

# VEDLEGG A1 VINDLAST

## VEDLEGG A1

## INNHold

<b>VEDLEGG A1</b>	<b>I</b>
<b>1 VINDLAST</b>	<b>3</b>
1.1 VINDKASTHASTIGHETSTRYKKET	3
1.1.1 Basis vindhastighet	3
1.1.2 Ruhetsfaktoren	3
1.1.3 Terrengformfaktoren	4
1.1.4 Stedvindhastighet	5
1.1.5 Vindturbulensiteten	5
1.1.6 Vindkasthastighet	6
1.1.7 Vindkasthastighetstrykket	6
1.2 VINDLAST PÅ VEGGER	7
1.2.1 Nordvest	8
1.2.2 Sørvest	9
1.2.3 Sørøst	10
1.2.4 Nordøst	11
1.2.5 Lastfordelinger fasade	12
1.3 VINDLAST PÅ TAK	13
1.3.1 Nordvest	14
1.3.2 Sørvest	17
1.3.3 Sørøst	20
1.3.4 Nordøst	21

# 1 VINDLAST

I dette vedlegget er beregninger for vindlast beregnet etter metodedelen gitt i kapitel 4.3 for vindlast i bachelordokumentet. Her vil vi ikke forklare vurderinger av resultat. Alt resultat relevant for skråtårnet er gjengitt hoveddokumentet.

## 1.1 Vindkasthastighetstrykket

### 1.1.1 Basis vindhastighet

Basisvindhastigheten se ligning 11.

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * C_{alt} * C_{prob} * V_{b.0} = 28m/s$$

Tabell 1. Justeringsfaktorer for basisvindhastigheten.

Faktor	Verdi
$C_{dir}$	1,0
$C_{alt}$	1,0
$C_{season}$	1,0
$C_{prob}$	1,0
$V_{b.0}$	$28 \frac{m}{s}$

### 1.1.2 Ruhetsfaktoren

Ruhetsfaktoren bestemmes fra ligning 13.

$$C_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 1,22$$

Tabell 2. Verdier ved bestemmelse av ruhetsfaktoren.

Faktor	Verdi
$z_0$	0,01

## VEDLEGG A1

$k_r$	0,17
$z_{min}$	2
$z_{max}$	Settes lik 200 m
$z$	13m

## 1.1.3 Terrengformfaktoren

Terrengformfaktoren,  $C_0(z)$ , bestemmes for byggested over nivået H/2 ut fra ligning 14.

$$C_0(z) = 1 + \Delta S_{z,maks} * \left[ \frac{\frac{B}{L_0}}{\frac{B}{L_0} + 0,4} \right] * \left[ 1 - \frac{|x|}{k_{virk} * L_H} \right] * e^{-\left(\frac{a*z}{L_H}\right)} = 1,683$$

Tabell 3. Verdier for bestemmelse av  $C_0(z)$ .

Faktor	Type
$x$	40m
$\Delta S_{z,maks}$	1
$k_{virk}$	1,5
$z$	13m
$L_H$	380m
$B$	7000m
$L_0$	4000m
$a$	3

## VEDLEGG A1

**1.1.4 Stedvindhastighet**

Stedvindhastigheten bestemmes etter ligning 12.

$$V_m(z) = C_r(z) * C_o(z) * V_b = 57,5 \text{ m/s}$$

Tabell 4. Justeringsfaktorer for stedsvindhastigheten.

Faktor	Type
$C_r(z)$	1,22
$C_o(z)$	1,683
$V_b$	28 m/s

**1.1.5 Vindturbulensiteten**

Standardavviket bestemmes etter ligning 15.

$$\sigma_v = k_r * V_b * k_1 = 4,76$$

Tabell 5. Faktorer for bestemmelse av standardavviket.

Faktor	Type
$k_r$	0,17
$v_b$	28 m/s
$k_1$	1,0

Turbulensintensiteten,  $I_v(z)$ , bestemmes fra ligning 16.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = 0,0828 \quad \text{for} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

## VEDLEGG A1

Tabell 6. Faktorer for bestemmelse av turbulensintensiteten,  $I_v(z)$ .

Faktor	Type
$\sigma_v$	4,76
$V_m(z)$	57,5 m/s

## 1.1.6 Vindkasthastighet

Vindkasthastigheten bestemmes etter ligning 17.

$$V_p = V_m(z) * \sqrt{1 + 2 * k_p * I_v} \approx V_m(z)(1 + 2,8 * I_v) = 70,83 \text{ m/s}$$

Tabell 7. Faktorer for bestemmelse av vindkasthastigheten,  $V_p$ .

Faktor	Type
$V_m(z)$	57,5 m/s
$I_v(z)$	0,828

## 1.1.7 Vindkasthastighetstrykket

Vindkasthastighetstrykket,  $q_p(z)$ , bestemmes ved bruk av ligning 9.

$$q_p(z) = [1 + 2k_p * I_v(z)] * q_m(z) = 3,264 \text{ m/s}^2$$

Stedvindhastighetstrykket,  $q_m(z)$ , bestemmes ved bruk av ligning 10.

$$q_m(z) = 0,5 * \rho * V_m^2(z) = 2,06641 \text{ m/s}^2$$

## VEDLEGG A1

Tabell 8. Faktorer for bestemmelse av vindkasthastighetstrykket,  $q_p(z)$ , og stedvindhastighetstrykket,  $q_m(z)$ .

Faktor	Type
$I_v(z)$	0,0828
$k_p$	3,5
$v_m(z)$	57,5 m/s
$\rho$	1,25 kg/m <sup>3</sup>

## 1.2 Vindlast på vegger

Ved beregning av vindlasten på de ulike veggen benyttes ligning 18.

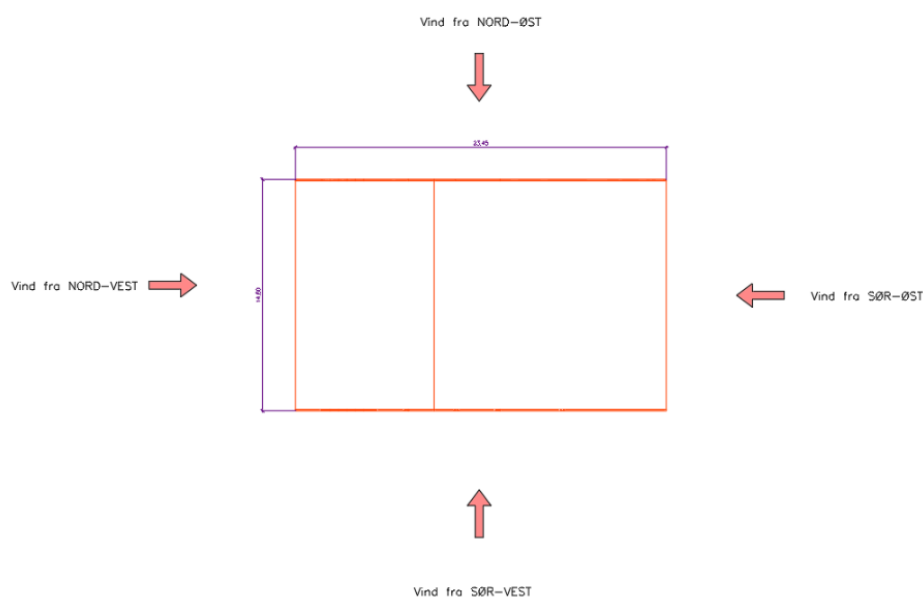
$$w_e = c_{pe} * q_p$$

Ved interpolering mellom forholdet h/d benyttes 20.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k)$$

Ved gjennomsnittlig formfaktor mellom to soner, benyttes ligning 22.

$$c_{pe,A \text{ og } B} = \frac{c_{pe,A} * L_A + c_{pe,B} * L_B}{L_{Total}}$$



Figur 1. Viser de ulike vindretningene.

## VEDLEGG A1

## 1.2.1 Nordvest

$$h/d = 0,45$$

**Sone D:**

Formfaktor sone D må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0,7 + \frac{0,8 - 0,7}{1 - 0,25} (0,45 - 0,25) = 0,73$$

$$w_D = 0,73 * 3,26 = 2,38 \text{ kN/m}^2$$

**Sone A:**

$$w_A = -1,2 * 3,26 = -3,91 \text{ kN/m}^2$$

**Sone B:**

$$w_B = -0,8 * 3,26 = -2,61 \text{ kN/m}^2$$

**Sone C:**

$$w_C = -0,5 * 3,26 = -1,63 \text{ kN/m}^2$$

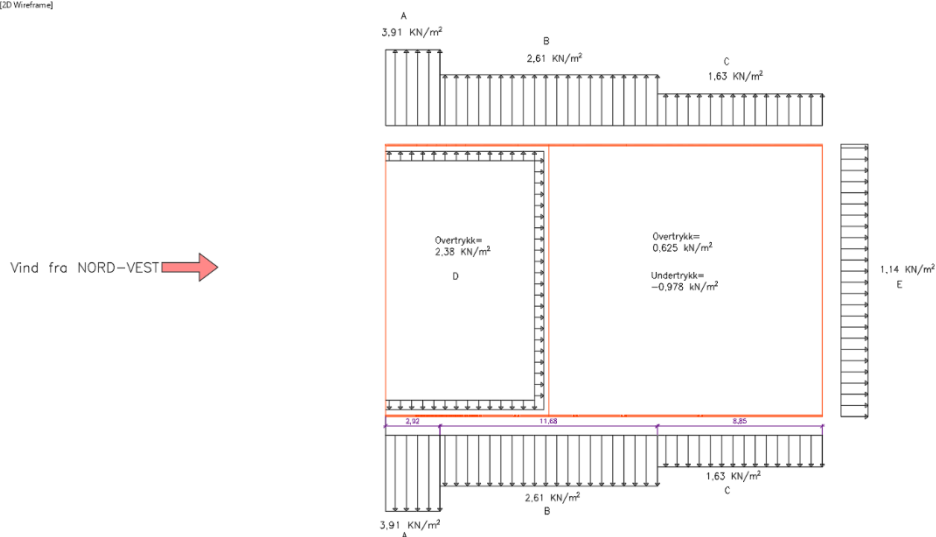
**Sone E:**

Formfaktor sone E må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,3 + \frac{-0,5 + 0,3}{1 - 0,25} (0,45 - 0,25) = -0,35$$

$$w_E = -0,35 * 3,26 = -1,14 \text{ kN/m}^2$$

1) [2D Wireframe]



Figur 2. Vind fra Nord-Vest.



## VEDLEGG A1

## 1.2.2 Sørvest

$$h/d = 0,72$$

## Sone D:

Formfaktor sone D må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0,7 + \frac{0,8 - 0,7}{1 - 0,25} (0,72 - 0,25) = 0,76$$

$$w_D = 0,76 * 3,26 = 2,48 \text{ kN/m}^2$$

## Sone A:

$$w_A = -1,2 * 3,26 = -3,91 \text{ kN/m}^2$$

## Sone B:

$$w_B = -0,8 * 3,26 = -2,61 \text{ kN/m}^2$$

## Sone A og B

Sone A og B påvirker den permanente åpningen samtidig, denne må justeres til en samlet formfaktor for begge sonene.

$$c_{pe,A \text{ og } B} = \frac{C_{pe,A} * L_A + C_{pe,B} * L_B}{L_{Total}} = \frac{-1,2 * 4,2 \text{ m} + (-0,8 * 10,4 \text{ m})}{14,6 \text{ m}} = -0,92$$

$$w_{A \text{ og } B} = -0,92 * 3,26 = -3 \text{ kN/m}^2$$

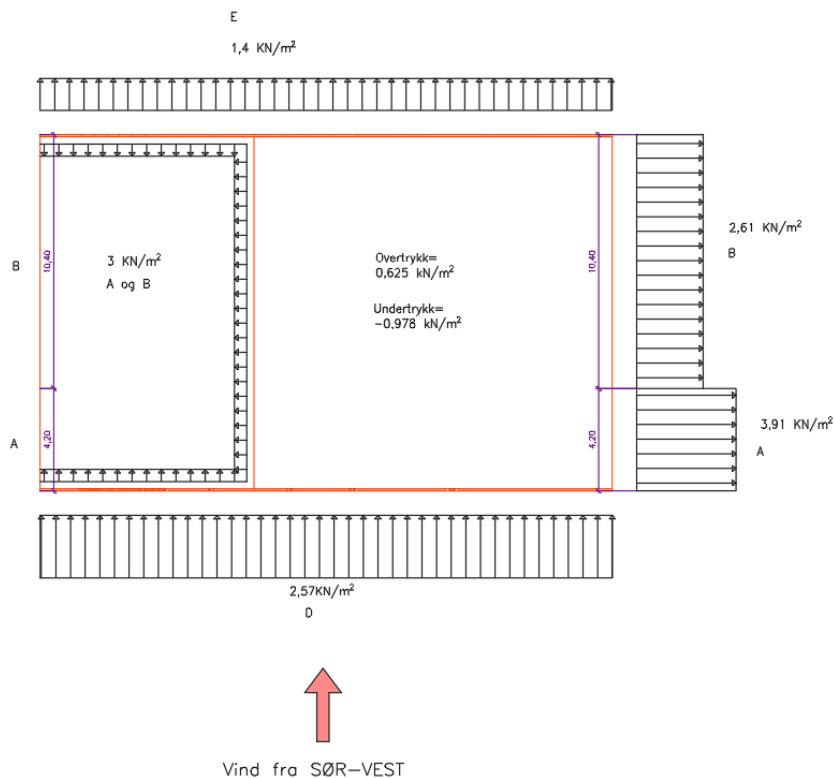
## Sone E:

Formfaktor sone E må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,3 + \frac{-0,5 + 0,3}{1 - 0,25} (0,72 - 0,25) = -0,43$$

$$w_E = -0,43 * 3,26 = -1,4 \text{ kN/m}^2$$

## VEDLEGG A1



Figur 3. Vind fra Sør-Vest.

## 1.2.3 Sørøst

$$h/d = 0,45$$

Sone D:

Formfaktor sone D må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0,7 + \frac{0,8 - 0,7}{1 - 0,25} (0,45 - 0,25) = 0,73$$

$$w_D = 0,73 * 3,26 = 2,38 \text{ kN/m}^2$$

Sone A:

$$w_A = -1,2 * 3,26 = -3,91 \text{ kN/m}^2$$

Sone B:

$$w_B = -0,8 * 3,26 = -2,61 \text{ kN/m}^2$$

Sone C:

$$w_C = -0,5 * 3,26 = -1,63 \text{ kN/m}^2$$

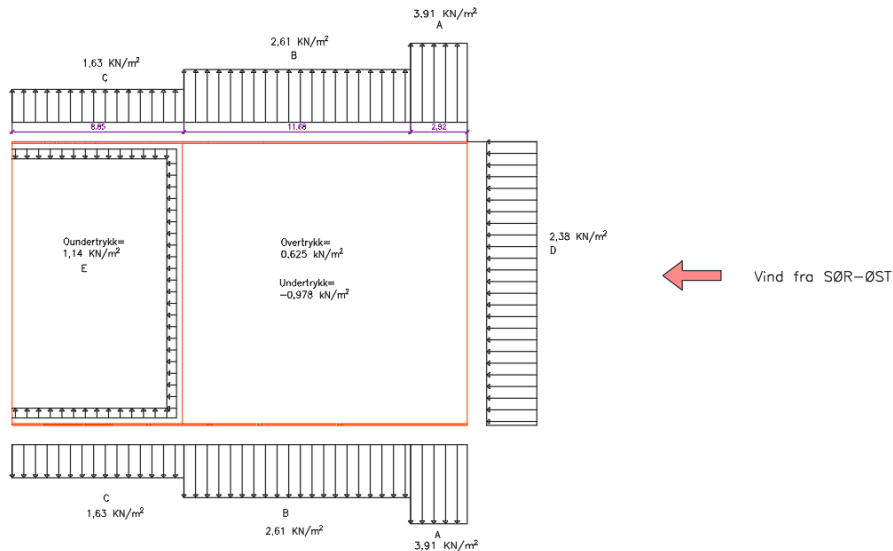
Sone E:

Formfaktor sone E må interpoleres.

## VEDLEGG A1

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,3 + \frac{-0,5 + 0,3}{1 - 0,25} (0,45 - 0,25) = -0,35$$

$$w_E = -0,35 * 3,26 = -1,14 \text{ kN/m}^2$$



Figur 4. Vind fra Sør-Øst.

## 1.2.4 Nordøst

$$h/d = 0,72$$

Sone D:

Formfaktor sone D må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0,7 + \frac{0,8 - 0,7}{1 - 0,25} (0,72 - 0,25) = 0,76$$

$$w_D = 0,76 * 3,26 = 2,48 \text{ kN/m}^2$$

Sone A:

$$w_A = -1,2 * 3,26 = -3,91 \text{ kN/m}^2$$

Sone B:

$$w_B = -0,8 * 3,26 = -2,61 \text{ kN/m}^2$$

Sone A og B

Sone A og B påvirker den permanente åpningen samtidig, denne må justeres til en samlet formfaktor for begge sonene.

## VEDLEGG A1

$$c_{pe,A \text{ og } B} = \frac{C_{pe,A} * L_A + C_{pe,B} * L_B}{L_{Total}} = \frac{-1,2 * 4,2 \text{ m} + (-0,8 * 10,4 \text{ m})}{14,6 \text{ m}} = -0,92$$

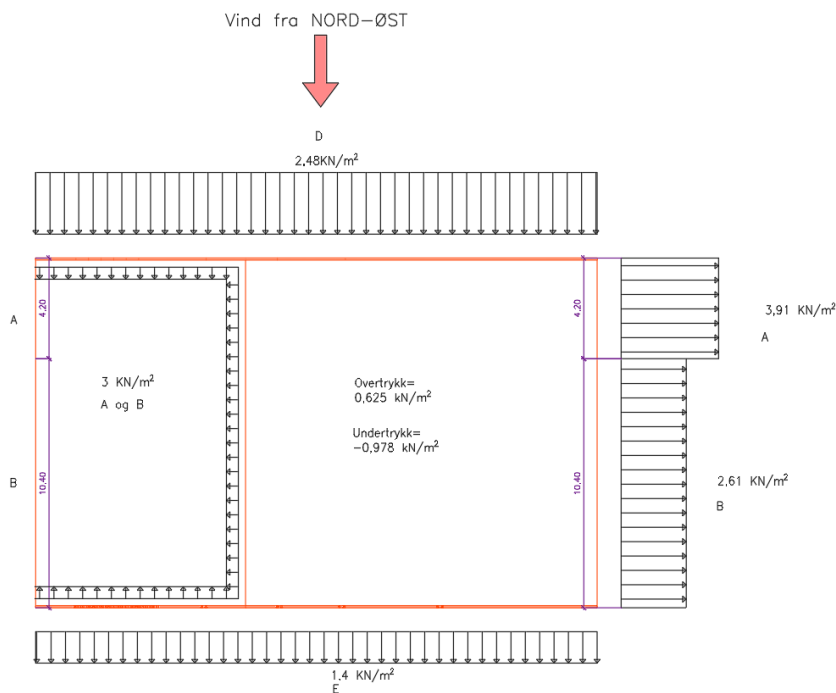
$$w_{A \text{ og } B} = -0,92 * 3,26 = -3 \text{ kN/m}^2$$

**Sone E:**

Formfaktor sone E må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,3 + \frac{-0,5 + 0,3}{1 - 0,25} (0,72 - 0,25) = -0,43$$

$$w_E = -0,43 * 3,26 = -1,4 \text{ kN/m}^2$$

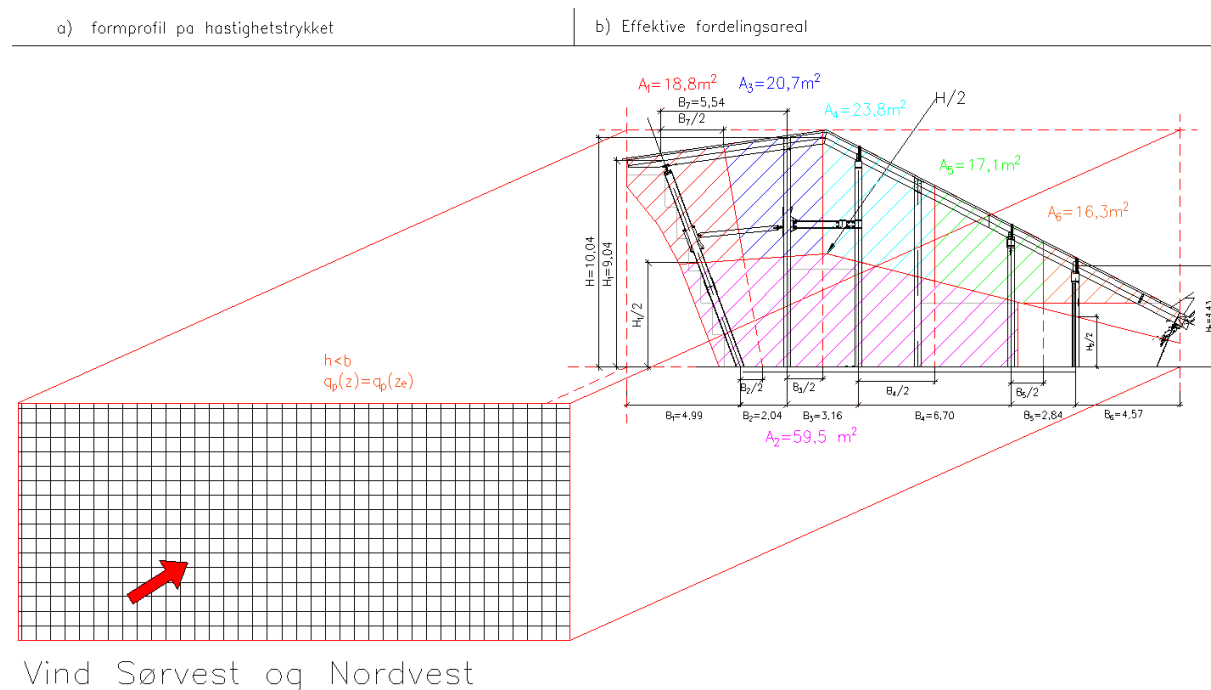


Figur 5. Vind fra Nord-Øst.

### 1.2.5 Lastfordelinger fasade

Inndeling av effektivt areal,  $A_{eff}$  (A1, A2, A3, A4, A5), på veggene parallelt med vindretningen vil være avhengig av hvilke konstruksjonsdeler som tar opp krefter fra vindtrykket.

## VEDLEGG A1



Figur 6. Inndeling i effektivt areal, hvor vi mener lasten for vinden fordeler seg til det bærende systemet.

$A_{eff}$	Verdi
$A_1$	$18,8 \text{ m}^2$
$A_2$	$59,5 \text{ m}^2$
<b>A3</b>	$20,7 \text{ m}^2$

Figur 7. Arealet tilhørende figur 4.

### 1.3 Vindlast på tak

Takvinkel fremre del er  $8^\circ$ .

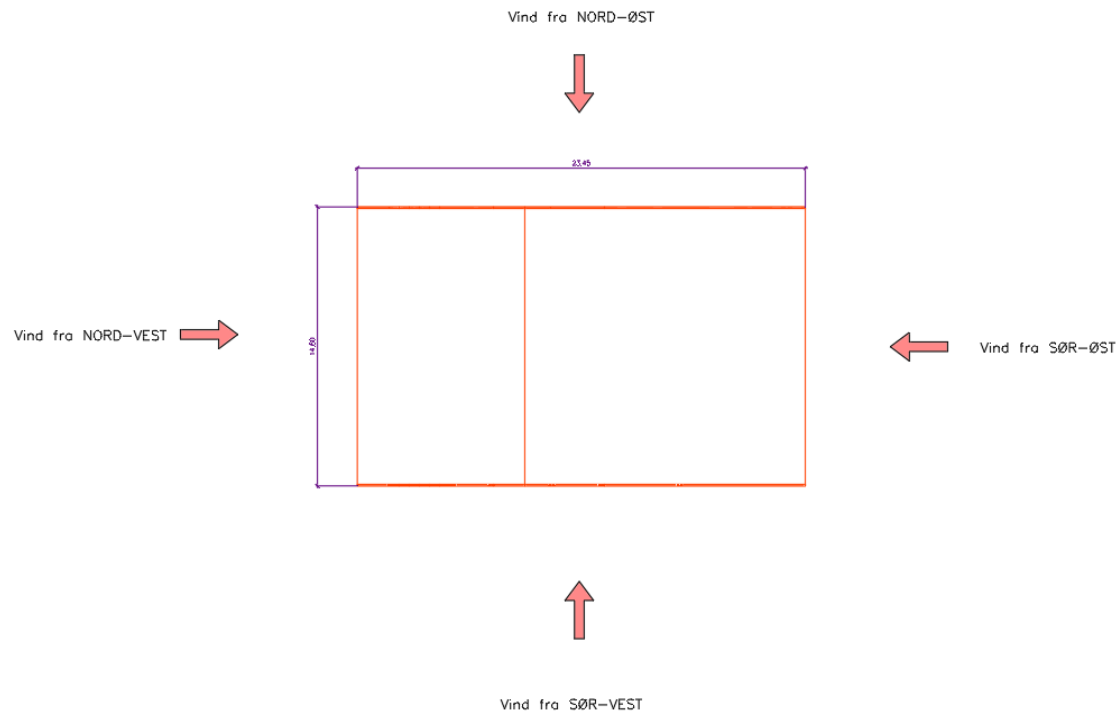
Ved beregning av vindlasten på de ulike taksonene benyttes ligning 18.

$$w_e = c_{pe} * q_p$$

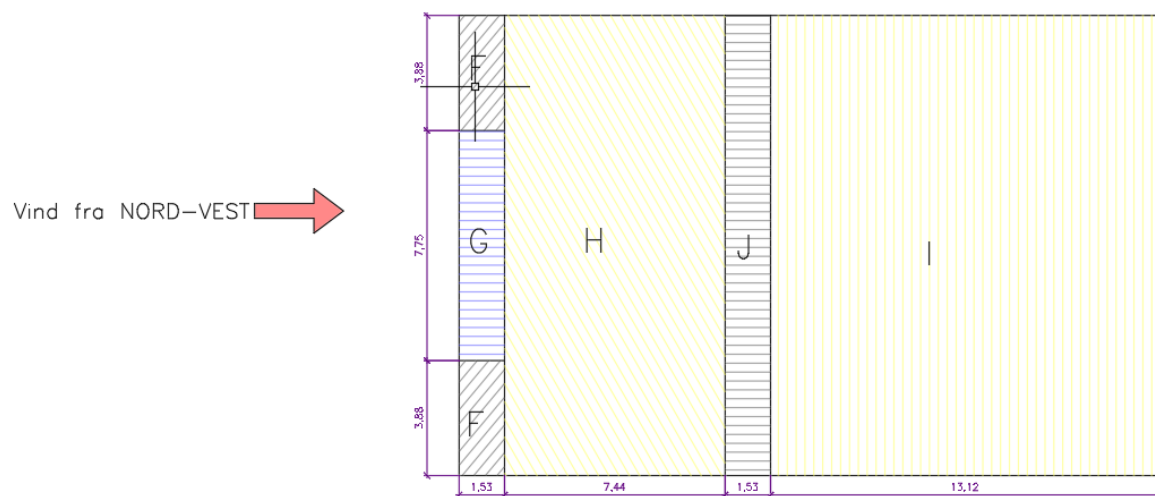
Ved interpolering mellom takvinkler benyttes ligning 20.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k)$$

## VEDLEGG A1

*Figur 8. Vindretninger.***1.3.1 Nordvest**

Formfaktorene er basert på Tabell 37 i bachelordokumentet.

*Figur 9. Soneinndeling tak Nord-Vest.*

## VEDLEGG A1

**Sone F Sug:**

Formfaktor sone F Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k}(x_i - x_k) = -0,9 + \frac{-1,7 + 0,9}{5 - 15}(8 - 15) = -1,46$$

$$w_{F,sug} = -1,46 * 3,26 = 4,76 \text{ kN/m}^2$$

**Sone F Trykk:**

Formfaktor sone F Trykk må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k}(x_i - x_k) = 0,2 + \frac{0 + 0,2}{5 - 15}(8 - 15) = 0,06$$

$$w_{F,trykk} = 0,06 * 3,26 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

**Sone G Sug:**

Formfaktor sone G Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k}(x_i - x_k) = -0,8 + \frac{-1,2 + 0,8}{5 - 15}(8 - 15) = -1,08$$

$$w_{G,sug} = -1,08 * 3,26 = 3,52 \text{ kN/m}^2$$

**Sone G Trykk:**

Formfaktor sone G trykk må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k}(x_i - x_k) = 0,2 + \frac{0 + 0,2}{5 - 15}(8 - 15) = 0,06$$

$$w_{G,trykk} = 0,06 * 3,26 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

**Sone H Sug:**

Formfaktor sone H Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k}(x_i - x_k) = -0,3 + \frac{-0,6 + 0,3}{5 - 15}(8 - 15) = -0,51$$

$$w_{H,sug} = -0,51 * 3,26 = 1,66 \text{ kN/m}^2$$

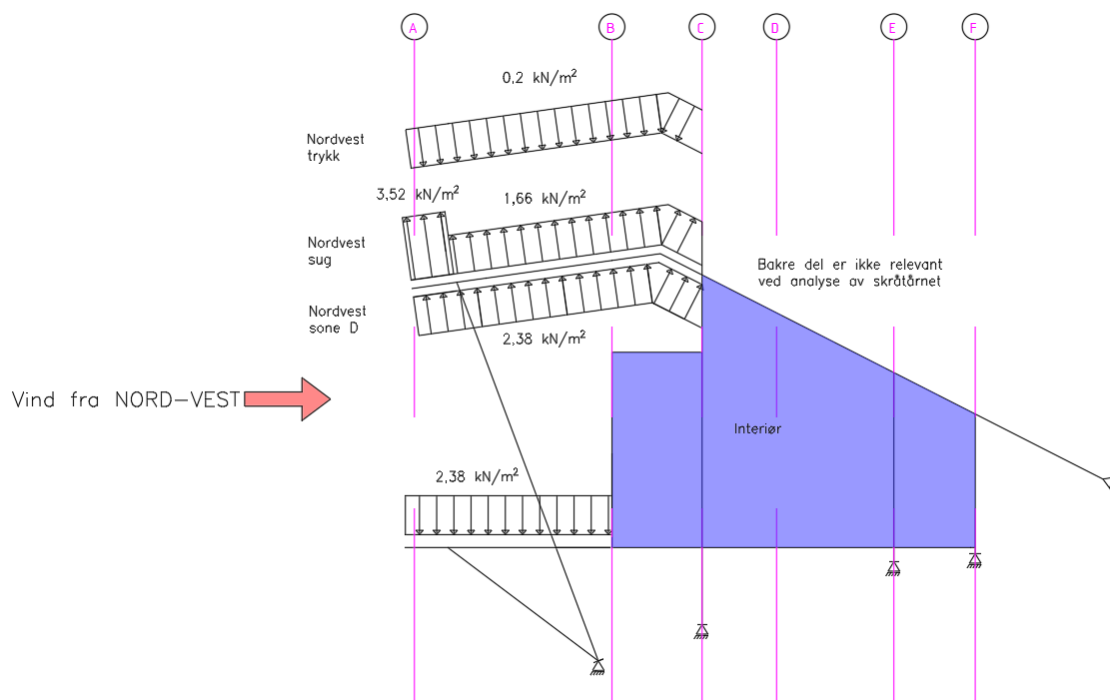
## VEDLEGG A1

**Sone H Trykk:**

Formfaktor sone H trykk må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0,2 + \frac{0 + 0,2}{5 - 15} (8 - 15) = 0,06$$

$$w_{H,trykk} = 0,06 * 3,26 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$



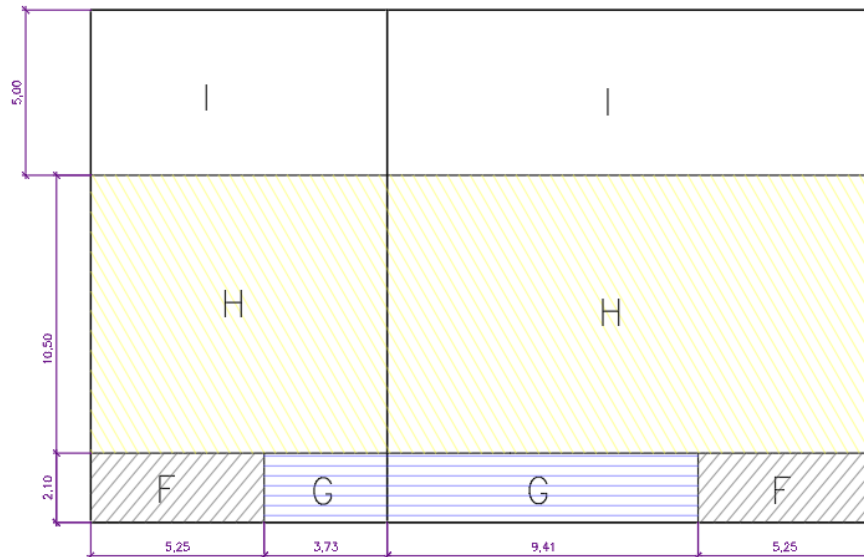
Figur 10. Vind fra Nord-Vest.



## VEDLEGG A1

**1.3.2 Sørvest**

Formfaktorene er basert på Tabell 38 i bachelordokumentet.



Vind fra SØR-VEST

Figur 11. Soneinndeling Sør-Vest.

**Sone F Sug:**

Formfaktor sone F Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -1,3 + \frac{-1,6 + 1,3}{5 - 15} (8 - 15) = -1,51$$

$$w_{F,sug} = -1,51 * 3,26 = 4,92 \text{ kN/m}^2$$

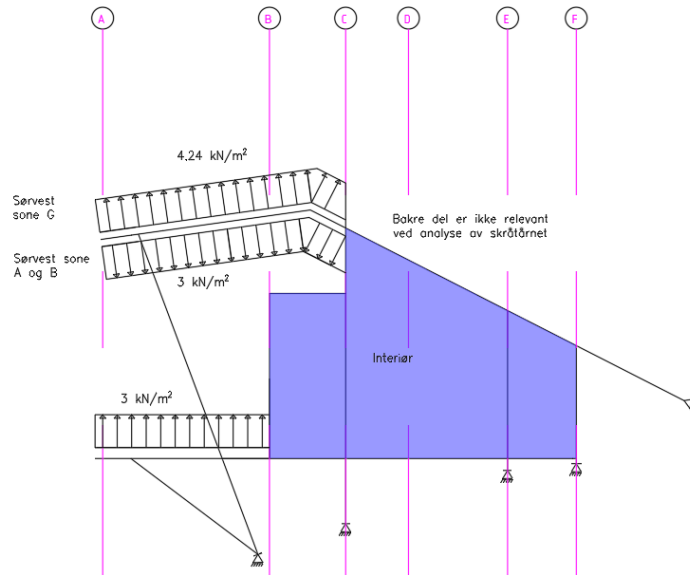
**Sone G Sug:**

Formfaktor sone G Sug treng ikke interpoleres.

$$c_{pe,10} = -1,3$$

## VEDLEGG A1

$$w_{G,sug} = -1,3 * 3,26 = 4,24 \text{ kN/m}^2$$



Figur 12. Vindlast Sør-Vest sone G.

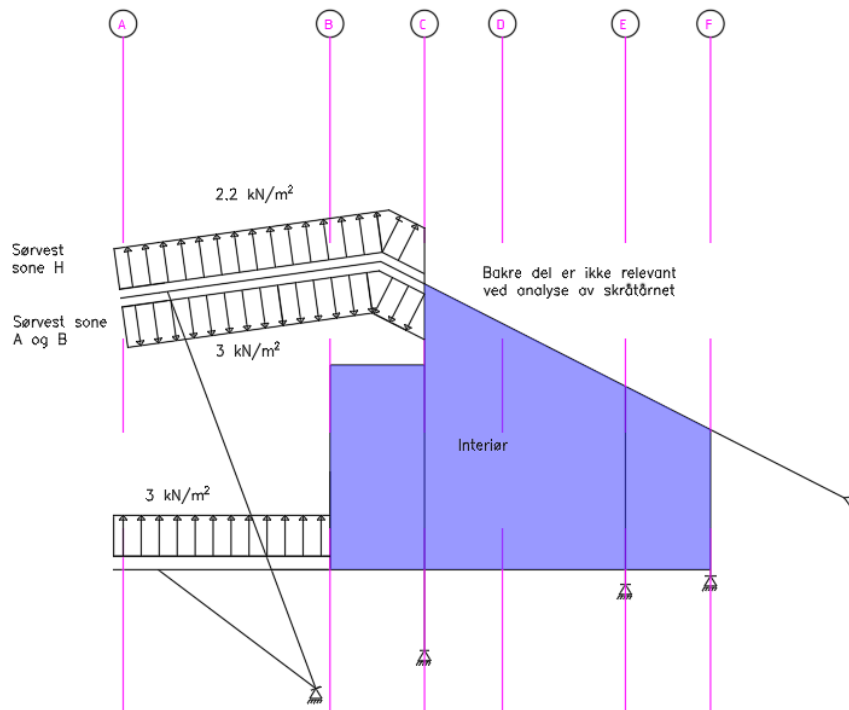
**Sone H Sug:**

Formfaktor sone H Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,6 + \frac{-0,7 + 0,6}{5 - 15} (8 - 15) = -0,67$$

$$w_{H,sug} = -0,67 * 3,26 = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

## VEDLEGG A1



Figur 13. Vindlast Sør-Vest sone H.

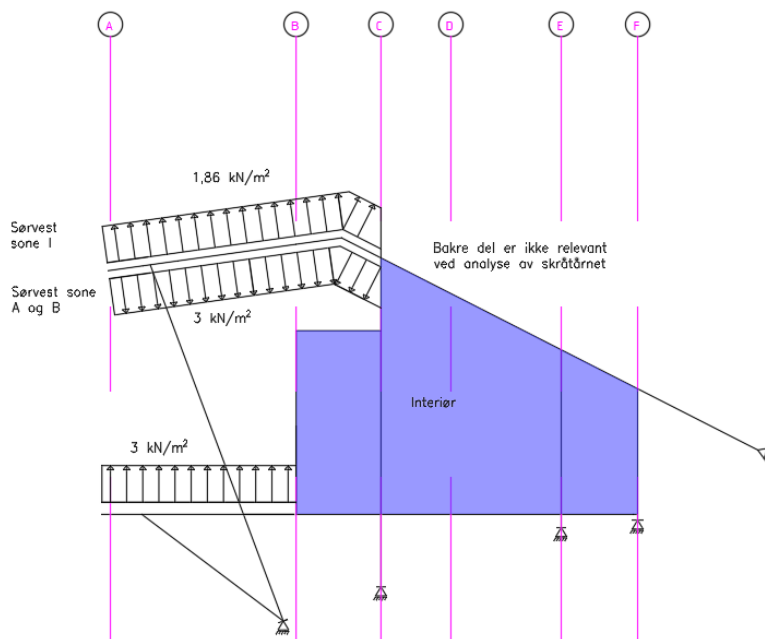
**Sone I Sug:**

Formfaktor sone I Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,5 + \frac{-0,6 + 0,5}{5 - 15} (8 - 15) = -0,57$$

$$w_{I,sug} = -0,57 * 3,26 = 1,86 \text{ kN/m}^2$$

## VEDLEGG A1



Figur 14. Vindlast Sør-Vest sone I.

## 1.3.3 Sørøst

Formfaktorene er basert på Tabell 37 i bachelordokumentet.

## Sone I Sug 1:

Formfaktor sone I Sug 1 må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,4 + \frac{-0,6 + 0,4}{5 - 15} (8 - 15) = -0,54$$

$$w_F = -0,54 * 3,26 = 1,76 \text{ kN/m}^2$$

## Sone I Sug 2:

Formfaktor sone F Trykk må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0 + \frac{-0,6 + 0}{5 - 15} (8 - 15) = -0,42$$

$$w_D = -0,42 * 3,26 = 1,37 \text{ kN/m}^2$$

## Sone J Sug 1:

Formfaktor sone J Sug må interpoleres.

## VEDLEGG A1

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -1 + \frac{0,2 + 1}{5 - 15} (8 - 15) = -0,16$$

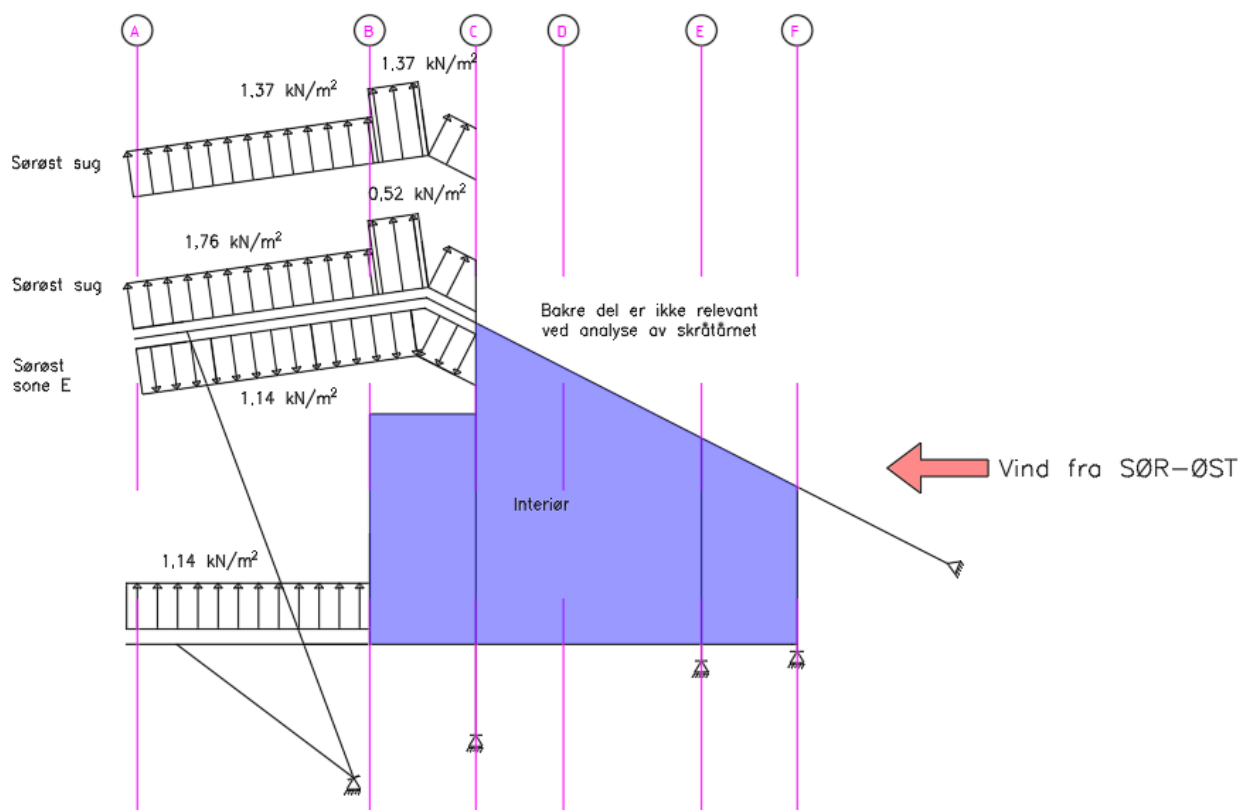
$$w_F = -0,16 * 3,26 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

**Sone J Sug 2:**

Formfaktor sone G sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = 0 + \frac{-0,6 + 0}{5 - 15} (8 - 15) = -0,42$$

$$w_D = -0,42 * 3,26 = 1,37 \text{ kN/m}^2$$

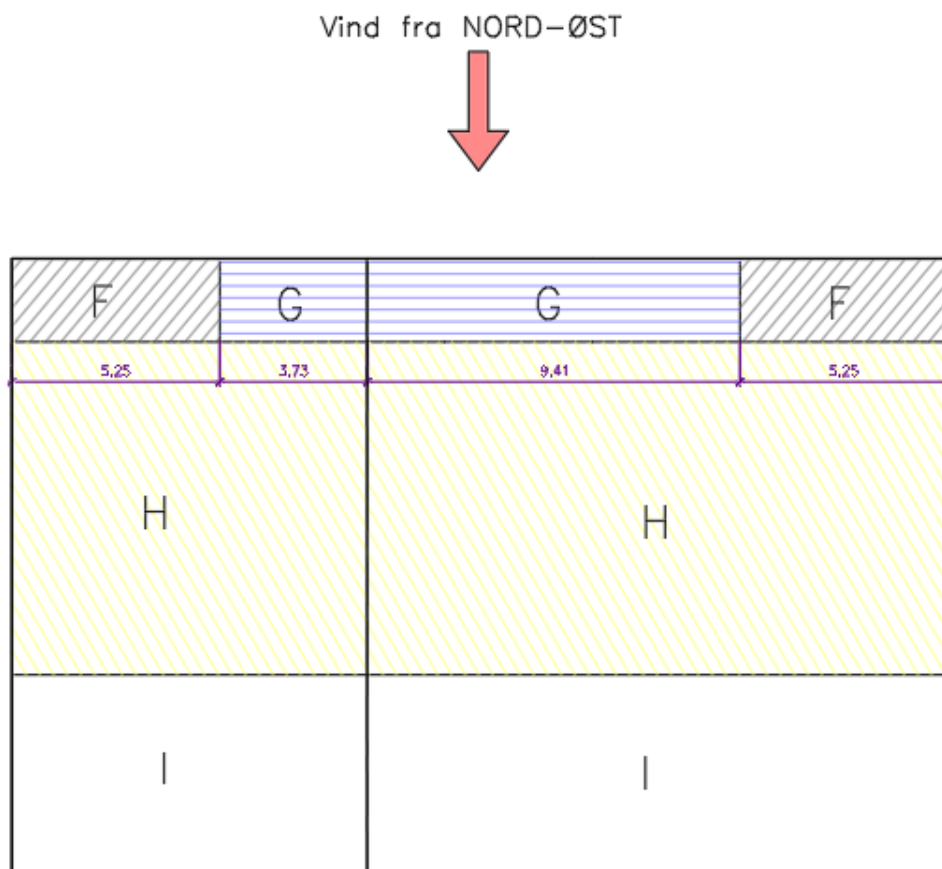


Figur 15. Vind fra Sør-Øst.

**1.3.4 Nordøst**

Formfaktorene er basert på Tabell 38 i bachelordokumentet.

## VEDLEGG A1



Figur 16. Soneinndeling tak Nord-Øst.

**Sone F Sug:**

Formfaktor sone F Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -1,3 + \frac{-1,6 + 1,3}{5 - 15} (8 - 15) = -1,51$$

$$w_F = -1,51 * 3,26 = 4,92 \text{ kN/m}^2$$

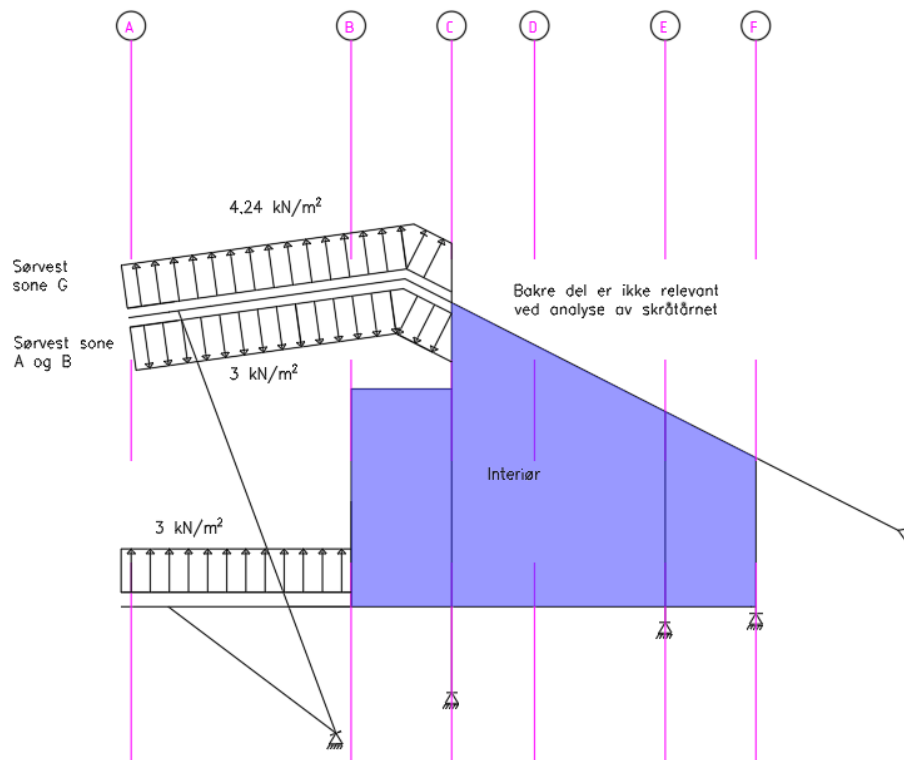
**Sone G Sug:**

Formfaktor sone G Sug treng ikke interpoleres.

$$c_{pe,10} = -1,3$$

$$w_F = -1,3 * 3,26 = 4,24 \text{ kN/m}^2$$

## VEDLEGG A1



Figur 17. Vindlast Nord-Øst sone G sug.

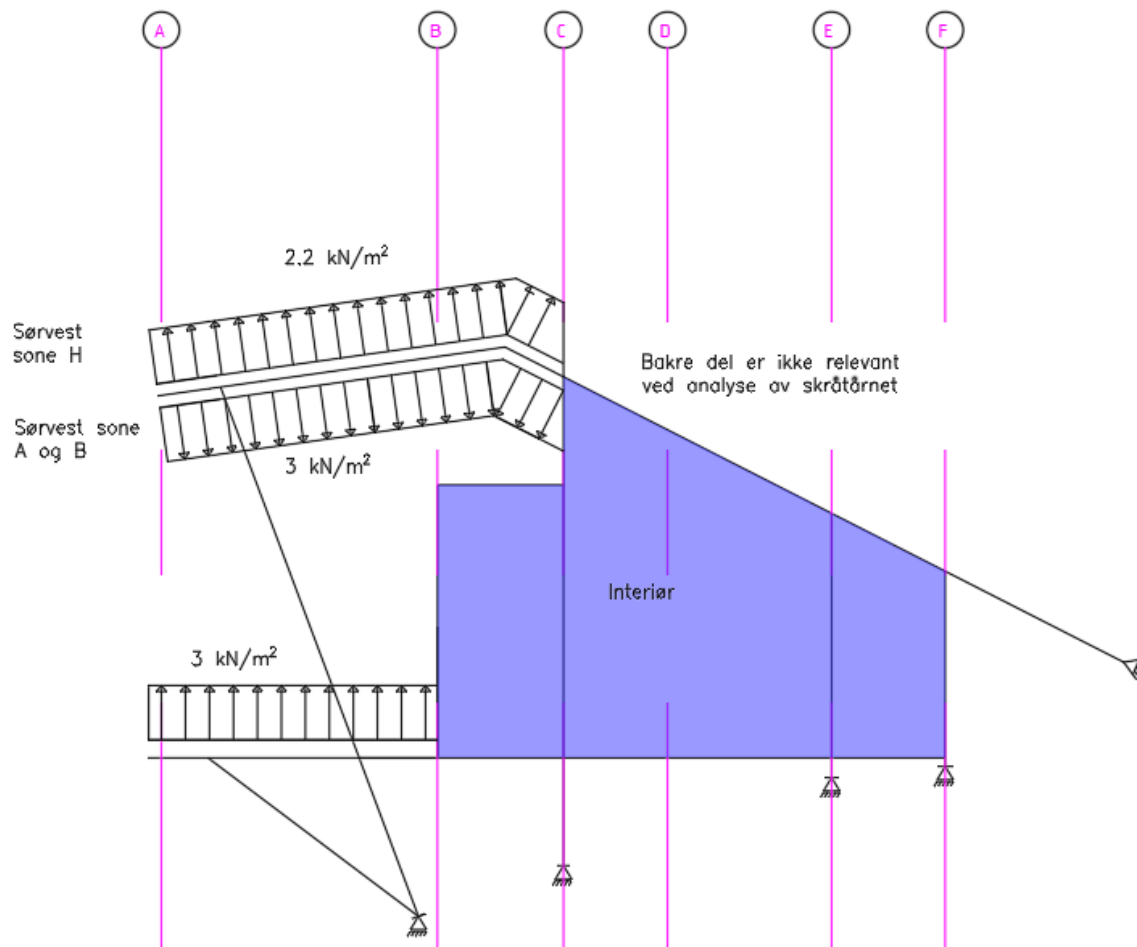
**Sone H Sug:**

Formfaktor sone H Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,6 + \frac{-0,7 + 0,6}{5 - 15} (8 - 15) = -0,67$$

$$w_F = -0,67 * 3,26 = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

## VEDLEGG A1



Figur 18. Vindlast Nord-Øst sone H sug.

**Sone I Sug:**

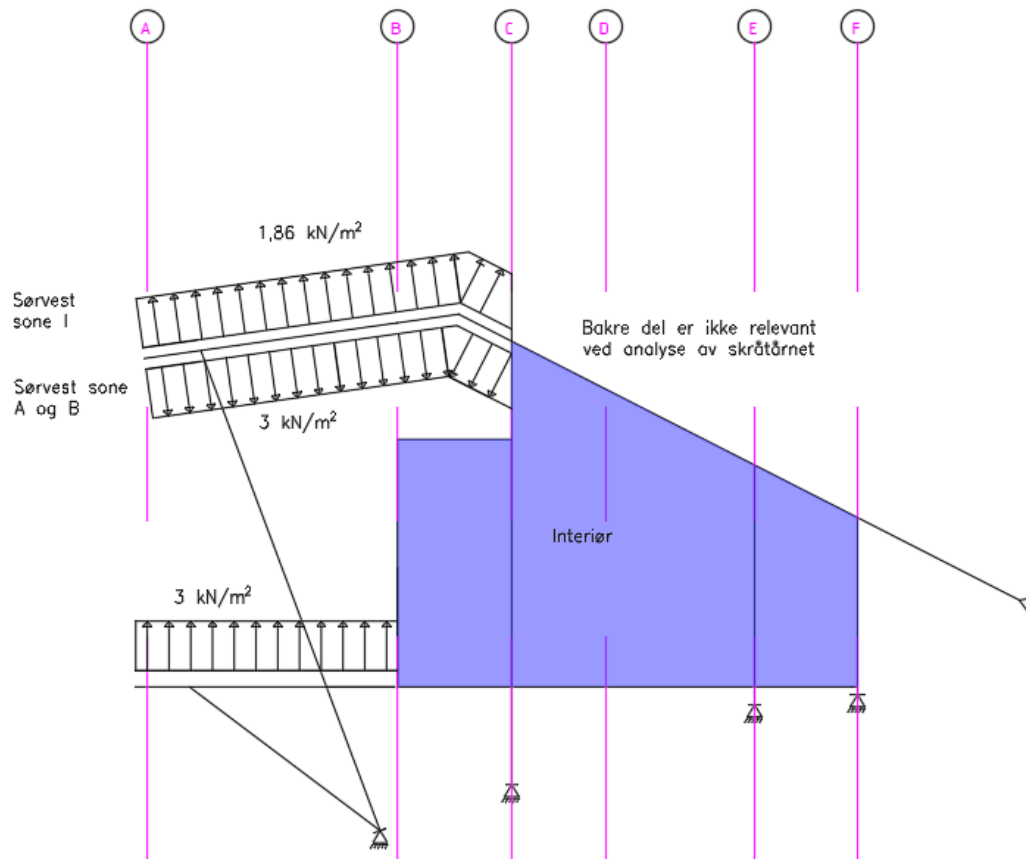
Formfaktor sone I Sug må interpoleres.

$$y_i = (x_i) = y_k + \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k} (x_i - x_k) = -0,5 + \frac{-0,6 + 0,5}{5 - 15} (8 - 15) = -0,57$$

$$w_F = -0,57 * 3,26 = 1,86 \text{ kN/m}^2$$



## VEDLEGG A1

*Figur 19. Vindlast Nord-Øst sone I sug.*