

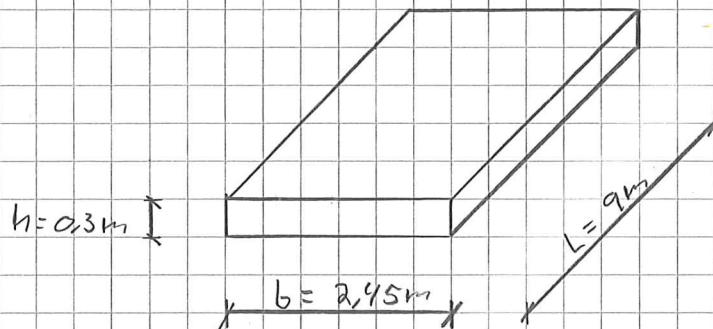
Vedlegg 21

Håndberegning av laster

Most belastet dekke - dimensionerende last

CLT 300 L 85-2

Spennvidde 9m



Egenvekt dekke:

CLT elementer har massetetthet på ca $5 \frac{KN}{m^3}$

Egenvekt av dekke blir da

$$G_{ed} = 5 \frac{KN}{m^3} \cdot h \cdot b = 5 \frac{KN}{m^3} \cdot 0,3m \cdot 2,45m$$

$$G_{ed} = 3,675 \frac{KN}{m}$$

Nyttelast:

For nyttelast for bolig benyttes $2 \frac{KN}{m^2}$

$$Q_n = 2 \frac{KN}{m^2} \cdot b = 2 \frac{KN}{m^2} \cdot 2,45m$$

$$Q_n = 4,9 \frac{KN}{m}$$

Calculatis benyttes $Q_1 = 1,5$ for nyttelast.

Justerer her for dette for å kunne regne lastkombinasjonene B1 og B2

$$Q_n = \frac{4,9 \frac{KN}{m}}{1,5}$$

$$Q_n = 3,27 \frac{KN}{m}$$

Egenlast påført:

- består av:
- Himling, lottvegger etc. (G_{div})
 - Påstøp (G_p)

Før himling, lottvegger etc. benyttes $0,5 \frac{kN}{m^2}$

$$G_{div} = 0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot b = 0,5 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,45m$$

$$G_{div} = 1,23 \frac{kN}{m}$$

Påstøp har massetetthet $25 \frac{kN}{m^3}$. Har 5cm påstøp.

$$G_p = 25 \frac{kN}{m^3} \cdot h \cdot b = 25 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,05m \cdot 2,45m$$

$$G_p = 3,06 \frac{kN}{m}$$

Egenlast påført $G_{EP} = G_{div} + G_p = (1,23 + 3,06) \frac{kN}{m}$

$$G_{EP} = 4,29 \frac{kN}{m}$$

Total egenlast G_e

$$G_e = G_{ed} + G_{EP} = (3,675 + 3,06) \frac{kN}{m}$$

$$G_e = 6,735 \frac{kN}{m}$$

Håndberegningen blir gjort i forbindelse med Calculatis.

Calculatis benytter $\gamma_G = 1,35$ for egenlast.

Justerer her for dette slik at vi kan beregne lastkombinasjonene B_1 og B_2

$$G_e = \frac{6,735 \frac{kN}{m}}{1,35} = 5 \frac{kN}{m}$$

$$G_e = 5 \frac{kN}{m}$$

Lastkombinasjoner:

$$B1: \gamma_G = 1,35$$

$$Q_1 = 1,05$$

$$q_{dim1} = \gamma_G \cdot G_e + Q_1 \cdot Q_n = 1,35 \cdot \frac{5 \text{ kN}}{\text{m}} + 1,05 \cdot \frac{3,27 \text{ kN}}{\text{m}}$$

$$q_{dim1} = 10,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$B2: \gamma_G = 1,20$$

$$Q_1 = 1,50$$

$$q_{dim2} = \gamma_G \cdot G_e + Q_1 \cdot Q_n = 1,20 \cdot \frac{5 \text{ kN}}{\text{m}} + 1,50 \cdot \frac{3,27 \text{ kN}}{\text{m}}$$

$$q_{dim2} = 10,91 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{dim2} > q_{dim1} \Rightarrow q_{dim2} = q_{dim}$$

Dimensjonerende last på dekket $q_{dim} = 10,91 \text{ kN/m}$

Deler opp lastene på grunn av Calculatis:

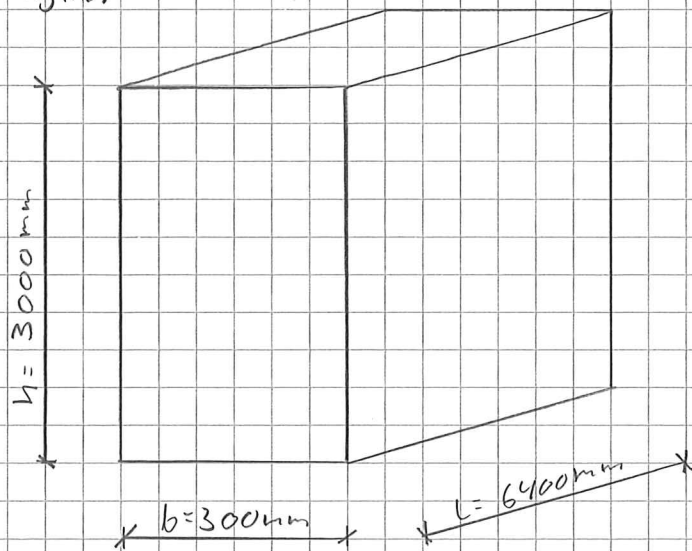
$$\text{Egenlast } q_{dime} = \frac{6 \text{ kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nyttelast } q_{dim1} = \frac{4,91 \text{ kN}}{\text{m}}$$

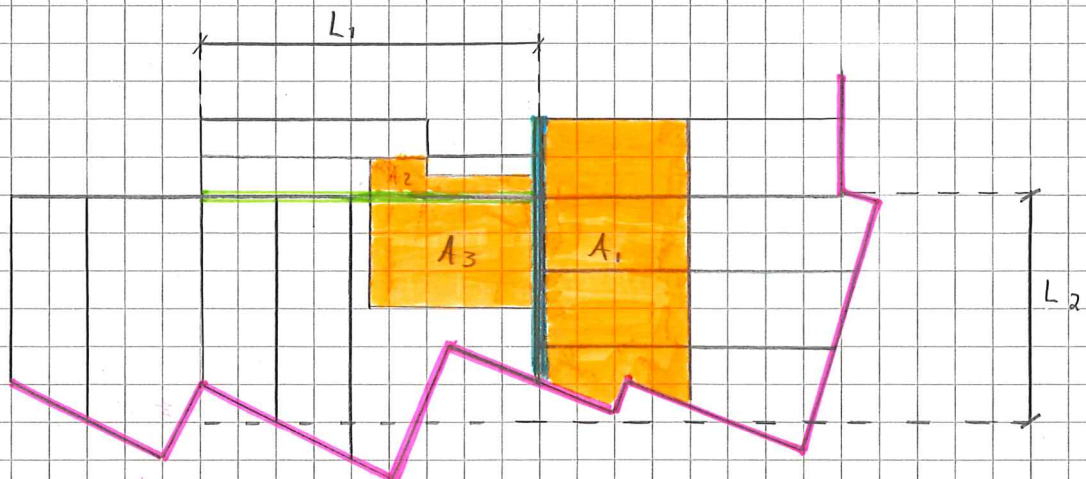
Mest belastet CLT-vegg - dimensjonerende last


Veggen får belastning fra dekker, bjelke og overliggende vegger.


Veggen er av CLT-elementet CLT 300 L 85-2 og har en lengde på 6,4m. Veggen er 300mm tykk.





Veggen går fra plan 03 - plan 11 med likt belastningsareal for alle plan. Se Figur 8:



 Belastningsareal

 Aktuell CLT-vegg

 HEA 340 Festet i vegg

 Bærende bjelke HEA 340

Valgt belastningsareal på høyresiden er nok litt større enn det reelle, ettersom dekkene har bæring i begge retninger.

Egenvekt av bjelke merket med grønn farge tas med i lastberegningen for veggen.

Bjelken fører også laster fra dekker ned til veggen som en punktlast.

Aralet A_3 finner vi ved å tilhørme et areal gitt ved $L_1 \cdot L_2$.

L_1 = Lengde til bjelke (grønn)

$$A_3 = \frac{L_1 \cdot L_2}{4}$$

L_2 = Tilhørmet "resultant"

av den skrå avgrensningen

A_2 blir avgrensen av halve lengden

til bjelken (grønn) $\frac{L_1}{2}$, og halve bredden til dekket.

Areal A_2 og A_3 må sees i sammenheng.

Belastningen som kommer fra A_2 og A_3 vil bli ført via bjelke (grønn) til veggen som punktlast.

Belastningen som kommer fra A_1 vil bli en jevnt fordelt last på veggen.

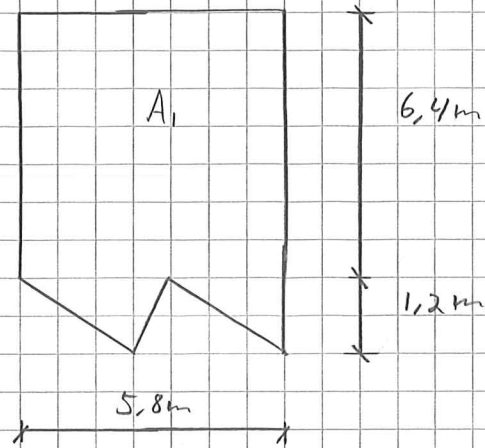
Rosa farge markerer bjelken av typen HEA 340 som støtter opp dekkene. Bjelkene blir støttet opp av søyler, så deres egenvekt blir ikke regnet med i den dimensjonerende lasten til veggen.

Belastningsareal 1 $A_{B1} = A_1 = 40,60 \text{ m}^2$

Belastningsareal 2 $A_{B2} = A_2 + A_3 = 3,09 \text{ m}^2 + 15,5 \text{ m}^2$

$$A_{B2} = 18,60 \text{ m}^2$$

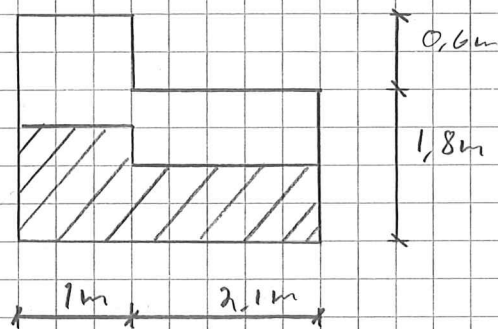
A₁ :



$$A_1 = (6.4\text{m} \cdot 5.8\text{m}) + \left(\frac{1.2\text{m} \cdot 5.8\text{m}}{2} \right)$$

$$A_1 = 40.6\text{m}^2$$

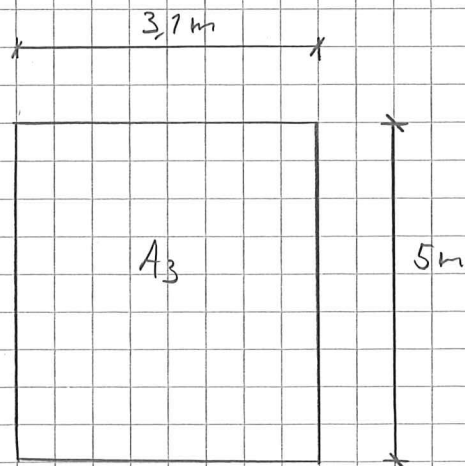
A₂ :



$$A_2 = \frac{(1\text{m} \cdot 0.6\text{m}) + (1.8\text{m} \cdot (2.1\text{m} + 1\text{m}))}{2}$$

$$A_2 = 3.09\text{m}^2$$

A₃ :



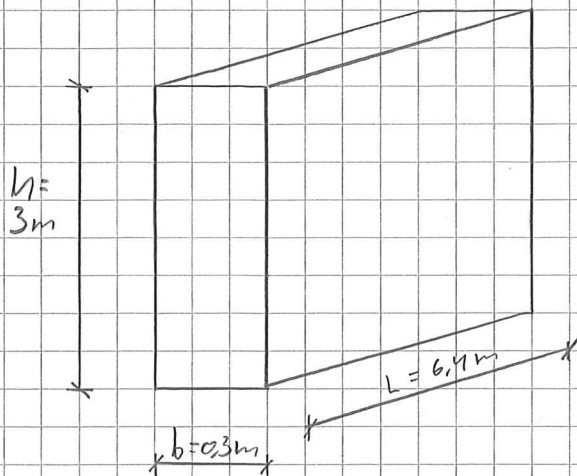
$$A_3 = 3.1\text{m} \cdot 5\text{m}$$

$$A_3 = 15.5\text{m}^2$$

Laster:

Egenvekt vegg:

CLT-elementer har massetetthet på ca 5 kN/m^3 .



Egenvekt av vegg blir da

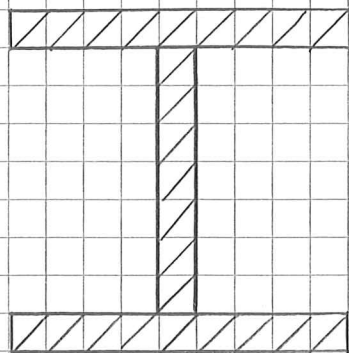
$$5 \text{ kN/m}^3 \cdot h \cdot b \cdot L$$

$$5 \text{ kN/m}^3 \cdot 3\text{m} \cdot 0.3\text{m} \cdot 6.4\text{m} = 28.8 \text{ kN}$$

per meter blir da $\frac{28.8 \text{ kN}}{6.4\text{m}} = 4.5 \text{ kN/m}$ (jevnt fordelt)

Egenvekt bjelke:

Stål S355 har massetetthet på 78.5 kN/m^3



HEA 340

Areial av tverrsnitt

$$A_{340} = 0.01335 \text{ m}^2$$

Har en lengde $L_1 = 6.2\text{m}$

Egenvekt av bjelken blir da

$$78.5 \text{ kN/m}^3 \cdot A_{340} \cdot \frac{L_1}{2}$$

$$78.5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.01335 \text{ m}^2 \cdot 6.2\text{m}$$

$$= 6.5 \text{ kN} \text{ (punktlast)}$$

Egenvekt dekke:

Valgte dekke er CLT- element med tykkelse på 300mm.

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Massetetthet } 5 \text{ KN/m}^3$$

Egenvekt av dekke blir da

$$5 \text{ KN/m}^3 \cdot h \cdot A_{B1} \quad \text{For jevnt Fordelt}$$

$$5 \text{ KN/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 40,6 \text{ m}^2 = 60,9 \text{ KN}$$

$$\text{per meter blir da } \frac{60,9 \text{ KN}}{6,4 \text{ m}} = 9,5 \text{ KN/m (jevnt Fordelt)}$$

$$5 \text{ KN/m}^3 \cdot h \cdot A_{B2} \quad \text{For punktlast}$$

$$5 \text{ KN/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 18,60 \text{ m}^2 = 27,9 \text{ KN (punktlast)}$$

Påført egenlast på dekke:

Består av:

- Himling, lettvegger etc.

- Påstøp

For himling, lettvegger etc. benyttes $0,5 \text{ KN/m}^2$

$$0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot A_{B1} \quad \text{For jevnt Fordelt}$$

$$0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 40,6 \text{ m}^2 = 20,3 \text{ KN}$$

$$\text{per meter blir da } \frac{20,3 \text{ KN}}{6,4 \text{ m}} = 3,17 \text{ KN/m (jevnt Fordelt)}$$

$$0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot A_{B2} \quad \text{For punktlast}$$

$$0,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 18,60 \text{ m}^2 = 9,3 \text{ KN (punktlast)}$$

Påstøp (betong) har massetetthet på 25 KN/m^3

Vi har valgt 5cm påstøp i vår løsning.

$$h = 0,05 \text{ m}$$

$$25 \text{ KN/m}^3 \cdot h \cdot A_{B1} \quad \text{For jevnt fordelt}$$

$$25 \text{ KN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 40,6 \text{ m}^2 = 50,75 \text{ KN}$$

$$\text{Per meter blir da } \frac{50,75 \text{ KN}}{6,4 \text{ m}} = 7,93 \text{ KN/m (jevnt fordelt)}$$

$$25 \text{ KN/m}^3 \cdot h \cdot A_{B2} \quad \text{For punktlast}$$

$$25 \text{ KN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 18,60 \text{ m}^2 = 23,25 \text{ KN (punktlast)}$$

Nyttelast på dekke:

Nyttelasten reduseres ved en etasjereduksjonsfaktor α_n .

$$\alpha_n = \frac{(2 + (n - 2) \cdot 0,7)}{n} \quad \text{der } n = \text{antall etasjer}$$

Veggen har dimensjoneres for nyttelast på 9 etasjer. Derfor $n = 9$.

$$\alpha_n = \frac{(2 + (9 - 2) \cdot 0,7)}{9}$$

$$\alpha_n = 0,77$$

For nyttelast bolig benyttes 2 KN/m^2

$$2 \text{ KN/m}^2 \cdot A_{B1} \cdot \alpha_n$$

$$2 \text{ KN/m}^2 \cdot 40,6 \text{ m}^2 \cdot 0,77 = 62,5 \text{ KN}$$

$$\text{Per meter blir da } \frac{62,5 \text{ KN}}{6,4 \text{ m}} = 9,77 \text{ KN/m (jevnt fordelt)}$$

$$2 \text{ KN/m}^2 \cdot A_{B2} \cdot \alpha_n \quad \text{For punktlast}$$

$$2 \text{ KN/m}^2 \cdot 18,60 \text{ m}^2 \cdot 0,77 = 28,64 \text{ KN (Punktlast)}$$

Samling av laster:

Punktlaster fra egenvekt:

Egenvekt bjelke	6,5 kN
Egenvekt dekke	27,9 kN
Himling, lettvegger etc.	9,3 kN
Påstøp	23,25 kN
<u>Sum = 67 kN (P_e)</u>	

Punktlast fra nyttelast:

Nyttelast bolig	28,64 kN
<u>Sum = 28,64 kN (P_n)</u>	

Jevnt Fordelte laster fra egenvekt:

Egenvekt vegg	4,5 kN/m
Egenvekt dekke	9,5 kN/m
Himling, lettvegger etc.	3,17 kN/m
Påstøp	7,93 kN/m
<u>Sum = 25,1 kN/m (q_e)</u>	

Jevnt Fordelte laster fra nyttelast:

Nyttelast bolig	9,77 kN/m
<u>Sum = 9,77 kN/m (q_n)</u>	

Sjekk lastkombinasjonene B1 og B2 (bryttilstand)

$$B1: \gamma_G (\text{ugunstig}) = 1,35$$

$$Q_1 = 1,05$$

Punktlast:

$$P_{dim1} = P_G \cdot \gamma_G + P_H \cdot Q_1 = 67 \text{ kN} \cdot 1,35 + 28,64 \text{ kN} \cdot 1,05$$

$$P_{dim1} = 120,5 \text{ kN}$$

Jevnt Fordelt last:

$$q_{dim1} = q_G \cdot \gamma_G + q_H \cdot Q_1 = 25,1 \text{ kN/m} \cdot 1,35 + 9,77 \text{ kN/m} \cdot 1,05$$

$$q_{dim1} = 44,1 \text{ kN/m}$$

$$B2: \gamma_G (\text{ugunstig}) = 1,20$$

$$Q_1 = 1,50$$

Punktlast:

$$P_{dim2} = P_G \cdot \gamma_G + P_H \cdot Q_1 = 67 \text{ kN} \cdot 1,20 + 28,64 \text{ kN} \cdot 1,50$$

$$P_{dim2} = 123,36 \text{ kN}$$

Jevnt Fordelt last:

$$q_{dim2} = q_G \cdot \gamma_G + q_H \cdot Q_1 = 25,1 \text{ kN/m} \cdot 1,20 + 9,77 \cdot 1,50$$

$$q_{dim2} = 44,8 \text{ kN/m}$$

B2 gir størst dimensjonerende last. Bruker den videre.

$$P_{dim2} > P_{dim1} \Rightarrow P_{dim} = P_{dim2}$$

$$q_{dim2} > q_{dim1} \Rightarrow q_{dim} = q_{dim2}$$

$$P_{dim} = 123,36 \text{ kN} \quad \text{og} \quad q_{dim} = 44,8 \text{ kN/m}$$

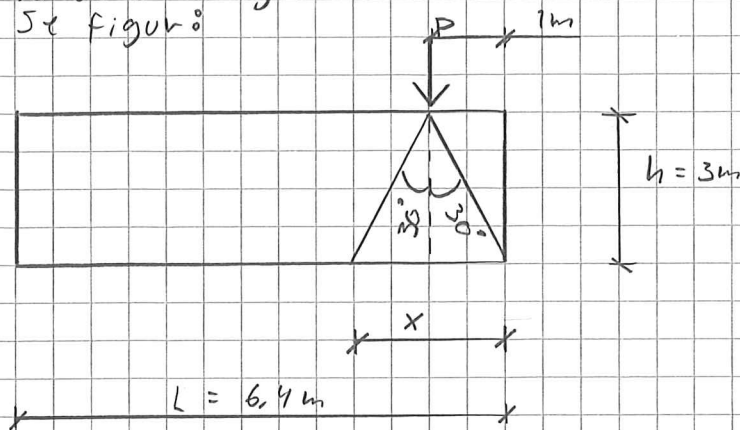
Legger lastene inn i Calculatis som egenvekt. Må derfor dividere lastene med 1,35 slik at last faktoren ikke blir brukt i Calculatis.

$$P_{dim} = 91,38 \text{ kN}$$

$$q_{dim} = 33,18 \text{ kN/m}$$

Fordeling av punktlast fra overliggende vegger:

En punktlast i en vegg vil normalt fordele seg nedover med en vinkel på 30° .
Se figur:



Den mest belastede CLT-vegg har 8 overliggende vegger.

Vil nå finne ut hvor mange etasjer P bruker på å fordele seg til $x \geq L$

$$\tan 30^\circ = \frac{(x - 1m)}{h}$$

$$x = (\tan 30^\circ \cdot h) + 1m$$

Fordelingen av P blir gitt ved formelen

$$x = (\tan 30^\circ \cdot g \cdot h) + 1m \quad \text{der } g = \text{antall etasjer}$$

$$x_1 = (\tan 30^\circ \cdot 1 \cdot 3m) + 1m = 2,73m < L = 6,4m$$

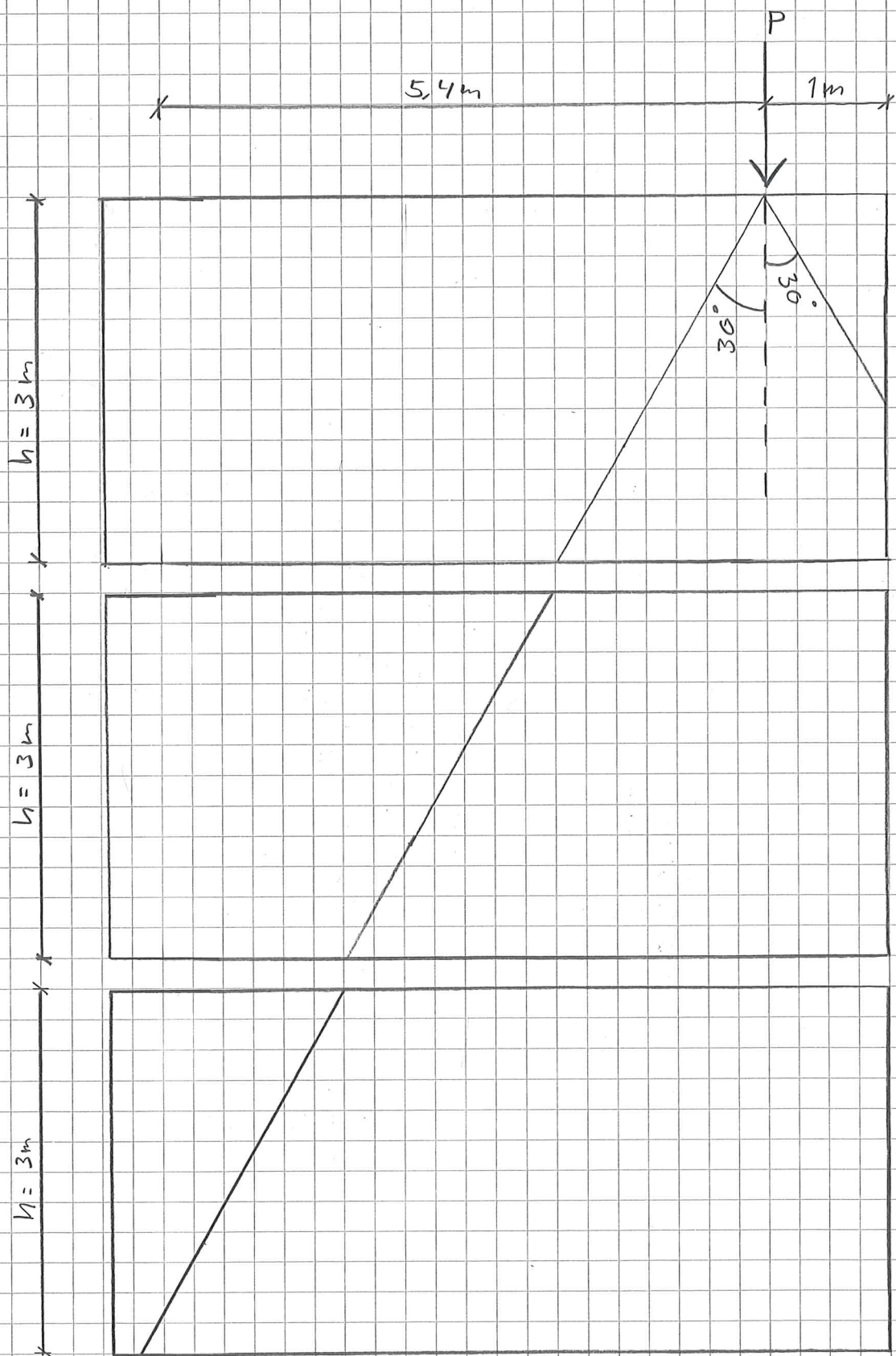
$$x_2 = (\tan 30^\circ \cdot 2 \cdot 3m) + 1m = 4,46m < L = 6,4m$$

$$x_3 = (\tan 30^\circ \cdot 3 \cdot 3m) + 1m = 6,2m < L = 6,4m$$

6,2m er tilnærmet likt 6,4m.

Fordeling av punktlasten P skjer ved 3 etasjerhøder.

Figur som viser fordelingen av punktlast:



Lastene på vegg:

Veggen blir belastet med punktlaster fordelt på full lengde for 6 av de 8 overliggende veggene.

$$\frac{P_{dim}}{L} = \frac{91,38 \text{ kN}}{6,4 \text{ m}} = 14,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Gjelder for 6 etasjer: } 14,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 6 = 85,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Veggene på de to resterende etasjene blir belastet med:

$$\frac{P_{dim}}{x_1} = \frac{91,38 \text{ kN}}{2,73 \text{ m}} = 33,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Fordelt på } 2,73 \text{ m}$$

$$\frac{P_{dim}}{x_2} = \frac{91,38 \text{ kN}}{4,46 \text{ m}} = 20,49 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Fordelt på } 4,46 \text{ m}$$

q_{dim} gjelder for 9 etasjer.

$$q_{dim} \cdot 9 = 33,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 9 = 298,62 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Punktlast fra bjelker $P_{dim} = 91,38 \text{ kN}$ trykker også veggene.

Beregning av vindlast

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot C_{alt} \cdot C_{prob} \cdot V_{b0}$$

$C_{dir} = 1,0$ Vindretning gir maksimal vindstyrke

$C_{season} = 1,0$ Konstruksjon i bruk hele året

$C_{prob} = 1,0$ Returperiode 50 år (gjentakingsintervall for dimensjonerende V_{b0})

$C_{alt} = 1,0$ Ikke høyfjellsstrøk

$V_b = V_{b0}$ i dette tilfellet

Leser av tabell

Referansevindhastighet $V_{b0} = 29 \text{ m/s}$ for Ålesund

$$V_{b0} = V_b = 29 \text{ m/s}$$

Finner stedsvindhastighet $V_m(z)$:

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_o(z) \cdot V_b$$

Leser av tabell

Velger terrengkulturskategori I

$$\text{Gir } K_r = 0,17$$

$$z_0 = 0,01 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

$$z = 45 \text{ m}$$

$$z_{min} \leq z \leq 200 \text{ m}$$

$$\text{Gir } C_r(z) = K_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,17 \cdot \ln\left(\frac{45 \text{ m}}{0,01 \text{ m}}\right)$$

$$C_r(z) = 1,43$$

$$\text{Setter } C_o(z) = 1,0$$

$$V_m(z) = 1,43 \cdot 1,0 \cdot V_b$$

$$V_m(z) = 41,47 \text{ m/s}$$



Finner vindkasthastighet V_p %

$$V_p = V_m(z) \cdot \sqrt{1 + 7 \cdot I_v(z)}$$

$$z \geq z_{\min}$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{C_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{45m}{0,01m}\right)}$$

$$I_v(z) = 0,11888 \quad \text{Turbulensintensitet}$$

$$V_p = 41,47 \text{ m/s} \cdot \sqrt{1 + (7 \cdot 0,11888)}$$

$$V_p = 56,13 \text{ m/s}$$

Finner hastighetstrykk for vindkast q_p %

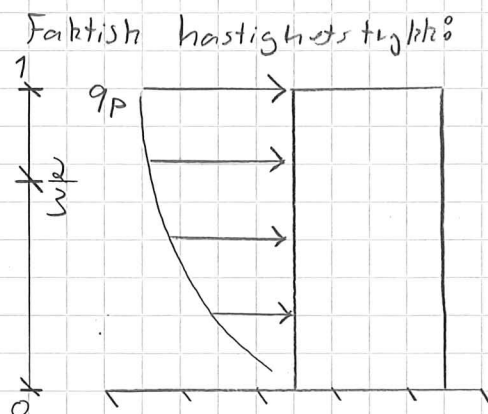
$$q_p = V_p^2 \cdot 0,625$$

$$q_p = (56,13 \text{ m/s})^2 \cdot 0,625$$

$$q_p = 1969,1 \text{ N/m}^2$$

$$\underline{q_p = 1,97 \text{ kN/m}^2}$$

Dette hastighetstrykket gjelder for 45 meters høyde. Hastighetstrykket vil auke nedover i bygget, derfor multipliserer vidimensionshørende last med $\frac{2}{3}$ for å benytte tilnærming av resultant.

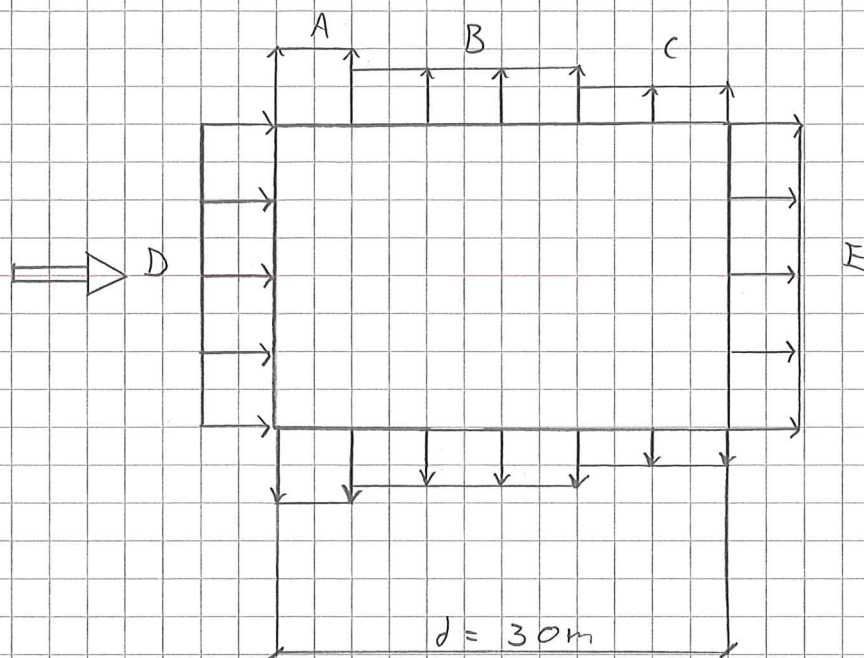


Finnet vindlast i X-retning:

Finnet formfaktor for utvendig vindlast:

For et belastet areal $\geq 10 \text{ m}^2$ gjelder $C_{pe,10}$

I dette tilfelle gjelder $C_{pe,10}$



$$\frac{h}{d} = \frac{45\text{m}}{30\text{m}} = 1,5$$

Leser av $C_{pe,10} = 0,8$ For D

Interpolering for $C_{pe,10}$ For E (linær interpolering)

Definerer $\frac{h}{d}$ som x og $C_{pe,10}$ som y

$$x_0 = 1$$

$$y_0 = -0,5$$

$$x = 1,5$$

$$y = \text{ukjent}$$

$$x_1 = 5$$

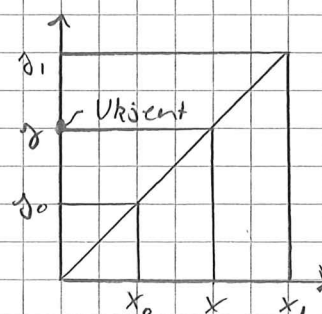
$$y_1 = -0,7$$

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

$$y = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) + y_0$$

$$y = \frac{-0,7 - (-0,5)}{5 - 1} \cdot (1,5 - 1) + (-0,5) = -0,525$$

$$\frac{h}{d} = 1,5 \text{ gir } C_{pe,10} = -0,525 \text{ For E}$$



D er trykk. Bli definert av positiv verdi.

E er sug. Bli definert av negativ verdi.

A, B og C er variable sug. Nuller ut hverandre, ettersom de virker i motsatt retning av hverandre.

Total vindlast blir derfor D+E, ettersom de virker i samme retning.

$$D = q_p \cdot C_{pe,10}$$

$$q_p = 1,97 \text{ kN/m}^2$$

$$D = 1,97 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8$$

$$C_{pe,10} \text{ for } D = 0,8$$

$$D = 1,58 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,10} \text{ for } E = -0,525$$

$$E = q_p \cdot C_{pe,10}$$

$$E = 1,97 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,525)$$

$$E = -1,03 \text{ kN/m}^2$$

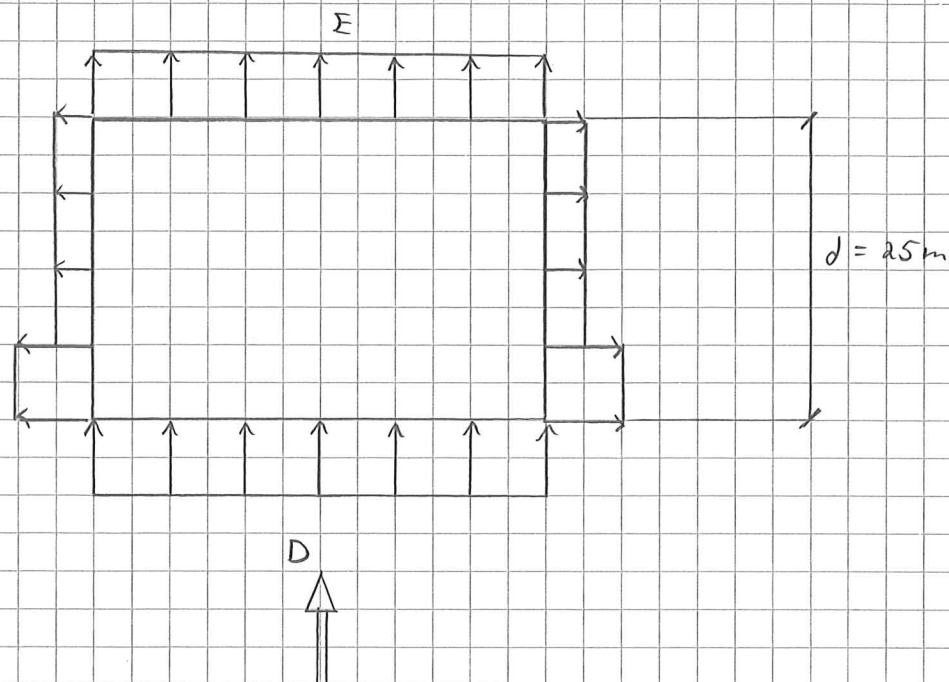
$$D + E = 1,58 \text{ kN/m}^2 + 1,03 \text{ kN/m}^2 = 2,61 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total utvending vindlast} = 2,61 \text{ kN/m}^2 \text{ (X-retning)}$$

Dimensjonerende vindlast multipliseres med etaskehøyde med hensyn på FEM-design, samt multipliseres med $\frac{2}{3}$.

$$\frac{2,61 \text{ kN}}{\text{m}^2} \cdot 3 \text{ m} \cdot \frac{2}{3} = \underline{\underline{5,22 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}}$$

Finner vindlast i y-retning:



Eneste forskjell her blir $\frac{h}{d} = \frac{4.5m}{2.5m} = 1.8$

C_{pe10} for D blir fremdeles 0.8.

Ng interpolering for C_{pe10} for E.

Bruken samme defineringen som forrige interpolering, men x blir her $\frac{h}{d} = 1.8$

$$y = \frac{x_1 - x_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) + y_0$$

$$y = \frac{-0.7 - (-0.5)}{5 - 1} \cdot (1.8 - 1) + (-0.5) = -0.54$$

$$\frac{h}{d} = 1.8 \text{ gir } C_{pe10} = -0.54 \text{ for E}$$

$$E = q_p \cdot C_{pe10}$$

$$E = 1.97 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0.54)$$

$$E = -1.06 \text{ kN/m}^2$$

$$D + E = 1.58 \text{ kN/m}^2 + 1.06 \text{ kN/m}^2 = 2.64 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total utvendig vindlast} = 2.64 \text{ kN/m}^2 \text{ (y-retning)}$$

$$2.64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3m \cdot \frac{2}{3} = 5.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$