



Statens vegvesen



Håndbok N400 Bruprosjektering

Kapittel 5: Laster

Forskrift for trafikklast

Kapittel 6: Konstruksjonsanalyse

Kristian Berntsen



Kapittel 5: Laster

5.1 Klassifisering av laster

- Permanente påvirkninger
 - Egenlast
 - Vanndrykk
 - Jordtrykk
 - Deformasjonslaster (setninger, svinn/kryp)
- Variable påvirkninger
 - Naturlaster
 - Trafikklast
- Ulykke-/seismisk påvirkninger
 - Jordskjelv
 - Støt (skip, kollisjon)



Kapittel 5: Laster

5.2 Permanente påvirkninger

- Håndboka stiller ingen spesielle krav om permanente laster, med unntak av belegningsvekt.
- Egenlaster iht. *NS-EN 1991-1-1*
- Jordtrykk og vanntrykk iht. *NS-EN 1997-1* og *Hb V220 Geoteknikk i vegbygging*
- Belegning:

Største spennvidde l [m]		
$l \leq 50$	$50 < l \leq 200$	$l > 200$
3,5 kN/m ²	2,5 kN/m ²	2,0 kN/m ²



Kapittel 5: Laster

5.3 Variable påvirkninger

- Trafikklast
 - Det vises til *NS-EN 1991-2* og *forskrift for trafikklast*.
 - *I NA-rundskriv finnes lastfaktor for engangstransporter (LM3)*
- Støt- og fortøyningslaster fra ferje
 - Det vises til kapittel 13
- Andre variable laster
 - Variabel ballast og utstyr som kan fjernes
 - Laster påført konstruksjonen i midlertidige faser
 - Dynamisk tillegg på 20 % av kjøretøys totallast i anleggsfaser
- Naturlaster



Statens vegvesen

Kapittel 5: Laster

5.4 Naturlaster

- Behov for målinger av naturlaster bestemmes for det enkelte prosjekt
- Karakteristisk verdi av en variabel naturlast settes generelt til en returperiode på 50 år (det er visse unntak).
 - Kan reduseres til returperiode på 10 år i byggetilstand



Statens vegvesen

Kapittel 5: Laster

5.4.2 Snølast

- Regnes ikke å opptre samtidig med trafikklast
- For de aller fleste bruer er det dermed ikke nødvendig å regne med snølast.



Kapittel 5: Laster

5.4.3 Vindlast

Vindlastklasser		Egenperiode	
		T < 2 s	T > 2 s
Spennvidde	L < 300	I	II
	L > 300	II	III

- Håndboka er delt inn i tre vindlastklasser:

Vindlastklasse I: Brukonstruksjoner med ubetydelig dynamisk lastvirkning fra vind. Vindlastklasse I omfatter alle bruer, hvor høyeste egensvingeperiode er < 2 s.

Eksempel på brutyper i vindlastklasse I er platebruer, bjelkebruer i betong eller stål, samvirkebruer, fagverksbruer, fritt frambyggbruer i ferdigtilstand, hvelvkonstruksjoner.

Vindlastklasse II: Brukonstruksjoner med dynamisk lastvirkning fra vind som ikke kan neglisjeres. Vindlastklasse II omfatter alle brukonstruksjoner hvor én av følgende er oppfylt:

- høyeste egensvingeperiode er ≥ 2 s og spennvidden er < 300 m
- høyeste egensvingeperiode er < 2 s og spennvidden er ≥ 300 m

Eksempel på brukonstruksjoner i vindlastklasse II er fritt frambyggbruer i byggetilstand, slanke søyler og tårn i byggetilstand, henge- og skråstagbruer med begrenset spennvidde.

Vindlastklasse III: Brukonstruksjoner med utpreget dynamisk lastvirkning fra vind. Vindlastklasse III omfatter alle bruer hvor følgende to betingelser er oppfylt:

- høyeste egensvingeperiode er ≥ 2 s
- spennvidden er ≥ 300 m

- De aller fleste bruer er i vindlastklasse 1
- Vindlastklasse 2 og 3 er selvstudium



Kapittel 5: Laster

5.4.3 Vindlaster

- 5.4.3.2 Vindfeltets karakteristiske egenskaper, første formel kan leses til orientering, resten er ikke relevant i vindlastklasse 1
- 5.4.3.3 Grensetilstander og lastkombinasjoner
 - 50 års returperiode i brudd- og bruksgrense
 - 10 års returperiode i byggetilstand
 - Maks kastvindhastighet på 35 m/s med samtidig trafikk
 - Trafikken skal antas som en lastflate på 2,0 m fra kjørebanelens overside (altså en økt høyde på tverrsnittet)



Kapittel 5: Laster

5.4.3.4 Brukonstruksjoner i vindlastklase I

- Vindlasten regnes ut i fra kashastighetstrykket, q_p , angitt i NS-EN 1991-4, punkt NA.4.5

$$\begin{bmatrix} q_D(z) \\ q_L(z) \\ q_M(z)_{tot} \end{bmatrix} = q_p \begin{bmatrix} c_D h \\ c_L b \\ c_M b^2 \end{bmatrix}$$

- Kraftfaktorer bestemmes etter NS-EN 1991-1-4 eller andre relevante litteraturkilder
 - C_M er i NS-EN 1991-1-4 gitt som en eksentrisitet av C_L



Kapittel 5: Laster

5.4.3.7 Hvirvelavløsning

- Bruer skal vurderes med hensyn til hvirvelavløsnings-svingninger
- Konstruksjonen må være ganske slank før dette er en problemstilling, det gjelder svært sjelden betongbruer
 - Scruton number: $S_{cG} = \frac{2\delta_s m_e}{\rho d b} > 20$
 - Resonant vindhastighet $V_r = \frac{n_i h}{St} > 15 \text{ m/s}$



Kapittel 5: Laster

5.4.4 Laster fra bølger og strøm

5.4.5 Variabelt vanntrykk

5.4.6 Laster fra skred

- Disse kapitlene gir mest veiledning og henvisninger til litteratur, og stiller få spesifikke krav til lastberegninger
- 5.4.6 Laster fra skred er for konstruksjoner som er ment å lede skred.
- Egenstudium



Kapittel 5: Laster

5.4.7 Islast

- Målsetning å lage en mer kompakt fremstilling av de relevante lastbeskrivelsene en trenger for brubygging.
- I arbeidet ble det fokusert på å gjøre uttrykkene for lastberegning gyldige for alle typene av konstruksjoner som er tenkt prosjektert etter håndbok N400.
- Størrelsen på knuselasten er sterkt avhengig av isens knusestyrke. I ISO19906 (Arctic offshore structures) er en verdi på $C = 1,8$ MPa som indeksverdi for nominell trykkapasitet i subarktiske områder.
- Denne verdien er benyttet i N400 for å angi en øvre grense for islast fra et flatt isdekke. Islastbeskrivelse i N400 gir en større åpning for lokale vurderinger enn tidligere. I hvilken grad det er ønskelig å gjøre lokale vurderinger må avgjøres i hvert enkelt tilfelle.
- Om håndbokas formler brukes skal en være på sikker side.



Kapittel 5: Laster

5.4.8 Termiske påvirkninger

- Henvisning til *NS-EN 1991-1-5*
- 5.4.8.2 presiserer at den vertikalt varierende temperaturandel over tverrsnittshøyden skal være lik 0 i tverrsnittets tyngdepunktsakse
- 5.4.8.3 Forskjell i temperaturandel mellom ulike konstruksjonsdeler, ikke regn for konservativt maks/min temperatur er det verste som oppstår, forskjellen består i en konstruksjonsdel som får mer/mindre ekstrem temperatur
- 5.4.8.4 Temperaturdifferanser i hule ståltverrsnitt fastsettes i hvert enkelt tilfelle (det skal være veldig spesielle omstendigheter før dette blir relevant)



Kapittel 5: Laster

5.4.9 Seismiske påvirkninger

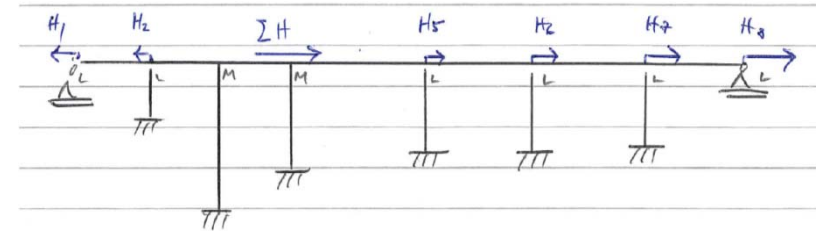
- Betraktes som unormal naturlast -> seismisk situasjon
- Henviser til *NS-EN 1998-1*, *-2* og *-5*
- 5.4.9.2 Valg av seismisk klasse, presiserer at konstruksjoner som er lokalisert over veg som er av større samfunnsmessig betydning enn selve konstruksjonen, skal underliggende veg bestemme valg av seismisk klasse for konstruksjonen
- 5.4.9.3 Krav til analyser, Presiserer en uklar tekst i *NS-EN 1998-2* -> Det stilles ikke krav om seismisk analyse for bruer i kategori 0.



Statens vegvesen

Kapittel 5: Laster

5.5 Deformasjonslaster



- 5.5.2 Forspenning, svinn kryp og relaksasjon
 - Henviser til betongkapittelet 7.2.3
- 5.5.3 Setninger
 - Henvises til fundamenteringskapittel 11.1.7
- 5.5.4 Friksjonskrefter fra lager
 - Det skal tas hensyn til friksjonskrefter fra glidelagre og deformasjonskrefter fra blokklagre på tilstøtende konstruksjonsdeler.
 - Krefter i gunstig retning gis lastfaktor 0,5.
- 5.5.5 Jordtrykk mot endeskjørt på fugefrie bruer
 - Veiledende formel for beregning av jordtrykk



Kapittel 5: Laster

5.6 Ulykkeslaster

- 5.6.1 Generelt
 - Ulykker med sannsynlighet mindre enn 10^{-4} per år, kan ses bort i fra
- 5.6.2 Ulykkeslast forårsaket av kjøretøyer
 - *NS-EN 1991-1-7* og *NS-EN 1991-2*
- 5.6.3 Ulykkeslast forårsaket av skipstrafikk
 - *NS-EN 1991-1-7*
 - Risikoanalyse
- 5.6.4 Ulykkeslast forårsaket av jernbanetrafikk
 - Ikke relevant, da sannsynligheten er for liten
- 5.6.5 Brann med mulig påfølgende eksplosjon
- 5.6.6 Ulykkeslaster fra skred og flom
 - Bestemmes i hvert enkelt tilfelle, krav til frihøyde i 4.2.4



Kapittel 5: Laster

5.7 Samtidighet av laster

- To eller flere laster som er sterkt avhengige i tid og plassering, eller som ofte opptrer med sin maksimalverdi til samme tid, skal regnes som én last ved kombinasjon av laster.
 - Altså samme gamma- og psi-faktor
- Laster som ut fra et rimelighets synspunkt utelukker hverandre, kombineres ikke.
- Temperaturlast kan antas ikke å opptre samtidig med øvrige naturlaster, altså ikke i samme last men skal være med i lastkombineringen.



Forskrift for trafikklast

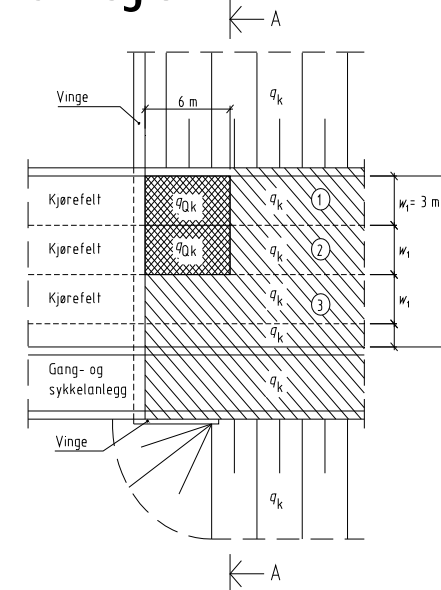
- Forskriftsteksten ble vedtatt på fredag 17/11-2017
- For de aller fleste tilfellene er det *NS-EN 1991-2+NA* som beskriver trafikklasten
- Forskriften skal dekke tilfeller som ikke er dekket i standarden:
 - Trafikklast på ferjekaibruer (faktor 0,8)
 - Trafikklast på fylling inntil konstruksjoner
 - Engangstransporter
 - Trafikklast på bruer med spennvidde over 200 m (stikkord: influenslengde, 9 kN/m per kjørefelt)



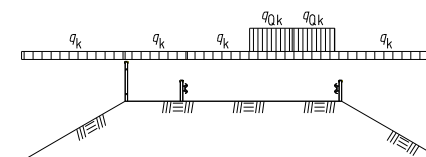
Forskrift for trafikklast

Trafikklast på fylling inntil konstruksjon

- Forenkler lastene gitt i NS-EN 1991-2
 - UDL 5 kN/m^2
 - TS 25 kN/m^2



Figur 1 - Trafikklast på fylling inntil konstruksjoner, plan



Figur 2 - Trafikklast på fylling inntil konstruksjoner, snitt A-A



Forskrift for trafikklast

Engangstransporter

- Alle bruer skal dimensjoneres for engangstransporter.
- Lastfaktor skal iht. NA-rundskriv 2017/09 til N400 settes lik $\gamma_Q=1,1$ med kombinasjonsfaktor $\psi_0=0$. Det vil si at lastfaktor på egenvekt blir $\gamma_g=1,2$.

Totallast	Akselsammenstilling	Akselavstander	Totallengde
	Antall x linjeakselast	(antall-1) x e + 12 + ...	
2 700 kN	18 x 150 kN	17 x 1,50 m	25,5 m
4 500 kN	15 x 150 kN + 15 x 150 kN	14 x 1,50 m + 12 m + 14 x 1,50 m	54,0 m



Statens vegvesen

Kapittel 6: Konstruksjonsanalyse

Generelt/Prinsipper

- Kapitlet er nært knyttet opp mot *eurokoden* og forutsetter dimensjonering og beregning etter partialfaktormetoden
 - Partialfaktorene tar hensyn til avvik innenfor tolleransene
 - Dersom laster/motstand har stor usikkerhet eller de ikke kan fastsettes med rimelig nøyaktighet, skal det utføres modellforsøk og/eller feltmålinger



Kapittel 6: Konstruksjonsanalyse

6.3 Dimensjonerende lastvirkning

- 6.3.1 Lastvirkning skal bestemmes ved bruk av anerkjente metoder som tar hensyn til lastens variasjon i tid og rom, og konstruksjonens respons
- 6.3.2 Lastfaktorene i *NS-EN 1990* inneholder ikke dynamisk tillegg. Virkning av dynamisk last skal ivaretas.
- 6.3.3 Ekstremverdier for responsstørrelser som opptrer i samme lastsituasjon skal anses som fullt korrelerte, dersom korrelasjonen ikke beregnes.
- 6.3.4 Modellforsøk – egenstudie
- 6.3.5 Geoteknisk prosjektering –bruddgrensetilstand
 - Supplerende tekst til *NS-EN 1990*, punkt NA.A2.3.1(5)
- 6.3.6 Ulykkessituasjon og seismisk situasjon
 - Supplerende partialfaktorer til *NS-EN 1990*, tabell NA.A2.5



Statens vegvesen

Kapittel 6: Konstruksjonsanalyse

6.4 Krav til ikke-lineære analysemetoder

- Sjelden benyttet – egenstudie hvis relevant