

Publikasjon nr. 2

**Dimensjonering av spennbetong
Eksempel på dimensjonering
av samvirkebjelke**

Norsk Betongforenings publikasjoner er utarbeidet av fagpersoner utnevnt av Norsk Betongforenings styre. Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunktet redaksjonen ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme.

Norsk Betongforening, forfattere eller fagkomiteen har intet ansvar for feil eller mangler i publikasjonen og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes av publikasjonen benyttes av kompetente, fagkyndige ingeniører med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

FORORD

Norsk Betongforenings publikasjon nr. 2 "Eksempel på dimensjonering av samvirkebjelke" er basert på NS 3473 og utarbeidet av Norsk Betongforenings Brokomité i forbindelse med normering av prefabrikerte brobjelker. Publikasjonen er den andre av to publikasjoner som behandler dimensjonering av spennbetong og er basert på Norsk Betongforenings publikasjon nr. 1 "Dimensjoneringsprosedyre for strengebetongbjelker".

Brokomitéen består av følgende medlemmer:

Sivilingeniør T. Berntsen
Sivilingeniør C. Hansvold
Overingeniør E. Husevaag, formann
Sjefsingeniør E. Lie
Teknisk sjef K. Nising (varamann sivilingeniør
L. Leporowski)
Overingeniør P. Oppegård
Sivilingeniør T. Taugbøl
Sivilingeniør B. Vik, formann til april 1974

Som rådgivende ingeniører ved utarbeidelsen av denne publikasjon har Dr. Lars Aadnesen & Co A/S vært engasjert.

Oslo i oktober 1974

NORSK BETONGFORENING

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	Side	3
2.	MOMENTER OG SKJÆRKREFTER	"	3
3.	DIMENSJONERENDE MATERIALFASTHETER	"	4
4.	KAPASITET FOR BØYNING	"	4
5.	BESTEMMELSE AV NØDVENDIG OPPSPENNING	"	5
6.	VIRKNING AV ELASTISK TØYNING, KRYPNING, SVINN OG RELAKSASJON		
6.1	Elastisk spennkrafttap	"	5
6.2	Spennkrafttap på grunn av krypning og svinn	"	6
6.3	Relaksasjon i spennstålet	"	10
6.4	Spenningsomlagring mellom bjelke- og samvirketverrsnitt	"	10
7.	KONTROLL BETONGTRYKKSONER	"	12
8.	SKJÆRKRAFTKONTROLL		
8.1	Trykkbrudd	"	14
8.2	Strekkbrudd	"	14
8.3	Skjærkraft mellom bjelke og påstøp	"	15
8.4	Minimum bøylearmering	"	15
9.	SPALTESTREKK VED BJELKEENDER	"	16

BILAG

BILAG A	SYMBOLER	"	17
BILAG B	TVERRSNITTSKONSTANTER		
B1	Bjelken alene uten armering	"	17
B2	Påstøp alene	"	18
B3	Bjelke i samvirke med påstøp	"	19
BILAG C	BESTEMMELSE AV z OG M_d		
C1	Positivt moment	"	20
C2	Negativt moment	"	21
BILAG D	BESTEMMELSE AV z_r		
D1	Bjelken alene	"	22
D2	Påstøp alene	"	22
D3	Bjelke i samvirke med påstøp	"	23
BILAG E	TILLEGGSKREFTER I SAMVIRKETVERRSNITT VED BEREGNING AV σ_{sr}	"	24

1. INNLEDNING

I det følgende gis et detaljert dimensjoneringseksempel for en samvirkebjelke basert på Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 1 "Dimensjoneringsprosedyre for strengebetongbjelke" utarbeidet av Norsk Betongforenings Brokomité og utgitt av Norsk Betongforening i 1974. Nummerering av kapitler og avsnitt følger tilsvarende nummerering i dimensjoneringsprosedyre med bilag.

For symboler henvises til NS 3473 pkt. 1.5 og Bilag A i publikasjon nr. 1.

2. MOMENTER OG SKJÆRKREFTER

Fra normlastene er det beregnet følgende momenter, virkende på ett element:

$$M_{g_1} = 54 \text{ kNm}$$

$$M_{g_2} = 66 \text{ kNm}$$

$$M_{g_4} = 10 \text{ kNm}$$

$$M_p = 27 \text{ kNm}$$

$$M_P = 188 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_g = 54 + 66 + 10 = 130 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_p = 27 + 188 = 215 \text{ kNm}$$

Disse verdier blir samtidig dimensjonerende momenter i bruksgrensetilstanden (ordinær last).

I bruddgrensetilstanden fås:

$$M_\gamma = \gamma_g \cdot \Sigma M_g + \gamma_p \cdot M_p$$

$$\text{Regner } \gamma_g = 1,2 \text{ og } \gamma_p = 1,6.$$

For lastkoeffisienter for broer, kfr. Bruhåndboka utgitt av Vegdirektoratet.

$$M_\gamma = 1,2 \cdot 130 + 1,6 \cdot 215 = 500 \text{ kNm}$$

For skjærkrefter fås tilsvarende:

$$V_{g_1} = 18 \text{ kN}$$

$$V_{g_2} = 21 \text{ kN}$$

$$V_{g_4} = 4 \text{ kN}$$

$$V_p = 9 \text{ kN}$$

$$v = 60 \text{ kN}$$

Ved opplegg for $M_{\gamma} = 0$

$$V_{\gamma} = 1,2 \cdot (18 + 21 + 4) + 1,6 \cdot (9 + 69) = 176 \text{ kN}$$

3. DIMENSJONERENDE MATERIALFASTHETER

Prefabrikert bjelke C55

$$f_{c_1} = f_{cn_1} / \gamma_m = 28 / 1,25 = 22,4 \text{ MPa}$$

$$f_{v_1} = f_{vn_1} / \gamma_m = 0,7 / 1,25 = 0,56 \text{ MPa}$$

Påstøp C35

$$f_{c_2} = f_{cn_2} / \gamma_m = 20 / 1,25 = 16,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v_2} = f_{vn_2} / \gamma_m = 0,5 / 1,25 = 0,4 \text{ MPa}$$

Spennarmering St 170/190, $\emptyset \frac{1}{2}$ " spenntau med $A_s = 93 \text{ mm}^2/\text{stk.}$

$$f_{s_1} = f_y / \gamma_m = 1700 / 1,25 = 1360 \text{ MPa}$$

Slakk armering Ks 40S

$$f_{s_2} = f_y / \gamma_m = 400 / 1,25 = 320 \text{ MPa}$$

Ovenfor er satt $\gamma_m = 1,25$. For andre belastninger enn etter NS 3052, f.eks. Statens vegvesens bestemmelser, kan det være foreskrevet andre verdier for γ_m .

4. KAPASITET FOR BØYNING

$$F_t = M_{\gamma} / z_2$$

$$z_2 = 0,49 \text{ m iflg. Bilag C.}$$

$$F_t = 500 / 0,49 = 1.020 \text{ kN}$$

Med 9 stk. $\emptyset \frac{1}{2}$ " spenntau i uk:

$$A_{s_1} = 9 \cdot 93 = 837 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_1} \cdot f_{s_1} = 837 \cdot 1360 \cdot 10^{-3} = 1138 \text{ kN} > F_t$$

Før påstøpen er herdnet er

$$M_{\gamma} = \gamma_g \cdot (M_{g_1} + M_{g_2}) = 1,2 \cdot (54 + 66) = 144 \text{ kNm mens}$$

$$M_{G_1} = 371 \text{ kNm (Bilag C).}$$

$$F_{t_1} \approx 144 / 0,43 = 335 \text{ kN} < A_{s_1} \cdot f_{s_1}$$

5. BESTEMMELSE AV NØDVENDIG OPPSPENNING

Som et utgangspunkt for beregning av σ_{sr} og spennkrafttapene velges

$$\begin{aligned} P_{u_1}' &= 0,85 \cdot A_{s_1} \cdot f_{0,2} \\ &= 0,85 \cdot 837 \cdot 1700 \cdot 10^{-3} = 1209 \text{ kN} \end{aligned}$$

I øk bjelke innlegges 2 $\varnothing \frac{1}{2}$ " spenntau, $A_{so} = 2 \cdot 93 = 186 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} P_{o_1} &= 0,8 \cdot A_{so} \cdot f_{0,2} \\ &= 0,8 \cdot 186 \cdot 1700 \cdot 10^{-3} = 253 \text{ kN} \end{aligned}$$

Antar $P_{u_2} = 0,70 \cdot P_{u_1}' = 0,7 \cdot 1209 = 846 \text{ kN}$

$$P_{o_2} = 0,95 \cdot P_{o_1} = 0,95 \cdot 253 = 240 \text{ kN}$$

Ifølge Bilag E er tilleggskreftene

$$\Delta N = 818 \text{ kN}$$

$$\Delta M = 4 \text{ kNm}$$

Ifølge Bilag D er $z_{r_2} = 0,414 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_{r_2} &= (P_{u_2} + P_{o_2} + \Delta N) \cdot z_{r_2} \\ &= (846 + 240 + 818) \cdot 0,414 = 788 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Betongspenning i høyde med uk armering for bjelken alene

$$\begin{aligned} \sigma_{c_1} &= - (P_{u_2} + P_{o_2}) / A_{c_1} - (P_{u_2} \cdot e_{u_1} - P_{o_2} \cdot e_{o_2} - M_1) \cdot e_{u_1} / I_1 \\ &= [- (846 + 240) / 0,12 \\ &\quad - (846 \cdot 0,187 - 240 \cdot 0,233 - 54) \cdot 0,187 / 0,00352] \cdot 10^{-3} \\ &= - 9,05 - 2,58 = - 11,63 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{r_1} &= P_{u_2} + P_{o_2} \\ &= 846 + 240 \\ &= 1086 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{r_2} &= P_{r_1} + \Delta N \\ &= 1086 + 818 \\ &= 1904 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{sy_1} &= M_y + \Delta M + P_{o_2} \cdot (d_1 - y_{os}) + \Delta N \cdot (d_2 - y_{os}) \\ &= 130 + 215 + 4 + 240 \cdot (0,46 - 0,04) + 818 \cdot (0,56 - 0,119) \\ &= 811 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}z_2 &= d_2 - (d_2 - z_{r_2}) \cdot M_{r_2} / M_{s\gamma_1} \\&= 0,56 - (0,56 - 0,414) \cdot 788 / 811 \\&= 0,56 - 0,142 = 0,418 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{sr_2} &= (M_{s\gamma_1} / z_2 - P_{r_2}) / (A_{s1} + A_{s2}) \\&= (811 / 0,418 - 1904) \cdot 10^3 / 837 = 43 \text{ MPa mot tillatt } 120 \text{ MPa} \\&\text{for konstruksjoner i} \\&\text{fuktige omgivelser}\end{aligned}$$

6. VIRKNING AV ELASTISK TØYNING, KRYPNING, SVINN OG RELAKSASJON

6.1 Elastisk spennkrafttap

Regner at bjelken påføres spennkrefte etter 1 døgn og at samvirke etableres 28 døgn etter støping.

Ved avspenning antas $f_{cj} \approx 40 \text{ MPa}$ og $E_{cj} \approx 5000 \sqrt{40} = 31620 \text{ MPa}$

$$E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$n_j = E_s / E_{cj} = 2,1 \cdot 10^5 / 3,16 \cdot 10^4 = 6,6, (\text{etter } 28 \text{ døgn } n = 5,7)$$

$$\begin{aligned}\alpha &= n_j \cdot \frac{A_{s1} + A_{s2}}{A_{c1}} \cdot (1 + e_{u1}^2 \cdot \frac{A_{c1}}{I_{c1}}) \\&= 6,6 \cdot \frac{837 \cdot 1^{-6}}{0,120} \cdot (1 + 0,187^2 \cdot \frac{0,120}{0,00352}) \\&= 0,10\end{aligned}$$

Det elastiske spennkrafttap på grunn av betongens øyeblikkelige sammentrykning

$$\begin{aligned}P_u &= (1 - \alpha) \cdot P_{u1}' \\&= (1 - 0,1) \cdot 1209 = 1088 \text{ kN}\end{aligned}$$

Spennkraften i øk bjelke vil gi en økning av P_{u1}' , men dette bidraget er normalt svært lite og kan neglisjeres.

6.2 Spennkrafttap på grunn av krypning og svinn

Det forutsettes at spennkraften påføres etter 1 døgn og at samvirke etableres ved alder 28 døgn.

Effektiv betongtykkelse

$$h_e = k_h \cdot \frac{2A_c}{U}$$

hvor overflatens omkrets $U \sim 2140 \text{ mm}$

For innendørs herdning settes $k_h = 1,0$, iflg. tabell 1 i Bilag F i Prosedyren.

$$h_e = 1,0 \cdot \frac{2 \cdot 0,120 \cdot 10^6}{2140} = 112 \text{ mm}$$

Det regnes "stiv betong" som gir redusert krypning og svinn.

a) Før samvirke

For krypning settes $k_c = 2,0$ ved bruk av PC375.

Første døgn regnes temperatur $T = 20^\circ\text{C}$.

Effektiv betongalder

$$\begin{aligned} t_1 &= k_c \cdot \sum \frac{T+10}{30} \cdot \Delta t \\ &= 2,0 \cdot 1 = 2 \text{ døgn} \end{aligned}$$

For svinn regnes $k_c = 1,0$ og $t_1 = 1$ døgn

Fra t_1 til t_2 regnes utendørs herdning ved $T = 15^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} t_2 - t_1 &= k_c \cdot \sum \frac{T+10}{30} \cdot \Delta t_2 \\ &= 2,0 \cdot \frac{25}{30} \cdot 27 = 45 \text{ døgn} \end{aligned}$$

$$t_2 = 45 + 2 = 47 \text{ døgn}$$

For svinn blir

$$t_2 - t_1 = 1,0 \cdot \frac{25}{30} \cdot 27 = 22,5 \text{ døgn}$$

$$t_2 = 22,5 + 1 = 23 \text{ døgn}$$

$$h_e = 1,5 \cdot 112 = 168 \text{ mm for utendørs herdning}$$

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 0,4 \cdot \kappa_v(47-2) + \phi_{f0} \cdot (\kappa_{f,45} - \kappa_{f,2}) \\ &= 0,4 \cdot 0,55 + 0,75 \cdot 2,0 \cdot (0,72 - 0,17) \\ &= 0,22 + 0,83 = 1,1 \quad (1,3)^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{cs1} &= \epsilon_{cso1} \cdot \kappa_{s23} \\ &= -0,75 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,24 = -0,045 \cdot 10^{-3} \quad (-0,06 \cdot 10^{-3}) \end{aligned}$$

Betongspenningen i høyde med armeringen ved langtidslast $M_1 = M_{g1} = 54 \text{ kNm}$ iflg. formel i pkt. 5 (regner ugunstig med spennkrefter P_{u1} og P_{o1}):

* Verdier i parantes er for plastisk konsistens, gjelder frem til pkt. 6.4.

$$\begin{aligned}\sigma_{ck_1} &= [- (1088 + 253)/0,12 - (1088 \cdot 0,187 \\&\quad - 253 \cdot 0,233 - 54) \cdot 0,187 / 0,00352] \cdot 10^{-3} \\&= - 11,18 - 4,81 = - 15,99 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{s_1,k+s} &= \frac{n \cdot \phi_1 \cdot \sigma_{ck_1} + \varepsilon_{cs_1} \cdot E_s}{1 + n \cdot \frac{A_{s_1} + A_{s_2}}{A_{c_1}} \cdot (1 + e_{u_1}^2 \cdot \frac{A_{c_1}}{I_{c_1}}) \cdot (1 + \kappa_r \cdot \phi_1)} \\&= \frac{- 5,7 \cdot 1,1 \cdot 15,99 - 0,045 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1 + 5,7 \cdot \frac{837 \cdot 10^{-6}}{0,120} \cdot (1 + 0,187 \cdot \frac{0,120}{0,00352}) \cdot (1 + 0,7 \cdot 1,1)} \\&= \frac{- 100,26 - 9,45}{1,154} = - 95 \text{ MPa} \quad (- 114 \text{ MPa})\end{aligned}$$

Efter at spennkraften ble påført, var stålspenningen

$$\sigma_{s_1} = 1088 \cdot 10^3 / 837 = 1300 \text{ MPa}$$

Efter 28 døgn er stålspenningen

$$\sigma_{s_{28}} = 1300 - 95 = 1205 \text{ MPa} \quad (1186 \text{ MPa})$$

$$P_{u_2}' = 1205 \cdot 837 \cdot 10^{-3} = 1009 \text{ kN} \quad (993 \text{ kN})$$

Regnes $P_{o_2} = 240 \text{ kN}$, blir like før samvirke med den permanente tilleggslast $M_{g_2} = 66 \text{ kNm}$ fra egenlast av påstøp

$$\begin{aligned}\sigma_{ck_2}' &= [- (1009 + 240)/0,12 - (1009 \cdot 0,187 \\&\quad - 240 \cdot 0,233 - 54 - 66) \cdot 0,187 / 0,00352] \cdot 10^{-3} \\&= - 10,41 - 0,68 = - 11,09 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b) Efter samvirke

Det ønskes sluttverdier etter lang tid for krypning og svinn, og temperaturen etter 28 døgn får da ikke betydning for tiliggere laster.

For ferdig plate er $2A_c/U = h_2 = 0,6 \text{ m}$. For utendørs klima fås da effektiv tykkelse $h_e = 1,5 \cdot 0,6 = 0,9 \text{ m}$.

$$\begin{aligned}\phi_2 &= 0,4 + 0,75 \cdot 2,0 \cdot (\kappa_{f,\infty} - \kappa_{f,45}) \\&= 0,4 + 0,75 \cdot 2,0 \cdot (1,24 - 0,44) = 1,6 \quad (2,0)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cs_2} &= - 0,75 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (\kappa_{s,\infty} - \kappa_{s,23}) \\&= - 0,75 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (0,73 - 0,02) = - 0,13 \cdot 10^{-3}, \quad (- 0,18 \cdot 10^{-3})\end{aligned}$$

Påføring av den permanente tilleggslast $M_{g_4} = 10 \text{ kNm}$ fra slitelag gir spenningstilvekst

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{ck_3} &= [10 \cdot (0,324 - 0,04) / 0,00701] \cdot 10^{-3} \\&= 0,41 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Med middeltemperatur $T = + 10^\circ\text{C}$ fås

$$t_3 - t_2 = 2,0 \cdot \frac{10+10}{30} \cdot (56 - 28) = 37 \text{ døgn}$$

$$t_3 = 45 + 37 = 82 \text{ døgn og}$$

$$\phi_3 = 0,4 + 0,75 \cdot 2,0 \cdot (1,24 - 0,49) = 1,5$$

Den reversible krypningsandel i perioden $t_1 - t_2$ er

$$\phi_{v1} = 0,45 \cdot 0,55 = 0,22$$

og samlet kryptall for en spenning virkende fra t_1 til $t = \infty$ blir

$$\phi_\infty = 1,0 - 0,2 + 1,6 = 2,4$$

Samlet svinn

$$\varepsilon_{cs\infty} = - (0,045 + 0,135) \cdot 10^{-3} = - 0,18 \cdot 10^{-3}$$

Forutsatt langtidsspenninger

$$\begin{aligned}\sigma_{ck_2} &= \sigma_{ck_2}' + \Delta\sigma_{ck_3} \\ &= - 11,09 + 0,41 = - 10,68 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{og } \Delta\sigma_{ck_3} = + 0,41 \text{ MPa}$$

fås resttap etter lang tid

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{sk_2} &= \frac{-5,7 \cdot 1,6 \cdot 10,68 + 5,7 \cdot 0,22 \cdot 15,99 + 5,7 \cdot 1,5 \cdot 0,41 - 0,135 \cdot 10^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1,154} \\ &= \frac{-97,40 + 20,05 + 3,51 - 28,35}{1,154} \\ &= - 89 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Samlet reduksjon på grunn av krypning og svinn

$$\sigma_{sk} = - 95 - 89 = - 184 \text{ MPa}$$

Kraftendring

$$\Delta P = - 183 \cdot 837 \cdot 10^{-3} = - 154 \text{ kN}$$

$$P_{u2} = 1088 - 154 = 934 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s2} = 934 \cdot 10^3 / 837 = 1116 \text{ MPa}$$

6.3 Relaksasjon i spennstållet

$$\Delta\sigma_{sR} = c_R \cdot \sigma_{sR} / 100$$

$$\begin{aligned}\text{hvor } \sigma_{sR} &= (P_{u_1} + P_{u_2}) / 2A_{s_1} \\ &= (1088 + 934) \cdot 10^3 / 2 \cdot 837 = 1208 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c_o &= \sigma_{sR} \cdot 100 / \sigma_B \\ &= 1208 \cdot 100 / 1900 = 63,6\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c_{R_1} &= 0,5 \cdot c_o = 22,5 \\ &= 0,5 \cdot 63,6 - 22,5 = 9,3\end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{sR} = 9,3 \cdot 1208 / 100 = 112 \text{ MPa}$$

Stålspenning etter alle tap

$$\sigma_{s\infty} = 1116 - 112 = 1004 \text{ MPa}$$

$$P_{u_2} = 1004 \cdot 837 \cdot 10^{-3} = 840 \text{ kN}$$

mot tidligere antatt 846 kN

6.4 Spenningsomlagring mellom bjelke- og samvirketverrsnitt

På bjelken virker umiddelbart før samvirke

$$\begin{aligned}M_I &= M_{g_1} + M_{g_3} \\ &= 54 + 66 = 120 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$P_I = P_1 - \Delta P_1 = 1009 \text{ kN} = P_2'$$

Dersom disse laster tenkes påført samvirketverrsnittet fås

$$\begin{aligned}M_I &= 0, \quad P_I = 0 \\ M_{II}^o &= M_{g_1} + M_{g_2}, \quad P_{II}^o = P_2'\end{aligned}$$

Den andel som virker på samvirketverrsnittet blir derved

$$\begin{aligned}M_{II,k} &= M_{II}^o \cdot \frac{\phi_2}{1 + \kappa \cdot \phi_2} \\ &= 120 \cdot \frac{1,6}{1 + 0,8 \cdot 1,6} = 84 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{II,k} &= P_{II}^o \cdot \frac{\phi_2}{1 + \kappa \cdot \phi_2} \\ &= 1009 \cdot \frac{1,6}{1 + 0,8 \cdot 1,6} = 708 \text{ kN}\end{aligned}$$

På grunn av svinndifferens mellom bjelke og påstøp

$$\varepsilon_{cs_3} = -0,73 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = -0,18 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cs_2} = -0,13 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta\varepsilon_{cs} = -(0,18 - 0,13) \cdot 10^{-3} = -0,05 \text{ o/oo}$$

$$E_{c_3} = 5000 \sqrt{35} = 2,96 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$F_o = \Delta\varepsilon_{cs} \cdot E_{c_3} \cdot A_{c_3}$$

$$= 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 2,96 \cdot 10^4 \cdot 0,074 \cdot 10^3 = 110 \text{ kN}$$

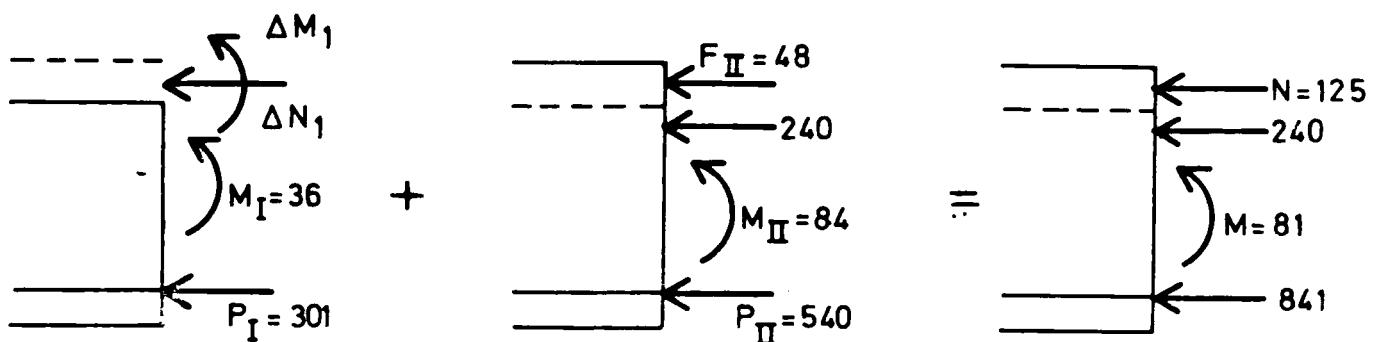
$$F_{II,sv} = F_o \cdot \frac{1}{1 + \kappa \cdot \phi_2}$$

$$= 110 \cdot \frac{1}{1 + 0,8 \cdot 1,6} = 48 \text{ kN}$$

Krefter på henholdsvis bjelke og samvirketverrsnitt

Bjelke	Samvirketverrsnitt
$M_I = M_{II}^o - M_{IIk}$ $= 120 - 84 = 36 \text{ kNm}$	$M_{II} = M_{IIk} = 84 \text{ kNm}$
$P_I = P_{II}^o - P_{IIk}$ $= 1009 - 708 = 301 \text{ kN}$	$P_{II} = P_{IIk} + \Delta P_2$ $= 708 - (89 + 112) \cdot 837 \cdot 10^{-3}$ $= 540 \text{ kN}$
	$F_{II} = F_{IIsv} = 48 \text{ kN}$

Følgende snittkraftandeler virker på henholdsvis bjelke- og samvirketverrsnitt:



Fiktive tilleggskrefter (kfr. Bilag E)

$$\Delta N_1 = 301 \cdot 0,074 / 0,120 + (36 - 301 \cdot 0,187) \cdot 0,254 \cdot 0,074 / 0,0035 \\ = 185 - 108 = 77 \text{ kN}$$

$$\Delta M_1 = (36 - 301 \cdot 0,187) \cdot 0,00054 / 0,00352 \\ = - 3,1 \text{ kNm}$$

Ekvivalente krefter på samvirketverrsnittet

$$N = \Delta N_1 + F_{II} = 77 + 48 = 125 \text{ kN}$$

$$M = M_{II} + \Delta M_1 = 84 - 3 = 81 \text{ kNm}$$

$$P_u = P_I + P_{II} = 301 + 540 = 841 \text{ kN}$$

P_{O_2} har mindre betydning i dette tilfelle og er i sin helhet antatt å virke på samvirketverrsnittet.

For kontroll av rissbestemmende armeringsspenning blir

$$M = 81 + M_{g4} + M_p \\ = 81 + 10 + 215 = 306 \text{ kNm}$$

$$P_u = 841 \text{ kN}, \quad P_o = 240 \text{ kN}$$

Moment om uk-armeringens tyngdepunkt

$$M_{sy} = M + N \cdot (d_2 - y_{o_3}) + P_o \cdot (d_1 - y_{os}) \\ = 306 + 125 \cdot (0,56 - 0,119) + 240 \cdot (0,46 - 0,04) \\ = 462 \text{ kNm}$$

$$P_r \approx P_u + N + P_o \\ = 841 + 125 + 240 = 1206 \text{ kN}$$

$$M_r = P_r \cdot z_{r_2} \\ = 1206 \cdot 0,414 = 499 \text{ kNm}$$

Siden $M_r > M_{sy}$ vil det ikke oppstå riss i tverrsnittet.

7. KONTROLL BETONGTRYKKSØNER

Kontroll av bjelke for min. moment

Kontroll av kapasitet:

$$M_{so} = - 1,1 \cdot P_{u_1} \cdot (1-m) \cdot h_1' - N_y \cdot e_{o_1}' + M_y$$

hvor $N_y = 0$

Regner med et kragemoment på 10 kNm

$$M_y = -1,2 \cdot 10 = -12 \text{ kNm}$$

Forsøker med $m = 0$ (ingen spenntau satt ut av funksjon):

$$\begin{aligned} M_{so} &= -1,1 \cdot 1088 (0,5 - 2 \cdot 0,04) - 12 \\ &= -515 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Følgelig er

$$|M_{so}| < M_d \text{ (se Bilag C2).}$$

Dessuten må

$$\begin{aligned} f_{so} \cdot A_{so} &\geq |M_{so}| / z_1 - 1,1 \cdot P_{u1} - N_y \\ 186 \cdot 1360 \cdot 10^{-3} &\geq 515 / 0,406 - 1,1 \cdot 1088 \\ 253 &\geq 1269 - 1197 = 72 \\ \text{dvs. i orden.} \end{aligned}$$

For kontroll uk bjelke for min. moment i bruksgrensetilstanden er spenningskontrollene følgende:

$$\begin{aligned} \sigma_{u1} &= -[P_{u1} \cdot (l-m) + P_{o1}] / A_{c1} - [P_{u1} \cdot (l-m) \cdot e_{u1}] \\ &\quad - P_{o1} \cdot e_{o1} \cdot M_m / W_{u1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{o1} &= -[P_{u1} \cdot (l-m) + P_{o1}] / A_{c1} + [P_{u1} \cdot (l-m) \cdot e_{u1}] \\ &\quad - P_{o1} \cdot e_{o1} + M_m / W_{o1} \end{aligned}$$

som gir:

$$\begin{aligned} \sigma_{u1} &= [- (1088 + 253) / 0,12 \\ &\quad - (1088 \cdot 0,187 - 253 \cdot 0,233 + 10) / 0,0155] \cdot 10^{-3} \\ &= -11,18 - 9,97 = -21,15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{o1} &= [-11,18 + (1088 \cdot 0,187 - 253 \cdot 0,233 - 10) / 0,0129] \cdot 10^{-3} \\ &= -11,18 + 10,42 = -0,76 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maks. tillatt randtrykkspenning er $0,6 \cdot f_{cj}$ eller $0,5 \cdot f_{ck}$. Med $f_{cj} \approx 0,7 \cdot f_{ck}$ blir tillatt randtrykkspenning $-0,7 \cdot 0,6 \cdot 55 = -23,1 \text{ MPa}$, dvs. større tallverdi enn σ_{u1} . Siden σ_{o1} er trykkspenning, er ekstra strekkarmering i ok bjelke unødvendig.

8. SKJÆRKRAFTKONTROLL

8.1 Trykkbrudd

a) Bjelke uten samvirke med påstøp.

$$\begin{aligned} V_{\gamma_1} &= \gamma_g \cdot (V_{g_1} + V_{g_2}) \\ &= 1,2 \cdot (18 + 21) = 47 \text{ kN} \end{aligned}$$

I tyngdepunktsaksen er

$$\begin{aligned} \sigma_{c_1} &= - (P_{u_1} + P_{o_1}) / A_{c_1} \\ &= [- (1088 + 253) / 0,12] \cdot 10^{-3} \\ &= - 11,18 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$0,87 f_{c_1} = 0,87 \cdot 22,4 = 19,49 \text{ MPa} > \sigma_{c_1} \text{ og følgelig er}$$

$$\begin{aligned} V_{d_1} &= 0,3 f_{c_1} \cdot b_1 \cdot d_1 \\ &= (0,3 \cdot 22,4 \cdot 0,1 \cdot 0,46) \cdot 10^3 = 309 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Bjelke med samvirke med påstøp

Tilleggsskjærkraft

$$\begin{aligned} V_{\gamma_2} &= \gamma_g \cdot V_{g_4} + \gamma_p \cdot V_p \\ &= 1,2 \cdot 4 + 1,6 \cdot (69 + 9) = 130 \text{ kN} \end{aligned}$$

Total skjærkraft

$$V_{\gamma} = 47 + 130 = 177 \text{ kN} < V_{d_2} \text{ siden } V_{d_2} > V_{d_1}.$$

8.2 Strekkbrudd

a) Bjelke uten samvirke med påstøp.

Det armeres før en skjærkraftandel

$$\begin{aligned} V_{s_1} &= V_{\gamma_1} - f_{v_1} \cdot [b_1 \cdot d_1 + 75 \cdot (A_{s_1} + A_{s_2})] \\ &\quad - [0,88 \cdot P_{u_2} \cdot z_{o_1} + P_{o_2} \cdot (z_{o_1} - h')] \cdot V_{\gamma_1} / M_{\gamma_1} \end{aligned}$$

eller

$$V_{s_1} = V_{\gamma_1} - (2 \cdot f_{v_1} + 0,2 \cdot \sigma_m) \cdot b_1 \cdot d_1$$

Regnes det ytre moment lik 0 og på den sikre side at spenn-kraften er lik 0 i innføringsområdet, må det armeres for

$$\begin{aligned}V_{s_1} &= 47 - 0,56 \cdot (0,1 \cdot 0,46 + 75 \cdot 837 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^3 \\&= 47 - 60,9 < 0\end{aligned}$$

b) Bjelke med samvirke med påstøp

Det armeres for

$$\begin{aligned}V_{s_2} &= 47 + 130 - 0,56 \cdot (0,1 \cdot 0,56 + 75 \cdot 837 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^3 \\&= 177 - 66,5 \\&= 110,5 \text{ kN}\end{aligned}$$

På den sikre siden er spennkraften her ikke medregnet.

Med vertikale ϕ 12 bøyler blir senteravstanden gitt ved:

$$\begin{aligned}a &= A_{sb} \cdot f_{s_2} \cdot 0,9 \cdot d_2 / V_{s_2} \\&= 226 \cdot 320 \cdot 0,9 \cdot 560 / 110,5 \cdot 10^3 \\&= 330 \text{ mm}\end{aligned}$$

8.3 Skjærkraft mellom bjelke og påstøp

Maksimum skjærkraft

$$\begin{aligned}V_\gamma &= V_{\gamma_1} + V_{\gamma_2} \\&= 47 + 130 = 177 \text{ kN}\end{aligned}$$

I fugen mellom bjelke og påstøp blir

$$\begin{aligned}q_{\gamma f} &= V_\gamma / z_2 \\&= 177 / 0,49 = 361 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Regner fugebredden $b_f = 0,3 + 2 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ m}$

$$\begin{aligned}\tau_f &= q_{\gamma f} / b_f \\&= (361 / 0,5) \cdot 10^{-3} = 0,72 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$\tau_f < 5 \cdot f_{v_2}$, og nødvendig senteravstand for ϕ 12 bøyler bestemmes da av

$$\begin{aligned}a &= 0,6 \cdot A_{sb} \cdot f_{s_2} / (q_{\gamma f} - 2 \cdot f_{v_2} \cdot b_f) \\&= 0,6 \cdot 226 \cdot 320 / (361 - 2 \cdot 0,40 \cdot 100) \\&= 155 \text{ mm}\end{aligned}$$

8.4 Minimum bøylearmering

Med ϕ 12 bøyler (dobbeltsnittede):

$$\begin{aligned} a &= A_{sb} \cdot f_{s2} / 0,025 \cdot b_1 \cdot f_{c1} \\ &= 226 \cdot 320 / 0,025 \cdot 100 \cdot 22,4 = 1291 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dog er $a_{maks.} = 4 \cdot h_p$ eller $0,7 \cdot$ bjelkehøyden
dvs. $a_{maks.} = 0,7 \cdot 500 = 350 \text{ mm}$ hvor kapasiteten er tilstrekkelig
uten skjærarmering. Forøvrig er $a_{maks.} = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ mm}.$

9. SPALTESTREKK VED BJELKEENDER

Nødvendig bøyleareal

$$A_s = 1,1 \cdot 0,02 \cdot (P_{u1} + P_{o1}) \cdot h_1 / l_f \cdot f_s$$

$$l_f = 30 \cdot \emptyset = 30 \cdot \frac{1}{2}'' = 381 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 1,1 \cdot 0,02 \cdot (1088 + 253) \cdot 500 \cdot 10^3 / 381 \cdot 320 \\ &= 121 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Denne armering skal plasseres innenfor en avstand

$$a_1 = 0,2 \cdot h_1 = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ m} \text{ målt fra bjelkeenden.}$$

Dessuten skal det innenfor en lengde

$$a_2 = 0,5 \cdot (l_f + h_1) = 0,5 \cdot (0,381 + 0,5) = 0,44 \text{ m}$$

plasseres bøyler med et samlet areal

$$\begin{aligned} A_s &= 1,1 \cdot 0,2 \cdot P_{u1} / f_s \\ &= 1,1 \cdot 0,2 \cdot 1088 \cdot 10^3 / 320 = 748 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

BILAG A

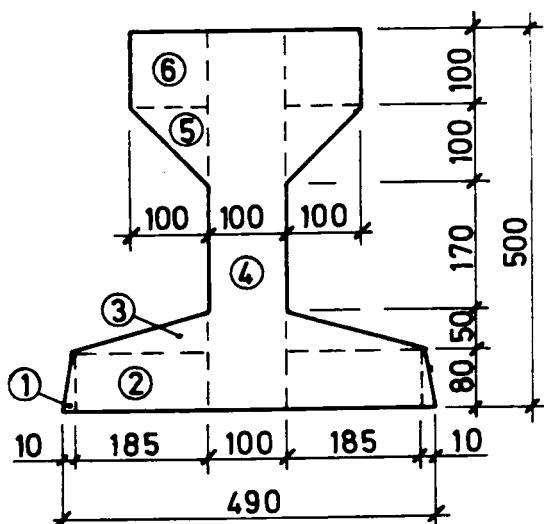
SYMBOLER

Se Bilag A i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 1.

BILAG B

TVERRSNITTSKONSTANTER

B1 Bjelken alene uten armering



$$\begin{aligned}A_c &= \sum_1^6 A_n \\&= (1 \cdot 8 \cdot 2/2 + 18,5 \cdot 8 \cdot 2 + 18,5 \cdot 5 \cdot 2/2 \\&\quad + 10 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 2/2 + 10 \cdot 10 \cdot 2) \cdot 10^{-4} \\&= (8 + 296 + 92,5 + 500 + 100 + 200) \cdot 10^{-4} \\&= 0,120 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y_{u1} &= \sum_1^6 A_n \cdot y_{un} / A_{c1} \\&= [8 \cdot 8/3 + 296 \cdot 8/2 + 92,5 \cdot (8 + 5/3) + 500 \cdot 50/2 \\&\quad + 100 \cdot (50 - 10 - 10/3) + 200 \cdot (50 - 10/2)] \cdot 10^{-6} / 0,120 \\&= 0,227 \text{ m}\end{aligned}$$

$$y_{o1} = h_1 - y_{u1} = 0,50 - 0,227 = 0,273 \text{ m}$$

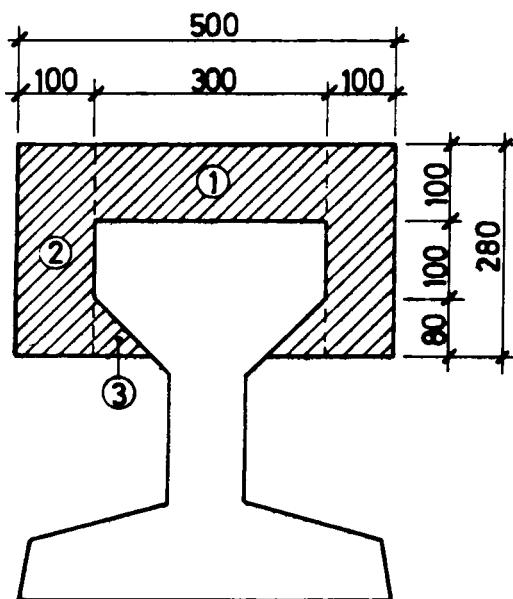
$$\begin{aligned}
 I_1 &= \sum_{n=1}^{6} A_n \cdot [r_n^2 + (y_{un} - y_{u1})^2] \\
 &= \{8 \cdot [8^2/18 + (22,7 - 8/3)^2] + 296 \cdot [8^2/12 + (22,7 - 8/2)^2] \\
 &\quad + 92,5 \cdot [5^2/18 + (22,7 - 8 - 5/3)^2] + 500 \cdot [50^2/12 + (50/2 - 22,7)^2] \\
 &\quad + 100 \cdot [10^2/18 + (27,3 - 10 - 10/3)^2] \\
 &\quad + 200 \cdot [10^2/12 + (27,3 - 10/2)^2]\} \cdot 10^{-8} \\
 &= 0,00352 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$W_{u1} = I_1/y_{u1} = 0,00352/0,227 = 0,0155 \text{ m}^3$$

$$W_{o1} = I_1/y_{o1} = 0,00352/0,273 = 0,0129 \text{ m}^3$$

Armeringen medregnes ikke ved beregning av tverrsnittskonstantene.

B2 Påstøp alene



Virksom påstøp regnes ned til $d_2/2$ målt fra ok påstøp

$$d_2 \approx 0,50 + 0,10 - 0,04 = 0,56 \text{ m}, \quad d_2/2 = 0,56/2 = 0,28 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 A_{c3}^o &= \sum_{n=1}^3 A_n^o \\
 &= (30 \cdot 10 + 10 \cdot 28 \cdot 2 + 8 \cdot 8 \cdot 2/2) \cdot 10^{-4} \\
 &= (300 + 560 + 64) \cdot 10^{-4} = 0,0924 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$y_{o3} = \sum_{n=1}^3 A_n^o \cdot y_{on} / A_{c3}^o$$

$$y_{o_3} = [300 \cdot 10/2 + 560 \cdot 28/2 + 64 \cdot (28 - 8/3)] \cdot 10^{-6} / 0,0924 \\ = 0,119 \text{ m}$$

$$I_3^o = \sum_1^n A_n \cdot [r_n^2 + (y_{on} - y_{o_3})^2] \\ = \{300 \cdot [10^2/12 + (11,9 - 10/2)^2] + 560 \cdot [28^2/12 + (11,9 - 28/2)^2] \\ + 64 \cdot [8^2/18 + (28 - 8/3 - 11,9)^2]\} \cdot 10^{-8} \\ = 0,00068 \text{ m}^4$$

$$\text{Bjelke C55, } E_c = 5000 \sqrt{55} = 37.081 \text{ MPa}^*)$$

$$\text{Påstøp C35, } E_c = 5000 \sqrt{35} = 29.580 \text{ MPa}^*)$$

$$n_c = 29.580 / 37.081 = 0,80$$

$$A_{c_3} = n_c \cdot A_{c_3}^o \\ = 0,8 \cdot 0,0924 = 0,074 \text{ m}^2$$

$$I_3 = n \cdot I_3^o \\ = 0,8 \cdot 0,00068 = 0,00054 \text{ m}^4$$

B3 Bjelke i samvirke med påstøp

$$A_{c_2} = A_{c_1} + A_{c_3} \\ = 0,120 + 0,074 = 0,194 \text{ m}^2$$

$$y_{o_2} = [A_{c_1} \cdot (y_{o_1} + h_p) + A_{c_3} \cdot y_{o_3}] / A_{c_2} \\ = [0,120 \cdot (0,273 + 0,1) + 0,074 \cdot 0,119] / 0,194 \\ = 0,276 \text{ m}$$

$$y_{u_2} = 0,60 - 0,276 = 0,324 \text{ m}$$

$$I_2 = I_1 + A_{c_1} \cdot (y_{o_1} + h_p - y_{o_2})^2 + I_3 + A_{c_3} \cdot (y_{o_2} - y_{o_3})^2 \\ = 0,00352 + 0,120 \cdot (0,273 + 0,10 - 0,276)^2 \\ + 0,074 \cdot (0,276 - 0,119)^2 \\ = 0,00701 \text{ m}^4$$

* Elastisitetsmodulen kan avrundes til nærmeste hundre MPa.

BILAG C

BESTEMMELSE AV z OG M_d

C1 Positivt moment

$$\epsilon_c = 3,5 \text{ o/oo}$$

$$\epsilon_s = f_{0,2}/E_s + 2 \text{ o/oo} - \epsilon_{sp}, \quad \epsilon_{sp} \approx 0,7 \cdot 0,85 \cdot f_{0,2}/E_s$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 1700/2,1 \cdot 10^5 + 2,0 - 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1700/2,1 \cdot 10^5 \\ &= 8,1 + 2,0 - 4,8 = 5,3 \text{ o/oo} \end{aligned}$$

$$\alpha = \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s)$$

$$= 3,5 / (3,5 + 5,3) = 0,40$$

$$80\% \text{ av trykksonehøyden } 0,8 \cdot \alpha \cdot d_2 = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,56 = 0,18 \text{ m}$$

$$A_x = 0,18 \cdot 0,5 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$z_d = 0,56 - 0,18/2 = 0,47 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{d,c} &= A_x \cdot f_{c_2} \cdot z_d \\ &= 0,09 \cdot 16 \cdot 0,47 \cdot 10^3 = 677 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Med $M_\gamma = 500 \text{ kNm}$ blir

$$\begin{aligned} z_2 &= d_2 - y_x \cdot M_\gamma / M_d \\ &= 0,56 - 0,09 \cdot 500 / 677 = 0,49 \text{ m} \end{aligned}$$

For bjelken alene før påstøp blir 80% av trykksonehøyden

$$0,8 \cdot \alpha \cdot d_1 = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,46 = 0,15 \text{ m}$$

dvs. trykksonen har trapesflate

$$A_x = 0,3 \cdot 0,10 + \frac{0,2 + 0,3}{2} \cdot 0,05 = 0,043 \text{ m}^2$$

$$z_d \approx 0,46 - 0,15/2 = 0,385 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{d,c} &= A_x \cdot f_{c_1} \cdot z_d \\ &= 0,043 \cdot 22,4 \cdot 0,385 \cdot 10^3 \\ &\approx 371 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beregning av z_1

$$z_1 = 0,46 - 0,075 \cdot \frac{144}{371} = 0,43 \text{ m}$$

C2 Negativt moment

Som i pkt. C1 blir uten påstøp 80% av trykksonehøyden 0,15 m

$$\begin{aligned}A_x &= A_1 + A_2 + A_3 + \Delta A_4 \\&= (8 + 296 + 92,5 + 150) \cdot 10^{-4} = 0,0547 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{dc} &= [8 \cdot (46 - 8/3) + 296 \cdot (46 - 8/2) + 92,5 \cdot (46 - 8 - 5/3) \\&\quad + 150 \cdot (46 - 15/2)] \cdot 10^{-3} \cdot 22,4 = 491 \text{ kNm}\end{aligned}$$

I tillegg kommer uk-armeringens bidrag som trykkarmering:

$$\begin{aligned}M_{ds} &= A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot (h - y_{os} - y_{us}) \\&= 837 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5}{1,25} \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,42 \cdot 10^{-3} = 159 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_{du} = 491 + 159 = 650 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}A_x \cdot f_{c1} + A_{s1} \cdot \sigma_{s1} &= 0,0546 \cdot 22,4 \cdot 10^3 \\&\quad + 837 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,7 \cdot 10^3 / 1,25 = 1603 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$z_d = 650 / 1603 = 0,406 \text{ m}$$

Ofte er det tilstrekkelig å regne trykksonen begrenset til selve undergurten. Dette gir noe større momentarm enn ovenfor.

BILAG D

BESTEMMELSE AV z_r

D1 Bjelken alene

Statisk moment om strekkarmeringen, A_1 , A_2 og A_3 ignoreres, kfr. pkt. A1 i Bilag A, $\Delta A_4 = 0,1 \cdot 0,46 \text{ m}^2 = 0,046 \text{ m}^2$

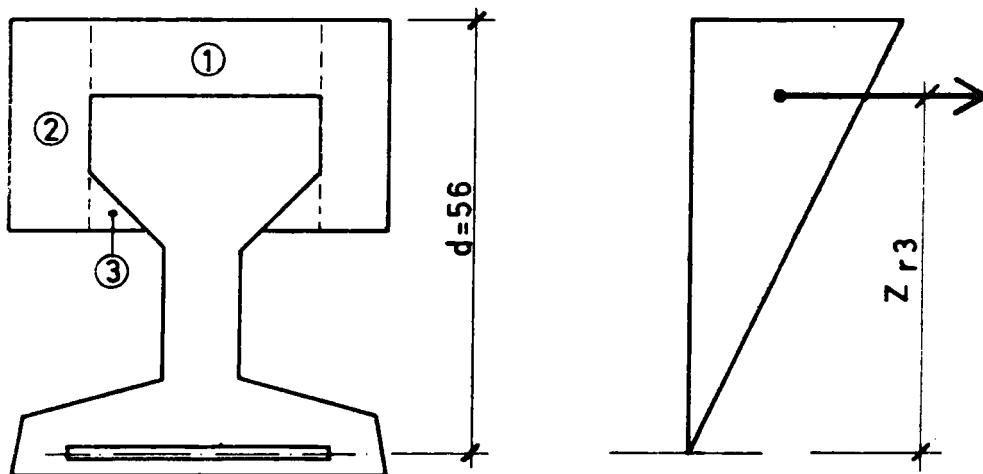
$$S_1 = [460 \cdot 46/2 + 100 \cdot (46 - 10 - 10/3) + 200 \cdot (46 - 10/2)] \cdot 10^{-6}$$
$$= 0,02205 \text{ m}^3$$

Trehetsmoment om strekkarmeringens tyngdepunkt

$$I_{z_1} = \{460 \cdot [46^2/12 + (46/2)^2] + 100 \cdot [10^2/18 + (46 - 10 - 10/3)^2] + 200 \cdot [10^2/12 + (46 - 10/2)^2]\} \cdot 10^{-8}$$
$$= 0,00770 \text{ m}^4$$

$$z_{r_1} = I_{z_1} / S_{z_1}$$
$$= 0,00770 / 0,02205 = 0,349 \text{ m}$$

D2 Påstøp alene



Fra pkt. B2 i Bilag B

$$A_1^O = 300 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2^O = 560 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_3^O = 64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Statisk moment om strekkarmeringens tyngdepunkt

$$S_{z_3}^{\circ} = [300 \cdot (56 - 10/2) + 560 \cdot (56 - 28/2) + 64 \cdot (56 - 28 + 8/3)] \cdot 10^{-6}$$
$$= 0,04078 \text{ m}^3$$

Treghetsmoment om strekkarmeringens tyngdepunkt

$$I_{z_3}^{\circ} = \{300 \cdot [10^2/12 + (56 - 10/2)^2] + 560 \cdot [28^2/12 + (56 + 28/2)^2]$$
$$+ 64 \cdot [8^2/18 + (56 - 28 + 8/3)^2]\} \cdot 10^{-8}$$
$$= 0,01868 \text{ m}^4$$

D3 Bjelke i samvirke med påstøp

$$z_{r_2} = (I_{z_1} + I_{z_3}) / (S_{z_1} + S_{z_3})$$
$$= (I_{z_1} + n_c \cdot I_{z_3}^{\circ}) / (S_{z_1} + n_c \cdot S_{z_3}^{\circ})$$
$$= (0,00770 + 0,8 \cdot 0,01868) / (0,02205 + 0,8 \cdot 0,04078)$$
$$= 0,414 \text{ m}$$

BILAG E

TILLEGGSKREFTER I SAMVIRKETVERRSNITT VED BEREGNING AV c_{sr}

$$e_{u_1} = y_{u_1} - y_{us}$$
$$= 0,227 - 0,04 = 0,187 \text{ m}$$

$$e_{o_1} = y_{o_1} - y_{os}$$
$$= 0,273 - 0,04 = 0,233 \text{ m}$$

$$a = h_1 + h_p - y_{o_3} - y_{u_1}$$
$$= 0,5 + 0,1 - 0,119 - 0,227 = 0,254 \text{ m}$$

$$\Delta N = (P_{u_2} + P_{o_2}) \cdot A_{c_3} / A_{c_1} + (M_1 - P_{u_2} \cdot e_{u_1} + P_{o_2} \cdot e_{o_1}) \cdot a \cdot A_{c_3} / I_1$$

$$M_1 = M_{g_1} + M_{g_2} = 54 + 76 = 130 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = (846 + 240) \cdot 0,074 / 0,120$$
$$+ (130 - 846 \cdot 0,187 + 240 \cdot 0,233) \cdot 0,254 \cdot 0,074 / 0,00352$$
$$= 670 + 148 = 818 \text{ kN}$$

$$\Delta M = (M_1 - P_{u_2} \cdot e_{u_1} + P_{o_2} \cdot e_{o_1}) \cdot I_3 / I_1$$
$$= (130 - 846 \cdot 0,187 + 240 \cdot 0,233) \cdot 0,00054 / 0,00352$$
$$= 4 \text{ kNm.}$$

NB norsk
betongforening er en forening tilknyttet  **Tekna**
Postboks 2312 Solli, 0201 Oslo • Telefon: 22 94 75 00