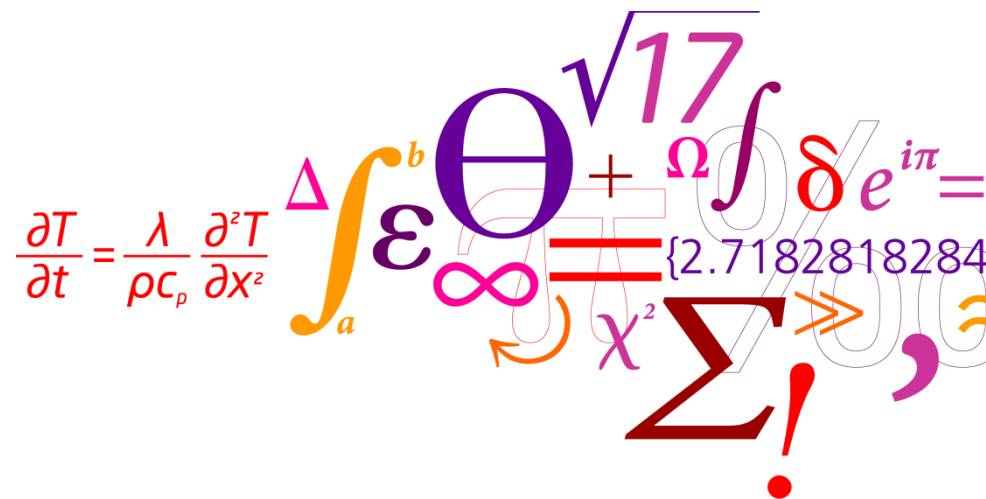


Beregningsprincipper og sikkerhed

Per Goltermann



Lektionens indhold

1. Overordnede krav
2. Grænsetilstande
3. Karakteristiske og regningsmæssige værdier
4. Lasttyper og –kombinationer
5. Lidt eksempler

1. Overordnede krav til konstruktioner

- ❑ Konstruktionen skal til stadighed opfylde sin funktion
- ❑ Konstruktionen skal modstå alle laster og påvirkninger, der forekommer under opførelse og brug
- ❑ Konstruktionen skal have en tilfredsstillende bestandighed og robusthed (systemsikkerhed)

2. Grænsetilstande

Anvendelsesgrænsetilstande er tilstande, hvor de stillede anvendelseskrav til en konstruktion eller dens delelementer *under normal brug* netop opfyldes.

Brudgrænsetilstande er tilstande, hvor konstruktionen som helhed eller dele heraf er udsat for sammenstyrtning eller totalsvigt.

I anvendelsesgrænsetilstanden udføres der en "gennemsnitlig" vurdering af hvordan konstruktionen forventes at opføre sig når den bliver udsat for de påvirkninger man med rimelighed kan forvente.

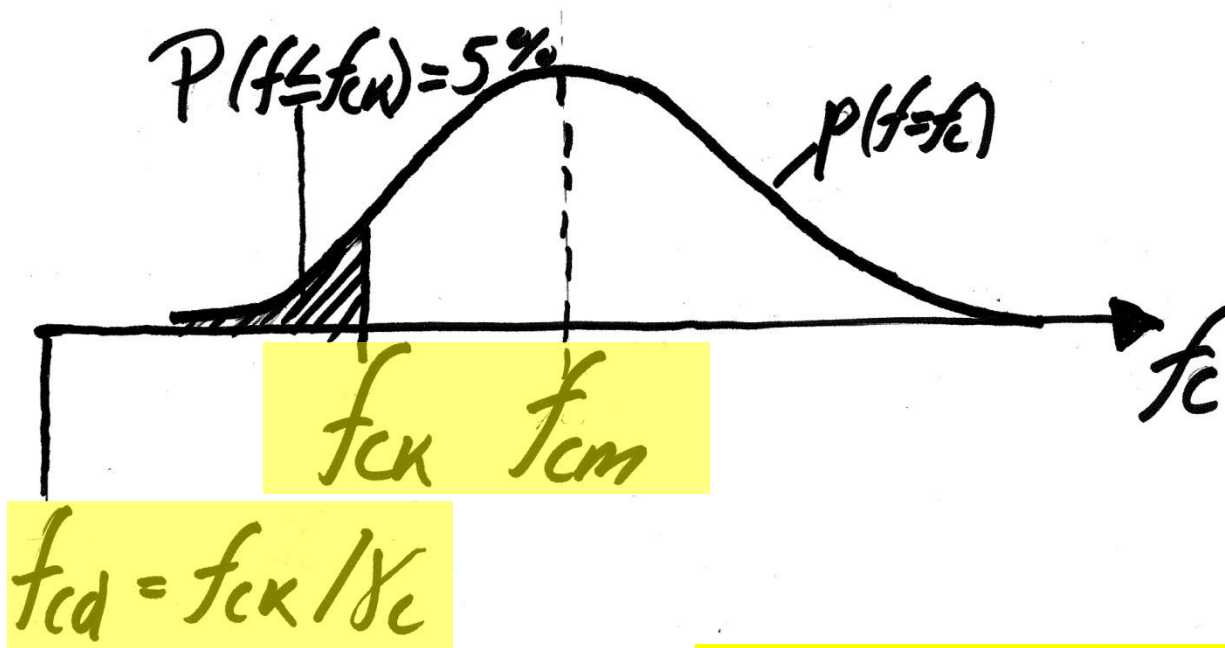
Den daglige situation

I brudgrænsetilstanden kan der forekomme kollaps og brud, der laves derfor en mere sikker vurdering med regningsmæssige værdier af belastninger og materialestyrker.

Den ekstreme situation – 1 gang i konstruktionens levetid

Ulykkestilstanden er lidt speciel her skal konstruktionen blot stå indtil folk er evakuerede – den behøves ikke at blive stående !

3. Regningsmæssige parametre



f_c er styrken

f_{cm} er middelværdien af styrken

f_{ck} er den karakteristiske værdi af styrken

f_{cd} er design værdien af styrken

Partialkoefficienter i DK

$$\gamma_m = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4$$

hvor

γ_1 tager hensyn til svigtypen (varslet, uvarslet, sejgt, sprødt)

γ_2 tager hensyn til usikkerhed på beregningsmodellen

γ_3 tager hensyn til kontrolklassen

γ_4 tager hensyn til variationen i styrken eller bæreevnen

Koefficienter iflg Eurocode 2 i DK

Konstruktioner, in situ

Betons trykstyrke og E-modul i armeret beton $\gamma_c = 1,45\gamma_3$

Betons trykstyrke og E-modul i uarmeret beton $\gamma_c = 1,60\gamma_3$

Betons trækstyrke $\gamma_c = 1,70\gamma_3$

Armeringsstyrke $\gamma_s = 1,20\gamma_3$

Præfabrikerede elementer, beregning

Betons trykstyrke og E-modul i armeret beton $\gamma_c = 1,40\gamma_3$

Betons trykstyrke og E-modul i uarmeret beton $\gamma_c = 1,55\gamma_3$

Betons trækstyrke $\gamma_c = 1,60\gamma_3$

Armeringsstyrke $\gamma_s = 1,20\gamma_3$

Kontrolklasse	Skærpet	Normal	Lempet
γ_3	0,95	1,0	1,10

I de danske regler skelner man imellem tre kontrolklasser

- Skærpet kontrol
- Normal kontrol
- Lempet kontrol

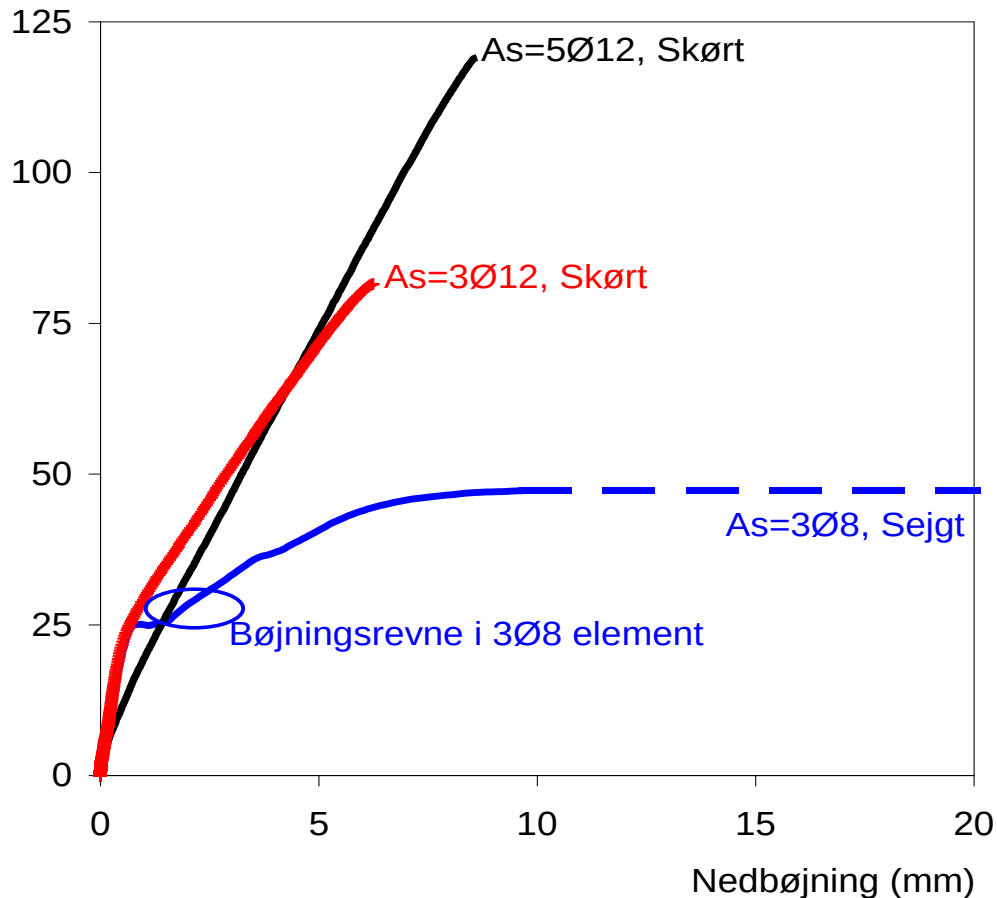
Kontrolklassen har indflydelse på partialkoefficienterne for materialestyrkerne – en øget kontrolklasse giver lavere partialkoefficienter.

Normerne kan beskrive hvad der kræves for at leve op til en kontrolklasse eller referere til en standard, ellers beskrives det i specifikationerne til projektet

Partialkoefficienter

Eksempel: Dækelement med last P påført og armering 3Ø8, 3Ø12 eller 5Ø12

Belastning P (kN)

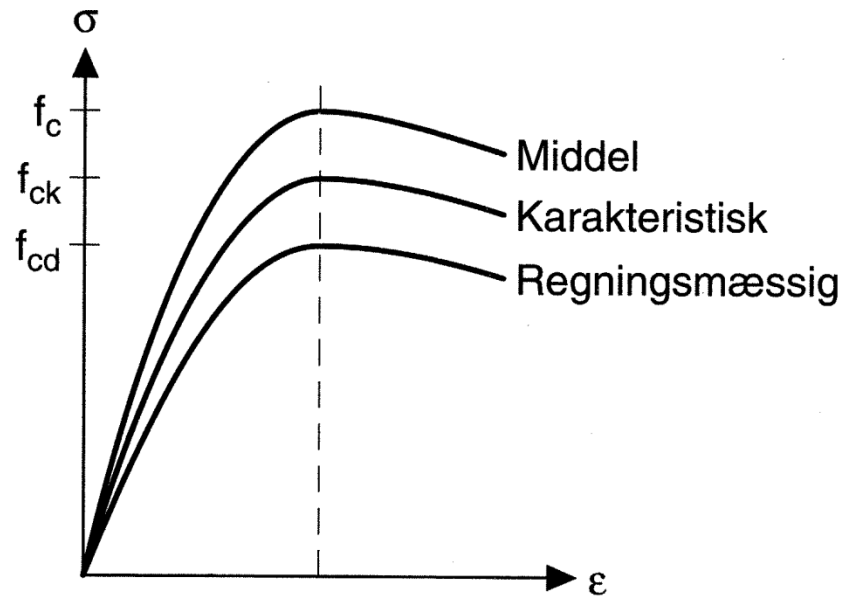
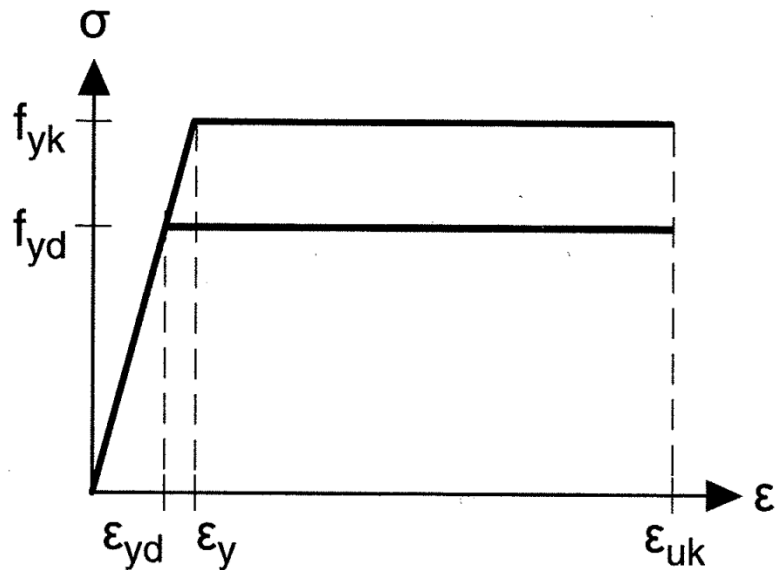


Partialkoefficienterne afhænger af variationskoefficienter, brudform og om der er et varsel og en bæreevnereserve.

Brud i beton: Sprødt, uvarslet, stor variationskoefficient (10-30 %)

Brud i stål: Sejgt, varsel, bæreevnereserve, lille variationskoefficient (typisk 5 %)

Regningsmæssige arbejdskurver



Ved at anvende regningsmæssige materialestyrker sænkes maksimum på materialernes arbejdskurve og vi taler derfor om regningsmæssige arbejdskurver.

Regningsmæssige dimensioner

De regningsmæssige dimensioner, (dvs. de dimensioner, der skal bruges i projekteringen) sættes normalt lig med de nominelle (dem der angives på konstruktionstegningerne eller dem som elementproducenten stiler imod).

I de situationer, hvor dimensionen har en væsentlig indflydelse på konstruktionens pålidelighed (bæreevne) sættes

Regningsmæssig dimension = nominel dimension $\pm$ tolerancen,

hvor der vælges det mest kritiske af +/-.

Tolerancen er normalt angivet i konstruktionsnormerne.

4. Lasttyper

Der optræder forskellige typer laster (se lastnormen Eurocode 1):

1. Permanent last
2. Variabel last
3. Nyttelaster
4. Naturlaster
5. Vandret masselast
6. Ulykkeslaster

Disse kan være

1. Bundne laster
2. Frie laster

og kan virke statisk eller dynamisk.

Derfor anvender vi lastkombinationer og lastkombinationsfaktorer.

Konsekvensklasser

- Lav konsekvensklasse, hvor et evt. svigt indebærer meget lille risiko for personskade og kun vil medføre små samfundsmæssige konsekvenser
- Normal konsekvensklasse
- Høj konsekvensklasse, hvor et evt. svigt indebærer stor risiko for personskader, eller vil medføre store samfundsmæssige konsekvenser.

Mere information om hvad der ligger i hvilke konsekvensklasser findes i det nationale anneks til Eurocode 1

Konsekvensklassen har indflydelse på partialkoefficienterne for belastningerne – men IKKE for styrkerne

5. Eksempler

Lidt eksempler fra virkelighedens verden

Anvendelsesgrænsetilstand



Millenium bridge

London Millenium Bridge: Fodgængerne skabte kraftige vibrationer, broen blev lukket efter få dage – og have re-design og svingningsdæmpning

Dette er den dagligdags tilstand – har betydning for:

1. nedbøjninger,
2. bruger komfort (stivheder, vibrationer) og
3. holdbarhed (fx revnevidder).

Kontorbyggerier med lange spænd i forspændte dæk (> 10 m) kan også have problemer med svingninger udløst af bare en person, der går forbi på gangen.

Tribuner og andre konstruktioner med store spænd kan have dynamiske problemer

Anvendelsesgrænsetilstand



- Bedste bud på hvordan konstruktionen opfører sig (evt. konservativt gæt)
 - Middelstyrker (eller karakteristiske)
 - Elasticitetsteori, evt. revnet tværsnit
-
- **ALDRIG** partialkoefficienter eller plasticitetsteori

Brudgrænsetilstanden



Nødbro sat op efter at betonbroen fejlede

Brudgrænsen: Der regnes på brudtilstanden, hvor bæreevnen skal være større end de ekstreme laste, som specificeres.

Konstruktionen skal kunne bære disse laste og skal kunne fungere efter at have været udsat for disse laste.

- Der bruges ALTID regningsmæssige laste, styrker og dimensioner – altid partialkoefficienter
- Plasticitetsteori KAN anvendes for konstruktioner med armering af klasse B og C

Ulykkestilstand



Påsejling af Storebæltsbroen:
Bestemt en ulykkeslast – men
broen fungerer stadigvæk.

Hullet i broen (t.h.) skal
selvfølgelig repareres.

Ulykkeslast: Dette drejer sig om laste, som konstruktionen sjældent bliver udsat for, men hvor konstruktionen skal kunne fungere i en vis tid efter at have været udsat for lasten.

Der må dog godt være permanente skader, som kræver renovering, reparation eller direkte udskiftning.



Ulykkestilstand



Der dimensioneres ikke altid med at flere ulykkeslaster kan optræde samtidig ("påkørsel" og brand samtidig her).



Ulykkestilstand



Fyrværkerifabrik eksploderede og et helt kvarter blev raseret.

Planlæg hvor der skal bygges hvad – for det statiske design af fx et parcelhus kan jo ikke tage hensyn til alle umulige ulykkeslaster – det er jo muligt at ødelægge enhver konstruktion.



Ulykkestilstand



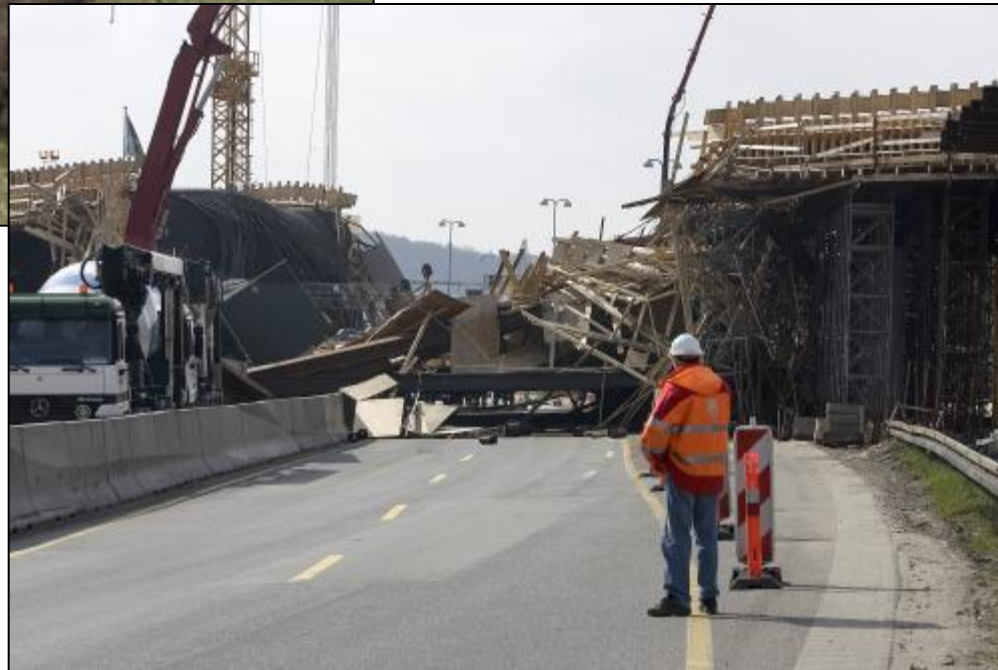
Bortfald af konstruktionsdele: Bygningen må ikke kollapse, bare fordi der falder én del bort: Dette kræver enten højere partialkoefficient eller mulighed for at andre dele kan overtage lasterne.

Ronan Point (1968): En gasekspllosion i et køkken blæste et element væk – derefter faldt alle elementerne ovenover ned.

Anlægsperioden er lidt speciel



I anlægsperioden køres der med lavere laste og lavere sikkerhed, hvis kollaps ikke vil lede til større tab eller personskader da den er kortvarig – men sikkerheden skal stadig være tilstrækkelig.



Konsekvenserne af sikkerheden

Udsættelse	Dødsrisiko per time per 10^8 udsatte personer	Antal timer udsættelse per udsat person	Dødsrisiko per 10^4 udsatte personer per år	Forhold mellem antallet af sårede og antallet af dræbte
Bjergbestigning (international)	2700	100	27	<< 1
Trawlfiskeri (dybtvand, 1958-72)	59	2900	17	
Flyvning (besætning)	120	1000	12	
Kulminedrift	21	1600	3.3	
Automobilrejse	56	400	2.2	
Bygningsarbejde	7.7	2200	1.7	450
Flyvning (passager)	120	100	1.2	<< 1
Ulykker i hjemmet (raske og invalider)	2.1	5500	1.1	
Ulykker i hjemmet (raske)	0.7	5500	0.4	
Fabriksarbejde	2	2000	0.4	
Bygningsbrand	0.15	5500	0.08	
Konstruktionssvigt	0.002	5500	0.001	6

Anlægsperioden

GÆLDER KUN
hvis konstruktionen
er designet, udført
og vedligeholdt
korrekt

Tabel fra "Konstruktioners sikkerhed", 1979.