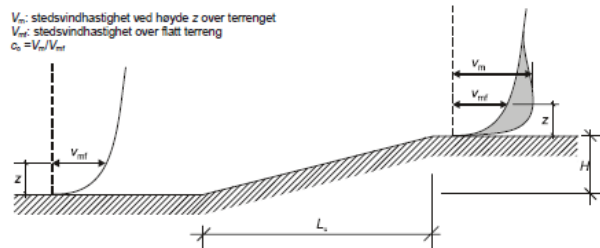


# Vindberegninger - et forsømt område?

Arnold Sagen  
CEC AS

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

En stor del av jobben er å finne riktig vindlast på byggestedet!



Figur A.1 – Illustrasjon av økningen i vindhastigheter over terrengform

Vindlasten på **utvendige** flater,  $w_e$ , bestemmes av følgende formel:

$$w_e = q_p \cdot c_{pe}$$

$c_{pe,1}$  - formfaktor for utvendig vindlast på små elementer, innfesting av kledningselementer o. l.

$c_{pe,10}$  - formfaktor for utvendig vindlast for bærekonstruksjonen.

Tilsvarende bestemmes **innvendig** vindlast med uttrykket:

$$w_e = q_p \cdot c_{pi}$$

$c_{pi}$  - formfaktor for innvendig vindlast

Verdier for formfaktorer finnes i NS-EN 1991-1-4

Verdier for  $q_{p0}(z)$  finnes NS-EN 1991-1-4 Veiledning - (gjelder kun dersom vi ikke trenger å ta hensyn til topografien).

## Tillegg A (informativ) Terrengvirkninger

### A.1 Illustrasjoner av største ruhet for hver terrengkategori

#### Terrengkategori 0

Kyststrøk som er eksponert for åpent hav



#### Terrengkategori I

Innsjøer eller områder med lite vegetasjon og uten hindringer



#### Terrengkategori II

Område med lav vegetasjon som gress og spredte hindringer (trær, bygninger) med innbyrdes avstander på minst 20 ganger deres høyde



#### Terrengkategori III

Område med jevnt dekke av vegetasjon eller bygninger eller med spredte hindringer med innbyrdes avstander på høyst 20 ganger deres høyde (som landsbyer, forstadsterreng, permanent skog)



#### Terrengkategori IV

Område der minst 15 % av overflaten er dekket av bygninger, og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m

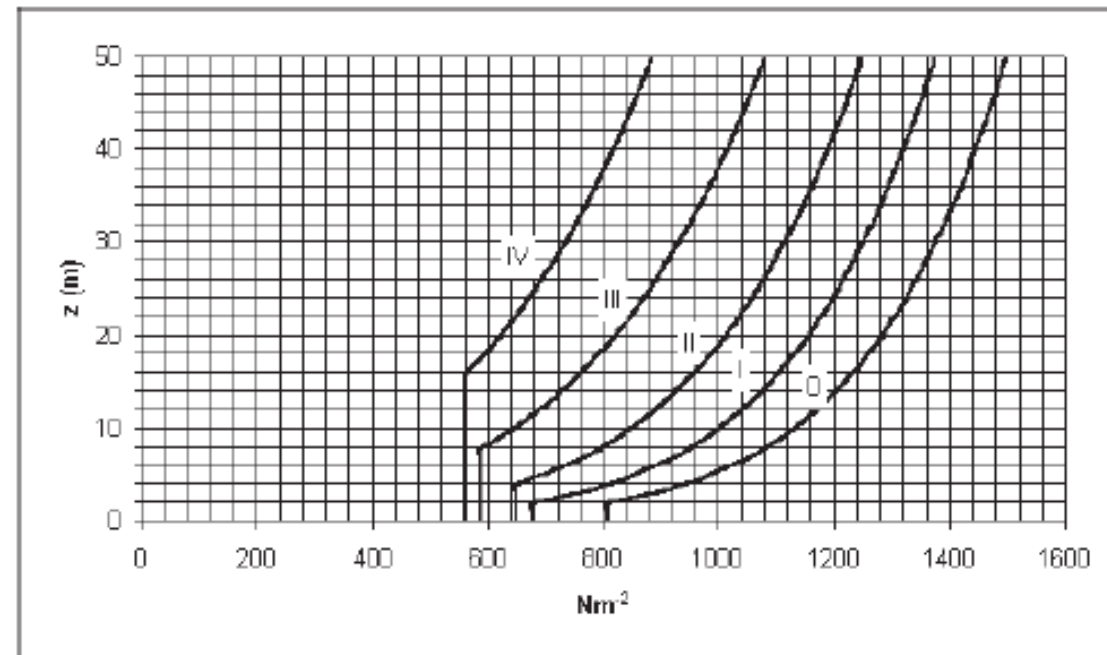


# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

Tabell 4.1 – Terrengkategorier og terrengparametere

Terrengkategori		$z_0$ m	$z_{min}$ m
0	Kyststrøk som er eksponert for åpent hav	0,003	1
I	Innsjøer eller flatt og horisontalt område med lite vegetasjon og uten hindringer	0,01	1
II	Område med lav vegetasjon som gress og spredte hindringer (trær, bygninger) med avstand minst 20 ganger deres høyde	0,05	2
III	Område med vegetasjon eller bygninger eller med spredte hindringer med avstand minst 20 ganger deres høyde (landsbyer, forstadsterreng, permanent skog)	0,3	5
IV	Område der minst 15 % av overflaten er dekket av bygninger, og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m	1,0	10

MERKNAD Terrengkategoriene er illustrert i A.1.

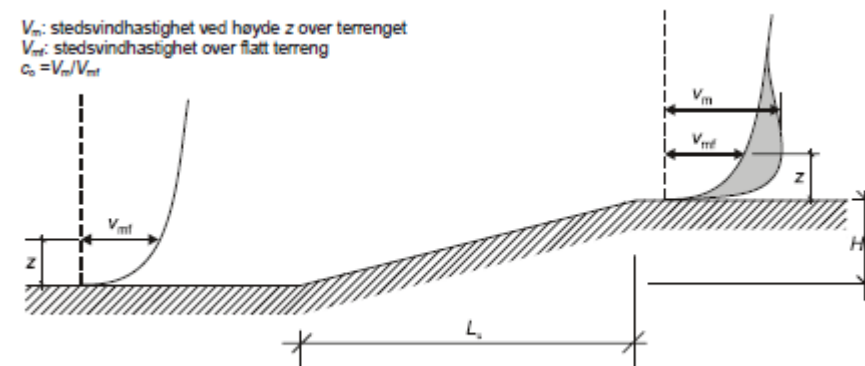


b) Grunnverdi for hastighetstrykk fra vindkast  $q_{p0}(z)$  for  $v_{b,0} = 24$  m/s

$Z_0$  = ruhetslengden

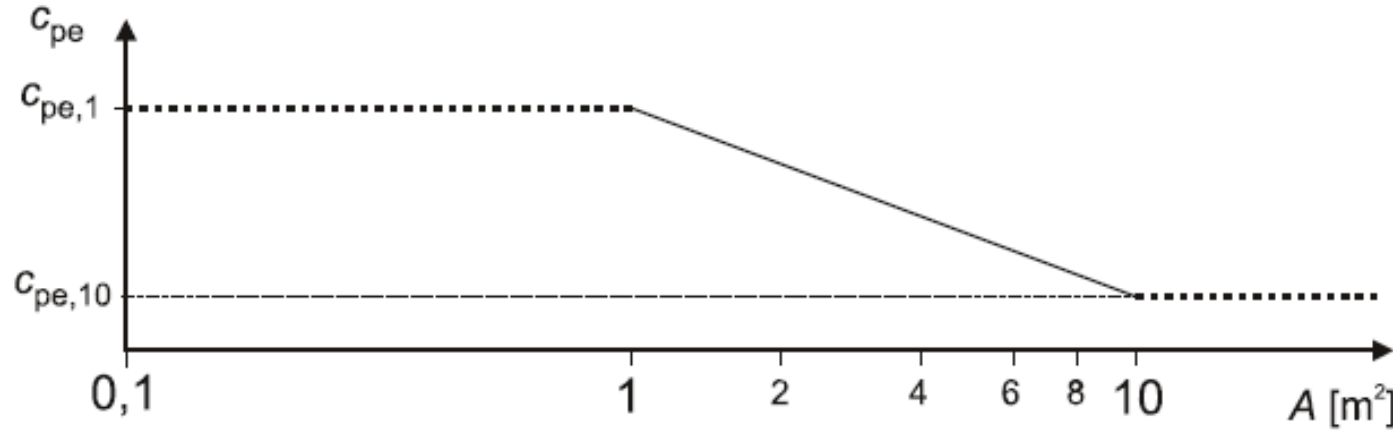
$Z_{min}$  = minimumshøyden definert i tabell 4.1

**OBS! Ikke glem terrengform!**



Figur A.1 – Illustrasjon av økningen i vindhastigheter over terrengform

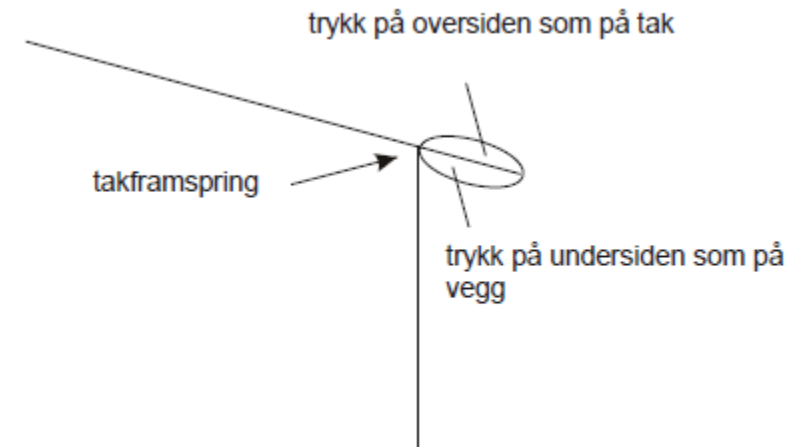
# Vindlaster NS-EN 1991-1-4



Figuren er basert på følgende:  
for  $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

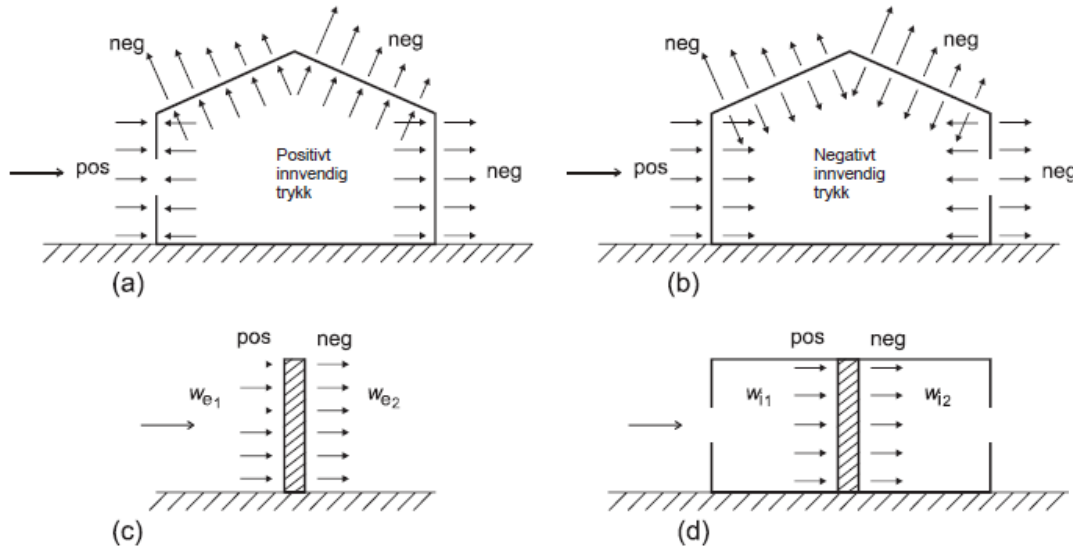
Figur 7.2 – Anbefalt fremgangsmåte for å bestemme den utvendige formfaktoren  $c_{pe}$  for bygninger r belastet areal  $A$  på mellom  $1 \text{ m}^2$  og  $10 \text{ m}^2$



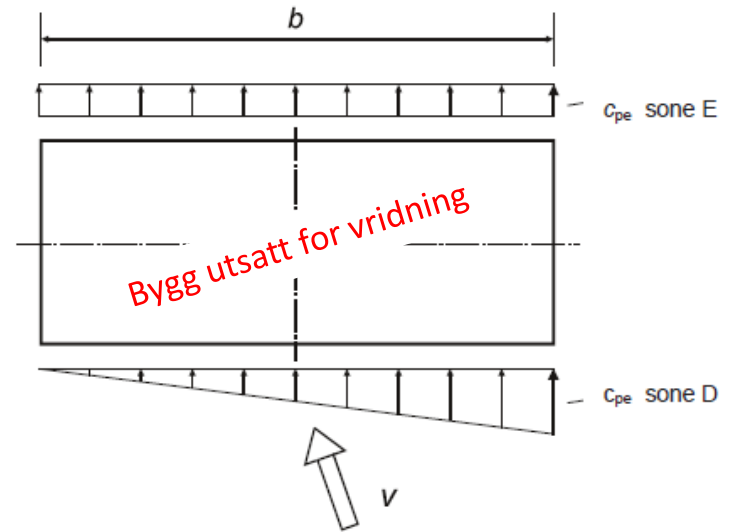
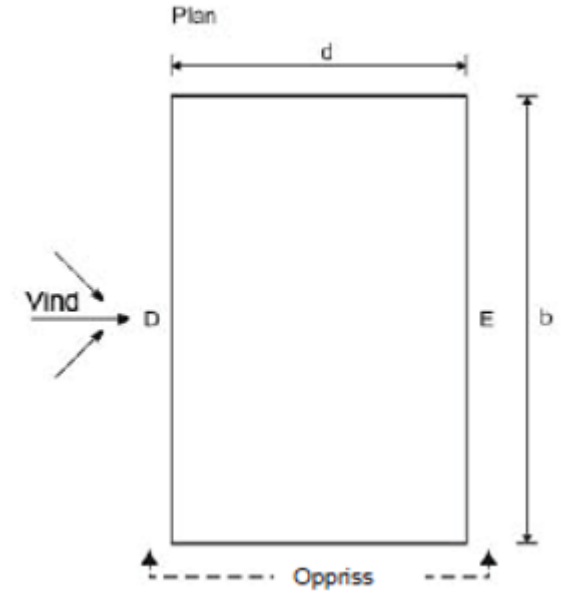
Figur 7.3 – Illustrasjon av aktuelle trykk for takframspring

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

(3) Nettotrykket på en vegg, et tak eller en bygningsdel er differansen mellom trykkene på motstående flater under hensyntaking til deres fortegn. Trykk rettet mot overflaten angis med positivt fortegn. Sug på overflaten angis med negativt fortegn. Eksempler er gitt på figur 5.1.



Figur 5.1 – Trykk på overflater

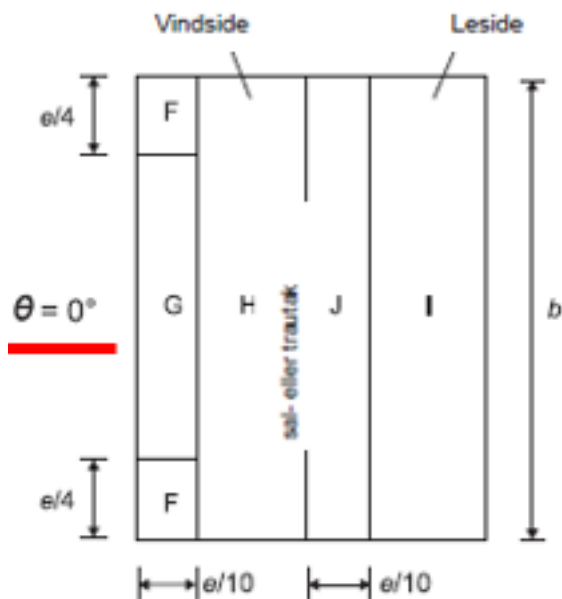


Figur 7.1 – Trykkfordeling som brukes for å ta hensyn til vridningsvirkninger. Sonene og tilhørende verdier for  $c_{pe}$  er gitt i tabell 7.1 og på figur 7.5

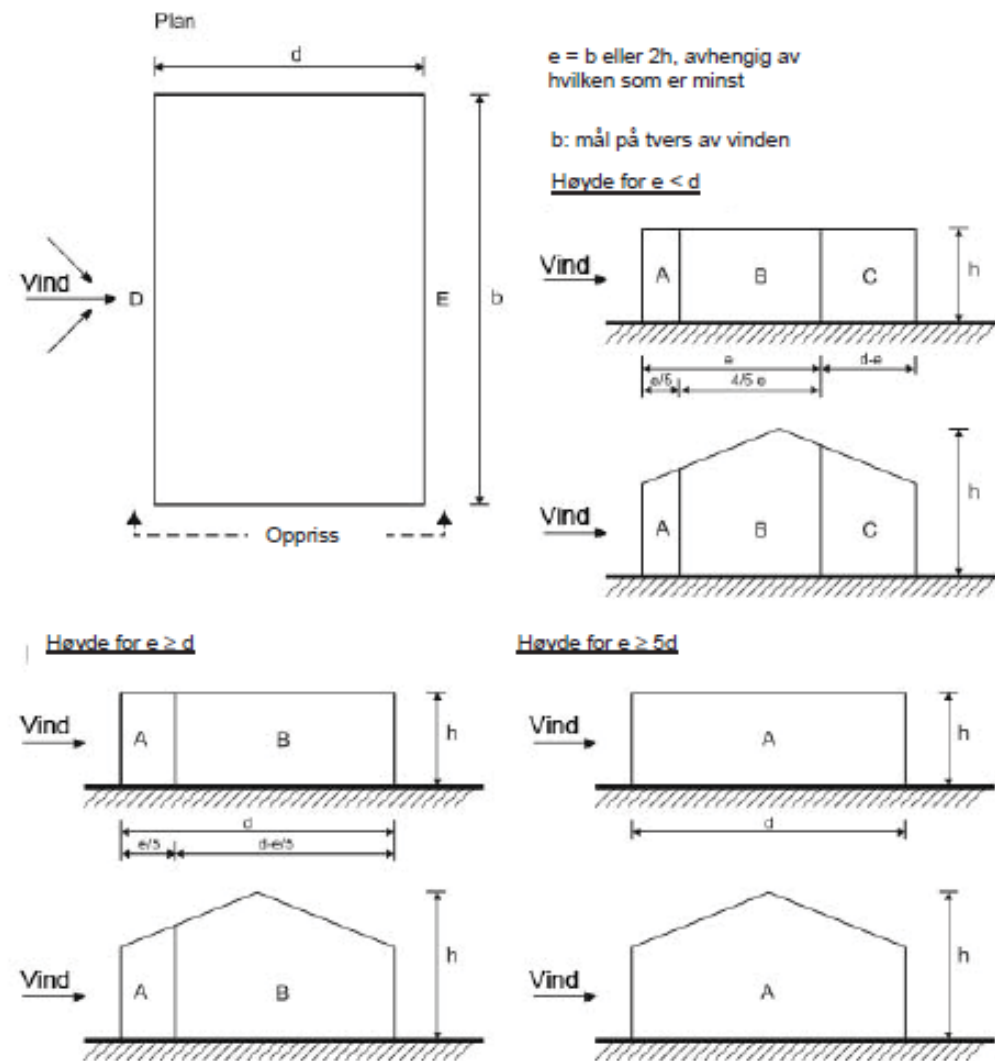
# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

Tabell 7.1 – Anbefalte verdier av utvendige formfaktorer for vertikale vegger i rektangulær bygninger

Sone	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	



$e$  er den minste av  $b$  eller  $2h$  !  
 $b$  = mål på tvers av vindretningen

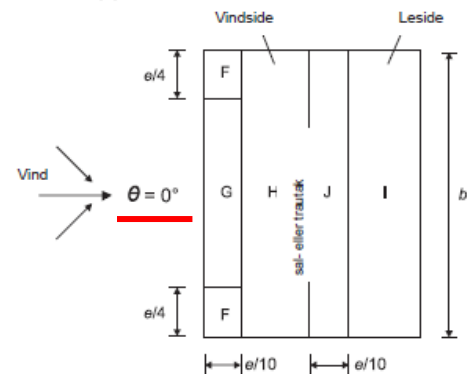
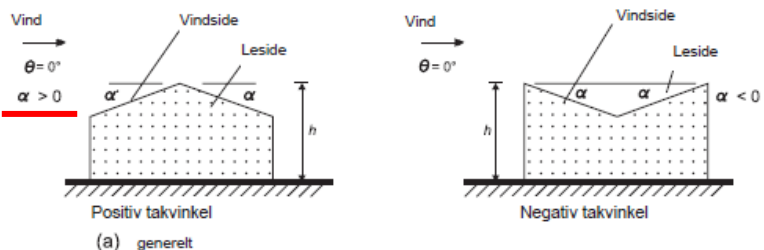


Figur 7.5 – Formfaktorer for vertikale vegger



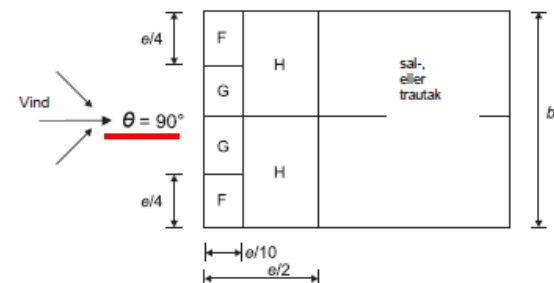
# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

Tabell 7.4a – Utvendige formfaktorer for sal- og trautek



$e = b$  eller  $2h$  avhengig av hvilken som er minst

$b$ : mål på tvers av vinden



(c) vindretning  $\theta = 90^\circ$

Figur 7.8 – Formfaktor for sal- og trautek

Takvinkel $\alpha$	Sone for vindretning $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
$-45^\circ$	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0 -1,5	
$-30^\circ$	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8 -1,4	
$-15^\circ$	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7 -1,2	
$-5^\circ$	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
$5^\circ$	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
$15^\circ$	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0 -1,5	
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0 +0,0	
$30^\circ$	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
$45^\circ$	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
$60^\circ$	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
$75^\circ$	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

**MERKNAD 1** Ved  $\theta = 0^\circ$  endres trykket raskt mellom positive og negative verdier på losiden rundt en takvinkel på  $\alpha = -5^\circ$  til  $+45^\circ$ . Derfor er både positive og negative verdier angitt. For disse takene bør fire tilfeller undersøkes der de største og minste verdiene av alle arealer, F, G og H, kombineres med de største og minste verdiene i areal I og J. Ingen blanding av positive og negative verdier er tillatt på samme side.

**MERKNAD 2** Lineær interpolasjon for mellomliggende takvinkler med samme fortegn kan brukes mellom verdier med samme fortegn. (Ikke interpoler mellom  $\alpha = +5^\circ$  og  $\alpha = -5^\circ$ , men bruk dataene for flate tak i 7.2.3). Verdiene lik 0,0 er angitt for interpolasjonsberegning.

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

Beregningsprogram for vindlast iht. TPF nr. 5  
Utgave 27.03.14

TPFnr5\_FlateTak\_mars\_14

Byggested

Prosjekt	Konstruktørkurs
Bygg	
Gateadresse	
Postnummer	
Poststed	

Distrikt

Velg kommune

Randberg

Høyde over havet (m) 250

Fylke	Rogaland
Kommune	Randaberg
Ref. vindhast., vref (m/s)	28

Ho (m)	Htopp (m)	Hgrense (m)
900	1500	250

Dimensjoner

Flatt tak

Pult tak

Sal tak

Buet tak

Kuppel

Byggets bredde (m)	22,00
Byggets dybde (m)	11,00
Byggets høyde (m)	4,50

Takform	Flatt tak
Bygningstype	Lav
Randfeltbredde (m)	0,90
Hjørnefeltlengde (m)	2,25

Areal hjørnefelt (m <sup>2</sup> )	12,96
Areal randfelt (m <sup>2</sup> )	43,20
Areal midtfelt (m <sup>2</sup> )	185,84
Takets areal (m <sup>2</sup> )	242,00

Takvinkel (°)	0,00
---------------	------

Bygg

Terreng

Vindlast

Tekking

Konstruksjon

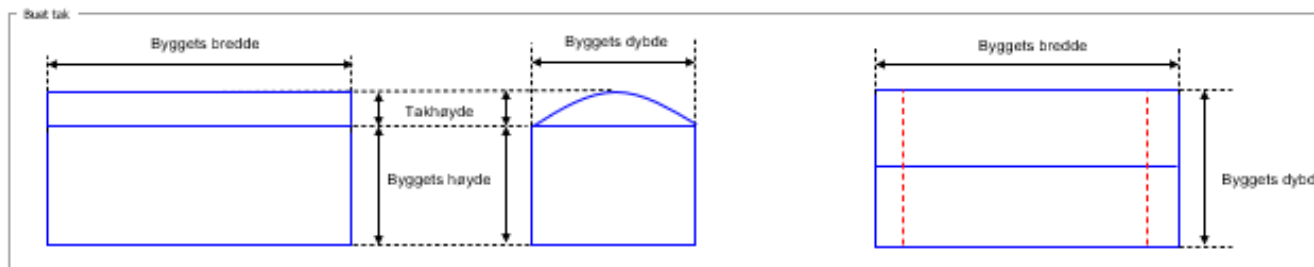
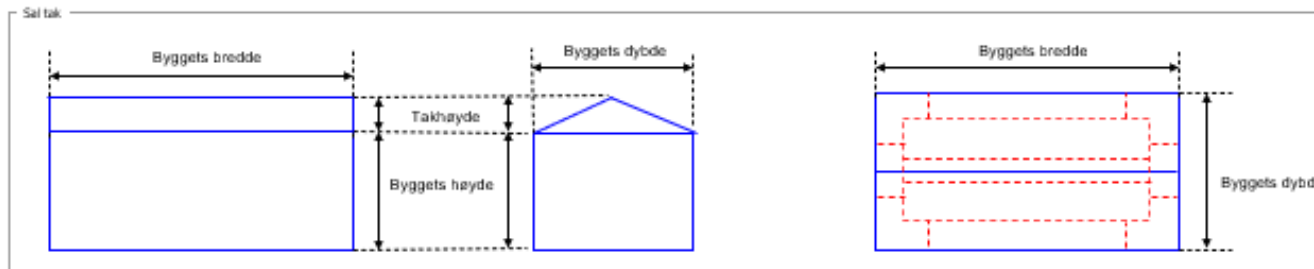
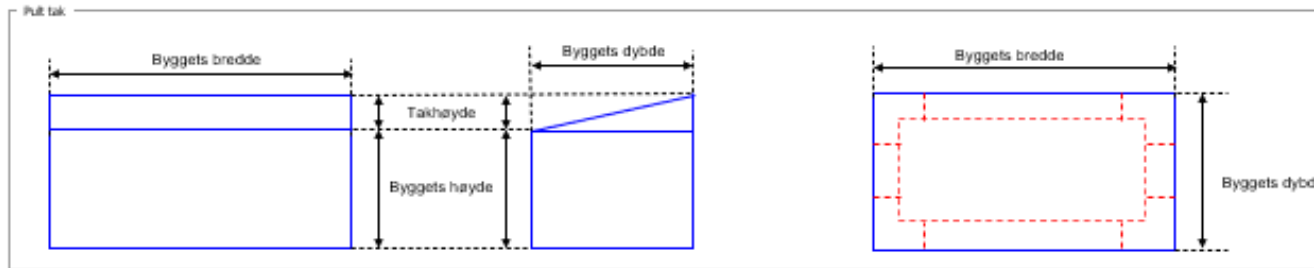
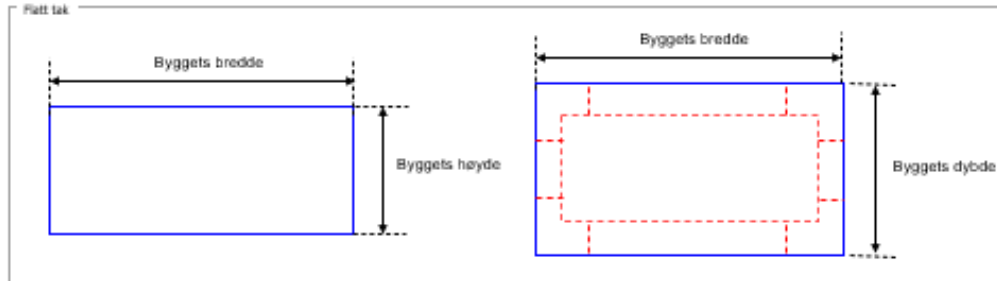
Resultat

Skisse flatt tak

Program: Ove Sletten



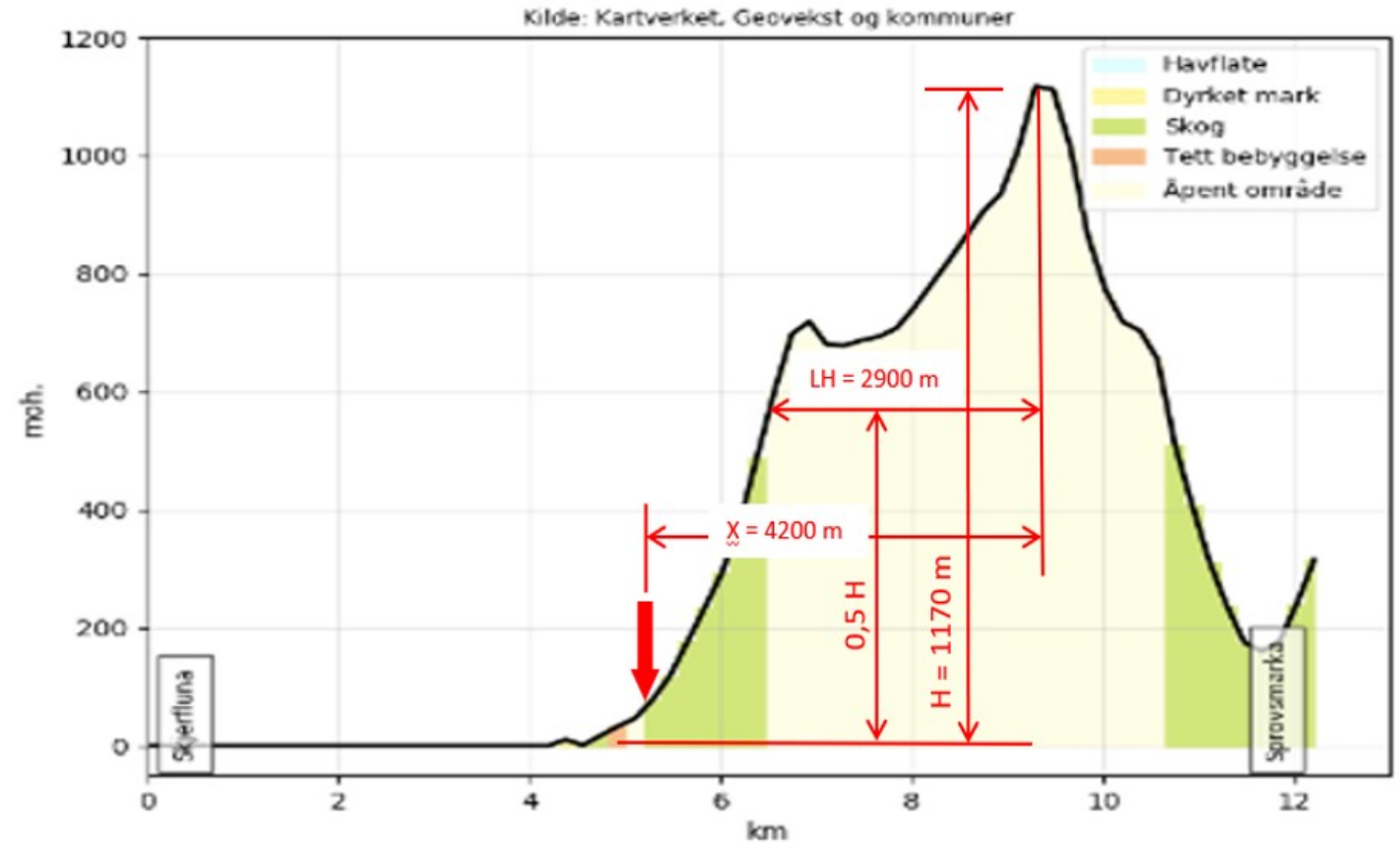
# Vindlaster NS-EN 1991-1-4



TPFnr5\_FlateTak\_mars\_14

Program: Ove Sletten

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4



Eksempel på høydeprofil og plassering av bygg

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

TPFnr5\_FlateTak\_mars\_14

## Terrengkategori

- Kyststrøk som er eksponert for åpent hav.
- Innsjøer eller områder med lite vegetasjon og uten hindringer.
- Område med lav vegetasjon som gress og spredte hindringer (trær, bygninger) med innbyrdes avstander på minst 20 ganger deres høyde.
- Område med jevnt dekke av vegetasjon eller bygninger eller med spredte hindringer med innbyrdes avstand på høyst 20 ganger deres høyde (som landsbyer, forstadsterreng, permanent skog).
- Områder der minst 15% av overflaten er dekket med bygninger og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15m.

Kategori	kT	z0 (m)	zmin (m)
I	0,17	0,01	2

## Topografi

- Flatt terreng
- Forhøyning
- Skråning
- Regulær ås
- Leside av bratt terreng

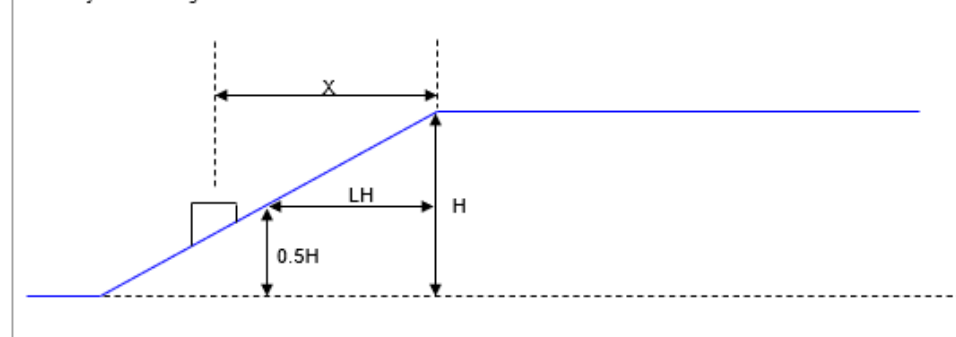
Lok. høyde H (m)	Lok. bredde LH (m)	Lok. avst. X (m)	Helning (grader)	Forhold H/LH
710	1000	400	19,5	0,50

DSz,max	a	kvirk	ct(0)	ctt
1,00	3,00	1,50	1,73	1,00

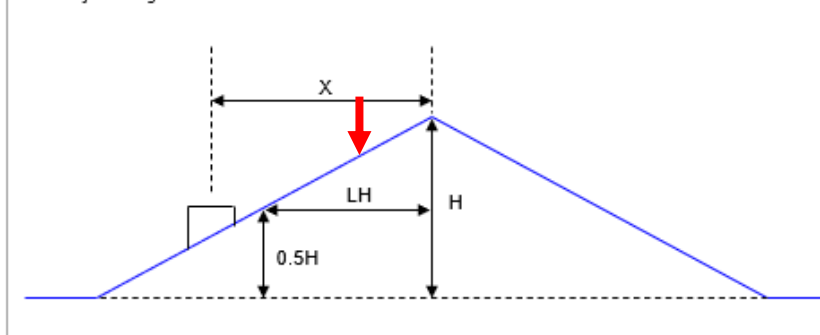
## Tips for topografi/terrengkategori

- Mest presis beregning: Bruk kart og bestem H, LH og X.
- Enklere og mer konservativ beregning: Bestem H og X, men sett LH lik null. LH beregnes da til 2 ganger H.
- Enklest og mest konservativ beregning: Bestem H, men sett LH og X lik null. LH beregnes da til 2 ganger H.

## Illustrasjon av skråning



## Illustrasjon av regulær ås



Program: Ove Sletten

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

## Vindlastberegning

Fylke	Rogaland
Kommune	Randaberg
Referansevindhastighet, v <sub>ref</sub> (m/s)	28
Byggets høyde, z (m)	4,50

Basisvindhastighet, v <sub>b</sub> (m/s)	28,00
Byggets vind-ekv. høyde, z* (m)	4,50
Topografifaktor, ct(z)	1,72
Terrenguhetsfaktor, cr(z)	1,04
Turbulensintensitet, I <sub>v</sub> (z)	0,09
Stedsvindhastighet, v <sub>s</sub> (z) (m/s)	50,12
Vindkasthastighet, v <sub>kast</sub> (z) (m/s)	64,67

Topografifaktor, c <sub>tt</sub>	1,00
Retningsfaktor, c <sub>ret</sub>	1,00
Årstidsfaktor, c <sub>års</sub>	1,00
Nivåfaktor, c <sub>hoh</sub>	1,00
Returperiode (år)	50
Statistisk faktor, c <sub>san</sub>	1,00

Luftdensitet, d (kg/m <sup>3</sup> )	1,25
Toppfaktor, k <sub>p</sub>	3,5

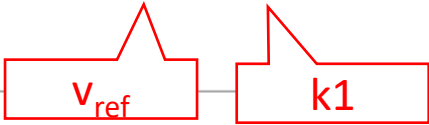
Reduksjonsfaktor	0,9
Lastfaktor	1,5

Faktor k <sub>1</sub>	2,305
Faktor k <sub>2</sub>	1,000
Beregnet q <sub>k0</sub>	1134,12
q <sub>kast</sub> iht. til tillegg E	2613,71

TPFnr5\_FlateTak\_mars\_14

k<sub>1</sub> = vindaksellerasjon over åser og skråninger.

$$28 \times 2,305 = 64,5 \text{ m/s}$$



## Resultat

Bruk automatisk beregning av vindlast

Manuell inntasting av vindkasthastighetstrykk, q<sub>kast</sub>

Vindkasthastighetstrykk, q<sub>kast</sub> (Pa) 2613,71

Vindkasthastighet, v<sub>kast</sub>(z) (m/s) 64,67

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 64,67^2 = 2614 \text{ N/m}^2$$

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

<b>Jobb</b>	:	Konstruktørkurs
<b>Beskrivelse</b>	:	Vindkasthastighetstrykk
<b>Beregning av grunnverdi for hastighetstrykket fra kastevind!</b>		
Beregningen av grunnverdien for hastighetstrykket fra kastevinden baserer seg på de samme forutsetningene som er angitt i NS EN 1991-1-4:2005+NA:2009		
"Forenklet beregning av vindkasthastighetstrykk" (V1-V6)		
Velg kommune fra lista, så settes referansevindhastigheten for kommunen automatisk.		
<b>INNDATA</b>		
Valg av kommune:		Randaberg
Høyde over terrenget(z):	=	4,50 m
Terrengkategori(0-4):	=	1
Høyde på byggestedet, H:	=	250 m.o.h.
<b>RESULTAT</b>		
Valgt terrengkategori		$k_T$ $z_0(m)$ $z_{min}(m)$
Kategorinummer 1	Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker.	0,17   0,01   2
Referansevindhastighet $v_{ref}$	=	28 m/s
$q_{p0}(z)$	=	1134 N/m <sup>2</sup>

PBM - Regneark

$$\rightarrow q_{p0}(z) \times k_1 = 1134 \times 2,305 = 2614 \text{ N/m}^2$$

# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

Jobb : Konstruktørkurs

Beskrivelse : Formfaktorer tak - vind mot gavlvegg

Forutsetninger for regnearket er at taket har symmetriske takvinkler  
Regnearket gjelder for vindretning enten 0 grader eller 90 grader - ikke begge deler samtidig.

### INNDATA

b	=	20400 mm
d	=	32400 mm
h	=	10000 mm
θ	=	90 °
Takvinkel	=	22,00 °

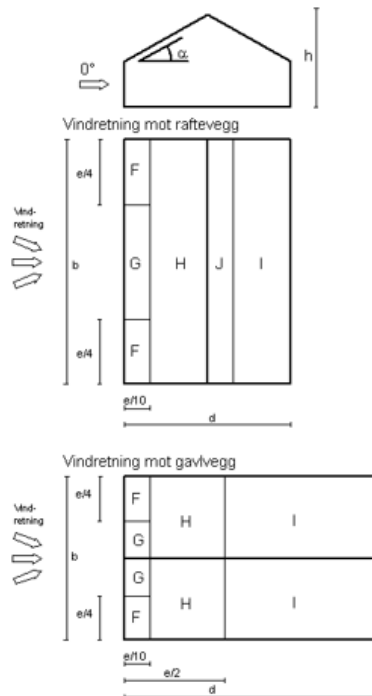
Gyldig takvinkel fra -45 til 75 grader.

Gyldig vindretning er 0 og 90 grader

### Arealer

(takstol)

e	=	20000 mm	
F	=	10,0 m <sup>2</sup>	3,00
G	=	10,4 m <sup>2</sup>	3,12
H	=	81,6 m <sup>2</sup>	6,12
I	=	228,5 m <sup>2</sup>	6,12
J	=	0 m <sup>2</sup>	0,00



Disse verdiene er utregnet for bruk i stabilitetsberegninger

Vektet  $\sum C_{pe,10}$  lo side =

Vektet  $\sum C_{pe,10}$  le side =

$\sum C_{pe,10}$  le og lo side =

Høyde på takkonstruksjon =

h/d =

Red. =

NS-EN 1991-1-4 pkt. 7.2.2 (3)

### Utvendige formfaktorer avhengig av sone - $C_{pe}$

Sone	F-sug	F-trykk	G-sug	G-trykk	H-sug	H-trykk	I-sug	I-trykk	J-sug	J-trykk
$C_{pe,10}$	-1,21	0,00	-1,35	0,00	-0,69	0,00	-0,50	0,00		
$C_{pe,1}$	-1,77	0,00	-2,00	0,00	-1,20	0,00	-0,50	0,00		

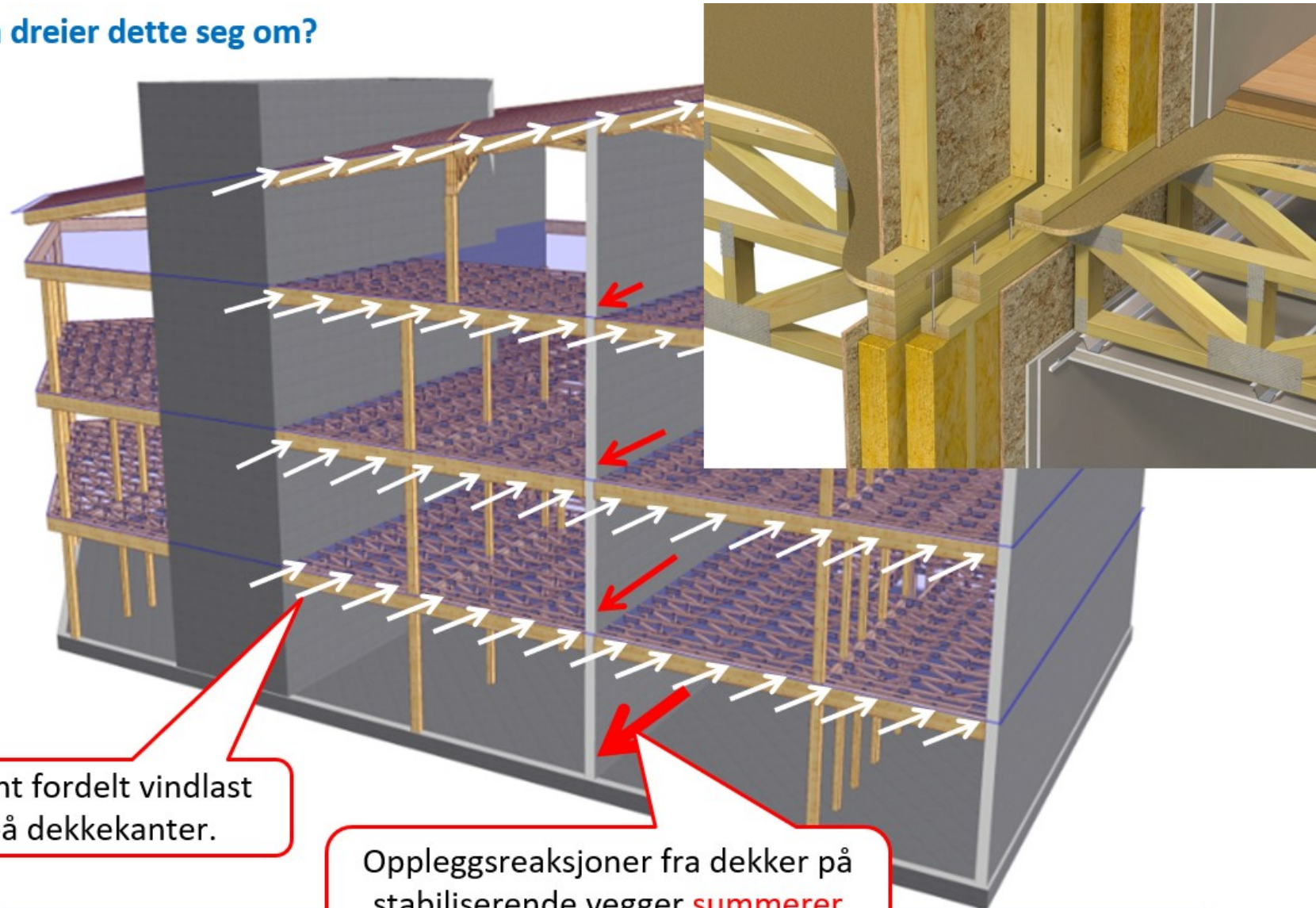
### Utvendige formfaktorer avhengig av sone - $C_{pe}$

Sone	F-sug	F-trykk	G-sug	G-trykk	H-sug	H-trykk	I-sug	I-trykk	J-sug	J-trykk
$C_{pe,10}$	-1,21	0,00	-1,35	0,00	-0,69	0,00	-0,50	0,00		
$C_{pe,1}$	-1,77	0,00	-2,00	0,00	-1,20	0,00	-0,50	0,00		

PBM - Regneark



## Hva dreier dette seg om?



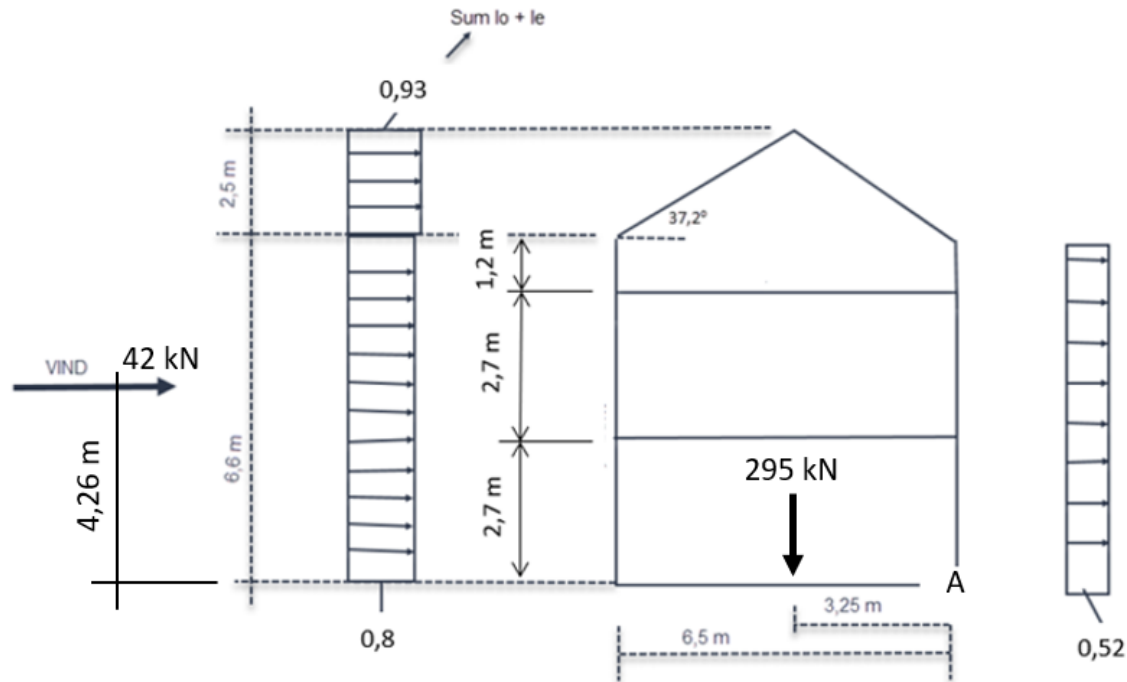
Jevnt fordelt vindlast på dekkekanter.

Opplagsreaksjoner fra dekker på stabiliserende vegger **summerer seg** ned til fundament!



# Vindlaster NS-EN 1991-1-4

Kontroll av velting - bygget betraktes som stiv kasse:



Byggets egenvekt:

$$\text{Gavlvegger} = (0,5 \times (6,6 \times 6,5 + 6,5 \times 2,5/2)) \times 2 = 51 \text{ kN}$$

$$\text{Langvegger} = 0,5 \times 6,6 \times 14,1 \times 2 = 93 \text{ kN}$$

$$\text{Dekker} = 0,5 \times 6,5 \times 14,1 \times 2 = 92 \text{ kN}$$

$$\text{Tak} = 0,5/\cos 37,2^\circ \times 6,5 \times 14,1 = 59 \text{ kN}$$

Det sees bort fra innvendige delevegger.

$$\text{Sum egenvekt} = 51 + 93 + 92 + 59 = 295 \text{ kN}$$

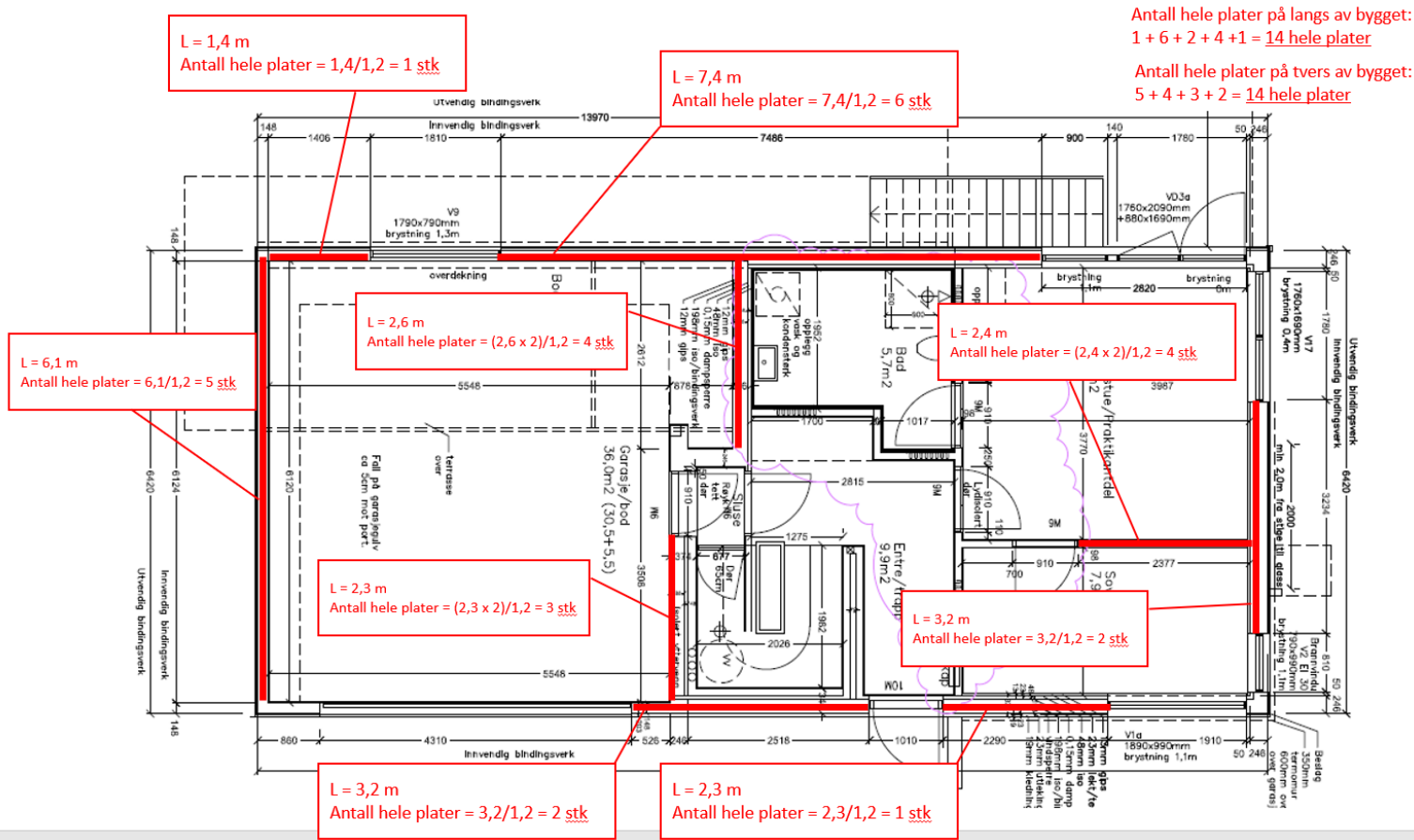
$$\text{Veltende moment om pkt. A} = 42 \text{ kN} \times 4,26 \text{ m} = 179 \text{ kNm}$$

$$\text{Stabiliserende moment om pkt. A} = 295 \text{ kN} \times 3,25 \text{ m} = 959 \text{ kNm}$$

Stabiliserende 959 kNm > veltende 179 kNm → velter ikke!

$$\text{Vindresultantens høyde} = ((0,8 + 0,52) \times 6,6 \times 6,6/2 + 0,93 \times 2,5 \times (6,6 + 2,5/2))/((0,8 + 0,52) \times 6,6 + 0,93 \times 2,5) = 4,26 \text{ m}$$

# Velg ut hvilke vegger som skal oppta vindlast! -og summer antall hele plater på langs- og på tvers av bygget



Kontroll av vind mot langvegg 1. etasje:

$$V = \frac{42000 \text{ N}}{21 \times 1200 \text{ mm}} = 1,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}} < 2,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \rightarrow \text{OK}$$

Avhengig av valgt platetype

Grunnlag for denne kontrollen er Byggdetaljblad 520.238 «Skivekonstruksjoner av tre»<sup>3</sup>, punkt 83.

«Vegger i småhus» som sier:

$$V = \frac{Q}{n \cdot b} \left( \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right)$$

hvor: – Q er horisontallast (N) – n er antall hele plater – b er platebredde (mm)»

Eller beregne vegg i for eks. NTF regneark

Input for innspente veggskiver: (Fra tabellen over)		Resultater for innspente veggskiver:	
Største skivelast Q:	38 kN	Spikeravstand:	74 mm
Vegglengde l:	4,8 m	Randbjelker - min.:	C 24
Vegghøyde h:	2,5 m	Plateskjær:	Spon/OSB OK!
Skivelast Q i topp:	38 kN	Forankring i ender:	13 kN ↑
Vertikallast i topp:	3 kN/m	Utbøyning av skive:	1,9 mm
Platetype:	12 mm OSB/spon	HVOR I BYGGET ? <b>Vegg G</b>	
Plater begge sider:	Nei	Vind i Y-retning	
Spikerdiameter:	3,1 mm	Side 2	
Randbjelker:	48 x 148 mm		