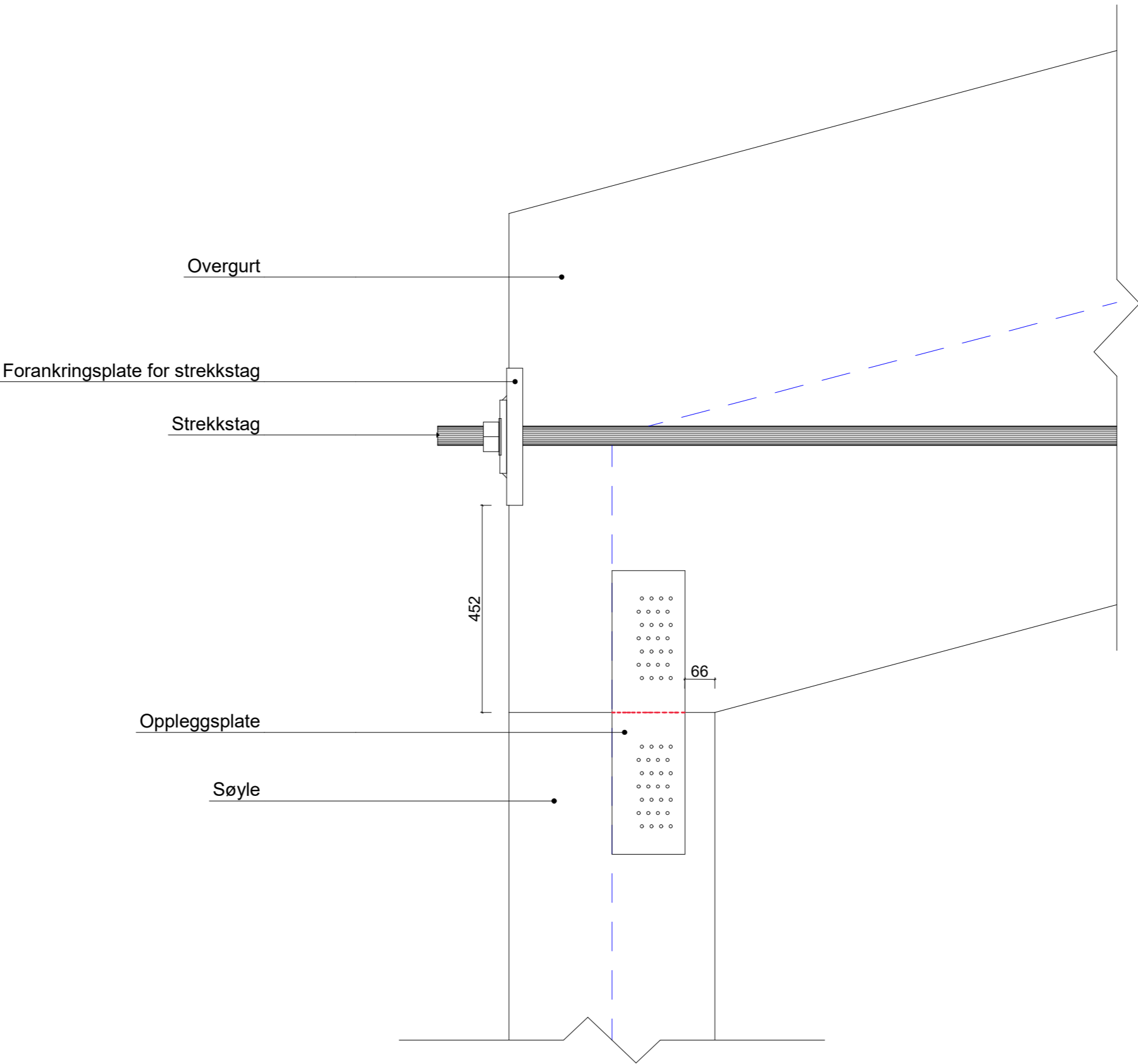
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.A.M	Kontroll: A.M.I	Dato 09.05.2019
Type tegning: Veggsøyle	Tegningsnr F4		Målestokk 1:50



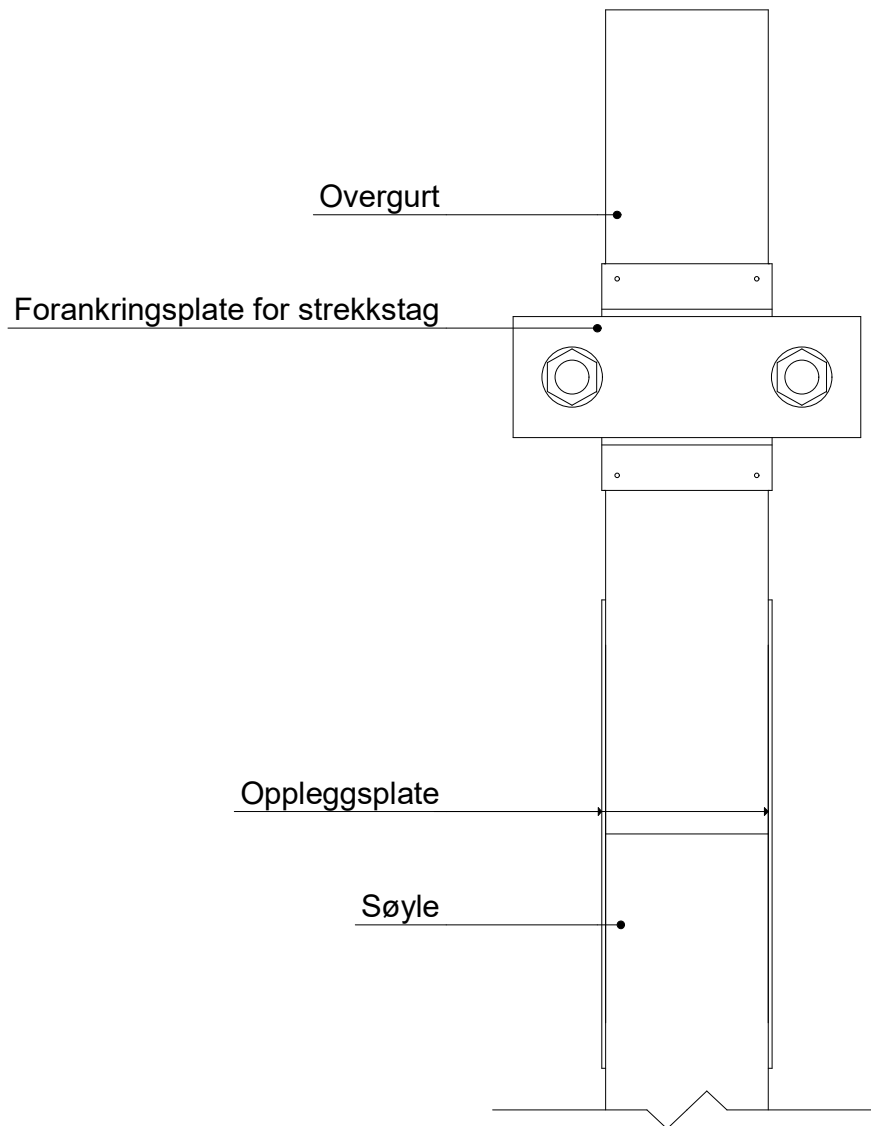
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.A.M	Kontroll A.M.I	Dato 09.05.2019
Type tegning: Gavl	Tegningsnr F5		Målestokk 1:100



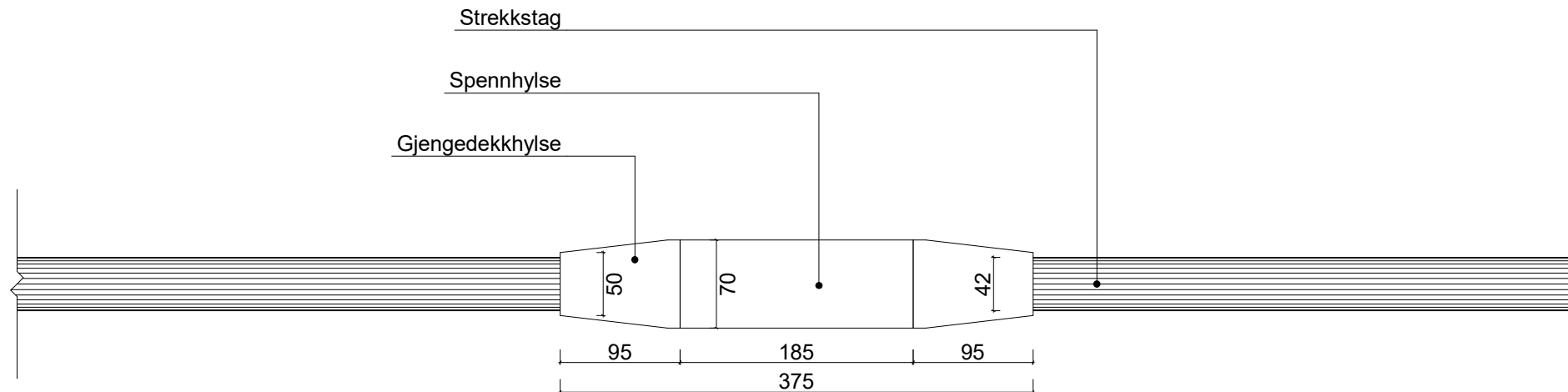
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.M.I	Kontroll A.A.M	Dato 09.05.2019
Type tegning: Møneforbindelse	Tegningsnr F6		Målestokk 1:10



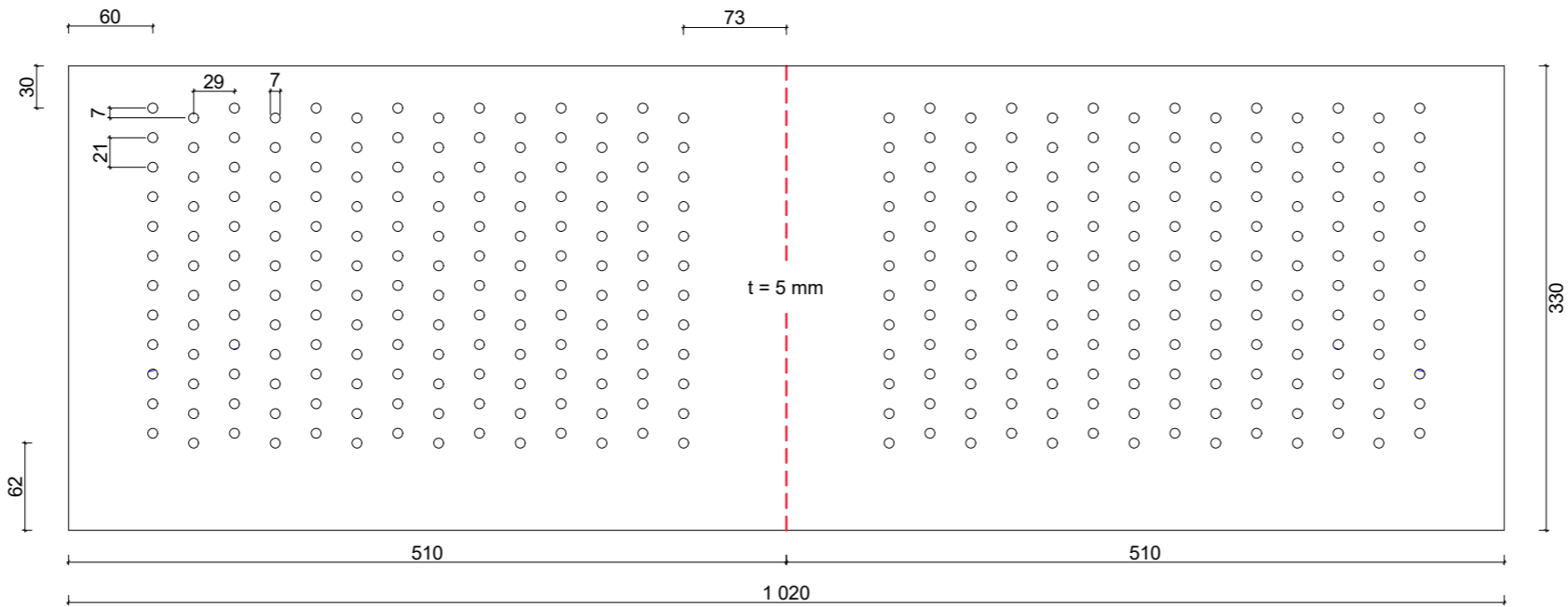
Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.A.M	Kontroll A.M.I	Dato 09.05.2019
Type tegning: Raftforbindelse	Tegningsnr F7		Målestokk 1:10



Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.A.M	Kontroll: A.M.I	Dato 09.05.2019
Type tegning: Strekkbåndforbindelse	Tegningsnr F8		Målestokk 1:10

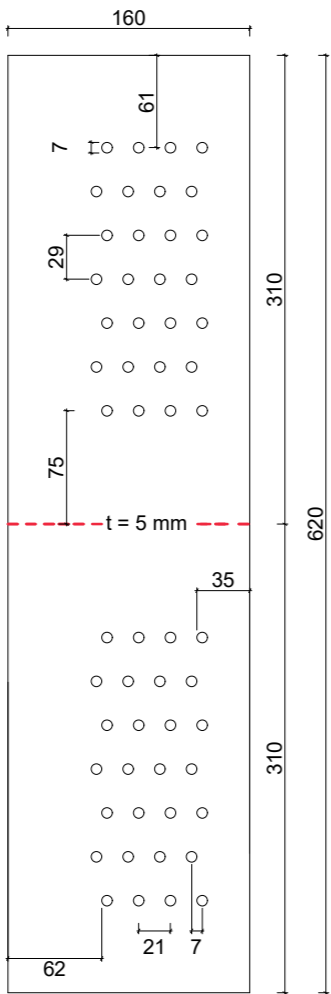


Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.M.I	Kontroll A.A.M	Dato 09.05.2019
Type tegning: Skjøthylse	Tegningsnr F9		Målestokk 1:5



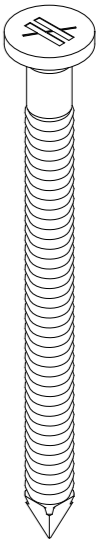
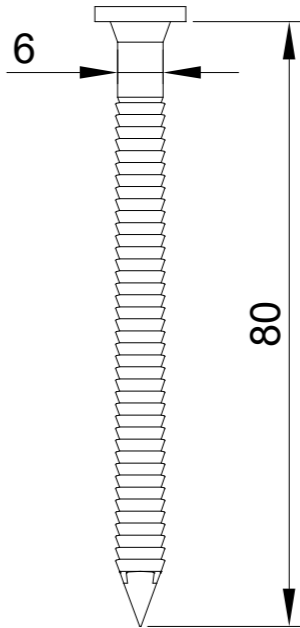
Møneplate

1:5



Oppleggsplate

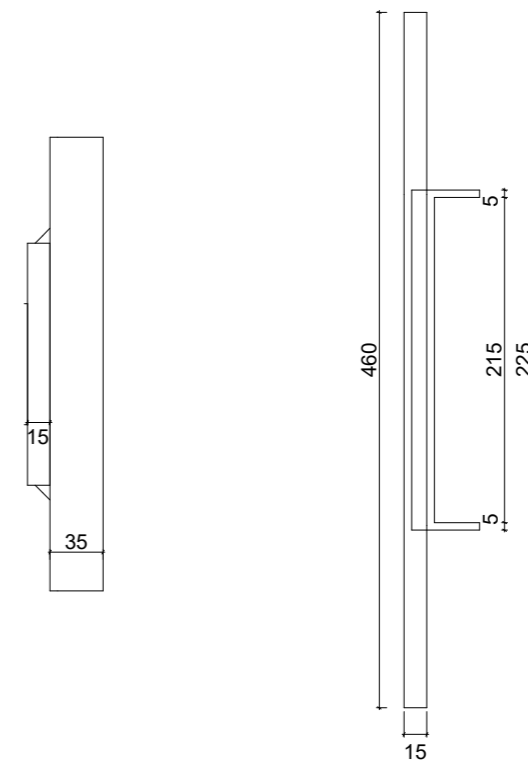
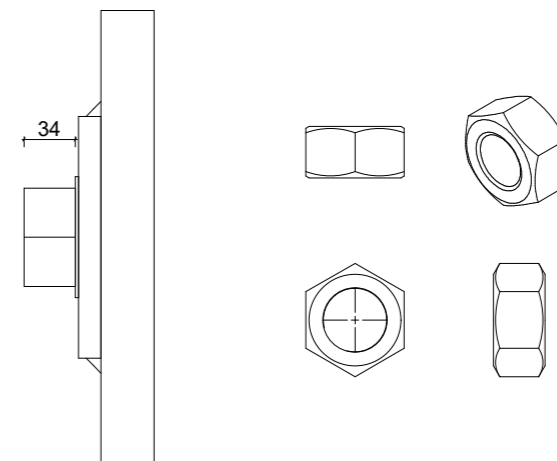
1:5



Kamspiker CNA 6,0x80

1:1

Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.A.M	Kontroll A.M.I	Dato 09.05.2019
Type tegning: Hullplater og spiker	Tegningsnr F10		Målestokk



Bachelorgruppe.: Arslan M.I. og Ali A.M.	Tegning av: A.M.I	Kontroll A.A.M	Dato 09.05.2019
Type tegning: Strekktstagforankring		Tegningsnr F11	Målestokk 1:5

