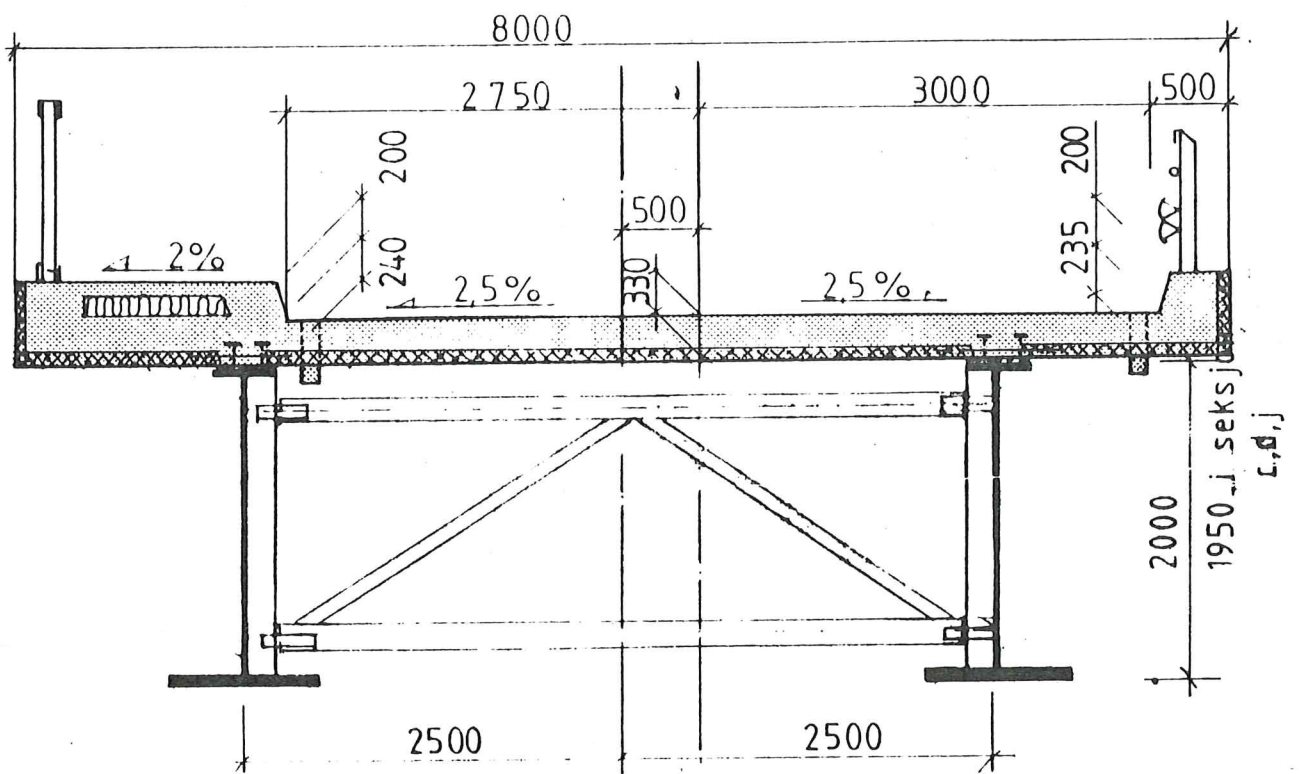


SAMVIRKEKONSTRUKSJONER

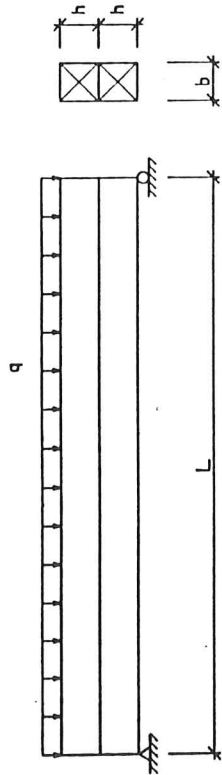
I

BRUBYGGING

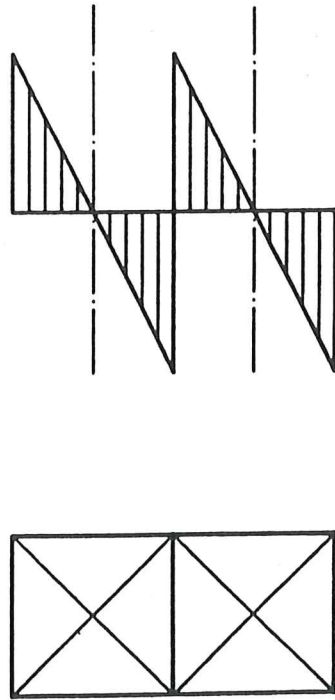


STATISK VIRKEMÅTE

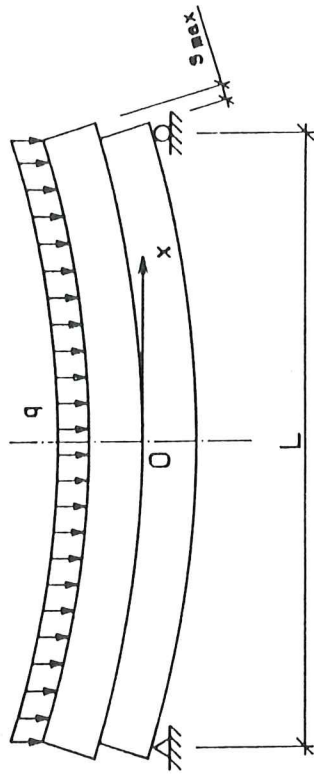
- Ser på en fritt opplagt bjelke sammensatt av to identiske deler belastet med en jevnt fordelt last.



- Antar først ingen samvirke mellom delbjelkene. Bjelkene bærer halve lasta hver, og får samme nedbøyning.

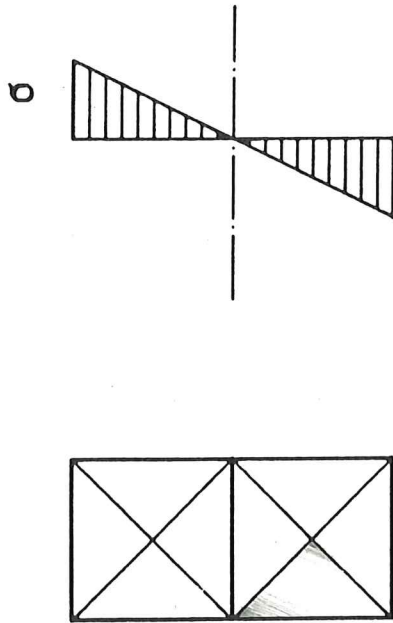


- Bjelkene vil gli i forhold til hverandre. Den horisontale glidningen er i dette tilfelle størst ved opplegg, og null i midtsnittet.



- Ved fullstendig samvirke vil man ikke ha noe glidning mellom delbjelkene. Må ha en skjærforbindelse for å overføre de horisontale skjærkreftene som bygges opp.

- Bøyenspenningsfordelingen for bjelken med fullstendig samvirke blir

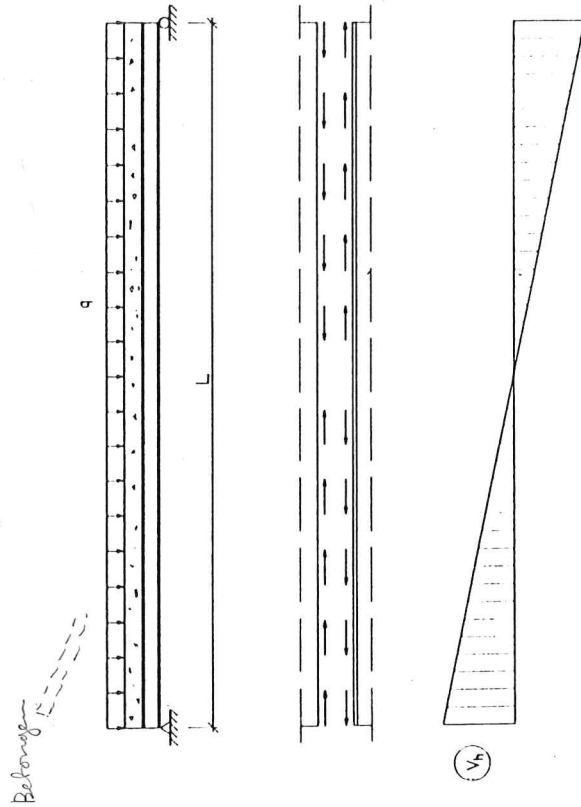


- Tabellen under viser max. bøyenspenning, skjærspenning og nedbøyning i midtsnittet for tilfellet uten samvirke og med fullstendig samvirke:

	Ingen samvirke	Fullstendig samvirke	Ingen/Fullt samvirke
Max. bøyenspenning	$\frac{3qL^2}{8bh^2}$	$\frac{3qL^2}{16bh^2}$	$\frac{1}{2}$
Max. skjærspenning	$\frac{3qL}{8bh}$	$\frac{3qL}{8bh}$	$\frac{1}{1}$
Max. nedbøyning	$\frac{5qL^4}{64Eb^3h^3}$	$\frac{5qL^4}{256Eb^3h^3}$	$\frac{1}{4}$

Skjærforbindelse

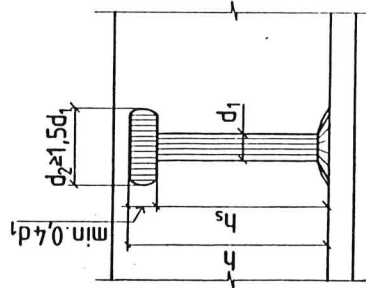
- De horisontale skjærkreftene som oppstår mellom stål-drageren og betongplata i en brokonstruksjon må kunne overføres for at konstruksjonen skal virke som en samvirkekonstruksjon.



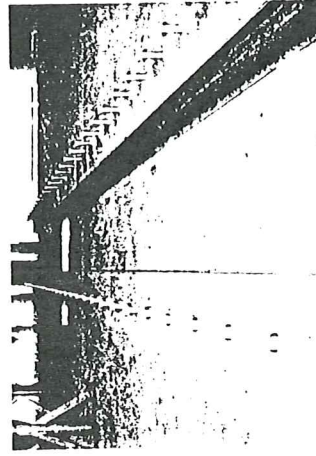
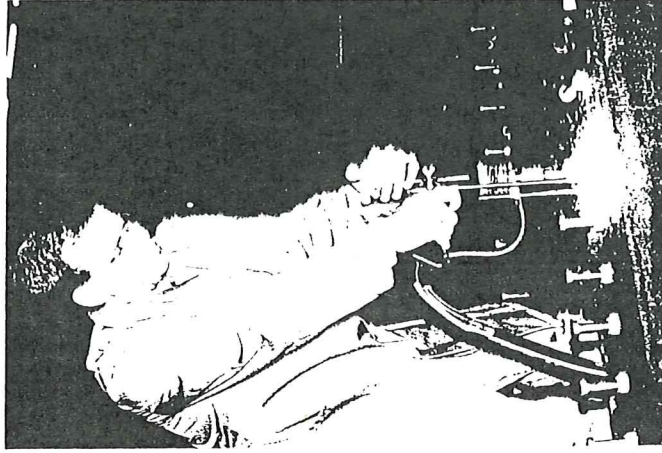
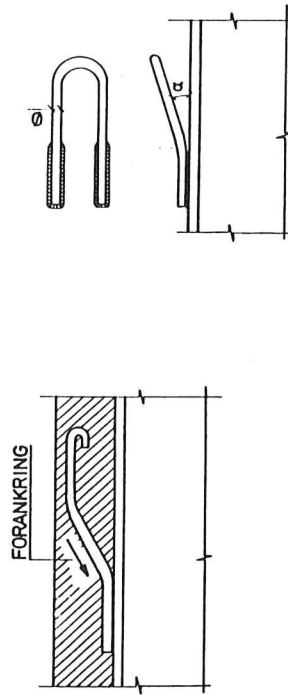
- Kan ikke stole på heft- og friksjonskrefter mellom plata og drager. Må ha mekanisk skjærforbindelse (dybler) montert på dragerens overflens.

- Finnes flere forskjellige utforminger av dyblene.
Mest brukte:

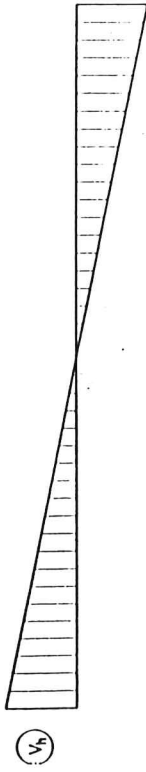
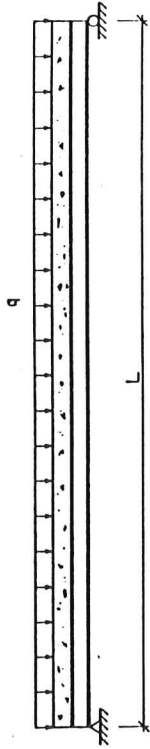
Stiv dybel



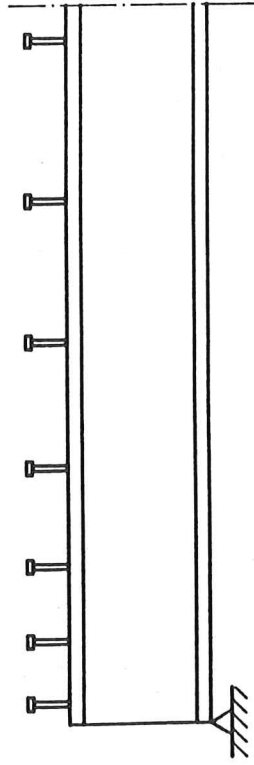
Forankringsdybel, myk dybel



- Skjærkraftfordelinga av en fritt opplagt bjelke:



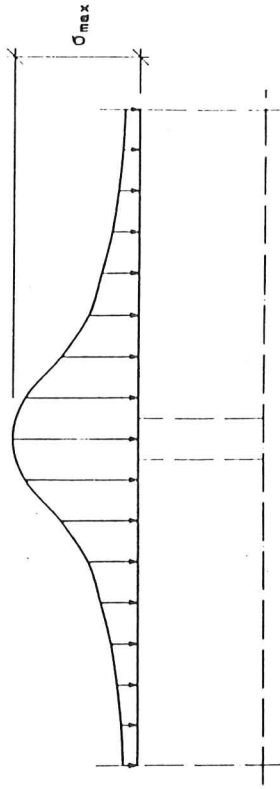
- Mest gunstig å plassere dyblene etter samme mønster som skjærkraftfordelinga. Her, tettest ved opplegg.



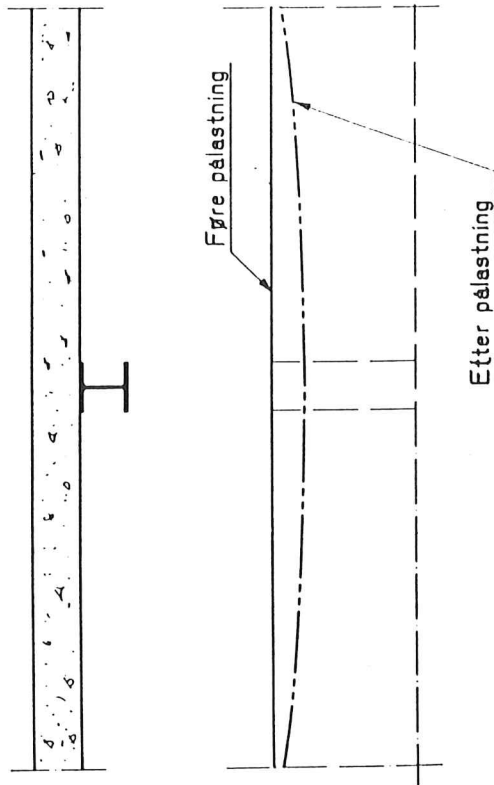
- Av produksjonstekniske hensyn kan det ofte være en fordel å plassere dyblene med lik avstand.

Medvirkende bredde av betongen

- P.g.a. skjærdeformasjoner i betongplata, vil trykkspenningsfordelingen i plata også variere. Max intensitet ved ståldragere, avtagende ved økende avstand fra denne.

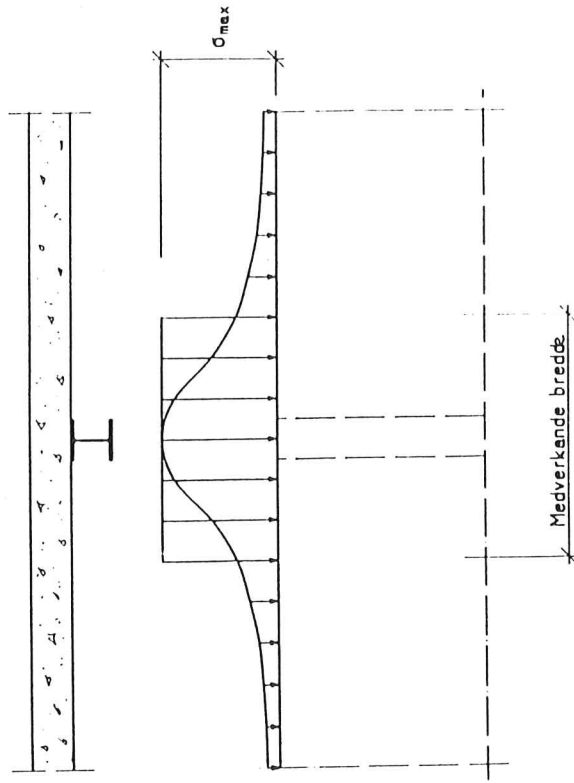


- Skjærdeformasjonen innebærer at plane tverrsnitt ikke forblir plane ved pålastning.



- For å kunne benytte denne grunnleggende antagelsen innen elastisitetsteorien, benyttes effektiv medvirkende flensbredde.

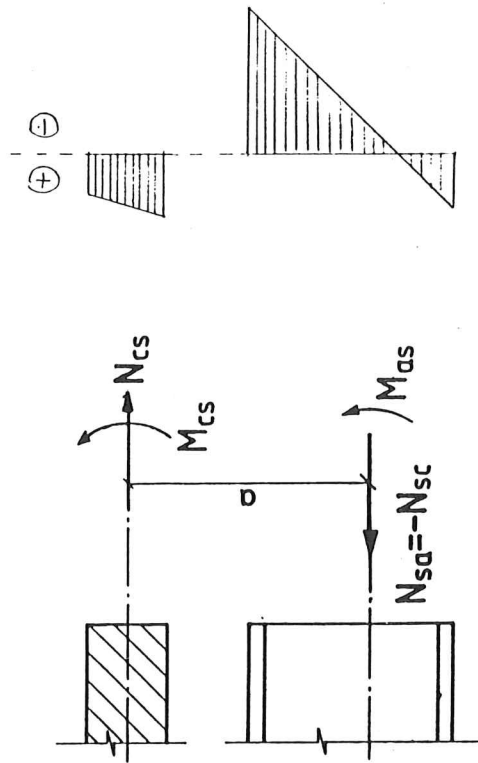
- Effektiv flensbredde er den bredden av betongplata som belastet med max. spenningen gir samme kraft som den aktuelle spenningsfordelingen over hele bredden.



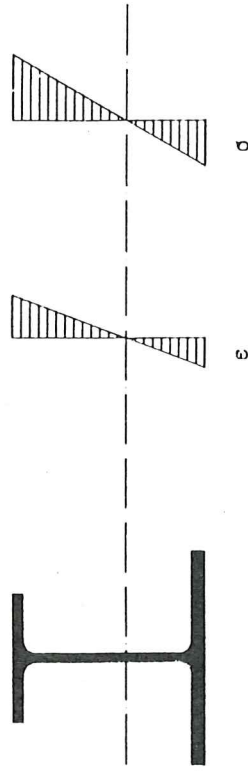
- Den effektive bredden er avhengig av bjelkens opplagerbetingelser, geometri og belastning.

Virking av Svinn og Kryp i Betongen

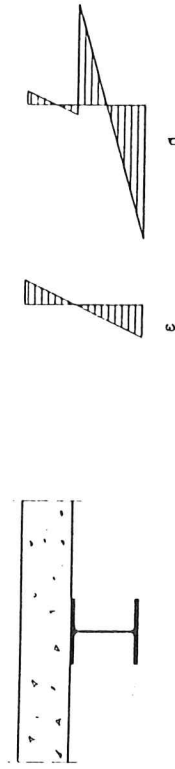
- Når betongen i et samvirketverrsnitt krymper (svinn/kryp), kan virkningen av ståldragernes stivhet ikke neglisjeres. Ståldragere hindrer fri krymping. Det gir strekk i betongen og trykk i drageren i grenseskiktet.



- For et vanlig tverrsnitt er nøytralaksens beliggenhet entydig bestemt av tverrsnittsgeometrien.

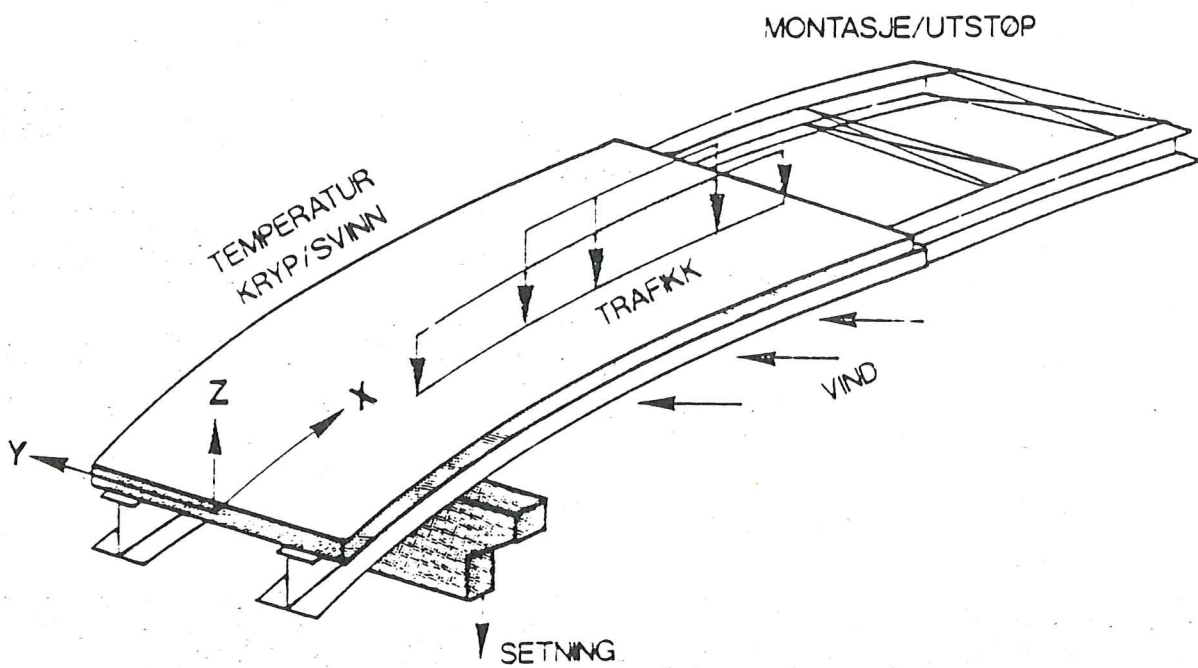


- Svinn og kryp i et samvirketverrsnitt medfører en påvunnet spenningsfordeling. Beliggenheten av null-spenning bestemmes av tverrsnittsgeometri, ytre belastning og betongens svinn og kryp.



- Tøynings- og spennings-fordelingen sammenfaller ikke.

TYPISK BELASTNING PÅ EN SAMVIRKEBRO.



DIMENSJONERING AV SAMVIRKE- KONSTRUKSJONER

Standarder:

- NS 3476, Prosjektering av samvirkekonstruksjoner i stål og betong. 1. utgave Mars 1988.
- NS 3472, Prosjektering av stålkonstruksjoner.
- NS 3473, Prosjektering av betongkonstruksjoner.
- NS 3479, Prosjektering av bygningskonstruksjoner.
Dimensjonerende laster.

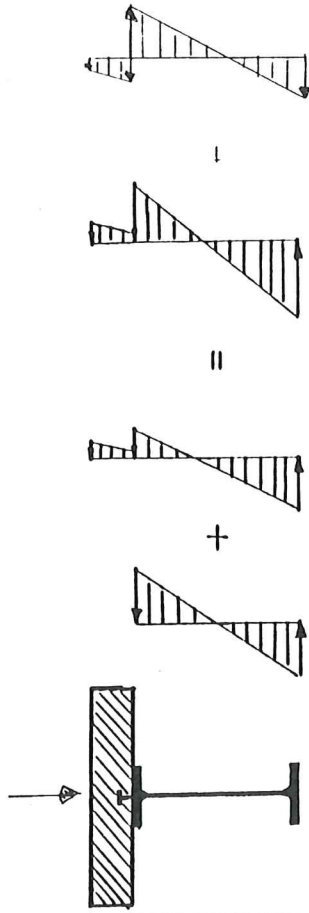
Dimensjoneringsprinsipper

Konstruksjonen skal kontrolleres for

- Bruddgrensetilstand
 - velting som omfatter hele eller deler av konstruksjonen
 - seigt brudd
 - tap av stivhet. knekking
 - sprøbrudd.
- Utmattningsgrensetilstand
 - dannelse av kritiske sprekker eller brudd i konstruksjonen p.g.a. gjentatte vekslende laster.
- Bruksgrensetilstand
 - deformasjoner som har betydning for den normale bruk av konstruksjonen.
 - vibrasjoner eller svingninger som gir ubehag eller påvirker bruk av konstruksjonen på en uheldig måte (spesielt resonansfenomener)
 - lokale skader som har betydning for konstruksjonens levetid

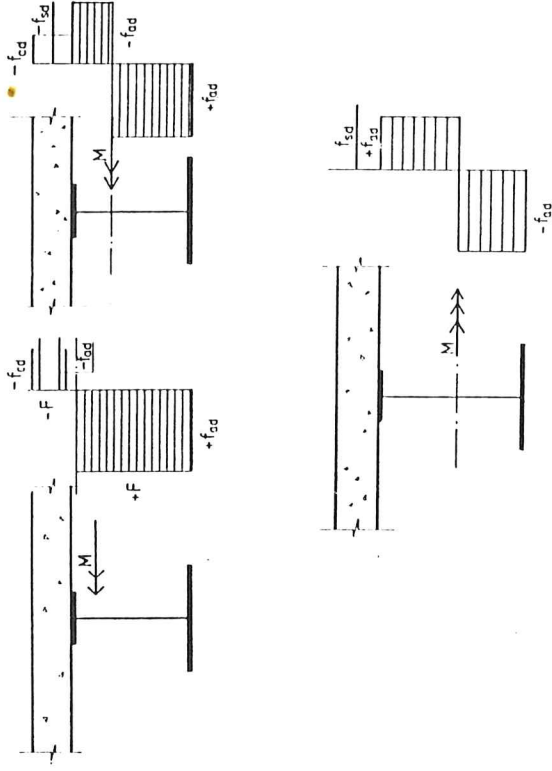
- Ifølge NS 3476 kan bruddgrensetilstanden kontrolleres enten ved bruk av elastisitetsteori eller plastisitetsteori.

- **Elastisitetsteori:**



- Spenningsfordeling og nedbøying er avhengig av produksjons(montasje)-metode. Last og stivhet er funksjoner av tid.
- Ved beregning etter elastisitetsteori skal det tas hensyn til svinn og kryp i betongen (NS 3476).

- **Plastisitetsteori:**



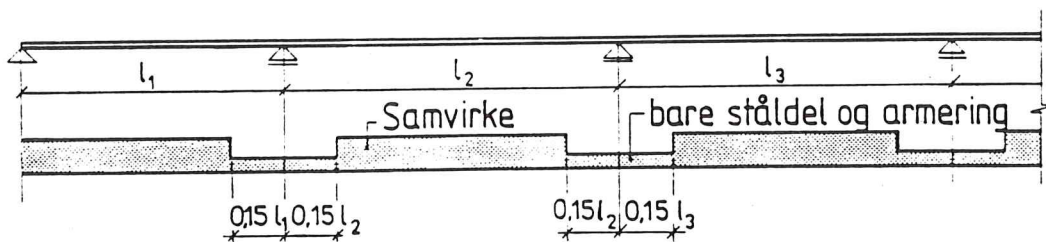
- Spenningsomlagring ved plastifisering av tverrsnittet. Uavhengig av når og hvordan lastene blir påført.
- Ved beregning etter plastisitetsteori, skal det ikke tas hensyn til svinn og kryp i betongen.
- Ved beregning etter flyteleddsmetoden skal det påvises at nødvendig deformasjon (rotasjon) er mulig innen det plastifiserte området.

STIVHETSVARIASJON LANGS BROBANEN

NS 3476 gir to alternative metoder

Metode 1: Beregningen gjennomføres med konstant stivhet. Strekk spenningene σ_{ct} ved opplegg bestemmes, og feltmomentene økes med verdien $\Delta M_{fAB} = [(\sigma_{ct}/f_{tk})_A + (\sigma_{ct}/f_{tk})_B] M_{fAB}$ hvor $(\sigma_{ct}/f_{tk})_A$ og $(\sigma_{ct}/f_{tk})_B$ er forholdet mellom opptredende strekkspenninger og strekkspenningskapasiteten til betongen ved henholdsvis støtte A og B. Støttemomentene M_A og M_B reduseres tilsvarende.

Metode 2: Betongtverrsnittet neglisjeres over 15% av spennvidden til hver side for støttene. Beregner lastvirkningen med redusert stivhetsrelasjon.






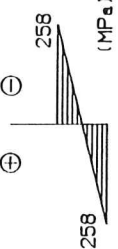
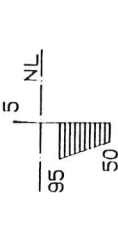
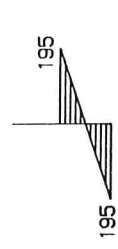
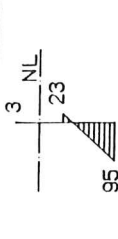
MONTASJE

- Spenninger ståldrageren får før betongen størkner og man får et samvirketverrsnitt, vil i elastisk tilstand forbli i ståldrageren.
- Det er dermed viktig å prøve å få minst mulig spenninger i drageren i montasjetilstanden.

Alternative montasjemetoder:

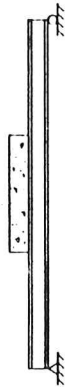
- **Stamping eller understøttelse av ståldrageren.**
Understøttelsen kan rives når betongen har oppnådd 70% av foreskrevet fasthet. Understøttelseskraftene påføres samvirketverrsnittet i motsatt retning. Samvirketverrsnittet har nå større stivhet og momentkapasitet enn det opprinnelige tverrsnittet.
- Lite brukt metode i brobygging.

- Eksempel med en fritt opplagt bjelke med spennvidde $L=10\text{m}$. Ståldrager HEA280, betongtykkelse 210mm og lastbredde 4m.
- Understøttelse midt i spennet.

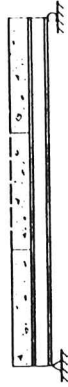
Jämförelse efter gjutning och stämprivning $q = \text{egentyngd}$	Ej stämpad balk	Stämpad balk
		
Momentkapacitet i brottgränstillstånd	627 kNm	627 kNm
Mittredböjning ($L/400 = 25 \text{ mm}$)	95 mm	13 mm
Spänningsfördelning $x = 5 \text{ m}$		
Spänningsfördelning $x = 2.5 \text{ m}$		

- **Etappevis utstøping.** Spesielt godt egnet for kontinuerlige broer. Betongplata støpes i etapper. Med en fornuftig utstøpningsrekkefølge kan man oppnå samvirke tidlig i kritiske deler. Utnytter deretter samvirke i disse delene til å bære etterfølgende utstøpningsetapper.

- Eksemplet under viser en fritt opplagt bjelke med spennvidde $L=10\text{m}$. Ståldrager HEA280, betongtykkelse 210mm og lastbredde 4m.



Midterste tredjedelen støpes først og herder slik at det kan regnes som et samvirke-tverrsnitt.



De ytterste tredjedelene støpes.

Jämförelse mellan balk gjuten i en och två etapper $q = \text{egentyngd}$	Balk gjuten i en etapp	Balk gjuten i två etapper
Spänningsfördelning $x = 5 \text{ m}$		
Spänningsfördelning $x = 3,3 \text{ m}$		

- Samvirke i midtpartiet medfører at spenninger og nedbøyning i midtsnittet minsker.

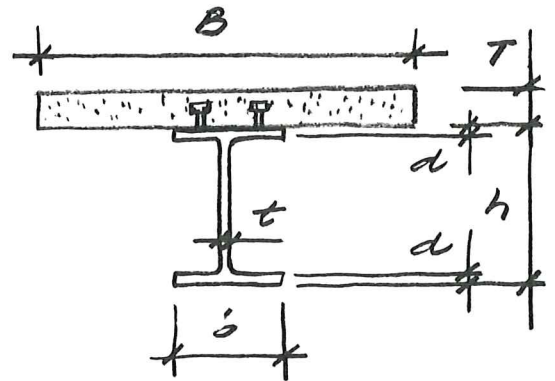
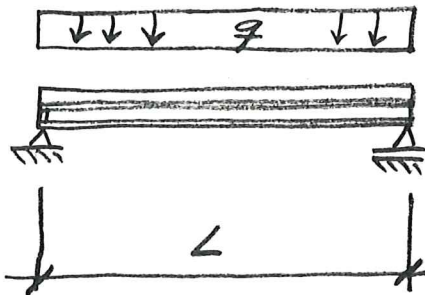
OPPSUMMERING

- Svinn og kryp i betongen gir tvangskrefter i en samvirkebru.
- Montasje/støpefasen viktig for å minimalisere spennin-
gene i ståldragere.
- Må ha full kontroll over tidsforløpet fram til ferdig bru da
både last (svinn/kryp) og stivheten er funksjoner av tiden.
- Problemer med å beskrive svinn og kryp riktig kan gi
problemer med å beregne riktig overhøyde.
- Åpne tynnveggede tverrsnitt kan gi hvelvningsproblemer.
- I dag er det utviklet regnemaskinprogrammer spesielt
beregnet på samvirkekonstruksjoner.
- Stålvekten i en konstruksjon minsker som regel ved å
utnytte samvirke.
- I første rekke prisen som bestemmer hvilke type bru som
velges. Flere alternativer sendes som regel ut på anbud.



EKSEMPLER

Fritt opplagt dobbeltsymmetrisk I-bjelke i samvirke med en enkel betongplate:



Følgende beregninger er ikke "nøyaktige", de er kun ment å skulle illustrere en beregningsmetodikk.

For enkelthets skyld antas at forholdstallet mellom stålets og betongens E-modul

$$n = \frac{E_s}{E_b}$$

er kjent og konstant (tidsuavhengig).

For å forenkle beregningene ytterligere tas det ikke hensyn til eventuell armering i betongplata.

Kjente materialkonstanter:

E_s = stålets E-modul

f_y = " " flytegranse

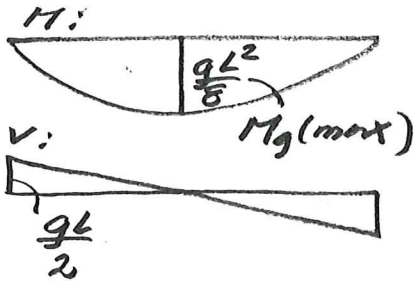
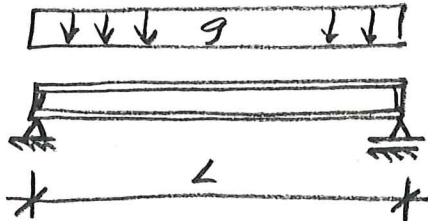
E_b = betongens E-modul (langtidsverdien)

f_c = " " fasthet

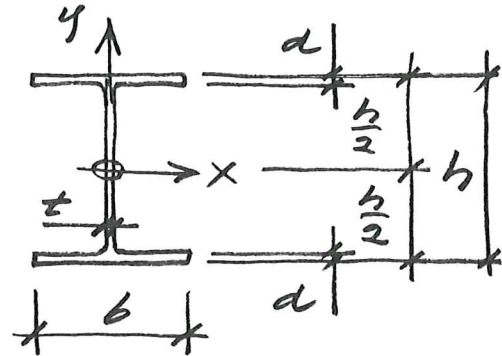
ϵ_s = betongens frie svinn- og krymping

1. ELASTISK BEREGNING:

a) Stålbjelken alene:

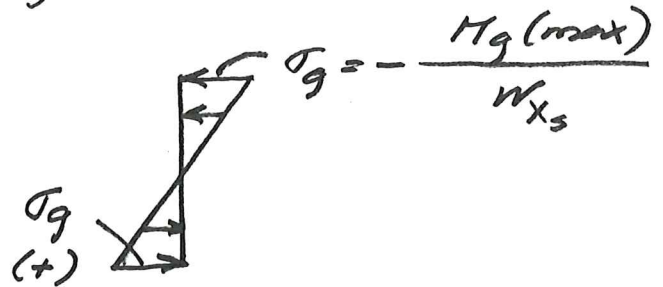


Normalspenningsfordelingen i midtsnittet:

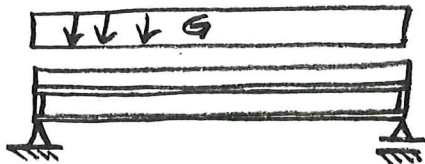


$$I_{x_s} \approx \frac{bdh^2}{2} + \frac{th^3}{12}$$

$$W_{x_s} \approx bdh + \frac{th^2}{6}$$



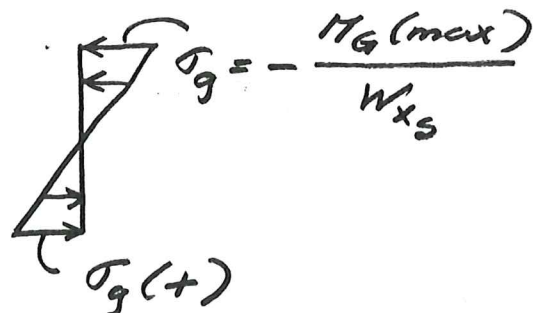
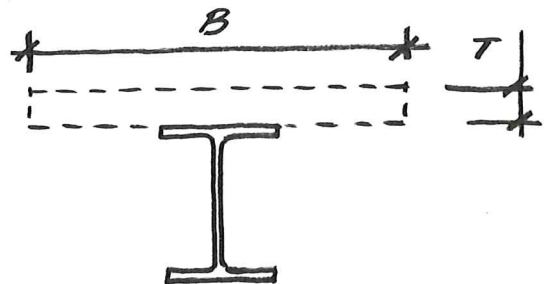
b) Stålbjelken belastet med uherdet betong:



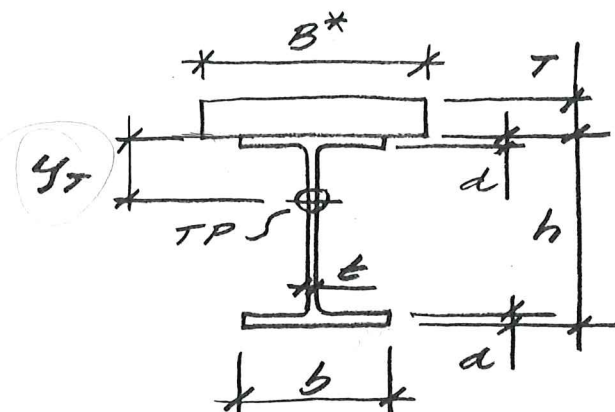
(Tilsvarende som for stål alene)

Normalspenningsfordelingen i midtsnittet:

$$\left[M_G(\max) = \frac{qL^2}{8} \right]$$



c) Tverrsnittskonstanter for det samlede tverrsnittet:



"Ekvivalent"
betong-brucce:

$$B^* = B \frac{E_b}{E_s} = \frac{B}{n}$$

(betongen gjøres
fiktivt om til
stål)

$$\rightarrow y_T = \frac{A_s \cdot h/2 - A_b^* T/2}{A_s + A_b^*} = \frac{h}{2} \frac{1 - \frac{A_b^* T}{A_s h}}{1 + \frac{A_b^*}{A_s}}$$

hvor: $A_s = 2bd + ht$ og $A_b^* = B^* T$

NB! $y_T < 0$ er mulig. Her antas $y_T \geq 0$.

(se. forrige side)

$$I_x = I_{x_s} + A_s \left(\frac{h}{2} - y_T\right)^2 + \frac{1}{3} B^* T^3 + B^* T y_T (y_T + T)$$

Motstandsmoment for overkant betong:

$$W_{bo} = n \frac{I_x}{y_T + T}$$

(NB! $\epsilon = \frac{\sigma}{E} y$)

$$W = \frac{M}{\sigma}$$

Navier's hypotese



Motstandsmoment for underkant betong: $\sigma_{bo} = E_b \cdot \epsilon_{bo}$

$$W_{bu} = n \frac{I_x}{y_T}$$

$$= E_b \frac{M}{E_s I_x} (y_T + T)$$

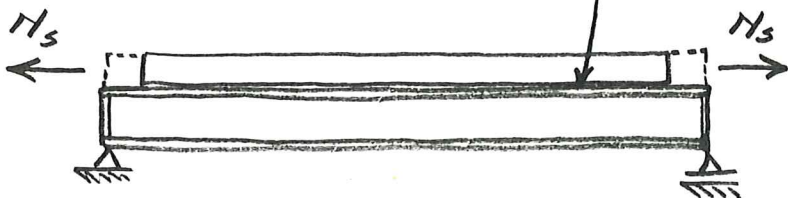
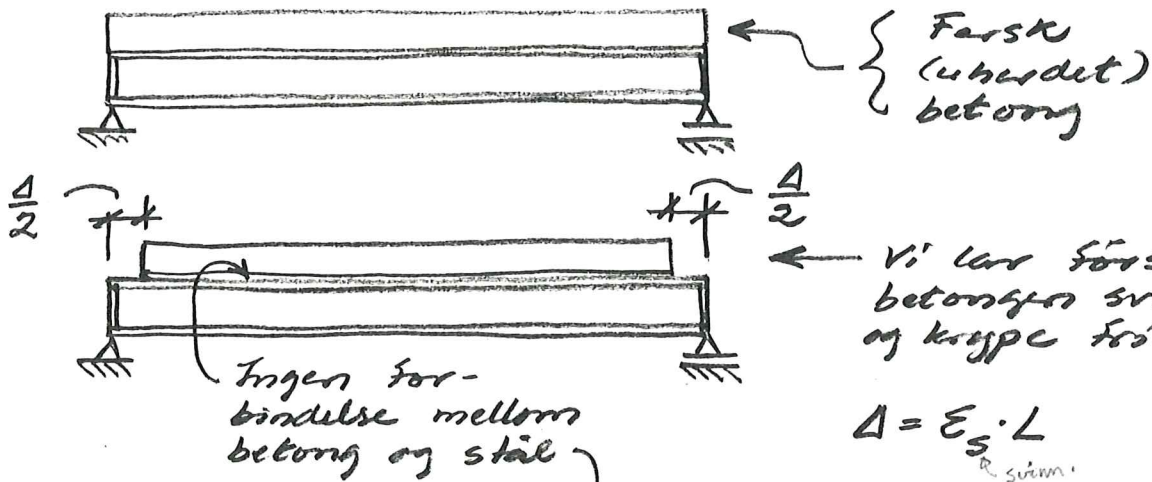
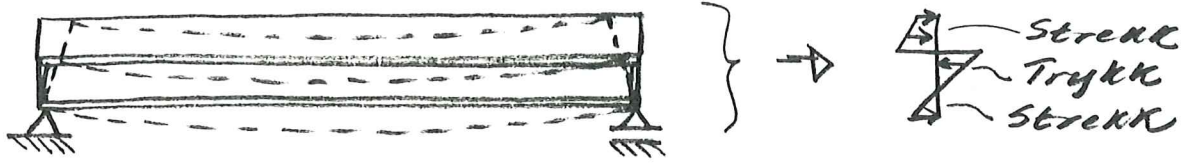
Motstandsmoment for overkant stål:

$$W_{so} = I_x / y_T$$

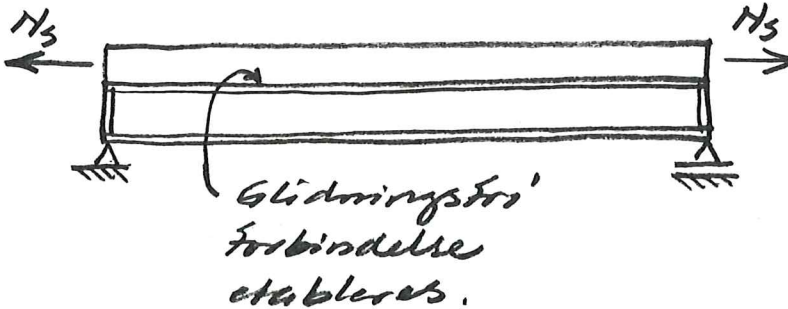
Motstandsmoment for underkant stål:

$$W_{su} = I_x / (h - y_T)$$

d) Effekten av svinn og kryp i betongen:

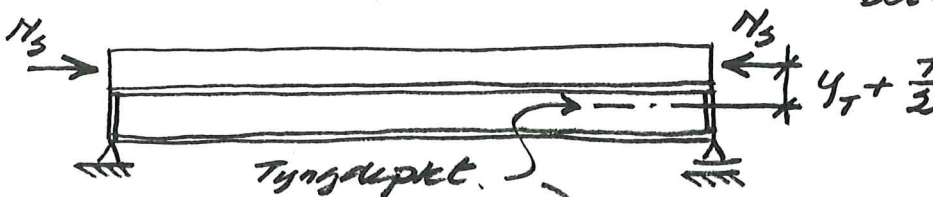


Deretter strekker vi betongen en lengde Δ , slik at den får tilbake sin gamle lengde, dvs. med en kraft

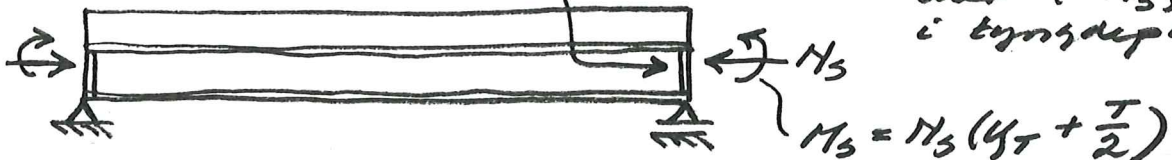


$$H_s = \epsilon_s E_b A_b$$

og i denne tilstanden etableres glidningsfri forbindelse mellom betong og stål.



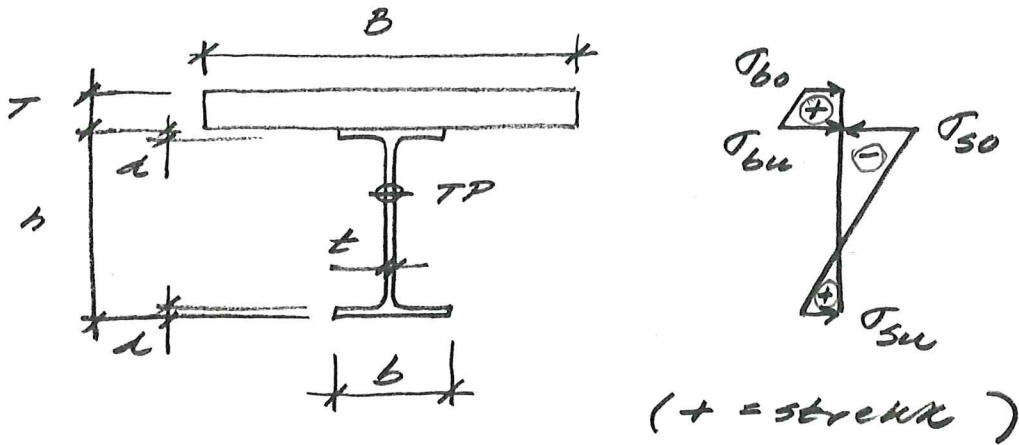
Til slutt tas H_s bort, dvs. påfører $-H_s$, eller $(-H_s, H_s)$ i tynningspunkt.





	DATO	SIDE 20
	SIGN	

Vi får da følgende spenningsfordeling:



Overkant betong: $\sigma_{b0} = + \frac{M_s}{A_b} - \frac{1}{n} \frac{M_s}{A^*} - \frac{M_s}{W_{b0}}$

Underkant betong: $\sigma_{bu} = + \frac{M_s}{A_b} - \frac{1}{n} \frac{M_s}{A^*} - \frac{M_s}{W_{bu}}$

Overkant stål: $\sigma_{so} = - \frac{M_s}{A^*} - \frac{M_s}{W_{so}}$

Underkant stål: $\sigma_{su} = - \frac{M_s}{A^*} + \frac{M_s}{W_{su}}$

hvor: $A_s = 2bd + ht$
 $A_b = BT, A^* = \frac{1}{n} A_b$
 $n = E_s / E_b$

$A = A_s + A_b$
 $A^* = A_s + A_b^*$

$W_{b0} = n I_x / (y_T + T)$

$W_{bu} = n I_x / y_T$

$W_{so} = I_x / y_T$

$W_{su} = I_x / (h - y_T)$

$y_T = \frac{h}{2} \frac{1 - A_b^* T / A_s h}{1 + A_b^* / A_s}$

$I_x = I_{x_s} + A_s \left(\frac{h}{2} - y_T \right)^2 + \frac{1}{3} B^* T^3 + B^* T (y_T + T) \cdot y_T$, $B^* = \frac{1}{n} B$