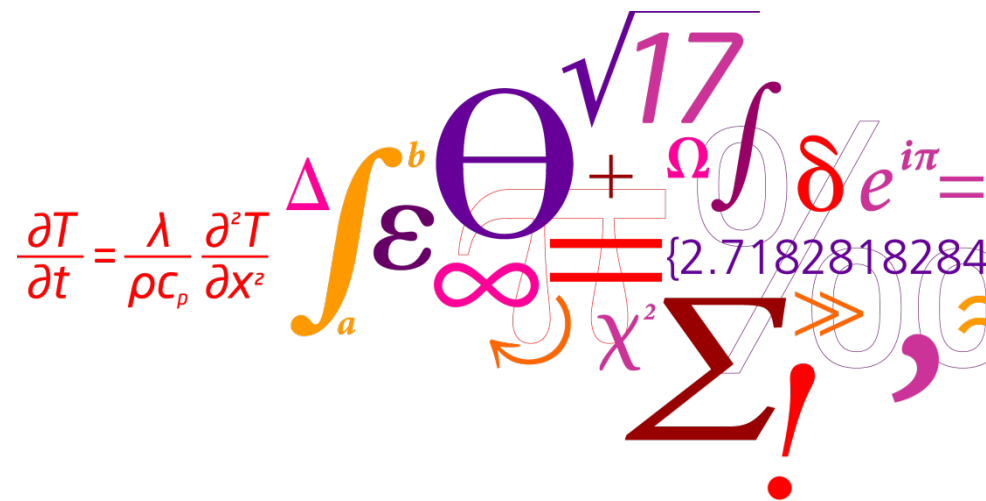


Anvendelsestilstanden

Per Goltermann



A collage of mathematical symbols and formulas. On the left, the heat equation is shown: $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$. To its right is an integral $\int_a^b \epsilon \Theta$. Further right is a large purple Θ with a pink infinity symbol below it. To the right of that is a plus sign, a purple Ω , and an integral $\int \delta e^{i\pi} =$. Below the plus sign is a red equals sign followed by the number $\{2.7182818284$. At the bottom right is a large red summation symbol Σ with a red exclamation mark below it. Other symbols include a pink triangle, a yellow Δ , a yellow ϵ , a yellow Θ , a yellow ∞ , a yellow χ^2 , a yellow Σ , a yellow Δ , a yellow ϵ , a yellow Θ , a yellow ∞ , a yellow χ^2 , a yellow Σ , a yellow Δ , a yellow ϵ , a yellow Θ , a yellow ∞ , a yellow χ^2 , a yellow Σ .

1. Grundlæggende krav
2. Holdbarhed
3. Deformationer
4. Materialemodeller
5. Urevnede tværsnit
6. Revnede tværsnit
7. Revner i beton

1. Grundliggende krav, 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.

I anvendelsestilstanden anvendes middelværdier eller karakteristiske værdier uden partialkoefficienter.

Anvendelsesgrænsetilstand



Millenium bridge

Dette er den dagligdags tilstand – har betydning for:

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

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.

London Millenium Bridge:
Fodgængerne skabte kraftige vibrationer og broen blev lukket

Tribuner og andre konstruktioner med store spænd kan have dynamiske problemer



Youtube: ConStruct2800Lyngby + "Tribune Nurnberg"

Anvendelsesgrænsetilstand



Foto: Lars Bertelsen, ugebladet Ingeniøren, 5 februar 2014.

- ❑ Konstruktionen skal til stadighed opfylde sin funktion (stivheder og nedbøjninger)
- ❑ Konstruktionen skal have en tilfredsstillende bestandighed (kunne modstå nedbrydning) og robusthed (systemsikkerhed)

- Krav til maksimale nedbøjninger afhænger normalt af komfortkrav og funktionskrav.
Normale niveauer i praksis:
 - L/500 for konstruktioner med et (meget) højt stivhedskrav
 - L/250 for konstruktioner med moderat følsomhed overfor nedbøjninger
 - L/150 for konstruktioner med lav følsomhed overfor nedbøjninger

2. Holdbarhed: Miljøklasser i DK

(afsnit 1.3)

Ekstra aggressiv miljøklasse omfatter fugtigt miljø, hvor der enten tilføres eller ophobes store mængder alkalier og/eller klorider til betonoverfladen

Aggressiv miljøklasse omfatter fugtigt miljø, hvor der kan tilføres alkalier og/eller klorider til betonoverfladen, eller hvor der forekommer kraftig fugtbelastning med risiko for vandmætning i kombination med frostpåvirkning

Moderat miljøklasse omfatter fugtigt miljø, hvor der ikke er risiko for frostpåvirkning i kombination med vandmætning, og hvor der ikke i nævneværdig grad kan tilføres alkalier og/eller klorider til betonoverfladen

Passiv miljøklasse omfatter tørt miljø, hvor korrosion ikke kan forekomme

Miljøklassen leder til krav om dæklag og revnevidder – men leder indirekte også til krav om betonsammensætningen og man opnår derigennem en mindste trykstyrke (rart at vide i designet)

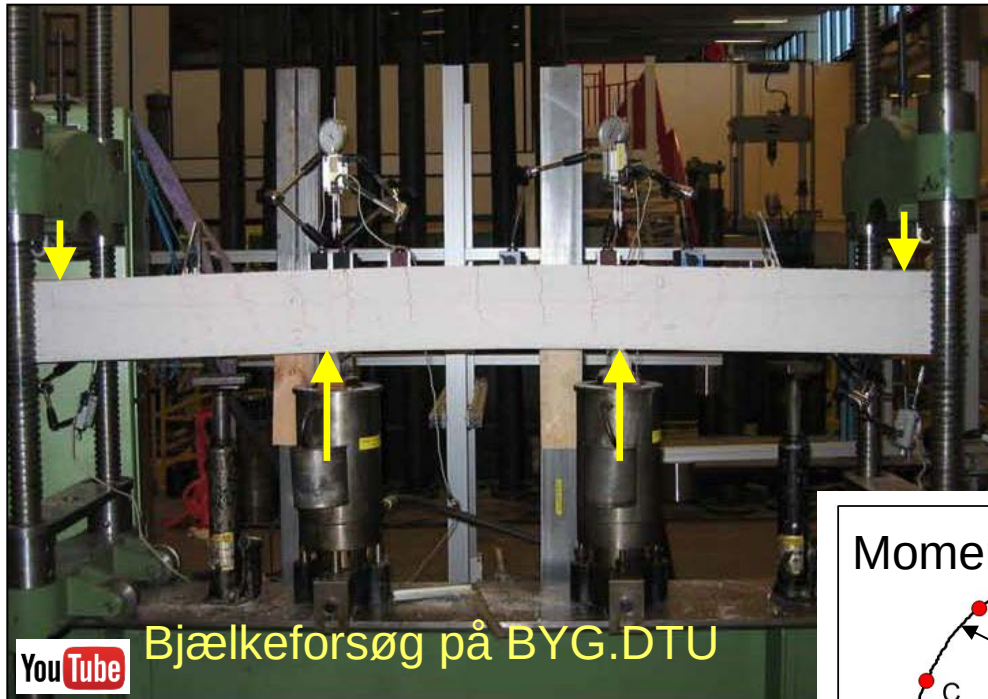
Materiale og designkrav i miljøklasser

Miljøklasse	f_{ck} , min (MPa)	Dæklag, min (mm)	Revnevidde, max (mm)
Ekstra aggressiv	40	40(+5)	0,2/0,1
Aggressiv	35	30(+5)	0,3/0,2
Moderat	25	20(+5)	0,4/0,3
Passiv	12	10(+5)	Intet krav

Specificeret tolerance

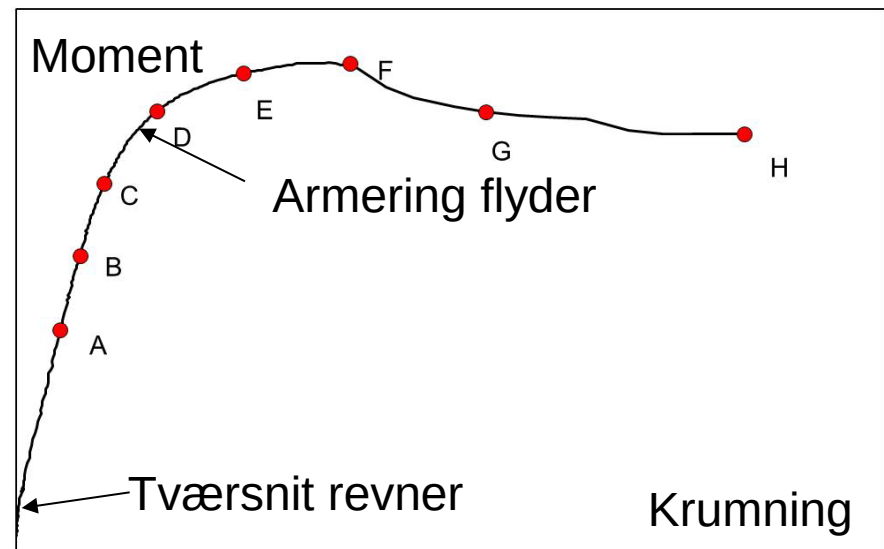
Slap armering / spændarmering

3. Deformationer

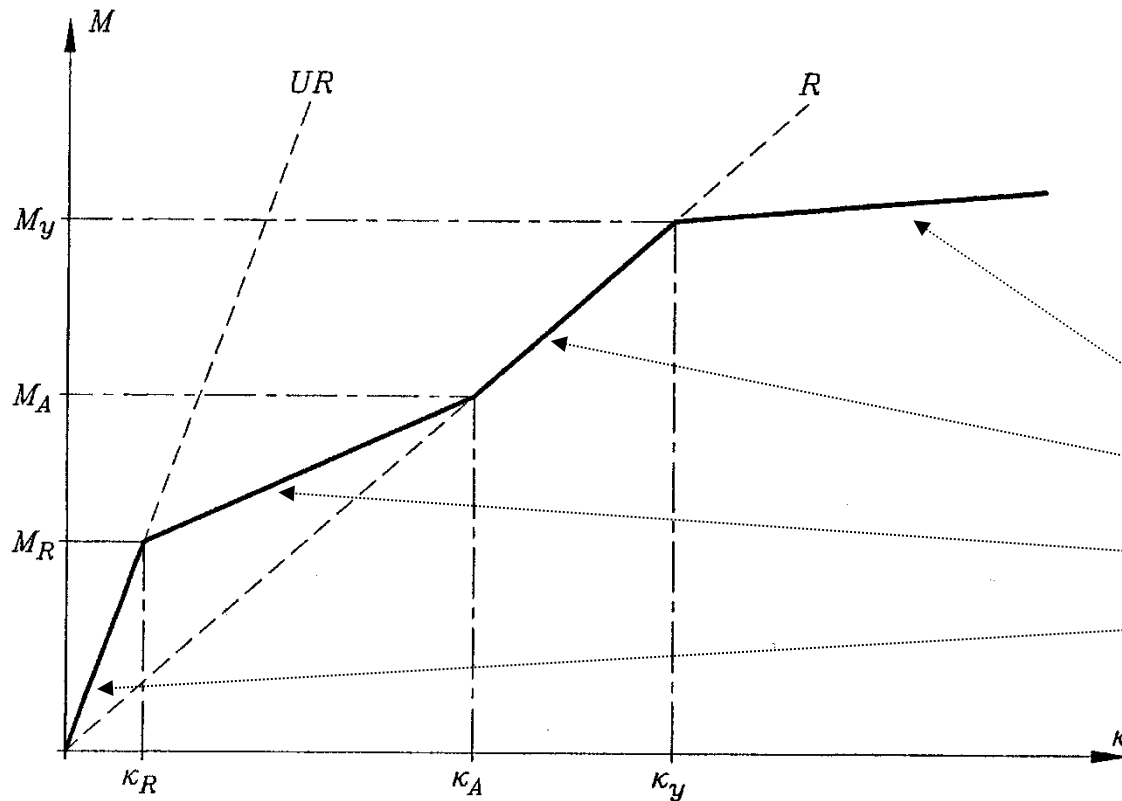


Youtube: ConStruct2800Lyngby + " Beam bending - near the failure load"

Ved bøjning af normaltarmerede bjælker starter man i den stive, urevnede tilstand – derefter revner bjælken og bliver slappere – til sidst flyder armeringen og revner og deformationer vokser kraftigt



Momenter og krumninger (teoretisk)



Forklaringer på linier:

Armeringen flyder

R: Revnet

Delvist revnet

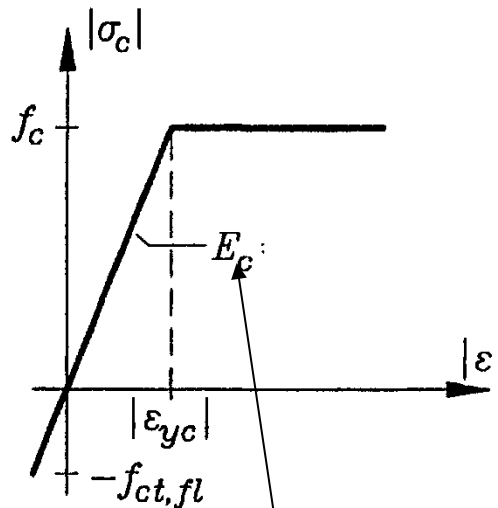
UR:Urevnet

- Beregning af en bjælkes nedbøjning foretages normalt i
 1. urevnet tilstand, lineært elastiske beregninger (her skal største trækspænding kontrolleres), eller
 2. revnet tilstand i alle tværsnit, lineært elastiske beregninger (på den sikre side), eller
 3. delvist revnet tilstand iflg EC2: En kombination af nedbøjningerne i de to første tilstande

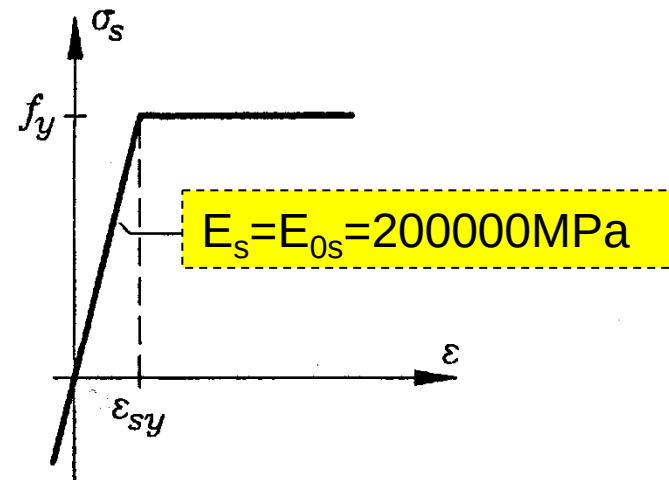
Teknisk Ståbi er god at slå elastiske deformationer op i..

4. Materialemodeller

Spændingerne er lave i anvendelsestilstanden og som nævnt lige før, regner vi derfor med lineære arbejdskurver og elasticitetsteori



a) betonens arbejdslinie



b) armeringens trækarbejdslinie

$$E_c = E_{cm} = 22000 \text{ MPa} \left(\frac{f_{cm}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0,3} = 22000 \text{ MPa} \left(\frac{f_{ck} + 8 \text{ MPa}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0,3}$$

Armeringens E-modul er den samme for korttidslast som for langtidslast.
Betons E-modul falder med tiden pga krybning.

$$E_{s,langtid} = E_s$$

Krybetal

$$E_{c,langtid} = E_c / (1 + \phi) = E_c / 4$$

Til brug for senere beregninger defineres forholdet imellem E-modulerne som α :

$$\alpha_{korttidslast} = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\alpha_{langtidslast} = \frac{E_{s,langtid}}{E_{c,langtid}} = 4 \cdot \alpha_{korttidslast}$$

Materialeparametre

Nemt: Slå α op i tabel 4.1 og beregn E_c ud fra dens værdi:

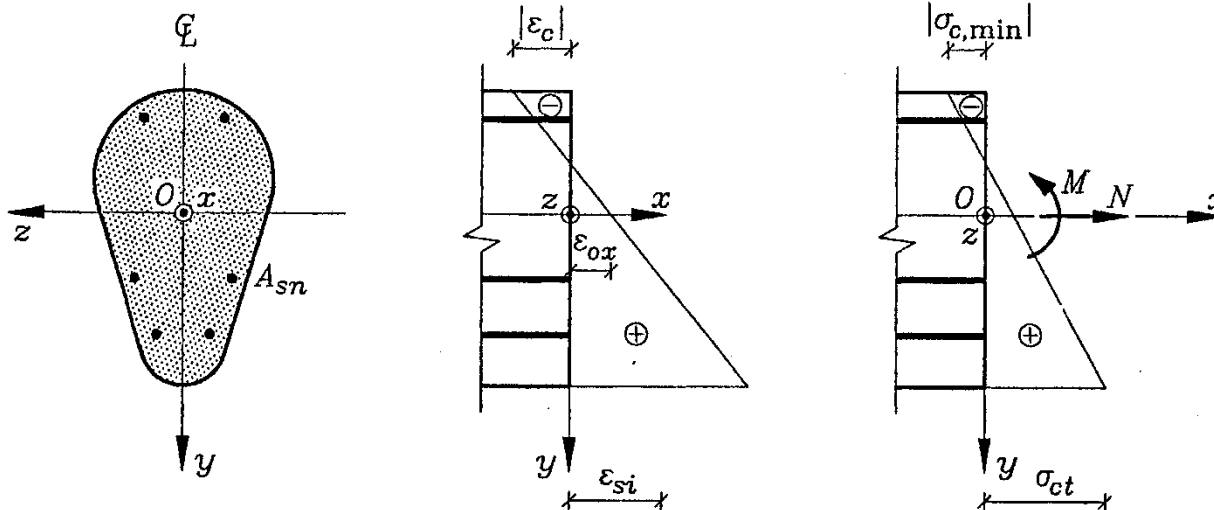
Styrkeklasse f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
α for korttids- påvirkning	7,4	7,0	6,7	6,4	6,1	5,9	5,7	5,5	5,4	5,2	5,1	4,9	4,7	4,6
α for langtids- påvirkning	30	28	27	25	24	23	23	22	21	21	20	20	19	18

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$E_c = E_s / \alpha$$

5. Urevnede tværsnit

Vi regner lineært-elastisk – og vi starter med det **urevnede** tværsnit



$$\varepsilon_x = \varepsilon_{0x} + \kappa \cdot y$$

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_x = E_c (\varepsilon_{0x} + \kappa \cdot y)$$

$$\sigma_{si} = E_s \varepsilon_x = \alpha E_c (\varepsilon_{0x} + \kappa \cdot y_{si})$$

Fastlæg 0-liniens placering (urevnet)

0-liniens placering (dvs. z-aksens placering, hvor $y=0$) fastlægges ved at skønne (gætte) en placering (gerne i toppen af tværsnittet) og så beregne:

$$\begin{aligned} S_{zur,t} &= S_{zc} + (\alpha - 1)S_{zs} \\ S_{zc} &= \int y \cdot dA \text{ og } S_{zs} = \sum A_{sn} y_{sn} \\ A_{ur,t} &= A_t + (\alpha - 1)A_{st} \\ A_t &= \int dA \text{ og } A_{st} = \sum A_{sn} \end{aligned}$$

Herefter findes 0-liniens korrekte placering i:

$$y_{nullinie} = S_{zur,t} / A_{ur,t}$$

Med den korrekte placering af 0-linien er $S=0$ – hvorimod $A_{ur,t}$ er uafhængig af 0-liniens placering.

Anbefalet hvis du har svært ved tværsnit: E-note om tværsnitkonstanter

Anbefalet E-eksempel 1.1

Stivhed og spændinger (urevnet)

Med den korrekte placering af 0-linien (z-aksen) beregnes inertimomentet:

$$I_{zur,t} = I_{zt} + (\alpha - 1)I_{zs}$$

$$I_{zt} = \int y^2 dA$$

$$I_{zs} = \sum y_{sn}^2 A_{sn}$$

$$EI = E_{cm} I_{zur,t}$$

Herefter kan spændingerne beregnes som:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_{ur,t}} + \frac{M}{I_{zur,t}} y \quad (\text{Naviers formel})$$

$$\sigma_{sn} = \alpha \cdot \sigma_{cn} = \alpha \left(\frac{N}{A_{ur,t}} + \frac{M}{I_{zur,t}} y_{sn} \right)$$

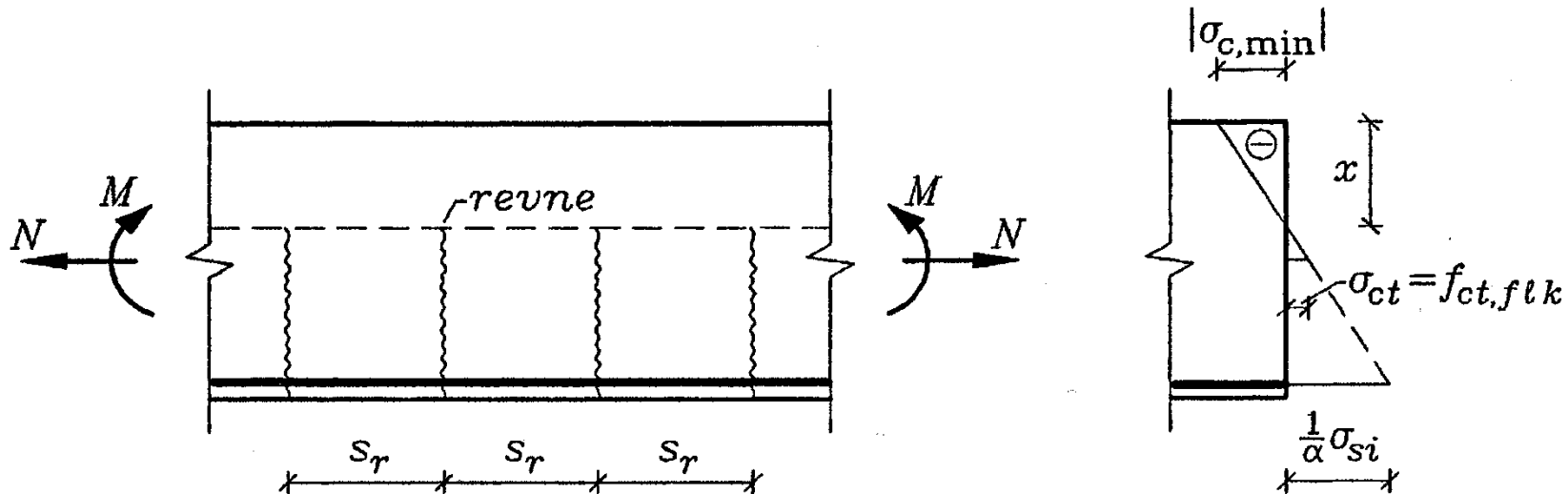
HUSK: Kontroller at spændingerne ikke overstiger de karakteristiske styrker.

Overstiger betonens trækspænding trækstyrken, så revner tværsnittet

Anbefalet E-eksempel 1.2

6.Revnede tværsnit

Vi regner lineært-elastisk, men regner trækzonen for **revnet**.



Der opstår ved voksende last trækrevner i den del af bjælken, hvor betonens trækspændinger overstiger trækstyrken – dermed reduceres den aktive del af tværsnittet og inertimomentet reduceres.

Den del af trækzonen, hvor trækspændingerne er mindre end trækstyrken ignoreres – det er konservativt, ændrer ikke meget på parametrene størrelse – men formlerne bliver enklere.

Fastlæg 0-liniens placering (revnet, N=0)

0-liniens placering (dvs. z-aksens placering, hvor $y=0$) fastlægges ved at skønne (gætte) en placering (gerne i toppen af tværsnittet) – samt gætte hvor stor en del af tværsnittet, der er i trykzonen og så beregne:

$$S_{zl,t} = \int_{\text{Trykzone}} y \cdot dA + (\alpha - 1) \cdot \sum_{\text{Trykzonearmering}} A_{scj} y_{1cj} + \alpha \cdot \sum_{\text{Trækzonearmering}} A_{si} y_{1si}$$

Gættet på trykzonen justeres indtil $S_{zl,t}=0$ (iteration).

O-linien er placeret i undersiden af trykzonen og vi kan herefter beregne transformeret inertimoment som tidligere (men ignorerer trækzonen)

$$I_{zl,t} = \int_{\text{Trykzone}} y^2 \cdot dA + (\alpha - 1) \cdot \sum_{\text{Trykzonearmering}} A_{scj} y_{1cj}^2 + \alpha \cdot \sum_{\text{Trækzonearmering}} A_{si} y_{1si}^2$$

Anbefalet hvis du har svært ved tværsnit: E-note om tværsnitkonstanter

Anbefalet E-eksempel 1.3

7.Revner i beton

Revner i beton kan fremkaldes af temperaturspændinger, af svindtøjninger og af lastfremkaldte spændinger. Betonen revner når trækspændingerne overstiger trækstyrken i betonen.

En effektiv udnyttelse af armeringen indebærer normalt at betonen skal revne i træk – husk at de lastfremkaldte tøjninger i trækarmeringen og i den omliggende betonen er identiske.

Revnevidder, hvorfor stilles der krav ?

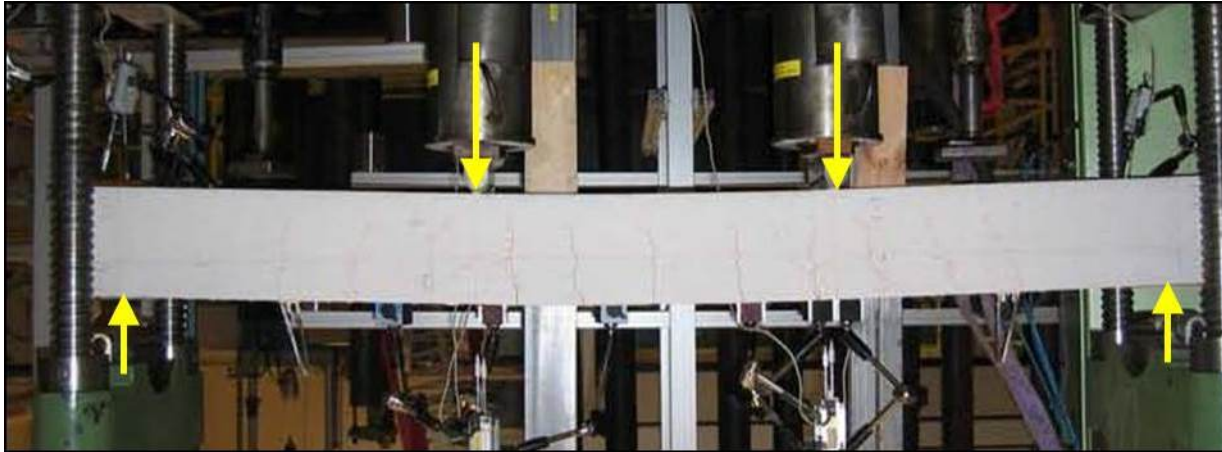
Armeringen beskyttes mod korrosion ved omstøbning af beton, så fx salt og vand ikke kan trænge ind og skabe kloridinitieret korrosion. Dvs. der skal være en dæklag med:

1. En passende kvalitet i dæklaget (der stilles ofte krav om max. vand-cementtal, som så automatisk leder til en vis styrke).
2. En vis, mindste tykkelse af dæklaget aht indtrængning.
3. En begrænsning af revners vidde (revner virker som "motorveje" for vandet og kloriderne).

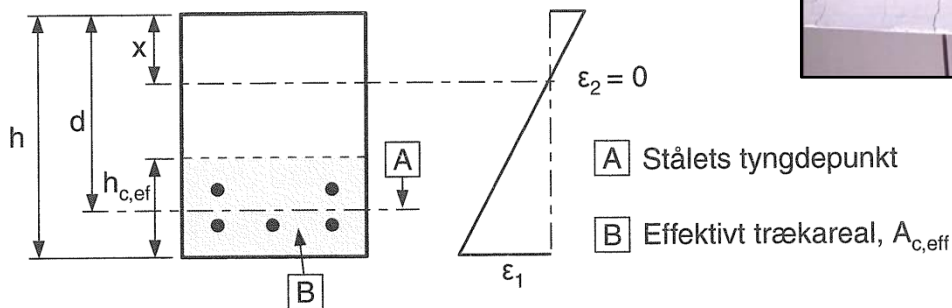
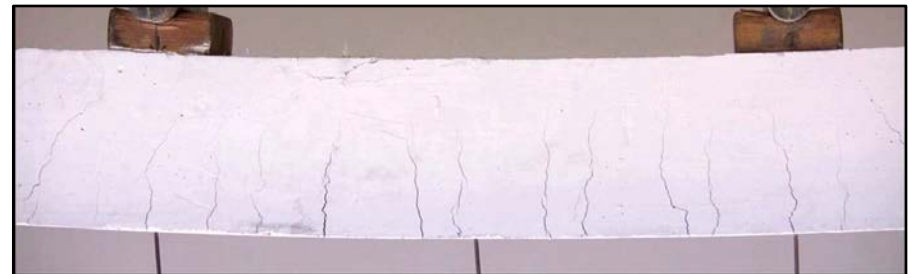
Der skal derudover sikres en god samvirken imellem beton og armering, hvilket kræver en rimelig fordeling af armeringen (og en dårlig fordeling leder ofte til høje revnevidder).

Så: Der er et reelt behov for, at beregne revnevidderne.

Revnetype a, Revner i bjælker



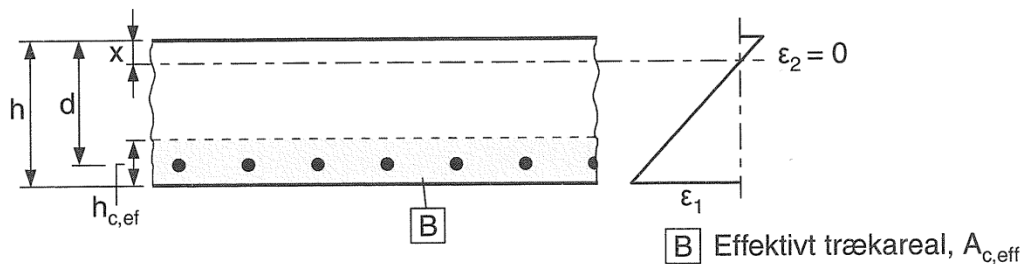
Revnerne i bjælkerne skyldes normalt bøjning (primært) og findes i bjælkens trækzone.



Revnemønster b, Revner i plader



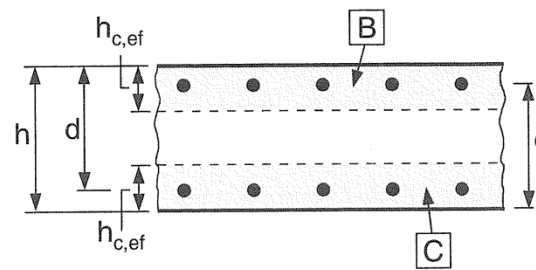
Revnerne i pladerne skyldes normalt bøjning og findes i pladens trækzone.



Revnetype c, Overfladerevner



Overfladerevner findes normalt som netrevner eller delvist orienterede revner og skyldes ofte temperaturs-pændinger eller svind. Revnerne kan (i værste tilfælde) nå ind forbi armeringen.



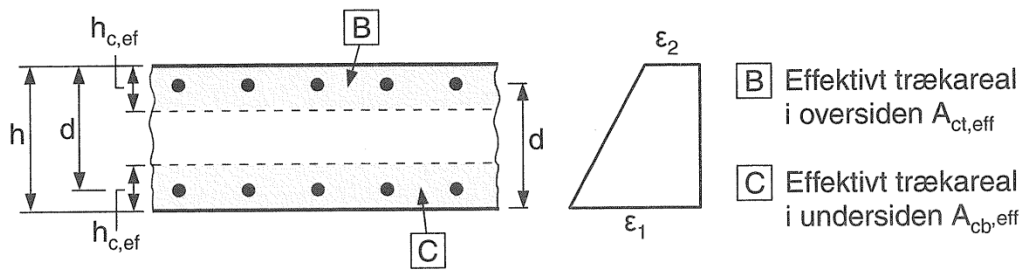
[B] Effektivt trækareal i oversiden $A_{ct,eff}$

[C] Effektivt trækareal i undersiden $A_{cb,eff}$

Revnetype c, Gennemgående revner



De gennemgående revner skyldes normalt svind eller temperaturforskelle under udstøbningen og går hele vejen igennem konstruktionsdelen.



Revner og revneafstande

Betonen revner i træk når trækstyrken overskrides:

$$E_c \varepsilon_{cm} \geq f_{ctm}$$

Den **maksimale** revneafstand beregnes som

$$s_{r,max} = 29 \sqrt[3]{c} + 0,17 \frac{A_{c,eff}}{A_s} \varnothing \text{ for armeringsafstand } \leq 5(c + \varnothing / 2)$$

$A_{c,eff}$ beregnes udfra $h_{c,eff}$ som igen beregnes ud fra

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5(h - d), \frac{h - x}{3}, \frac{h}{2} \right)$$

Anbefalet E-eksempel 1.4

Revnevidden er proportional med tøjningerne og med revneafstanden

$$w_{km} = s_{r,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{hvor}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{k_t}{E_s} \left(\frac{A_{c,eff}}{A_s} + \alpha \right) f_{ctm} \\ 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \end{array} \right\} \leq \frac{\sigma_s}{E_s}$$

BEMÆRK: Det kombinerede krav til dæklag og revnevidde kan være dimensionsgivende, dvs. bestemme armeringsmængden eller armeringsdiameteren