

## J Berengning av snø og vindlaster

In [1]:

```
import numpy as np
from sympy import *
from sympy.abc import a, b, c, d, t, x, y, z, r, alpha, beta, gamma, theta, phi, rho, mu
```

### Dimensjonering av laster

## Gjennomgang NS 1991-3- Snølaster

Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-3: Allmenne laster – Snølaster

3.3(2) For områder der eksepsjonelle snøfall er uvanlig mens eksepsjonelle snødriver kan forekomme, gjelder følgende:

- a) forbigående/vedvarende dimensjonerende situasjon bør brukes for snølast som både jevnt fordelt snølag og snødriver, bestemt ved hjelp av 5.2(3)a) og 5.3;
- b) dimensjonerende ulykkesituasjon bør brukes for snølast som både jevnt fordelt snølag og snødriver, bestemt ved hjelp av 5.2(3) c) og tillegg B

## 5 Snølaster på tak

### 5.2 Lasttilfelle

(3) Snølaster skal dimensjoneres på følgende måte:

- a) for vedvarende/forbigående situasjoner

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (5.1)$$

- c) for dimensjonerende ulykkesituasjoner der eksepsjonell snødrift er ulykkespåvirkningen:

$$s = \mu_i s_k \quad (5.3)$$

der:

- $\mu_i$  er snølastens formfaktor
- $s_k$  er karakteristisk verdi for snølast på mark
- $C_e$  er eksponeringskoeffisienten
- $C_t$  er den termiske koeffisienten

(5) Når kunstig fjerning eller omfordeling av snøen på et tak kan skje, bør taket dimensjoneres for lasttilfeller deretter.

(6) I områder med fare for regn på snøen og påfølgende smelting og frysing bør snølastene på taket økes, særlig i de tilfeller der snø og is kan blokkere takavløpet.

(7) Eksponeringskoeffisienten  $C_e$  bør brukes ved bestemmelse av snølast på tak. Valget av  $C_e$  bør ta hensyn til fremtidig utvikling rundt byggeplassen.  $C_e$  bør settes til 1,0 med mindre annet er angitt for forskjellig topografi.

### 5.3 Formfaktorer for tak

### 5.3.1 Generelt

(3) Formfaktorer for tak i 5.3.2 (pulttak), 5.3.3 (saltak) og 5.3.4 (sagtak) er gitt i tabell 5.2

$$\mu_1(\alpha) = \mu_2(\alpha) = 0.8 \quad ()$$

### NA.4.1 Karakteristiske verdier

Dersom høyden over havet  $H > H_{\{g\}}$  bestemmes:

$$s_k = s_{k0} + n\Delta s_k \quad ()$$

der:  $\Delta s_{\{k\}}$  for kommunen er gitt i tabell NA.4.1(901)  $n = (H - H_{\{g\}})/100$ , der  $n$  avrundes oppover til nærmeste heltall

Dersom beregnet  $s_{\{k\}} > s_{k,\text{maks}}$  settes  $s_{\{k\}} = s_{\{k,\text{maks}\}}$

In [2]:

```
# Bestemme karakteristiske verdier:
H = 680          # Byggehøyde over havet [moh]
sk_0 = 4.5       # [kN/m2]
H_g = 150        # [m]
delta_sk = 1.0   # [kN/m2]

if H > H_g:
    n = np.ceil((H-H_g)/100)
    sk = sk_0 + n*delta_sk
    print('H > H_g: sk =', sk, 'kN/m2')
else:
    sk = sk_0
    print('H < H_g: sk =', sk, 'kN/m2')
print(n)
mu_1 = mu_2 = .8
c_e = .8        # Eksponeringskoeffisient, kan settes til 1,0 for normale tilfeller
c_t = 1         # Termisk koeffisient
print(sk)
# Karakteristisk snølast for pulttak:
s = round(mu_1 * c_e * c_t * sk, 2)
print("s =", s, 'kN/m2')
```

```
H > H_g: sk = 10.5 kN/m2
6.0
10.5
s = 6.72 kN/m2
```

## Gjennomgang NS-EN 1991-4:2005+NA2009

Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster

### 2. Dimensjoneringsituasjoner

### 3. Modellering av vindpåvirkninger

#### 3.1 Generelt

(1) Vindpåvirkninger varierer med tiden og virker som trykk direkte på de utvendige flatene av en lukket konstruksjon. På grunn av utetthet i de ytre overflatene virker de også indirekte på de innvendige flatene. De kan også virke direkte på de indre overflatene i åpne konstruksjoner. Vindtrykk virker på områder av overflaten og resulterer i krefter normalt på overflaten av konstruksjonen eller på de enkelte kledningselementer. Når vinden stryker over store områder av konstruksjonen, kan i tillegg friksjonskrefter som virker tangentielt på overflaten, være betydelige.

## 4 Vindhastighet og vindhastighetstrykk

### 4.2 Grunnverdier

(1)  $P$  Referansevindhastigheten  $v_{b,0}$  er den karakteristiske 10 minutters middelvindhastigheten, uavhengig av vindretning og årstid, 10 m over terrengnivå i åpent terreng med lav vegetasjon som gress og avstand mellom enkelthindringer på minst 20 ganger deres høyde.

(2) Basisvindhastigheten skal beregnes fra ligning (NA.4.1)

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot c_{alt} \cdot c_{prob} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

der:

$V_{\{b\}}$  er basisvindhastigheten, definert som funksjon av vindretning og årstid for høyden 10 m over bakken og terrengkategori II

$c_{\{alt\}}$  er en nivåfaktor

$c_{\{dir\}}$  er retningsfaktoren

$c_{\{season\}}$  er årstidsfaktoren

$c_{\{prob\}}$  er en faktor som brukes når returperioden velges forskjellig fra det normale som er 50 år, jf ligning 4.2

$v_{\{b,0\}}$  er referansevindhastigheten

### 4.3 Middelvind

#### 4.3.1 Variasjon i høyde

(1) Stedsvindhastigheten  $v_m(z)$  ved en høyde  $z$  over terrenget avhenger av terrengruheten, terrengformen og basisvindhastigheten  $v_b$ , og bør bestemmes ved bruk av ligning (4.3)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.3)$$

der:

$c_r(z)$  er ruhetsfaktoren gitt i 4.3.2

$c_o(z)$  er terrengformfaktoren, satt lik 1,0 med mindre annet er angitt i 4.3.3.

#### 4.3.2 Terrengruhet

(1) Ruhetsfaktoren  $c_r(z)$  angir variasjonen i stedsvindhastigheten på byggestedet som følge av: høyden over terrengnivå og terrengruheten på losiden av konstruksjonen i den aktuelle vindretningen. NA.4.3.2(1) Terrengruhetsfaktoren  $c_r(z)$  skal bestemmes på grunnlag av A.1, tabell NA.4.1 og ligning 4.4.

#### 4.3.3 Terrengform

(1) Der terrengformen (for eksempel åser, skråninger osv.) øker vindhastigheten med mer enn 5 %, bør det tas hensyn til virkningene ved å bruke terrengformfaktoren  $c_o$ .

#### 4.4 Turbulens

(1) Turbulensintensiteten  $I_v(z)$  ved høyde  $z$  er definert som standardavviket  $\sigma_v$  av momentanvindhastigheten dividert med middelvindhastigheten (over 10 minutter)

$$\sigma_v = k_r v_b k_I \quad (4.6)$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{c_0(z) \ln(z/z_0)} \quad (4.7)$$

#### 4.5 Vindkasthastighetstrykk

(1) Vindkasthastighetstrykket  $q_p(z)$  ved høyde  $z$  over terreng beregnes fra midlere vindhastighet og største kortvarige hastighetsfluktuasjon.

### 5 Vindpåvirkninger

#### 5.1 Generelt

(1) P Vindpåvirkninger på konstruksjoner og konstruksjonsdeler skal bestemmes ved å ta hensyn til både utvendige og innvendige vindtrykk.

#### 5.2 Vindtrykk på overflater

(1) Vindtrykket som virker på de utvendige flatene,  $w_e$ , bestemmes fra ligning (5.1).

$$W_e = q_p(Z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

$q_p(z_e)$  er topphastighetstrykket

$z_e$  er referansehøyden for det utvendige trykket

$c_{pe}$  er formfaktoren for det utvendige trykket.

Vindtrykket som virker på de innvendige flatene på en konstruksjon,  $w_i$ , bestemmes fra ligning (5.2).

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.2)$$

$q_p(z_i)$  er vindkasthastighetstrykket

$z_i$  er referansehøyden for det innvendige trykket gitt i kapittel 7

$c_{pi}$  er formfaktoren for det innvendige trykket gitt i kapittel 7.

In [3]:

```
# Bestemme vindhastighetstrykk
H      = 680      # Byggehøyde over havet [moh]
z      = 13.926   # Lokal høyde over terrengnivået på byggestedet
H_0    = 900      # se tabell NA.4(901.2)
H_topp = 1500     # se tabell NA.4(901.2)
L_h    = 300      # halv ås- eller bakkelengde målt i nivået 0,5H i vindvektorplanet xz
v_0    = 30       # [m/s] terskelverdi
v_b0   = 28       # [m/s]
c_dir  = 1.0      # retningsfaktor
c_season = 1.0    # årstidsfaktor
c_prob = 1.0      # Sannsynlighetsfaktor

# NA.4(901.1)
if v_b0 >= v_0:
    c_alt = 1
else:
    c_alt = np.amax([1, 1 + ((v_0 - v_b0)*(H-H_0) / (v_b0*(H_topp - H_0)))]])
print('c_alt:', c_alt)

v_b = round(v_b0 * c_dir * c_season * c_alt * c_prob, 2) ; print('v_b:', v_b, 'm/s')

# Terrengruhuetskategori: Kategori 1, Innsjøer eller flatt og horisontalt område med lite
k_r   = 0.17
z_0   = 0.01
z_min = 2

cr_z = round(k_r * ln(z/z_0), 2) ; print('cr_z:', cr_z)

# Økning av stedsvinden over åser og skråninger i et vertikalt vindvektorplan, Figur NA.4(901.8)
# Her må (!) det gjøres kontroll av inputverdier, dette har enorme innvirkninger på midd

x      = 202 # horisontal avstand i vindvektorplanet xz, fra lokal topp av åsen eller
B      = 361 # horisontal avstand fra åsens høyeste punkt langs en linje vinkelrett på
L_h    = 590 # halv ås- eller bakkelengde målt i nivået 0,5H i vindvektorplanet xz på
L_0    = 1076 # er horisontal lengde fra åsens høyeste punkt til et punkt på vindsiden
k_virk = 1.5 # faktor angitt i tabell NA.4(901.8)
delta_Sz_maks = 2*H/L_h # er angitt i tabell NA.4(901.8)
a = 3 # er en faktor angitt i tabell NA.4(901.8)

# Terrengformfaktor for frittliggende ås eller skråning
c_0z = round(1 + delta_Sz_maks * ((B/L_0)/(B/L_0+.4)) * (1 - x/(k_virk*L_h)) * exp(-a*z/

# Turbulensintensitet
k_I    = 1.0
z_max  = 200 # m
sigma_v = k_r * v_b * k_I # standardavvik
I_v    = round(k_I / (c_0z * ln(z/z_0)), 4) ; print('Turbulensintensitet:', I_v)

# Vindkasthastighetstrykk
rho = 1.25 # kg/m3
v_m = round(cr_z * c_0z * v_b, 2) ; print('Middelvind:', v_m, 'm/s')
qp = round((1+7*I_v)**1/2 * rho * v_m**2/1000, 2) ; print('Vindkasthastighetstrykk:', qp, 'm/s')
```

```
c_alt: 1.0
v_b: 28.0 m/s
cr_z: 1.23
c_0z: 1.76
Turbulensintensitet: 0.0785
Middelvind: 60.61 m/s
Vindkasthastighetstrykk: 3.56 kN/m2
```

## Utvendige formfaktorer

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

In [4]:

```
# Utvendige formfaktorer for vegg, tabell 7.1
A = -1.2 ; print('Sone A:',round(qp*A,2),'kN/m2')
B = -0.8 ; print('Sone B:',round(qp*B,2),'kN/m2')
C = -0.5 ; print('Sone C:',round(qp*C,2),'kN/m2')
D = 0.8 ; print('Sone D:',round(qp*D,2),'kN/m2')
E = -0.5 ; print('Sone E:',round(qp*E,2),'kN/m2')

# Utvendige formfaktorer for flate tak, tabell 7.2
F = -1.8 ; print('Sone F:',round(qp*F,2),'kN/m2')
G = -1.2 ; print('Sone G:',round(qp*G,2),'kN/m2')
H = -0.7 ; print('Sone H:',round(qp*H,2),'kN/m2')
I = 0.2 ; print('Sone I:',round(qp*I,2),'kN/m2')

# Det er viktig å være bevisst på retninger for verdier.
# Positive verdier er definert som trykk på overflaten i vindretning, mens negativt er s
```

```
Sone A: -4.27 kN/m2
Sone B: -2.85 kN/m2
Sone C: -1.78 kN/m2
Sone D: 2.85 kN/m2
Sone E: -1.78 kN/m2
Sone F: -6.41 kN/m2
Sone G: -4.27 kN/m2
Sone H: -2.49 kN/m2
Sone I: 0.71 kN/m2
```

## Innvendige formfaktorer

### 7.2.9 Innvendig vindtrykk

(1)P Innvendige og utvendige vindtrykk skal forutsettes å virke samtidig. Den ugunstigste kombinasjonen av innvendige og utvendige vindtrykk skal vurderes for hver kombinasjon av mulige åpninger og andre lekkasjesteder.

Der hvor arealet av åpningene i den dominerende fasaden er to ganger arealet av åpningene i de andre fasadene  $c_{pi} = c_{pe} * 0,75$  (7.1)

In [5]:

```
# Utvendige formfaktorer for vegg, tabell 7.1
Ai = -1.2 *.75 ; print('Sone Ai:',round(qp*Ai,2), 'kN/m2')
Bi = -0.8 *.75 ; print('Sone Bi:',round(qp*Bi,2), 'kN/m2')
Ci = -0.5 *.75 ; print('Sone Ci:',round(qp*Ci,2), 'kN/m2')
Di = 0.8 *.75 ; print('Sone Di:',round(qp*Di,2), 'kN/m2')
Ei = -0.5 *.75 ; print('Sone Ei:',round(qp*Ei,2), 'kN/m2')

# Utvendige formfaktorer for flate tak, tabell 7.2
Fi = -1.8 *.75; print('Sone Fi:',round(qp*Fi,2), 'kN/m2')
Gi = -1.2 *.75 ; print('Sone Gi:',round(qp*Gi,2), 'kN/m2')
Hi = -0.7 *.75 ; print('Sone Hi:',round(qp*Hi,2), 'kN/m2')
Ii = 0.2 *.75 ; print('Sone Ii:',round(qp*Ii,2), 'kN/m2')
```

```
Sone Ai: -3.20 kN/m2
Sone Bi: -2.14 kN/m2
Sone Ci: -1.34 kN/m2
Sone Di: 2.14 kN/m2
Sone Ei: -1.34 kN/m2
Sone Fi: -4.81 kN/m2
Sone Gi: -3.20 kN/m2
Sone Hi: -1.87 kN/m2
Sone Ii: 0.53 kN/m2
```