



Statens vegvesen

Endringer i prosjekteringsparametere for bruer med hensyn til vindhastighet og vindtrykk!

Børre Stensvold

Leder av Bruseksjonen

Vegdirektoratet

Innhold

- Er det endringer i vindklimaet som påvirker dimensjoneringsgrunnlaget for bruer?
- Hva sier det norske regelverket om vindlaster?
- Vise historisk utvikling av vindlaster
- Vindtekniske undersøkelser under planlegging av Hardangerbrua

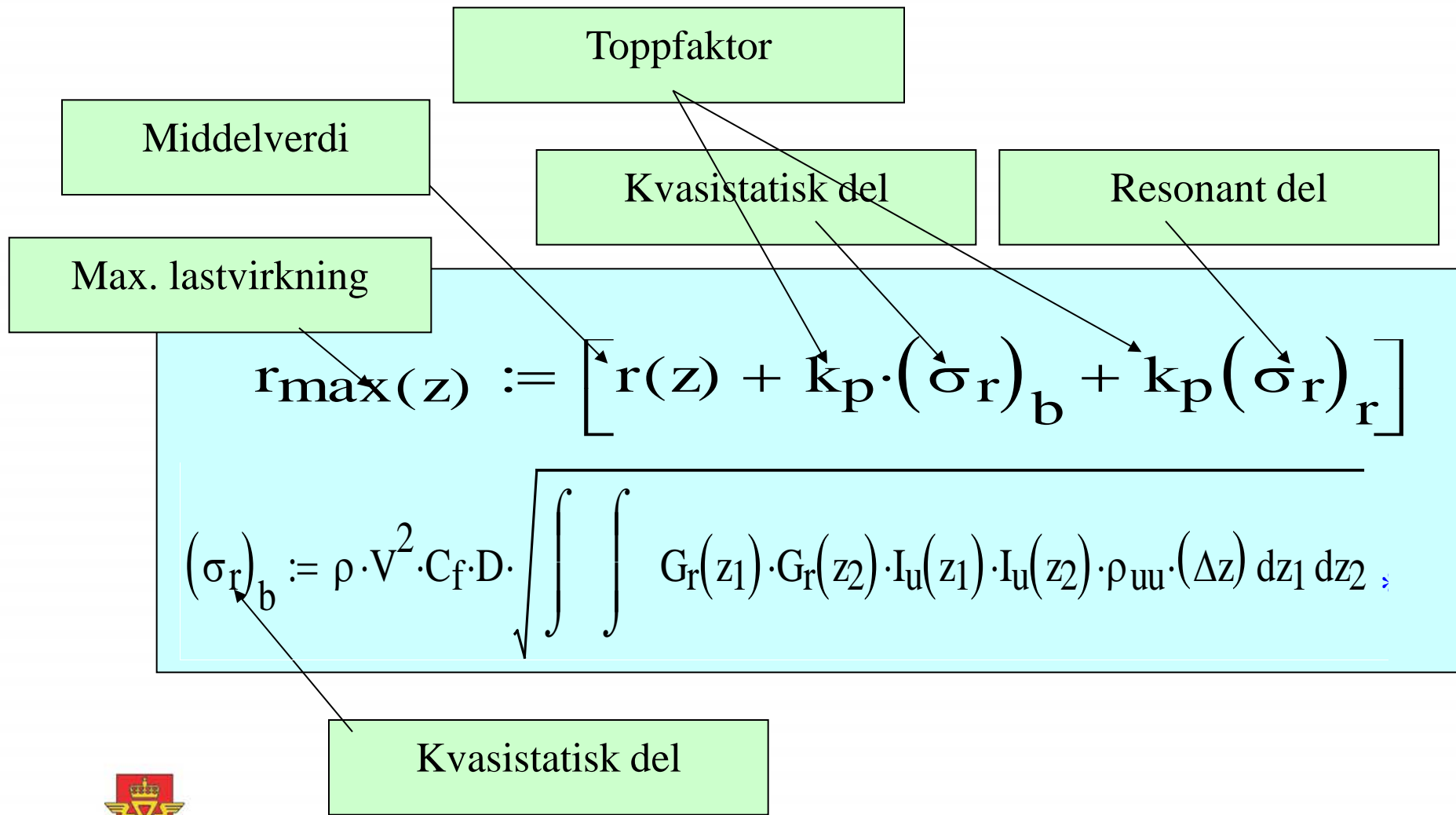


Endringer i vindklima?

- Det er ikke noe i dagens datagrunnlag som viser økning i ekstremvindhastigheten.
 - Datagrunnlaget er bl.a. innhentet fra ulike meteorologiske værstasjoner over en svært lang periode
- Analyser med moderne klimamodeller indikerer heller ikke framtidige endringer av ekstremvind.
 - Modellene kan være mangelfulle (usikre) slik at de ikke fanger opp eventuelle økninger i ekstremvindhendelser.
- Derimot er det en klar oppfatning i fagmiljøet om økt hyppighet av storm enkelte steder (økt stormfrekvens).
 - Det er stor unøyaktighet i modellberegningene og dette fører til stor usikkerhet om stormstyrke og stormfrekvens i årene framover. Med økt temperatur på land og i havet vil det kunne antas at det blir forandringer som fører til større frekvens av kuling og storm, og at intensiteten vil øke.
- Økt stormfrekvens gir ikke større dimensjonerende vindlast!
 - Det vil derimot ha betydning for trafikkavvikling, for eksempel med oftere stengning av utsatte bruer.



Hva er dynamisk vindlasttilfelle?



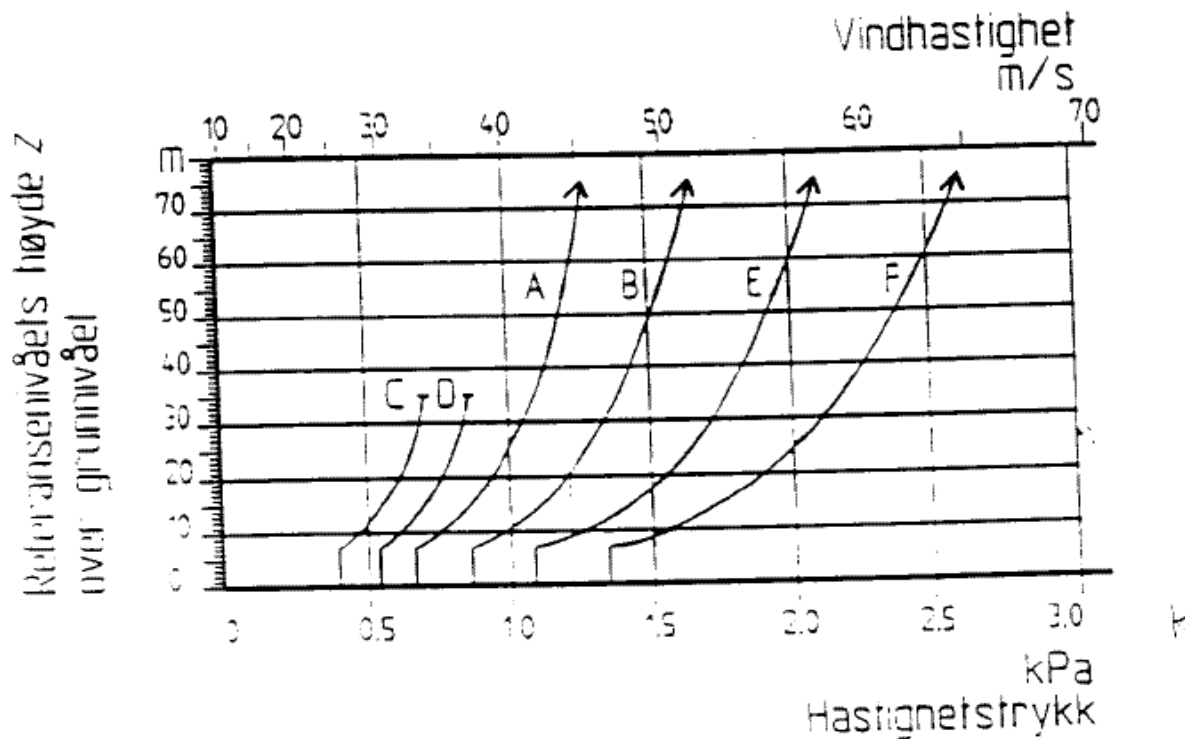


Litt historikk om regelverket

- 1979: NS 3479 hadde opprinnelig 4 vindkurver: A, B, C, D.
- 1982: SVV Prosjekteringsregler for Mjøsbrua
 - Totalentreprise JCC (→ NCC)
- 1990: NS 3479 ble utvidet med kurve E og F for å dekke vindutsatte steder.
- 1996: SVV HB 185 Prosjekteringsregler for bruer (Rev. '02/07)
- 2002: NS 3491 – Prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster. Del 4 Vindlaster



Vindhastighetens variasjon med beliggenhet og høyde over grunnivået etter NS 3479 (1979):



Kurve E og F kom i 1990, bakgrunnen for dette var ikke klimatiske endringer, men:

- mer nøyaktig ekstremvindanalyse (statistisk beregningsmodell)
- utviklingen av et bedre datagrunnlag (tekniske forbedringer av eksisterende tidsserier)



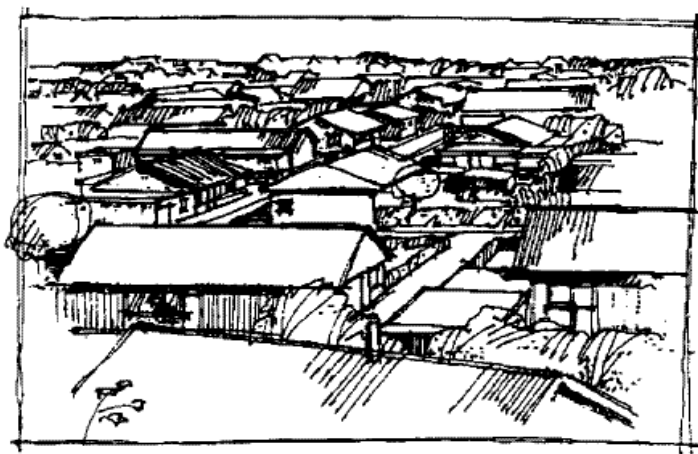
Ulike terrengkategorier I – IV



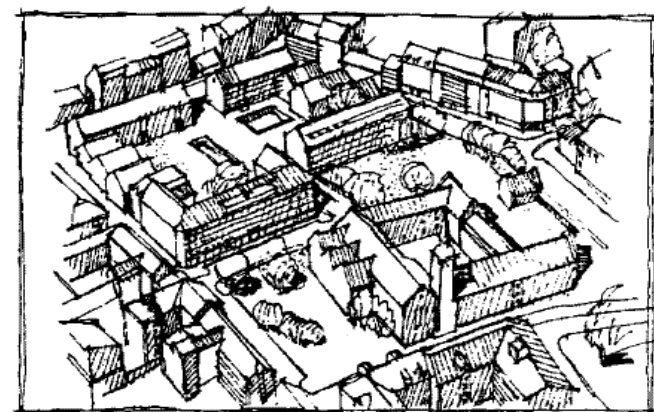
a) Terrengkategori I



b) Terrengkategori II



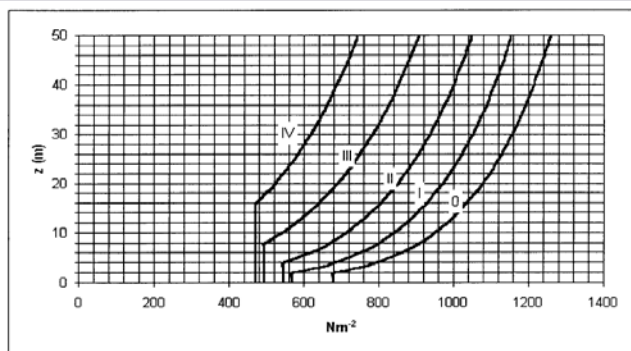
c) Terrengkategori III



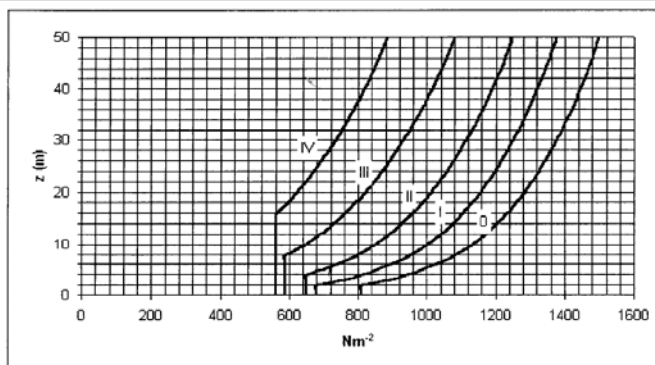
d) Terrengkategori IV



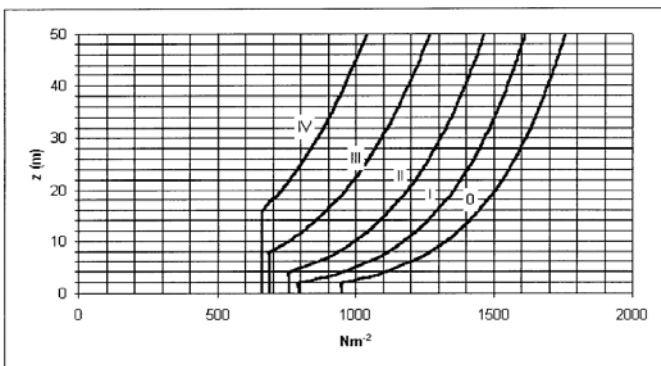
Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind



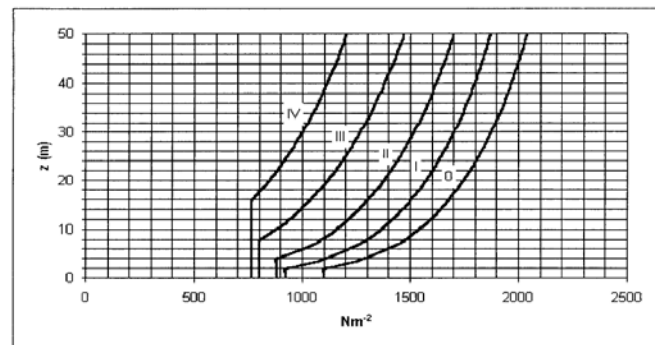
a) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind $q_{0e}(z)$ for $v_{REF} = 22$ m/s



b) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind $q_{0e}(z)$ for $v_{REF} = 24$ m/s



c) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind $q_{0e}(z)$ for $v_{REF} = 26$ m/s

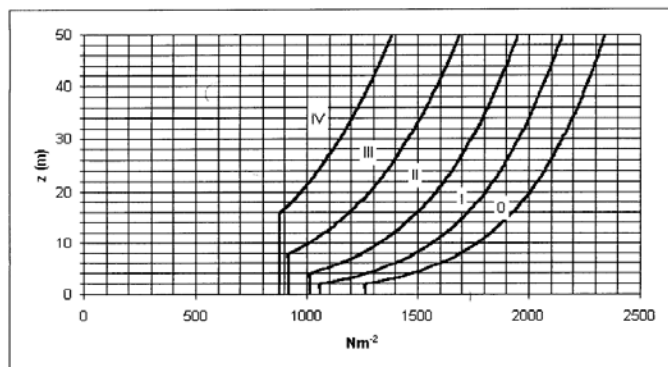


d) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind $q_{0e}(z)$ for $v_{REF} = 28$ m/s

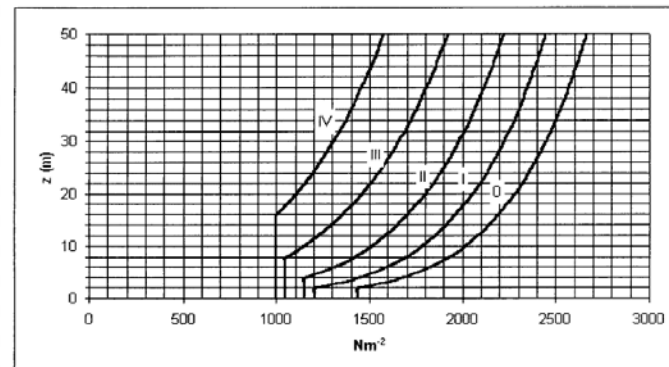
Basert på
kurve E og F
fra 1990



Statens vegvesen



e) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind $q_{0e}(z)$ for $v_{REF} = 30$ m/s



f) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind $q_{0e}(z)$ for $v_{REF} = 32$ m/s

Representerer de
4 vindkurvene
fra 1979: A,B,C,D

NS 3491 Prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster.

- **Del 1: Egen- og nyttelaster**
- **Del 2: Brannlaster**
- **Del 3: Snølaster**
- **Del 4: Vindlaster**
- **Del 5: Temperaturendringer**
- **Del 6: Laster under utførelse**
- **Del 7: Ulykkelaster**
- **Del 8: Trafikklaste på bruer**
- **Del 9: Siloer og tanker**
- **Del 10: Laster fra kraner og utstyr**
- **Del 11: Laster fra bølger og strøm**
- **Del 12: Jordskjjelvlaste**

– Nedtonet: Kun foreløpig



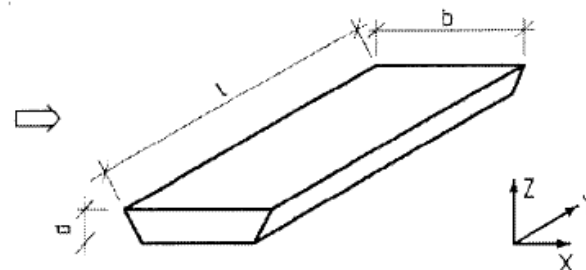
Hva står i regelverket om vindlaster?

NS 3491-4: Utgave 2002

- ✓ Separat kapittel om bruer (10.11 Bruer)
- ✓ Endret regelverk i forhold til den forrige utgaven av standarden (NS 3479 -1990)

Vindlaster på bruer angis ved:

- ✓ Dragkrefter i x-retning
- ✓ Løftekrefter i z-retning
- ✓ Langsgående krefter i y-retning



Figur 37 – Retningsangivelse for vindpåvirkninger på bruer



Hva sier vårt regelverk om vindlaster?


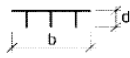
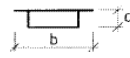
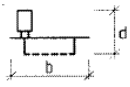
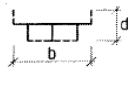
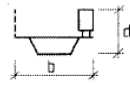
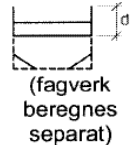
SVV HB 185 Prosjekteringsregler for bruer:

To verdier for vindlast, basert på standard grunnlagsdata eller fra vindmålinger:

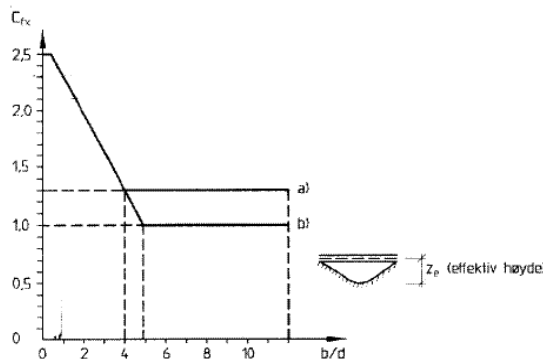
- 1. Vindlast på bru uten trafikk
(den karakteristiske vindhastigheten)**
- 2. Vindlast på bru med trafikk
(50% av hastighetstrykket men ikke større enn 0.6 kN/m²)**



Kraftfaktor (formfaktor) for bruer

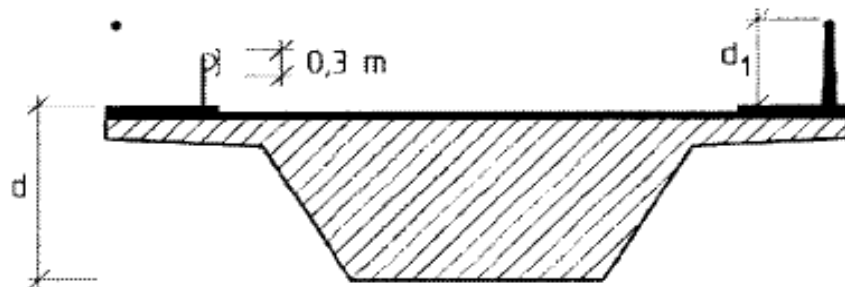
Brutype	Bjelkebru med to bjelker eller fagverk	Bjelkebru med flere enn to bjelker eller fagverk	Bjelkebru med kassetverrsnitt	Kurve
Uten rekkverk eller trafikk				a)
Med rekkverk eller trafikk				b)
				b)

For smale og samtidig høye tverrsnitt i overbygningen kan kraftfaktor være vesentlig større etter den nye standarden enn etter den gamle standarden (eget eksempel vises senere)



Figur 38 – Kraftfaktor for bruer, $C_{fx,0}$

Referansearealet A_{ref}



Figur 40 – Høyde som skal brukes for bestemmelse av A_{ref}

Tabell 16 – Høyde som skal brukes for A_{ref}

Avkjøringshinder	På én side	På begge sider
Åpen bilavviser eller åpent rekkverk	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Massiv bilavviser eller massivt rekkverk	$d + d_1$	$d + 2 d_1$
Åpen bilavviser og åpent rekkverk	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$



Viktige likninger for vindhastighet

$$V_b := C_{ret} \cdot C_{\text{\AA}rs} \cdot C_{hoh} \cdot C_{san} \cdot V_{ref}$$

Basisvindhastigheten V_b :

C_{ret} - retningsfaktoren

$C_{\text{\AA}rs}$ - \AArstidsfaktoren

C_{hoh} - niv\AA faktoren

C_{san} - faktor som bestemmer \AA rlig sannsynlighet for overskridelse

$$v_s \cdot(z) := C_r \cdot(z) \cdot C_t \cdot(z) \cdot v_b$$

Stedsvindhastighet V_s :

V_b - basisvindhastigheten

$C_r(z)$ - terrengruhetsfaktoren

$C_t(z)$ - topografifaktoren

Z - h\AA yden over terrenget p\AA byggestedet



Viktige likninger for hastighetstrykk

$$q_s \cdot(z) := (C_r)^2 \cdot(z) \cdot (C_t)^2 \cdot(z) \cdot q_b$$

q_b - basisvindhastighetstrykk

q_s - hastighetstrykk fra stedsvindhastighet

V_{ref} - i tabeller

V_{ref} , V_b og V_s er middelvind

$$q_{kast} := 0.5 \cdot \rho \cdot (v_{kast})^2$$

**V_{kast} - tar hensyn til turbulens og er en kortvarig vind
(2 - 3 sek middelvind) i verste vindkast**



V_{kast} kan sammenlignes med kurve A – F i NS 3479

Konstruksjonsfaktor C_d

$$C_d := \frac{1 + 2 \cdot k_p [I_V \cdot (z_{ref})] \cdot \sqrt{k_b + k_r}}{1 + 7 \cdot I_V \cdot (z_{ref})}$$

Konstruksjonsfaktoren C_d gir en samlet korreksjon av lastvirkningen på hovedbæresystemet pga :

- ✓ **størrelsen av konstruksjonens vindflate, dvs. flatens projiserte areal vinkelrett på vindretningen**
- ✓ **konstruksjonens stivhet (uttrykt ved langsamste egenfrekvens i vindretningen) og dens dempningsevne**



Eksempel på konsekvens av endringene

Eldre Fritt-Frem-Bygg bru:

- Hovedspenn på ca. 120 m, tverrsnittshøyde i overbygningen på ca. 6 m, søylelengde på ca. 20 m,
- Resultat av endringer i standard fra 1979 til 2002:
 - Vindlasten på overbygningen i ett snitt over støtte kan øke med 60 %.



Hvordan forholder vi oss til NS 3491– 4 ?

- Det brukes resultater fra vindtunnelforsøk som grunnlag for vindberegninger (iht. SVV HB 185)
 - Det brukes vindmålinger på brusted (feltmålinger) som grunnlag for vindberegninger (iht. SVV HB 185)
 - Det brukes både erfaring og vindlaster fra tidligere prosjekter som grunnlag for nye vindberegninger (hvor de stedlige forhold er like)
 - Det brukes fortsatt grunnverdier fra NS 3479, DS 410.2 og BS 5400 Part 2
 - NS 3491-4 er formelt sett ikke vist til i SVV HB 185
- Prosjekteringsregler (høringsutg.'06), men i praksis tatt i bruk.



Hardangerbrua



Hovedspenn på 1.310 m & ferdigstillelse i 2011

Det er gjennomført fire ulike vindtekniske
undersøkelser i forbindelse med planleggingen

Vindmålinger 1988-1992

- 45 m høy mast ved brustedet
- Målt vindhastighet og i tre ulike høyder
 - 10 m, 30 m og 45 m
- Temperatur
- Korrelert mot værstasjonene i Utsira og Hellisøy (fyrstasjoner langs kysten)
- Gir langtidsstatistikk (ekstremvind):
 - Dim. midlere vindhastighet: Ca. 40 m/sek



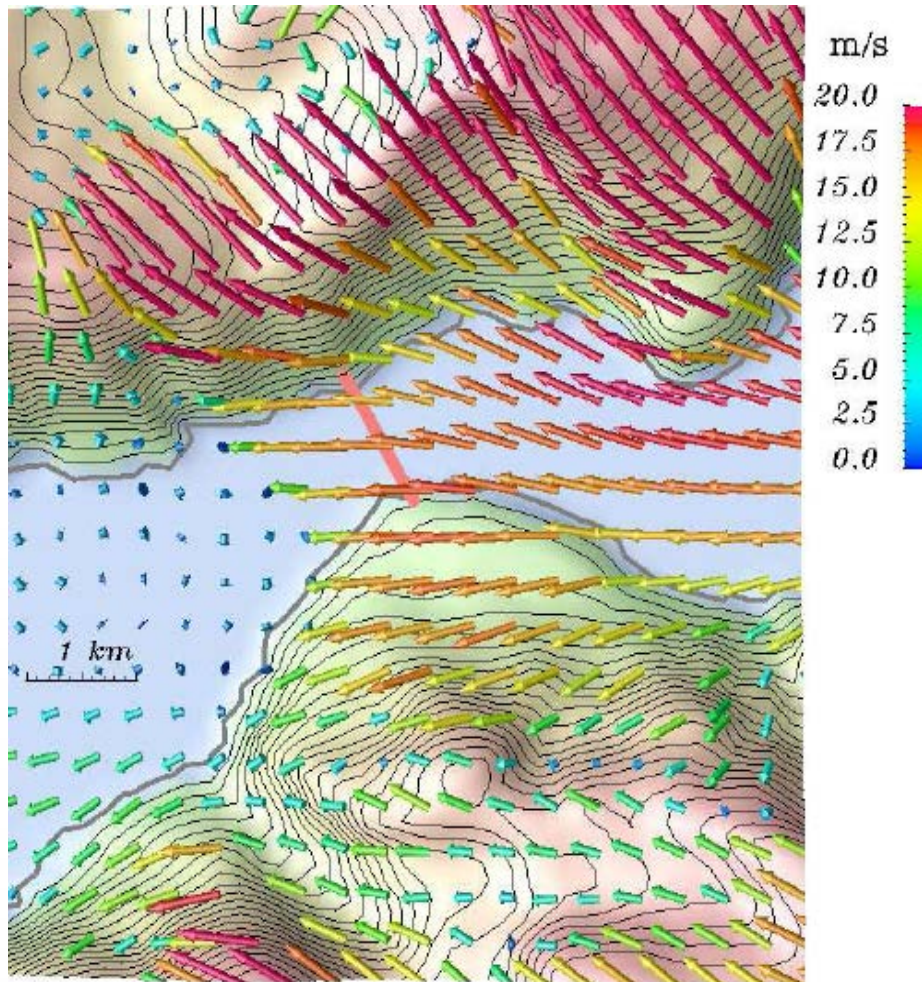
Terrengmodell i vindtunnel



Statens vegvesen

Institutt for hydro- og gassdynamikk, NTH 1991.
- Offshore vindtunnel, finansiert av oljeindustrien

Numerisk simulering, CFD-analyse

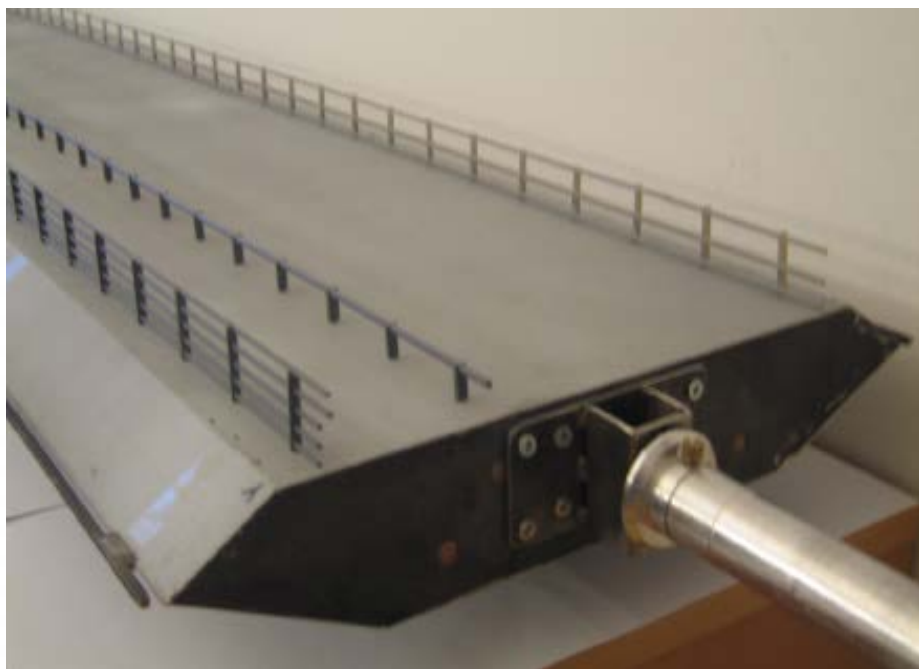


Meteorologisk institutt, SINTEF

- Offshore vindtunnel, finansiert av oljeindustrien



Seksjonsmodell i vindtunnel



Svend Ole Hansen ApS, København, Danmark



Statens vegvesen

“Brusynfonien”
Nytt konsept for lange spenn



Takk for
oppmerksomheten