

MEMO 525	Dato: 21.10.2013	Sign.: sss
BSF – BEREGNING AV ARMERING, GERBERSKJØT BJELKE-BJELKE	Siste rev.: 14.02.2020	Sign.: sss
DIMENSJONERING	Dok. nr.: K4-10/525	Kontr.: ps

BSF – BEREGNING AV ARMERING, GERBERSKJØT BJELKE-BJELKE

INNHold

.....	1
DEL 1 GUNNLEGGENDE FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER	4
1.1 GENERELT	4
1.2 STANDARDER	4
1.3 KVALITETER	5
1.4 DIMENSJONER OG TVERRSNITTSVERDIER	5
1.5 LAST	7
1.6 TOLERANSER	8
DEL 2 DIMENSJONERINGSPRINSIPPER – ARMERING AV BSF BJELKEKASSE	9
2.1 BJELKEKASSE – LIKEVEKT	9
2.2 BJELKEKASSE - VERTIKAL FORANKRINGSARMERING	9
2.3 BJELKEKASSE - HORIZONTALFORANKRING	12
2.4 VURDERING AV ARMERINGSFØRING I ENDEN AV BJELKEN	13
2.4.1 FAGVERKSMODELLE	13
2.4.2 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT	15
2.4.3 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE	17
2.4.4 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE	17
2.4.5 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE	17
DEL 3 BSF 225	18
3.1 BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING	18
3.2 BJELKEKASSE – HORIZONTALFORANKRING	20
3.3 EKSEMPEL - ARMERING AV BJELKEENDE	20

3.3.1	OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT	21
3.3.2	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	22
3.3.3	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	22
3.3.4	HORISONTALARMERING I BJELKEENDE	22
DEL 4	- BSF 300	24
4.1	BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING	24
4.2	BJELKEKASSE – HORISONTALFORANKRING	26
4.3	EKSEMPEL - ARMERING AV BJELKEENDE.....	26
4.3.1	OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT	27
4.3.2	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	28
4.3.3	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	28
4.3.4	HORISONTALARMERING I BJELKEENDE	28
DEL 5	BSF 450	29
5.1	BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING	29
5.2	BJELKEKASSE - HORISONTALFORANKRING	31
5.3	EKSEMPEL – ARMERINGSBEREGNINGER I BJELKEENDE	32
5.3.1	OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT	32
5.3.2	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	34
5.3.3	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	34
5.3.4	HORISONTALARMERING I BJELKEENDE	34
DEL 6	BSF 700	35
6.1	BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING	35
6.2	BJELKEKASSE - HORISONTALFORANKRING	37
6.3	EKSEMPEL – ARMERINGSBEREGNINGER I BJELKEENDE	37
6.3.1	OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT	38
6.3.2	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	39
6.3.3	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	39
6.3.4	HORISONTALARMERING I BJELKEENDE	39
DEL 7	BSF 1100	41
7.1	BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING	41
7.2	BJELKEKASSE - HORISONTALFORANKRING	43
7.3	EKSEMPEL – ARMERINGSBEREGNINGER I BJELKEENDE	43
7.3.1	OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT	44
7.3.2	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	45

7.3.3	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	45
7.3.4	HORISONTALARMERING I BJELKEENDE.....	46

DEL 1 GUNNLEGGENDE FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER

1.1 GENERELT

Dette memoet tar for seg BSF brukt til bjelke-bjelke skjøt på lange bjelkestrekk (gerberskjøting). Armering av bjelkeenden med enkel BSF-kniv er gitt i memo 521, så kun armering av bjelkeende med enkel BSF bjelkekasse behandles her. Siden bjelkegeometri, betongkvalitet og lastpåføring vil variere fra tilfelle til tilfelle kan det være aspekter ved lastoverføringen som ikke er dekket i dette memoet.

De følgende beregninger av forankring av enheten og den dertil hørende armering er å betrakte som et eksempel som illustrerer dimensjoneringsmodellen.

Informasjonen som finnes her forutsetter at dimensjoneringen av elementene og bruken av enhetene i konstruktive elementer gjennomføres under overoppsyn av en konstruktør med kunnskap om virkemåten til betongkonstruksjoner og kjennskap til relevante standarder.

1.2 STANDARDER

Beregningene er utført i henhold til:

- Eurocode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- Eurocode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- Eurocode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-8: Knutepunkt og forbindelser.

Følgende verdier er benyttet for de nasjonalt bestemte parametrene (NDP-er):

Parameter	γ_c	γ_s	α_{cc}	α_{ct}
Verdi	1,5	1,15	0,85	0,85

Tabell 1: NDP-er i EC2.

Parameter	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
Verdi	1,1	1,1	1,25

Tabell 2: NDP-er i EC3. (Merk: Det er brukt mer konservative verdier enn hva norsk nasjonalt tillegg til EC3 tilsier)

1.3 KVALITETER

Betong B35/45: $f_{ck} = 35,0$ MPa

EC2, Tabell 3.1

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times 35 / 1,5 = 19,8 \text{ MPa}$$

EC2, Pkt. 3.15

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \times f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \times 2,2 / 1,5 = 1,24 \text{ MPa}$$

EC2, Pkt. 3.16

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,24 = 2,79 \text{ MPa}$$

EC2, Pkt. 8.4.2

(NB: for enkelhets skyld er gode heftbetingelser er antatt ved beregning av heftspenning. Dette er ikke nødvendigvis alltid rett, og forholdene må vurderes i hvert tilfelle. EC2 indikerer dårlige heftforhold ved forankring i toppen av bjelken)

Armering 500C (EN 1992-1-1, App. C): $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435$ MPa EC2, Pkt 3.2.

Merk: Armering av annen stål kvalitet kan benyttes dersom beregningen tar høyde for faktisk flytespenning ($f_y \leq 500$ MPa). Samtidig må materialets bøybarhet være tilstrekkelig til at armeringen kan tilpasses rundt halvrundstålet.

Stål Sxxx (EN 10025-2):

Stål S355: Strekk: $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 355 / 1,1 = 322$ MPa

Trykk: $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 355 / 1,1 = 322$ MPa

Skjær: $f_{sd} = f_y / (\gamma_{M0} \times \sqrt{3}) = 355 / (1,1 \times \sqrt{3}) = 186$ MPa

$$\text{Sveis S355: } f_{w,d} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \sqrt{3}} \times \frac{1}{\beta_w} = \frac{510}{1,25 \times \sqrt{3}} \times \frac{1}{0,9} = 262 \text{ MPa}$$

Gjengestenger/mutter:

$$\text{Stålkvalitet 8.8: } f_{yd} = 0,9 \times f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \times 800 / 1,25 = 576 \text{ MPa}$$

1.4 DIMENSJONER OG TVERRSNITTSVERDIER

ENHET	HALVRUNDSTÅL			HORIZONTAL FORANKRING ¹⁾	INNVEDIGE ÅPNING I UTSPARINGSKASSE (BREDE×HØYDE×DYBDE)
	D [mm]	L [mm]	Stålkv.		
BSF225- BJELKEKASSE	Ø76	100	S355	2×M12, 8.8+ mutter, L=650mm & st.pl.50×50×8, S355	35mm×215mm×80mm
BSF300- BJELKEKASSE	Ø76	100	S355	2×M12, 8.8+ mutter, L=650mm & st.pl.50×50×8, S355	35mm×255mm×80mm
BSF450- BJELKEKASSE	Ø76	100	S355	1×M20, 8.8+ mutter, L=750mm & st.pl.90×90×12, S355	50mm×270mm×92,5mm
BSF700- BJELKEKASSE	Ø175	140	S355	2×M20, 8.8+ mutter, L=750mm & st.pl.160×90×12, S355	60mm×310mm×105mm
BSF1100- BJELKEKASSE	Ø175	200	S355	2×M24, 8.8+ nut, L=1000mm & st.pl.110×110×15, S355	80mm×390mm×140mm

Tabell 3: Dimensjoner – BSF bjelkekasse. ¹⁾ Se også Tabell 4. **OBS: Forankringsplaten som brukes på BSF700 er designet kun for kraften på 210kN, ikke strekk kapasiteten for 2 stk M20 gjengestenger.**

NOMINELL DIAMETER	M12		M16		M20		M24	
Ekvivalent diameter: \varnothing_{eq} [mm]	10,4		14,1		17,7		21,2	
Spenningsareal: A_s [mm ²]	84		157		245		353	
Strekkapasitet (8.8): $F_{cap} = f_{yd} \times A_s$ [kN]	48		90		141		203	
Nøkkelvidde: NV [mm]	19		24		30		36	
Nødv. dim. av rektangulær st.pl. til forankring av F_{cap} : ¹ $b_{req} \geq [F_{cap}/f_{cd} + \varnothing \times \varnothing_{nom}^2/4]^{0.5}$ [mm] Valgt b×b	≈50,4 Valgt 50×50		69 Valgt 70×70		86 Valgt 90×90		103 Valgt 110×110	
Netto trykkareal til forankring: $A_{net} = A_{steel\ plate} - \pi \times \varnothing_{nom}^2/4$ [mm ²]	2387		4699		7786		11648	
Betongspenning: $\sigma_c = F_{cap}/A_{net}$ [MPa]	20,1		19,1		18,1		17,4	
Nødvendig tykkelse av stålplate, S355: ¹ $a = (2^{0.5} \times b - NV)/2 \rightarrow t_1 \geq a \times (\sigma_c/f_{yd})^{0.5}$ [mm] $c = b/2 - NV/2 \rightarrow t_2 \geq 3^{0.5} \times c \times (\sigma_c/f_{yd})^{0.5}$ [mm] $t > [t_1, t_2]$	a=25,9 c=15,5	t ₁ =6,5 t ₂ =6,7	a=37,5 c=23	a=60 c=37	t ₁ =13,9 t ₂ =14,9	t ₁ =11,5 t ₂ =12,3	a=60 c=37	t ₁ =13,9 t ₂ =14,9
	Valgt t=8mm		Valgt t=10mm		Valgt t=12mm		Valgt t=15mm	
Standard høyde på mutter: (H) [mm]	10,0		13,0		16,0		21,5	
Inngrepslengde i blindhull:	S355		18mm		24mm		30mm	
							36mm	

Tabell 4: Dimensjoner – gjengestenger og stålplater.

¹ En illustrasjon og bakgrunn for formlene fins i memo "BSF - Dokumentasjon av stålenheter". De valgte/opplistede dimensjonene er basert på betongkvaliteter og parameter som gitt i avsnittene 1.2 og 1.3. OBS: Forankringsplaten som brukes på BSF700 er designet kun for kraften på 210kN, ikke strekk kapasiteten for 2 stk M20 gjengestenger.

1.5 LAST

Bruddgrenselast vertikalt: F_v = se Tabell 5.

Bruddgrenselast horisontalt – i lengderetning: $F_H=0$ kN (se merknader under)

Bruddgrenselast horisontalt – på tvers: $F_T=0$ kN

*Merknader:

- BSF - enhetenes bruksområde er bæring av vertikallast.
- Betydelige horisontalkrefter på enheten kan oppstå dersom påførte deformasjoner (pga. svinn, temperaturvariasjoner etc.) i betongelementet fastholdes. Når opptredende horisontalkraft overstiger friksjonen vil kniven gli og kraften reduseres. Statisk friksjonsfaktor for stål mot stål er antatt i området (0,2-0,5). Maksimal friksjonskraft pga gradvis økende påførte deformasjoner vil være forbundet med vertikallast i bruksgrense. Enhetens ståldeler og forankring av disse i betongelementet er dimensjonert for den følgende ugunstige lastkombinasjonen:

$$\text{Vertikalkraft } 1,0F_v + \text{Horisontalkraft } 0,3F_v$$

- I noen tilfeller vil overføring av statisk global horisontalkraft via enheten være ønskelig. Størrelsen på mulig kraftoverføring vil begrenses av minimum friksjonsfaktor og samtidig minimum opptredende vertikallast. Dette gir usikkerhet i kapasitet, og det er anbefalt og heller alltid overføre horisontalkraft med passende armering gjennom skjøten. I tilfelle horisontalkraften er dynamisk er kapasitet for overføring av slik kraft alltid lik null. Det skal aldri antas at dynamiske krefter kan overføres på friksjon.
- Horisontalforankring av bjelkekassen forutsetter minimum betongkvalitet B35 i bjelke.

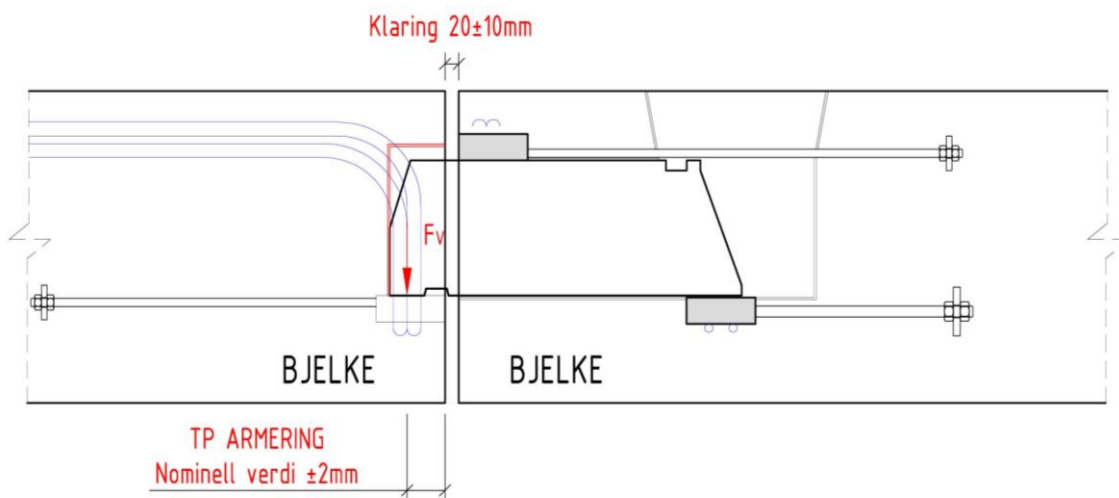
ENHET	VERTIKAL BRUDDLAST F_v [kN]	LASTER	
		BJELKEENDE MED BJELKEKASSE	
		VERT. $1,0F_v$ [kN]	HOR. $0,3F_v$ [kN]
BSF225	225	225	67,5
BSF300	300	300	90
BSF450	450	450	135
BSF700	700	700	210
BSF1100	1100	1100	330

Tabell 5: Dimensjonerende laster.

1.6 TOLERANSER

Nominell klaring mellom bjelke og bjelke er 20mm med en toleranse på ± 10 mm. Toleransen håndteres med utkragingen av kniven fra bjelken. Dersom klaringen er 30mm, skives kniven 10mm lenger ut og vice versa dersom klaringen bare er 10mm. Dette sikrer at lastpunktet inne i bjelkekassen alltid blir det samme. Kniven skal alltid skyves ut slik at den bunner i bjelkekassens bakplate.

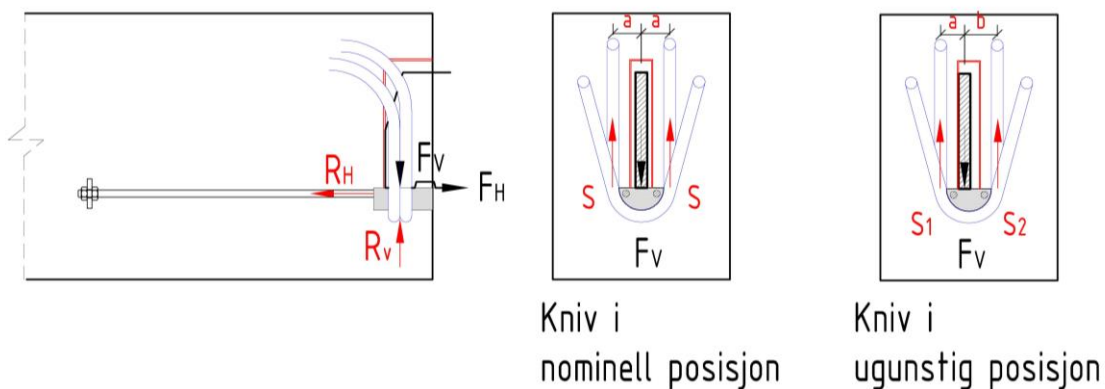
Toleranser på plassering av forankringsarmering til bjelkekassen er ± 2 mm. (TP = tyngdepunkt)



Figur 1: Toleranser.

DEL 2 DIMENSJONERINGSPRINSIPPER – ARMERING AV BSF BJELKEKASSE

2.1 BJELKEKASSE – LIKEVEKT



Kniv i
nominell posisjon

Kniv i
ugunstig posisjon

Figur 2: Likevekt.

Kraftgangen blir som følger:

Vertikalkraft:

Forankringsarmering for vertikalkraften skal plasseres ved lastpunktet. $\Rightarrow R_V = F_V$.

Beregner reaksjonskraften når kniven er plasseres eksentrisk i utsporingen:

$$S_1 = F_V \cdot \left[\frac{b}{a+b} \right]$$

$$S_2 = F_V \cdot \left[\frac{a}{a+b} \right]$$

Horisontalkraft:

Overføres til, og forankres i, gjengestenger gjenget i halvrundstålet $\Rightarrow R_H = F_H$. Momentet som oppstår pga. den lille vertikavstanden mellom underkant kniv og senter gjengestenger neglisjeres.

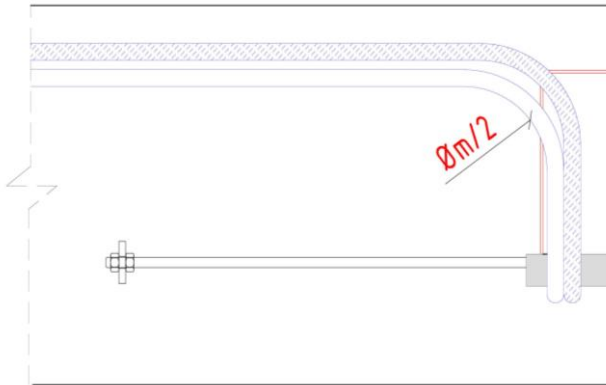
2.2 BJELKEKASSE - VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

1) Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering blir:

For å ta høyde for mulig eksentrisitet, og sikre at armeringsbøylen ikke overbelastes på den siden, benyttes S_1 som input i beregningene:

$$A_s = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{F_V}{f_{yd}} \cdot \left[\frac{b}{a+b} \right] \cdot 2$$

2) Minimum dordiameter - Bøying av forankringsarmering - EC2, pkt 6.5.4:



Figur 3: Bøying av armering.

Minimum dordiameter - bøying av forankringsarmering:

$$\varnothing_m = \frac{S_1 \times 2}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5}$$

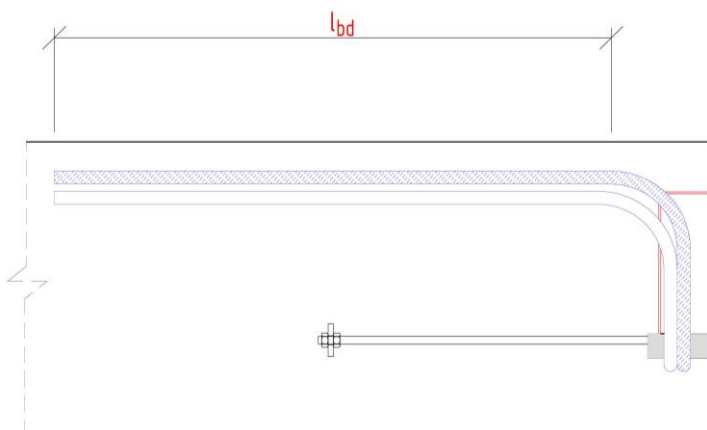
b_{eff} = effektiv bjelkebredde. Dersom trykkdiagonalen krysser enheten skal bredden av enheten trekkes fra. Man vil vanligvis kunne regne hele bjelkebredden effektiv.

\varnothing_m = Dordiameter ved bøying av armering.

θ = antar trykkdiagonaler i 45 grader $\Rightarrow \sin\theta \times \cos\theta = 0,5$, se også memo 521, del 2.

\Rightarrow Velg passende dordiameter. Minimum dordiameter skal være i overensstemmelse med kravene gitt i EN 1992-1-1, 8.3.

3) Forankring av armering - EC2, pkt 8.4.3 og 8.4.4:



Figur 4: Forankring av armering.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\varnothing}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Spenning i armeringsstang: $\sigma_{sd} = \frac{S_1 \times 2}{A_s}$

A_s = Totalt tverrsnittsareal på forankringsarmering.

$$l_{b,min} = \text{maks}(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100\text{mm})$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Neglisjerer eventuell positiv effekt av betongoverdekning, velger $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmering som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer effekt av skjærbøyer, velger $\alpha_3 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmering:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

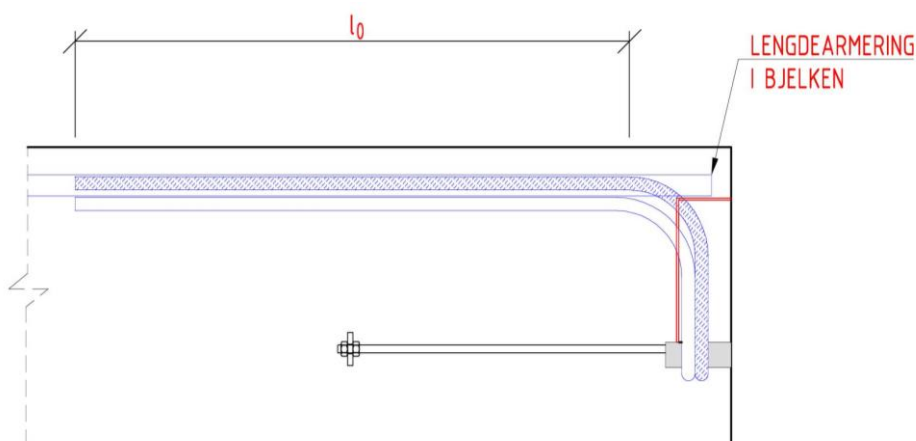
Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 > 0,7$$

4) Omfaringslengde - EC2, pkt 8.7.3:



Figur 5: Omfaringslengde.

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b,reqd} \geq l_{0,min}$$

Nødvendig omfaringslengde:

$l_{b,reqd}$ = som beregnet i pkt. 3.

$l_{0,min}$ = maks($0,3 \times \alpha_6 \times l_{b,reqd}$; $15 \times \emptyset$; 200mm)

Tabell 8.2: α_1 , α_2 , α_3 and $\alpha_5=1,0$ som beregnet i pkt. 3.

Tabell 8.3: $\alpha_6=1.5$ (All armering skjøtes)

$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times l_{b,reqd}$

5) Forankring av hovedarmering:

Det må kontrolleres at bjelkens hovedarmering er tilstrekkelig forankret til å bære lasten ved enden av bøyene.

2.3 BJELKEKASSE - HORISONTALFORANKRING

Bjelkekassen forankres for en horisontalkraft på $F_H=0,3F_V$. Kniven vil kun være i kontakt med halvrundstålet. Her overføres horisontalkraften ved friksjon mellom kniv og halvrundstål. Halvrundstålet forankres med gjengestenger skrudd inn i oppgjengede hull.

Nødvendig dimensjon på gjengestenger, stålplater og gjengelengder i halvrundstål finnes fra Tabell 4

2.4 VURDERING AV ARMERINGSFØRING I ENDEN AV BJELKEN

2.4.1 FAGVERKSMODELL

Bjelkekassen plasseres normalt høyt oppe i bjelkens tverrsnitt. Tøyninger fører til at en andel av kraften kan spre seg ned under halvrundstålet. Dette er illustrert i Figur 6.

Horisontalkomponenten i trykkdiagonalene:

Denne må forankres med horisontalarmering innover fra bjelkeenden. For å finne armeringsbehovet kan det ved dimensjoneringen antas at denne horisontalkraften opptrer jevnt fordelt vertikalt. Dette gir en horisontalkraftintensitet mot enden av bjelken.

Dersom $z=2b$, blir den jevnt fordelte kraften lik:

$$1/2 \times F_v / (z/2) = F_v / z$$

Dersom $z=3b$, blir den jevnt fordelte kraften lik:

$$1/3 \times F_v / (z/3). \text{ Dette tilsvarer: } F_v / z$$

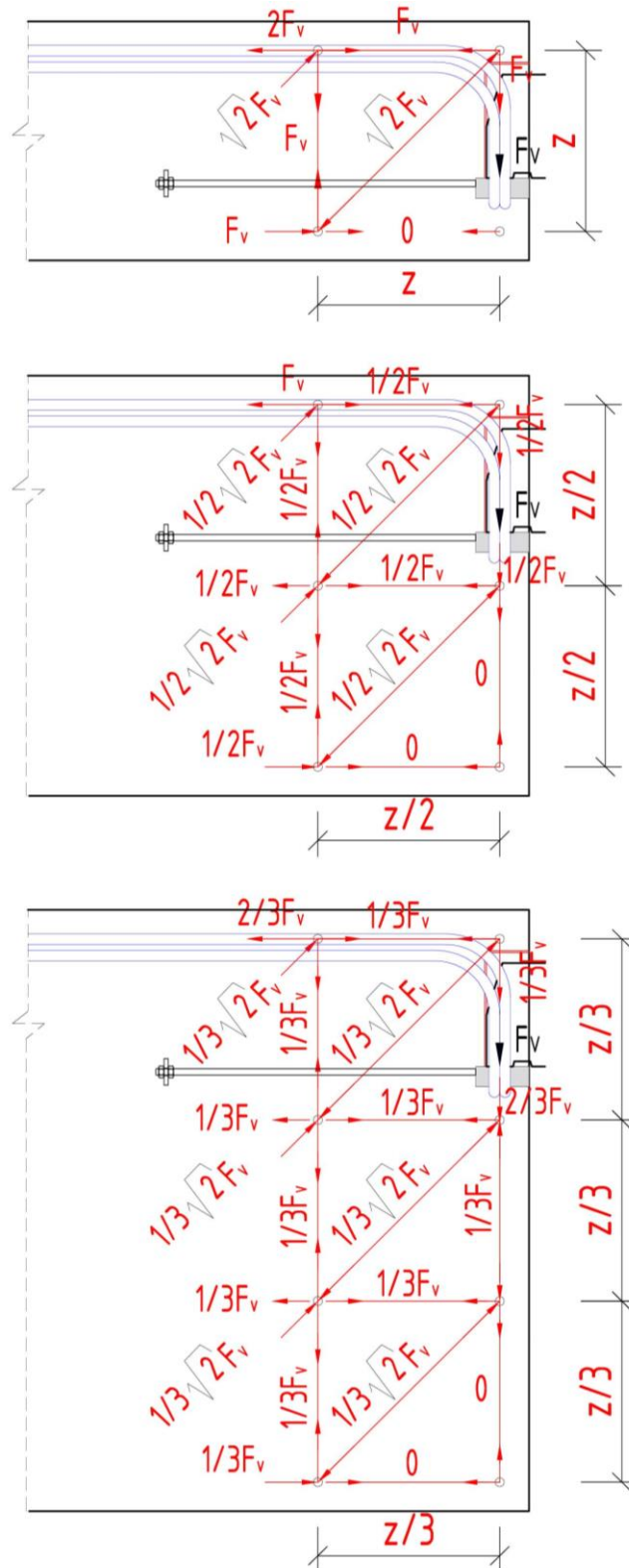
Beregningen over viser at horisontalkraftintensiteten mot enden av bjelken alltid blir: F_v / z . Intensiteten er altså avhengig av bjelkehøyden. Det er viktig at de horisontale bøyene er tilstrekkelig forankret innover bjelken. Bøyene for å forankre horisontalkraften bør være smale og plasseres oppunder av enheten.

Vertikalkomponent i trykkdiagonalene:

Vertikalkomponenten i trykkdiagonalene vil samlet aldri bli større enn F_v . Denne kraftkomponenten er ivaretatt også for høyere bjelker dersom skjærarmingen dimensjoneres for en skjærkraft lik F_v helt frem til bjelkeenden.

Spaltestrekk i tverretning:

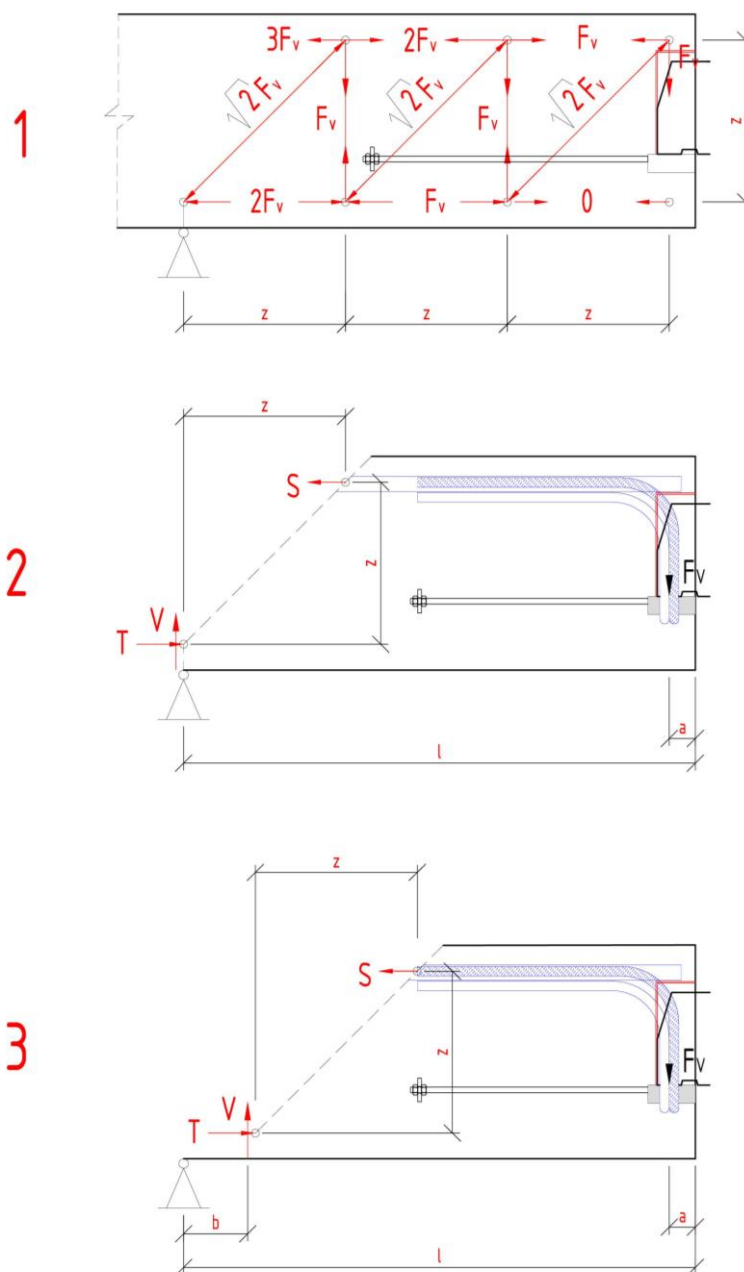
Pga. halvrundstålets form anbefales alltid å legge noe spaltestrekkarmoring under enheten. Denne kan dimensjoneres ihht EC2 pkt. 6.5.3. Bøyene for spaltestrekk bør være brede og kan fordeles over høyden etter anbefalinger i EC2.



Figur 6: Fagverksmodell i bjelkeenden. (Figuren bør skrives ut i farger)

2.4.2 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT

Som Figur 7, illustrasjon nr. 1, viser vil strekkraft i overgurt av fagverket ligge «en foran» trykkraften i undergurt. Tilstrekkelig forankring av overkantarmering kan konservativt påvises i en avstand z fra opplegget. (Dette tilsvarer en forskyvning av momentdiagrammet en avstand z , se for øvrig EC2, pkt 9.2.1.3 og pkt 6.5.3.(7) dersom mer nøyaktig beregning ønskes)



Figur 7: Fagverksmodell utkraget bjelkeenden. (Figuren bør skrives ut i farger)

Strekkraft i armeringen i avstand z fra opplegg blir den samme som ved opplegg. (NB: krefter fra eventuelt andre laster skal selvsagt også regnes med og kommer i tillegg):

$$S = \frac{F_v \times (l - a)}{z}$$

Overslag, nødvendig overkantarmering:

$$A_s = S/f_{sd}$$

Fullforankringslengde til valgt overkantarmering:

$$l_n = \frac{\pi \times \varnothing^2 / 4 \times 435 \text{ MPa} \times n}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}}$$

\varnothing = diameter

\varnothing_n =diameter. Ved bunting: ekvivalent diameter

n=antall jern

f_{bd} = heftspenning

Kontroll 1: Forankring ved opplegg:

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = A_{s, valgt} \times (l - \text{overdekning}) / l_n$$

$A_{s, valgt}$ = Totalt tverrsnittsareal på valgt overkantarmering

l_n =beregnet fullforankringslengde til overkantarmering

Kontroller: $A_{eqv} > A_s$

(Eventuelt forankret «forankringsarmering» kan også regnes med)

Kontroll 2: Forankring i avstand z fra opplegg:

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = A_{s, valgt} \times (l - z - \text{overdekning}) / l_n$$

$A_{s, valgt}$ = Totalt tverrsnittsareal på valgt overkantarmering

l_n =beregnet fullforankringslengde til overkantarmering

Kontroller: $A_{eqv} > A_s$

(Strekraft som skal forankres er den samme over opplegg som i avstand z fra opplegg. Eventuelt forankret «forankringsarmering» kan også regnes med i A_{eqv})

Kontroll 3: Forankring i punktet hvor forankringsbøyler stopper:

Aktuelt dersom forankringsarmering avsluttes før avstand z fra opplegget, og også dersom forankringsarmeringen er regnet med i A_{eqv} i kontrollene 1 og 2. Kontrollen utføres på samme måte som kontroll 1&2. Strekkraft i armering beregnes da for en situasjon som vist i illustrasjon 3 i Figur 6.

$$S = \frac{F_v \times (l - a - b)}{z}$$

Kontroll 4: Heft/kraftinnføring i overkantarmering:

Selv om kontrollene 1-3 er ok må også påvises at det er tilstrekkelig heft mot hovedarmeringen til å overføre den strekkøkningen som følger av momentøkningen innover mot opplegget. Dette kan i mange tilfeller være et problem ved store punktlaster.

Kraftøkning i armering pr/mm: $\Delta S(x)/dx = (\Delta M(x)/dx)/z = V(x)/z$

Kapasitet for kraftinnføring ved heft pr/mm: $\Delta S_{heft}/dx = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times n$

Kontroller: $\Delta S_{heft}(x)/dx > \Delta S(x)/dx$

2.4.3 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Skjærkraften i bjelkeenden vil tilsvare kraften F_v

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} = \frac{F_v}{z \times f_{yd}}$$

2.4.4 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times u_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$b_w = b_{bjelke}$$

2.4.5 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

Smale bøyer for horisontalkraft i henhold til fagverksmodell:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{F_v}{z \times f_{yd}}$$

Et areal tilsvarende $A_s/s \times H$ skal legges inn. (Begge ben på bøyle kan regnes med i arealet)

Brede bøyer for spaltestrekk, EC2, pkt. 6.5.3:

Dersom $b < H/2$:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \frac{b-a}{b} \times F_v \times \frac{1}{f_{yd}}$$

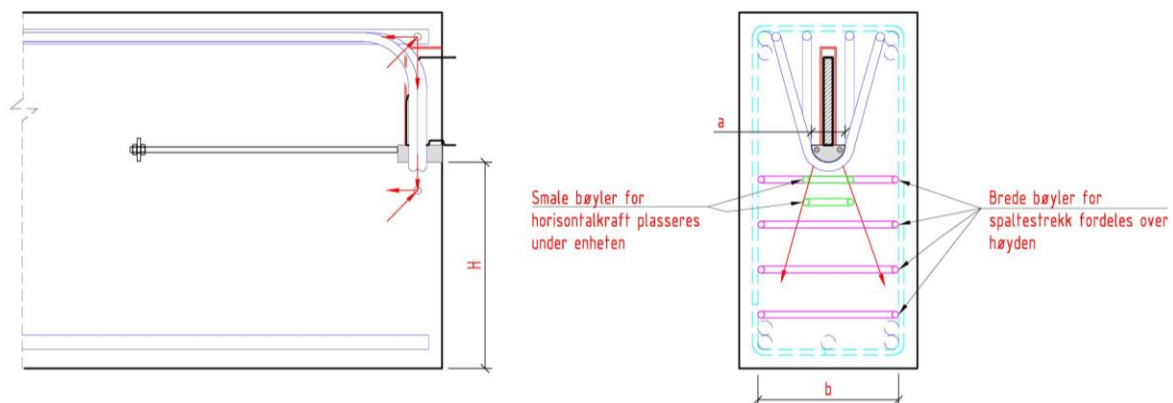
Dersom $b > H/2$:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \left(1 - 0,7 \frac{a}{H/2}\right) \times F_v \times \frac{1}{f_{yd}}$$

⇒ Konservativ forenkling:

$$A_s = \frac{1}{4} \times F_v \times \frac{1}{f_{yd}}$$

(Kun ett snitt pr bøyle kan regnes med i arealet)

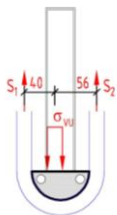


Figur 8: Illustrasjon bøyer i bjelkeenden.

DEL 3 BSF 225

3.1 BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heffforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))



Figur 9: Bjelkekasse.

1) Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering blir:

$$S_1 = F_V \cdot \left[\frac{b}{a+b} \right] = 225 \text{ kN} \cdot \left[\frac{56}{40+56} \right] = 131 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{131 \text{ kN}}{435 \text{ MPa}} \cdot 2 = 603 \text{ mm}^2$$

$$2\text{Ø}16\text{Bøylor} = 201 \text{ mm}^2 \times 4 = 804 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 804 \text{ mm}^2 \times 435 \text{ MPa} = 349 \text{ kN}$$

2) Minimum dordiameter - Bøying av forankringsarmering - EC2, pkt 6.5.4:

$$\varnothing_{mf, \min} = \frac{S_1 \times 2}{b_{\text{eff}} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{131000 \times 2}{300 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8 \times 0,5} = 171 \text{ mm}$$

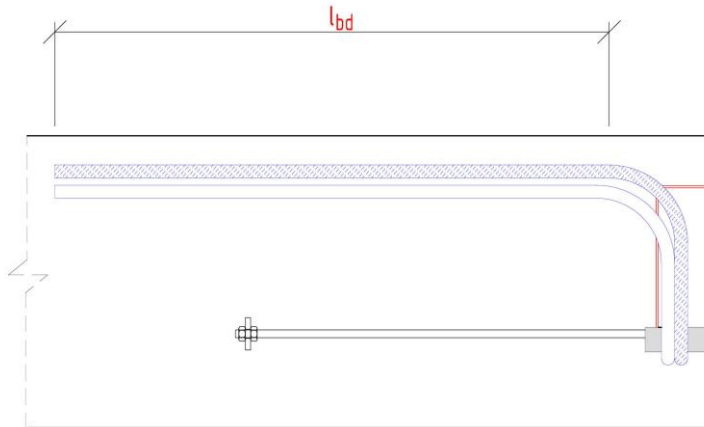
b_{eff} = effektiv bjelkebredde. Antar: $b_{\text{eff}} = b_{\text{bjelke}} = 300 \text{ mm}$

\varnothing_{mf} = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se del 2.

⇒ Velger: $\varnothing = 200 \text{ mm}$

3) Forankring av armering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



Figur 10: Forankring av armering.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Spenning i armering: $\sigma_{sd} = \frac{131kN \times 2}{804mm^2} = 326MPa$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{326}{2,79} = 467mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 160mm$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Neglisjerer eventuell positiv effekt av betongoverdekning, velger $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmering som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer effekt av skjærbøyer, velger $\alpha_3 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmering:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

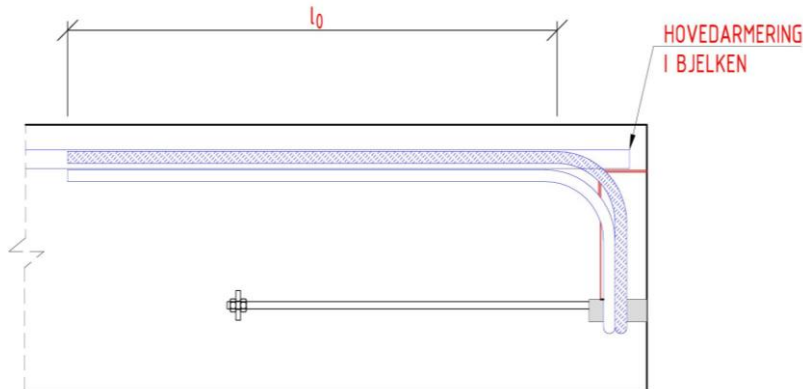
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7 - \text{OK}$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 467mm = 467mm$$

4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



Figur 11: Omfaringslengde.

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, \text{reqd}} \geq l_{0, \text{min}}$$

Nødvendig omfaringslengde:

$$l_{b, \text{reqd}} = 467 \text{ mm, se beregning i pkt. 3.}$$

$$l_{0, \text{min}} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, \text{reqd}}; 15 \times \emptyset; 200 \text{ mm})$$

Tabell 8.2: α_1 , α_2 , α_3 and $\alpha_5 = 1,0$ som beregnet i pkt. 3.

Tabell 8.3: $\alpha_6 = 1.5$ (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 467 \text{ mm} = 700 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{Velger: } l_0 = 700 \text{ mm}$$

3.2 BJELKEKASSE – HORIZONTALFORANKRING

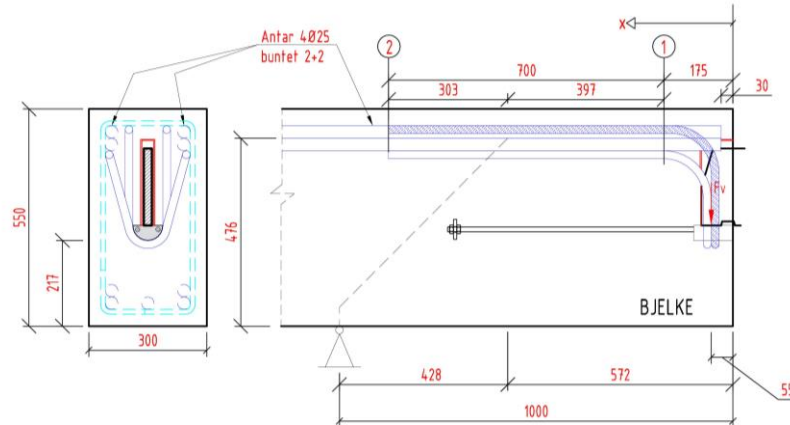
Horizontalforankring av halvrundstål: $R_H = 0,3 \times F_V = 67,5 \text{ kN}$:

Velger: 2xM12 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate = $48 \text{ kN} \times 2 = 96 \text{ kN}$

3.3 EKSEMPEL - ARMERING AV BJELKEENDE

Eksempel, antar:

- Søylar med 5m akseavstand og 1m utkraging til bjelkeskjøt.
- Bjelketverrsnitt som vist i Figur 12.
- $z = 0,9 \times d = 0,9 \times 476 \text{ mm} = 428 \text{ mm}$
- Horisontallengden til forankringsbøylene er 700mm (\approx tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved $x = 175 + 700 = 875 \text{ mm}$. (Antar som utg.punkt, lengde må kanskje økes!)
- Egenvekt neglisjeres. Påført egenvekt og nyttelast = 0 kN/m



Figur 12: Eksempel – Bjelke med BSF225 bjelkekasse. (NB figuren representerer ikke endelig beregnet armering, følg beregninger under!)

3.3.1 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT

Strekkraft i overkantarmering i avstand z og ved opplegg:

$$S = \frac{225 \text{ kN} \times (1000 - 55) \text{ mm}}{428 \text{ mm}} = 496 \text{ kN}$$

Overslag nødvendig overkantarmering:

$$A_s = 496 \text{ kN} / 435 \text{ MPa} = 1141 \text{ mm}^2$$

⇒ Antar lengdearmering i topp: 4Ø25 buntet 2+2 (=1963mm²)

Ekvivalent diameter til 2Ø25 buntet:

$$\varnothing_n = \varnothing \times \sqrt{2} = 25 \times \sqrt{2} = 35 \text{ mm}$$

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 12,5^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 12,5^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times 35 \times 2,79 \text{ MPa}} = \frac{427 \text{ kN}}{0,3067 \text{ kN/mm}} = 1392 \text{ mm}$$

Kontroll 1: Forankring ved opplegg (x=1000mm):

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 1963 \text{ mm}^2 / 1392 \text{ mm} \times (1000 - 30) \text{ mm} = 1367 \text{ mm}^2$$

$$A_{eqv} > 1141 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{OK.}$$

Kontroll 2: Forankring i avstand z fra opplegg (x=1000-428=572mm).

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 1963 \text{ mm}^2 \times (572 - 30) \text{ mm} / 1392 \text{ mm} = 764 \text{ mm}^2$$

$$A_{eqv} < 1141 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{IKKE OK.}$$

Valgt løsning: Bruker forankringsbøylene. Disse er tilstrekkelig forankret mot bjelkeenden, men må også kontrollere at de er tilstrekkelig forankret innover mot opplegg:

Kraft som kan forankres i Ø25:

$$S_{\varnothing 25} = 854 \text{ kN} / 1392 \text{ mm} \times (572 - 30) \text{ mm} = 332 \text{ kN}$$

Trenger: $\Delta S = 496 \text{ kN} - 332 \text{ kN} = 164 \text{ kN}$

Nødvendig forankringslengde for 4Ø16:

$$L_n = \frac{164000N}{\pi \times \varnothing \times f_{bd} \times 4} = \frac{164000N}{\pi \times 16 \times 2,79MPa \times 4} = 292mm$$

Kraften skal overføres til Ø25 ved omfar. Velger $l_0=1,5 \times l_n=1,5 \times 292mm=438mm$

Har: $L_{\varnothing 16}=303mm$, se Figur 16.

⇒ Forlenger horisontaldel av forankringsbøyler med 200mm.

Kontroll 3: Forankring av overkantarmring i punket hvor forankringsbøylene slutter (x=875mm):

I eksempelet er dette punket nærmere opplegg enn avstand z. Strekkraft og armeringsbehov er som ved opplegg, se kontroll 1:

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv}=1963mm^2 \times (875-30)mm/1392mm = 1192mm^2$$

$$A_{eqv} > 1141mm^2 \Rightarrow OK.$$

Kontroll 4: Heft/kraftinnføring i overkantarmring:

Kraftøkning i armering pr/mm:

$$\Delta S(x)/dx = (\Delta M(x)/dx)/z = V(x)/z = 225kN/428mm = 525N/mm$$

Kapasitet for kraftinnføring ved heft pr/mm:

$$\Delta S_{heft}(x)/dx = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times 2 = 2,79 \times 35 \times \pi \times 2 = 613N/mm$$

$\Delta S_{heft}(x)/dx > \Delta S(x)/dx \Rightarrow OK$. Har nok heftkapasitet mot armering til å ivareta kraftøkning i alle punkt.

3.3.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir $F_v=225kN$. Bjelke som vist i Figur 12.

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{225 \times 10^3 N}{0,428m \times 435MPa} = 1209mm^2 / m$$

Antar skjærarmring diameter Ø10 ⇒ Velger Ø10c/c100 (1570mm²/m)

3.3.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3. Bjelke som vist i Figur 12.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times u_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$b_w = b_{bjelke} = 300mm$$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 300 \times 428 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 655 kN (> V_{Rd} \Rightarrow OK)$$

3.3.4 HORISONTALARMERING I BJELKEENDE

Eksempel: Bjelke som vist i Figur 12:

Smale bøyer for horisontalkraft i henhold til fagverksmodell:

Antar $z=0,9 \times d$

$$\frac{A_s}{s} \times h = \frac{F_v}{z \times f_{yd}} \times h = \frac{225000 \text{ N}}{0,9 \times 428 \text{ mm} \times 435 \text{ MPa}} \times 217 \text{ mm} = 291 \text{ mm}^2$$

Velger to smale u-bøyer: $\emptyset 12 = \pi \times 6^2 \times 4 = 452 \text{ mm}^2$. Legges inn rett under enheten.

Forenklet: Horizontal lengde av stang: $L = (z-H) + 40\emptyset = (476-217) \text{ mm} + 40 \times 12 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$

Brede bøyer for spaltestrekk:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \frac{F_v}{f_{yd}} = \frac{1}{4} \times \frac{225000 \text{ N}}{435 \text{ MPa}} = 130 \text{ mm}^2$$

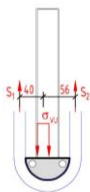
Velger to brede u-bøyer: $\emptyset 12 = \pi \times 6^2 \times 2 = 226 \text{ mm}^2$. Fordeles under enheten.

Forenklet: Horizontal lengde av stang: $L = 40\emptyset = 40 \times 12 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$

DEL 4 - BSF 300

4.1 BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heftforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))



Figur 13: Bjelkekasse.

1) Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering blir:

$$S_1 = F_V \cdot \left[\frac{b}{a+b} \right] = 300kN \cdot \left[\frac{56}{40+56} \right] = 175kN$$

$$A_s = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{175kN}{435MPa} \cdot 2 = 804mm^2$$

$$2\text{Ø}16\text{Bøylor} = 201mm^2 \times 4 = 804mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 804mm^2 \times 435MPa = 349kN$$

2) Minimum dordiameter - bøyning av forankringsarmering:

$$\varnothing_{mf,min} = \frac{S_1 \times 2}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{175000 \times 2}{300 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8 \times 0,5} = 228mm$$

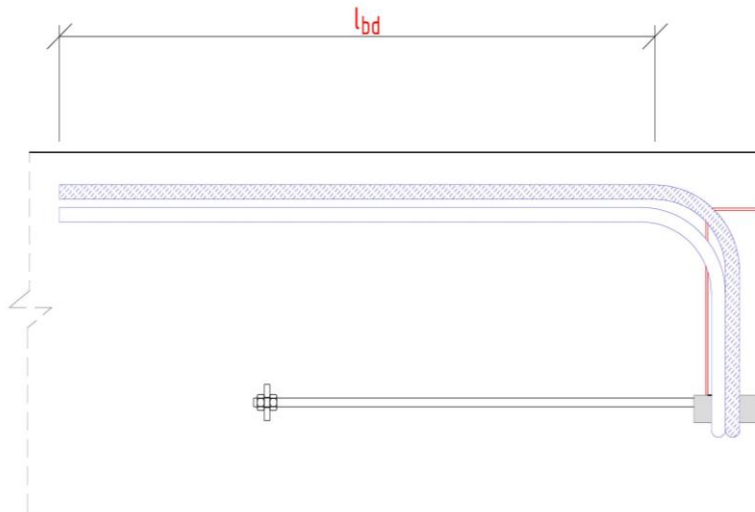
b_{eff} = effektiv bjelkebredde. Antar: $b_{eff} = b_{bjelke} = 300mm$

\varnothing_{mf} = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se del 2.

⇒ Velger: $\varnothing = 250mm$

3) Forankring av armering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



Figur 14: Forankring av armering.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\sigma_{sd}}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Spenning i armering: $\sigma_{sd} = \frac{175kN \times 2}{804mm^2} = 435MPa$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{435}{2,79} = 624mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 160mm$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Neglisjerer eventuell positiv effekt av betongoverdekning, velger $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmering som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer effekt av skjærbøyer, velger $\alpha_3 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmering:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

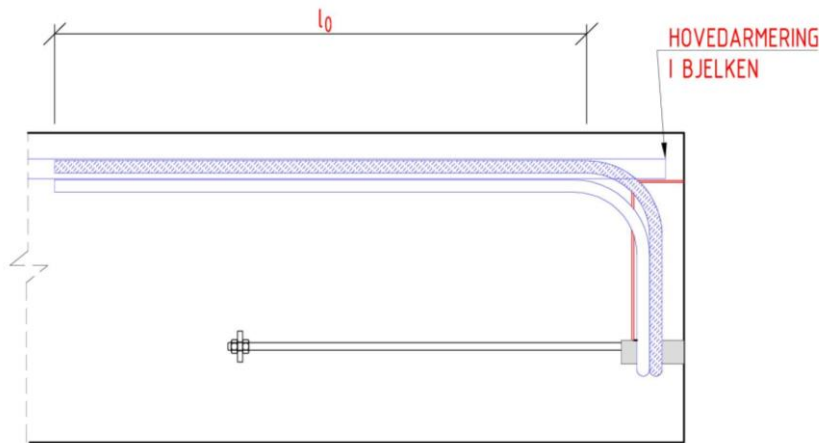
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7 - OK$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 624mm = 624mm$$

4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



Figur 15: Omfaringslengde.

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd} \geq l_{0, min}$$

Nødvendig omfaringslengde:

$$l_{b, reqd} = 624 \text{ mm, se beregning i pkt. 3.}$$

$$l_{0, min} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd}; 15 \times \emptyset; 200 \text{ mm})$$

Tabell 8.2: α_1 , α_2 , α_3 and $\alpha_5 = 1,0$ som beregnet i pkt. 3.

Tabell 8.3: $\alpha_6 = 1.5$ (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 624 \text{ mm} = 936 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{Velger: } l_0 = 1000 \text{ mm}$$

4.2 BJELKEKASSE – HORIZONTALFORANKRING

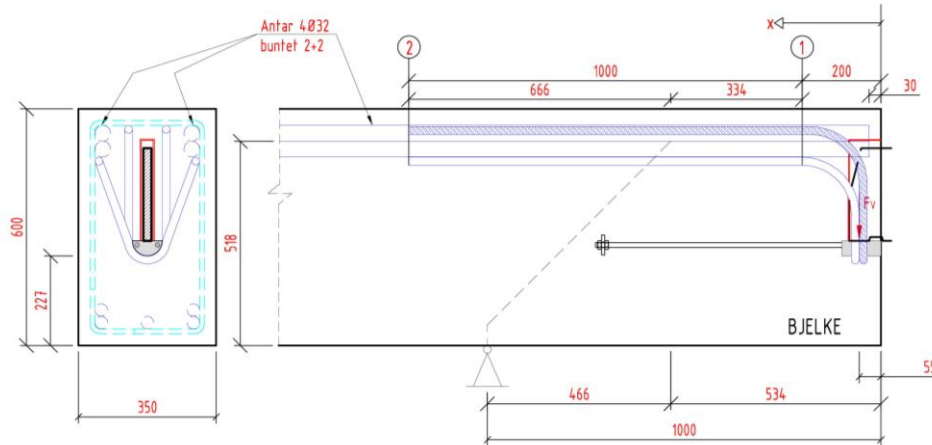
Horisontalforankring av halvrundstål: $R_H = 0,3 \times F_V = 90 \text{ kN}$:

Velger: $2 \times M12$ gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate = $48 \text{ kN} \times 2 = 96 \text{ kN}$

4.3 EKSEMPEL - ARMERING AV BJELKEENDE

Eksempel, antar:

- Søyler med 4.8m akseavstand og 1m utkraging til bjelkeskjøt.
- Bjelketverrsnitt som vist i Figur 16.
- $z = 0,9 \times d = 0,9 \times 518 \text{ mm} = 466 \text{ mm}$
- Horisontallengden til forankringsbøylene er 1000mm (\approx tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved $x = 200 + 1000 = 1200 \text{ mm}$. (Antar som utg.punkt, lengde må kanskje økes!)
- Egenvekt neglisjeres. Påført egenvekt og nyttelast = 0 kN/m



Figur 16: Eksempel – Bjelke med BSF300 bjelkekasse. (NB figuren representerer ikke endelig beregnet armering, følg beregninger under!)

4.3.1 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT

Strekkraft i overkantarmering i avstand z og ved opplegg:

$$S = \frac{300 \text{ kN} \times (1000 - 55) \text{ mm}}{466 \text{ mm}} = 608 \text{ kN}$$

Overslag nødvendig overkantarmering:

$$A_s = 608 \text{ kN} / 435 \text{ MPa} = 1398 \text{ mm}^2$$

⇒ Antar lengdearmering i topp: 4Ø32 buntet 2+2 (=3216mm²)

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

$$\varnothing_n = \varnothing \times \sqrt{2} = 32 \times \sqrt{2} = 45 \text{ mm}$$

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79 \text{ MPa}} = \frac{700 \text{ kN}}{0,3944 \text{ kN/mm}} = 1774 \text{ mm}$$

Kontroll 1: Forankring ved opplegg (x=1000mm):

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{\text{eqv}} = 3216 \text{ mm}^2 \times (1000 - 30) \text{ mm} / 1774 \text{ mm} = 1758 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eqv}} > 1398 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{OK.}$$

Kontroll 2: Forankring i avstand z fra opplegg (x=1000-466=534mm).

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{\text{eqv}} = 3216 \text{ mm}^2 \times (534 - 30) \text{ mm} / 1774 \text{ mm} = 914 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{eqv}} < 1398 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{IKKE OK.}$$

Valgt løsning: Bruker forankringsbøylene. Disse er tilstrekkelig forankret mot bjelkeenden, men må også kontrollere at de er tilstrekkelig forankret innover mot opplegg:

Kraft som kan forankres i Ø32:

$$S_{\emptyset 32} = A_{\text{eqv}} \times 435 \text{MPa} = 914 \text{mm}^2 \times 435 \text{MPa} = 398 \text{kN}$$

Trenger: $\Delta S = 608 \text{kN} - 398 \text{kN} = 210 \text{kN}$

Nødvendig forankringslengde for 4Ø16:

$$L_n = \frac{210000 \text{N}}{\pi \times \emptyset \times f_{bd} \times 4} = \frac{210000 \text{N}}{\pi \times 16 \times 2,79 \text{MPa} \times 4} = 374 \text{mm}$$

Kraften skal overføres til Ø32 ved omfar. Velger $l_0 = 1,5 \times l_n = 1,5 \times 374 \text{mm} = 561 \text{mm}$

Har: $L_{\emptyset 16} = 666 \text{mm}$, se Figur 16.

⇒ OK

Kontroll 3: Forankring av overkantarmring i punket hvor forankringsbøylene slutter ($x=1200 \text{mm}$):

Dette punket på innenfor opplegget ⇒ forankring er OK, se kontroll 1.

Kontroll 4: Heft/kraftinnføring i overkantarmring:

Kraftøkning i armering pr/mm:

$$\Delta S(x)/dx = (\Delta M(x)/dx)/z = V(x)/z = 300 \text{kN}/466 \text{mm} = 644 \text{N/mm}$$

Kapasitet for kraftinnføring ved heft pr/mm:

$$\Delta S_{\text{heft}}(x)/dx = f_{bd} \times \emptyset_n \times \pi \times 2 = 2,79 \times 45 \times \pi \times 2 = 788 \text{N/mm}$$

$\Delta S_{\text{heft}}(x)/dx > \Delta S(x)/dx \Rightarrow \text{OK}$. Har nok heftkapasitet mot armering til å ivareta kraftøkning i alle punkt.

4.3.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir $F_v = 300 \text{kN}$. Bjelke som vist i Figur 16.

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{300 \times 10^3 \text{ N}}{0,466 \text{ m} \times 435 \text{ MPa}} = 1480 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Antar skjærarmring diameter Ø12.

⇒ Velger Ø12c/c100 (2261 mm²/m)

4.3.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3. Bjelke som vist i Figur 16.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times u_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$b_w = b_{\text{bjelke}} = 350 \text{mm}$$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 350 \times 466 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 833 \text{ kN} (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

4.3.4 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

Eksempel: Bjelke som vist i Figur 16:

Smale bøyer for horisontalkraft i henhold til fagverksmodell:

Antar $z = 0,9 \times d$

$$\frac{A_s}{s} \times h = \frac{F_V}{z \times f_{yd}} \times h = \frac{300000 \text{ N}}{0,9 \times 518 \text{ mm} \times 435 \text{ MPa}} \times 227 \text{ mm} = 336 \text{ mm}^2$$

Velger to smale u-bøyer: $\emptyset 12 = \pi \times 6^2 \times 4 = 452 \text{ mm}^2$. Legges inn rett under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang: $L = (z - H) + 40\emptyset = (518 - 227) \text{ mm} + 40 \times 12 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$

Brede bøyer for spaltetrekk:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \frac{F_V}{f_{yd}} = \frac{1}{4} \times \frac{300000 \text{ N}}{435 \text{ MPa}} = 172 \text{ mm}^2$$

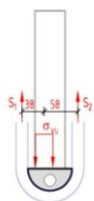
Velger to brede u-bøyer: $\emptyset 12 = \pi \times 6^2 \times 2 = 226 \text{ mm}^2$. Fordeles under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang: $L = 40\emptyset = 40 \times 12 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$

DEL 5 BSF 450

5.1 BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heftforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))



Figur 17: Bjelkekasse.

1) Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering blir:

$$S_1 = F_V \cdot \left[\frac{b}{a + b} \right] = 450 \text{ kN} \cdot \left[\frac{58}{38 + 58} \right] = 272 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{272 \text{ kN}}{435 \text{ MPa}} \cdot 2 = 1250 \text{ mm}^2$$

$$A_s^*) = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{272 \text{ kN}}{454 \text{ MPa}} \cdot 2 = 1198 \text{ mm}^2$$

*) Brukt: $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{s2,red}} = \frac{500}{1,1} = 454 \text{ MPa}$ siden ugunstige toleranser er inkludert i beregningen.

-> Dette er ok!

3 \emptyset 16Bøyer = $201 \text{ mm}^2 \times 6 = 1206 \text{ mm}^2$

Kapasitet til valgt armering: $1206 \text{ mm}^2 \times 435 \text{ MPa} = 524 \text{ kN}$

2) Minimum dordiameter - bøyning av forankringsarmering:

$$\varnothing_{mf,min} = \frac{S_1 \times 2}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{272000 \times 2}{350 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8 \times 0,5} = 304mm$$

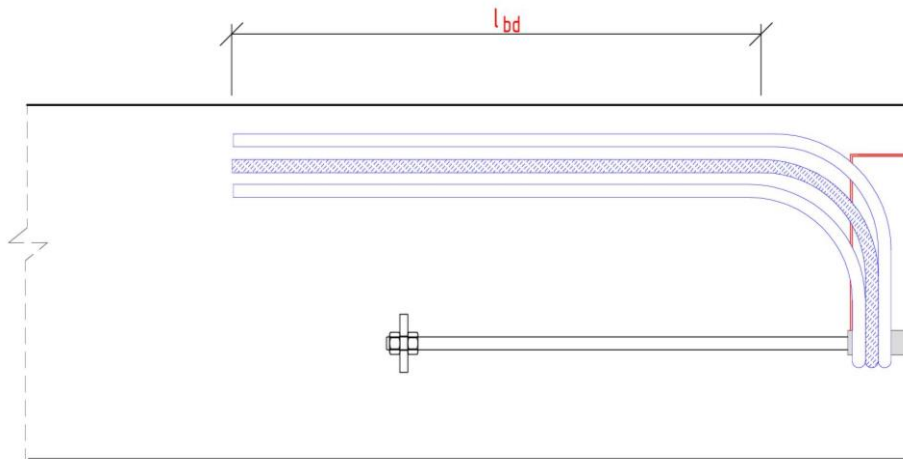
b_{eff} = effektiv bjelkebredde. Antar: $b_{eff} = b_{bjelke} = 350mm$

\varnothing_{mf} = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se del 2.

⇒ Velger: $\varnothing = 320mm$

3) Forankring av armering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



Figur 18: Forankring av armering.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\varnothing}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Spenning i armering: $\sigma_{sd} = \frac{272kN \times 2}{1206mm^2} = 451MPa$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{451}{2,79} = 647mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 160mm$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Neglisjerer eventuell positiv effekt av betongoverdekning, velger $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmoring som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer effekt av skjærbøyer, velger $\alpha_3 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmring:

$\alpha_4 = 1,0$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

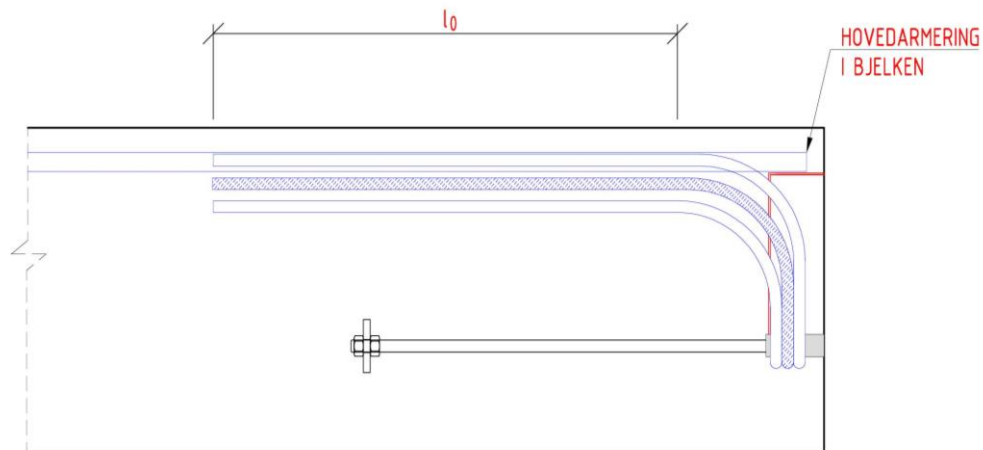
$\alpha_5 = 1,0$

Ikke relevant.

$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7$ – OK

$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 647 \text{mm} = 647 \text{mm}$

4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



Figur 19: Omfaringslengde.

$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd} \geq l_{0, min}$

Nødvendig omfaringslengde:

$l_{b, reqd} = 647 \text{mm}$, se beregning i pkt. 3.

$l_{0, min} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd}; 15 \times \emptyset; 200 \text{mm})$

Tabell 8.2: α_1 , α_2 , α_3 and $\alpha_5 = 1,0$ som beregnet i pkt. 3.

Tabell 8.3: $\alpha_6 = 1.5$ (All armering skjøtes)

$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 647 \text{mm} = 971 \text{mm}$

\Rightarrow Velger: $l_0 = 1000 \text{mm}$

5.2 BJELKEKASSE - HORISONTALFORANKRING

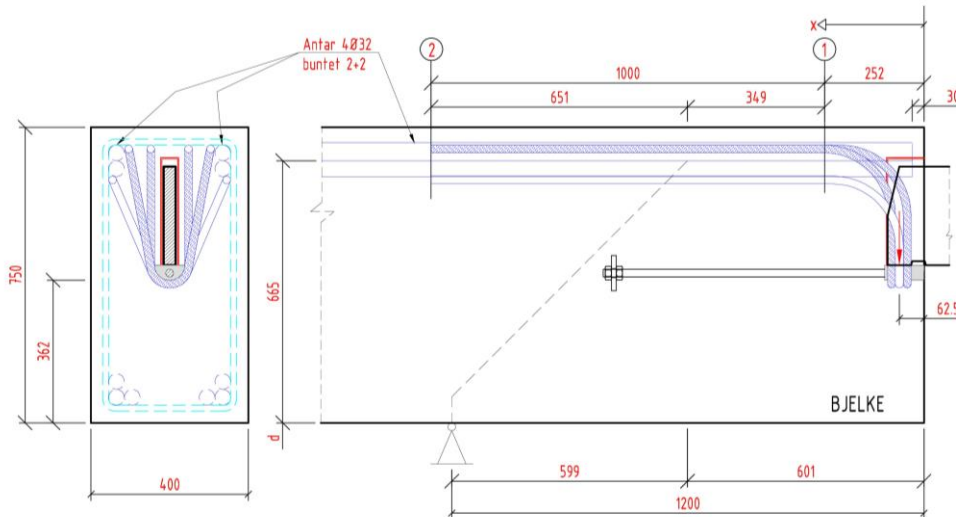
Horisontalforankring av halvrundstål: $R_H = 0,3 \times F_V = 135 \text{kN}$:

Velger: 1xM20 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate = 141kN

5.3 EKSEMPEL – ARMERINGSBEREGNINGER I BJELKEENDE

Eksempel, antar:

- Søylar med 6m akseavstand og 1,2m utkraging til bjelkeskjøt.
- Bjelketverrsnitt som vist i Figur 20.
- $z=0,9 \times d=0,9 \times 665\text{mm}=599\text{mm}$
- Horisontallengden til forankringsbøylene er 1000mm (\approx tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved $x=252+1000=1252\text{mm}$. (Antar som utg.punkt, lengde må kanskje økes!)
- Egenvekt neglisjeres. Påført egenvekt og nyttelast = 0kN/m.



Figur 20: Eksempel – Bjelke med BSF450 bjelkekasse. (NB figuren representerer ikke endelig beregnet armering, følg beregninger under!)

5.3.1 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT

Strekraft i overkantarmering i avstand z og ved opplegg:

$$S = \frac{450 \text{ kN} \times (1200 - 62,5) \text{ mm}}{599 \text{ mm}} = 855 \text{ kN}$$

Overslag nødvendig overkantarmering:

$$A_s = 855 \text{ kN} / 435 \text{ MPa} = 1966 \text{ mm}^2$$

\Rightarrow Antar lengdearmering i topp: 4Ø32 buntet 2+2 (=3216mm²)

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

$$\varnothing_n = \varnothing \times \sqrt{2} = 32 \times \sqrt{2} = 45 \text{ mm}$$

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79 \text{ MPa}} = \frac{700 \text{ kN}}{0,3944 \text{ kN/mm}} = 1774 \text{ mm}$$

Kontroll 1: Forankring ved opplegg (x=1200mm):

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 3216 \text{mm}^2 \times (1200 - 30) \text{mm} / 1774 \text{mm} = 2121 \text{mm}^2$$

$$A_{eqv} > 1966 \text{mm}^2 \Rightarrow \text{OK.}$$

Kontroll 2: Forankring i avstand z fra opplegg (x=1200-599=601mm).

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 3216 \text{mm}^2 \times (601 - 30) \text{mm} / 1774 \text{mm} = 1035 \text{mm}^2$$

$$A_{eqv} < 1966 \text{mm}^2 \Rightarrow \text{IKKE OK}$$

Valgt løsning: Bruker forankringsbøylene. Disse er tilstrekkelig forankret mot bjelkeenden, men må også kontrollere at de er tilstrekkelig forankret innover mot opplegg:

Kraft som kan forankres i Ø32:

$$S_{\text{Ø32}} = A_{eqv} \times 435 \text{MPa} = 1035 \text{mm}^2 \times 435 \text{MPa} = 450 \text{kN}$$

Trenger: $\Delta S = 855 \text{kN} - 450 \text{kN} = 405 \text{kN}$

Nødvendig forankringslengde for 6Ø16:

$$L_n = \frac{405000 \text{N}}{\pi \times \text{Ø} \times f_{bd} \times 6} = \frac{405000 \text{N}}{\pi \times 16 \times 2,79 \text{MPa} \times 6} = 481 \text{mm}$$

Kraften skal overføres til Ø32 ved omfar. Velger $l_0 = 1,5 \times l_n = 1,5 \times 481 \text{mm} = 721 \text{mm}$

Har: $L_{\text{Ø16}} = 651 \text{mm}$, se Figur 20.

\Rightarrow Forlenger horisontaldel av forankringsbøylene med 100mm

Kontroll 3: Forankring av overkantarmoring i punket hvor forankringsbøylene slutter (x=1252).

Dette punket er innenfor opplegget \Rightarrow forankring er ok, se kontroll 1.

Kontroll 4: Heft/kraftinnføring i overkantarmoring:

Kraftøkning i armering pr/mm:

$$\Delta S(x)/dx = (\Delta M(x)/dx)/z = V(x)/z = 450 \text{kN} / 599 \text{mm} = 752 \text{N/mm}$$

Kapasitet for kraftinnføring ved heft pr/mm:

$$\Delta S_{\text{heft}}(x)/dx = f_{bd} \times \text{Ø}_n \times \pi \times 2 = 2,79 \times 45 \times \pi \times 2 = 788 \text{N/mm}$$

$\Delta S_{\text{heft}}(x)/dx > \Delta S(x)/dx \Rightarrow \text{OK.}$ Har nok heftkapasitet mot armering til å ivareta kraftøkning i alle punkt.

5.3.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir $F_V=450\text{kN}$. Bjelke som vist i Figur 20.

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{450 \times 10^3 \text{ N}}{0,599 \text{ m} \times 435 \text{ MPa}} = 1727 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Antar skjærarmering diameter $\varnothing 12$.

⇒ Velger $\varnothing 12\text{c}/\text{c}100$ ($2261\text{mm}^2/\text{m}$)

5.3.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3. Bjelke som vist i Figur 20.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times u_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$b_w = b_{bjelke} = 400 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 400 \times 0,599 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 1223 \text{ kN} (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

5.3.4 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

Eksempel: Bjelke som vist i Figur 20:

Smale bøyler for horisontalkraft i henhold til fagverksmodell:

Antar $z=0,9 \times d$

$$\frac{A_s}{s} \times h = \frac{F_V}{z \times f_{yd}} \times h = \frac{450000 \text{ N}}{0,9 \times 665 \text{ mm} \times 435 \text{ MPa}} \times 362 \text{ mm} = 626 \text{ mm}^2$$

Velger tre smale u-bøyler: $\varnothing 12 = \pi \times 6^2 \times 6 = 678 \text{ mm}^2$. Legges inn rett under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang: $L = (z-H) + 40\varnothing = (599-362)\text{mm} + 40 \times 12\text{mm} \approx 800\text{mm}$

Brede bøyler for spaltestrekk:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \frac{F_v}{f_{yd}} = \frac{1}{4} \times \frac{450000 \text{ N}}{435 \text{ MPa}} = 259 \text{ mm}^2$$

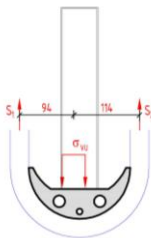
Velger tre brede u-bøyler: $\varnothing 12 = \pi \times 6^2 \times 3 = 339 \text{ mm}^2$. Fordeles under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang: $L = 40\varnothing = 40 \times 12\text{mm} \approx 500\text{mm}$

DEL 6 BSF 700

6.1 BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heffforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))



Figur 21: Bjelkekasse.

1) Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering blir:

$$S_1 = F_V \cdot \left[\frac{b}{a + b} \right] = 700kN \cdot \left[\frac{114}{94 + 114} \right] = 384kN$$

$$A_s = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{384kN}{435MPa} \cdot 2 = 1765mm^2$$

$$2\emptyset 25B\text{øyler} = 490mm^2 \times 4 = 1960mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 1960mm^2 \times 435MPa = 852kN$$

2) Minimum dordiameter - bøyning av forankringsarmering:

$$\emptyset_{mf,min} = \frac{S_1 \times 2}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{384000 \times 2}{550 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8 \times 0,5} = 273mm$$

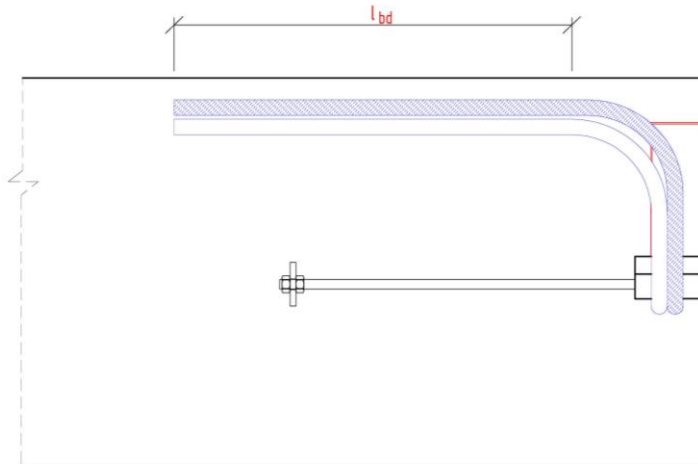
b_{eff} = effektiv bjelkebredde. Antar: $b_{eff} = D_{bjelke} = 550mm$

\emptyset_{mf} = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se del 2.

⇒ Velger: $\emptyset = 320mm$

3) Forankring av armering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



Figur 22: Forankring av armering.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\varnothing}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Spenning i armering: $\sigma_{sd} = \frac{384kN \times 2}{1960mm^2} = 392MPa$

$$l_{b,reqd} = \frac{25}{4} \times \frac{392}{2,79} = 878mm$$

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heftforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 250mm$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Neglisjerer eventuell positiv effekt av betongoverdekning, velger $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmering som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer effekt av skjærbøyler, velger $\alpha_3 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmering:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

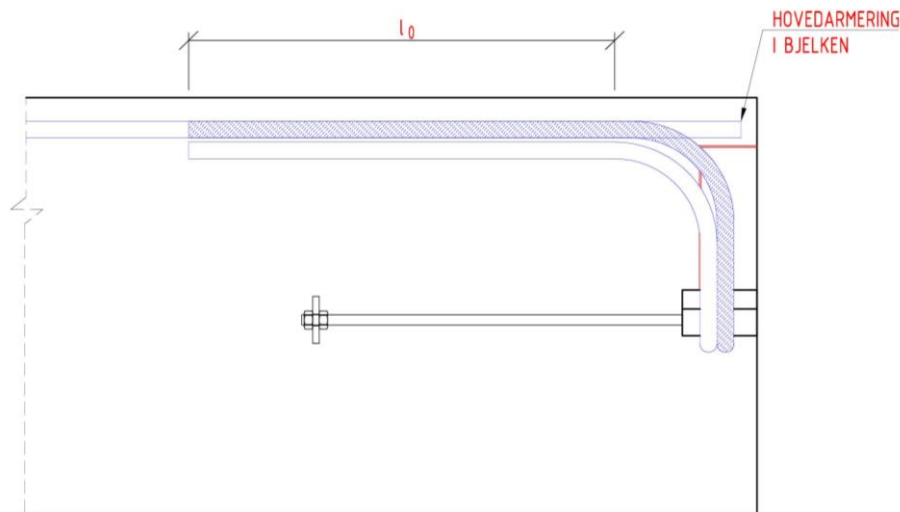
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7 - \text{OK}$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 878mm = 878mm$$

4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



Figur 23: Omfaringslengde.

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd} \geq l_{0, min}$$

Nødvendig omfaringslengde:

$$l_{b, reqd} = 878 \text{ mm, se beregning i pkt. 3.}$$

$$l_{0, min} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd}; 15 \times \emptyset; 200 \text{ mm})$$

Tabell 8.2: α_1 , α_2 , α_3 and $\alpha_5=1,0$ som beregnet i pkt. 3.

Tabell 8.3: $\alpha_6=1.5$ (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 878 \text{ mm} = 1317 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{Velger: } l_0 = 1400 \text{ mm}$$

6.2 BJELKEKASSE - HORIZONTALFORANKRING

Horizontalforankring av halvrundstål: $R_H = 0,3 \times F_V = 210 \text{ kN}$:

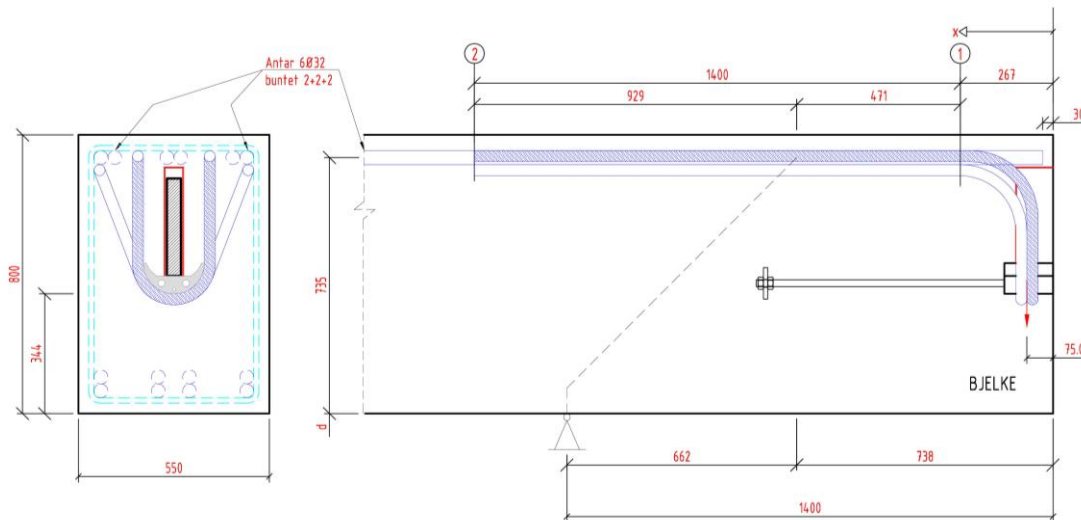
Velger: 2xM20 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate = 282kN

6.3 EKSEMPEL – ARMERINGSBEREGNINGER I BJELKEENDE

Eksempel, antar:

- Søylar med 7,2m akseavstand 1,4m utkrag til bjelkeskjøt.
- Bjelketverrsnitt som vist i Figur 24.
- $z=0,9 \times d=0,9 \times 735 \text{ mm} = 662 \text{ mm}$
- Horisontallengden til forankringsbøylene er 1400mm (\approx tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved $x=267+1400=1667 \text{ mm}$. (Antar som utg.punkt, lengde må kanskje økes!)

- Egenvekt neglisjeres. Påført egenvekt og nyttelast = 0kN/m.



Figur 24: Eksempel – Bjelke med BSF700 bjelkekasse. (NB figuren representerer ikke endelig beregnet armering, følg beregninger under!)

6.3.1 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT

Strekraft i overkantarmering i avstand z og ved opplegg:

$$S = \frac{700 \text{ kN} \times (1400 - 75) \text{ mm}}{662 \text{ mm}} = 1401 \text{ kN}$$

Overslag nødvendig overkantarmering:

$$A_s = 1401 \text{ kN} / 435 \text{ MPa} = 3220 \text{ mm}^2$$

⇒ Antar lengdearmering i topp: 6Ø32 buntet 2+2+2 (=4825mm²)

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

$$\varnothing_n = \varnothing \times \sqrt{2} = 32 \times \sqrt{2} = 45 \text{ mm}$$

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 \text{ MPa} \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79 \text{ MPa}} = \frac{700 \text{ kN}}{0,3944 \text{ kN/mm}} = 1774 \text{ mm}$$

Kontroll 1: Forankring ved opplegg (x=1400mm):

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 4825 \text{ mm}^2 \times (1400 - 30) \text{ mm} / 1774 \text{ mm} = 3726 \text{ mm}^2$$

$$A_{eqv} > 3220 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{OK.}$$

Kontroll 2: Forankring i avstand z fra opplegg (x=1400-662=738mm).

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 4825 \text{ mm}^2 \times (738 - 30) \text{ mm} / 1774 \text{ mm} = 1925 \text{ mm}^2$$

$$A_{eqv} < 3220 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{IKKE OK.}$$

Valgt løsning: Bruker forankringsbøylene. Disse er tilstrekkelig forankret mot bjelkeenden, men må også kontrollere at de er tilstrekkelig forankret innover mot opplegg:

Kraft som kan forankres i Ø32:

$$S_{\text{Ø32}} = A_{\text{eqv}} \times 435 \text{MPa} = 1925 \text{mm}^2 \times 435 \text{MPa} = 837 \text{kN}$$

Trenger: $\Delta S = 1401 \text{kN} - 837 \text{kN} = 564 \text{kN}$

Nødvendig forankringslengde for 4Ø25:

$$L_n = \frac{564000 \text{N}}{\pi \times \text{Ø} \times f_{bd} \times 4} = \frac{564000 \text{N}}{\pi \times 25 \times 2,79 \text{MPa} \times 4} = 643 \text{mm}$$

Kraften skal overføres til Ø32 ved omfar. Velger $l_0 = 1,5 \times l_n = 1,5 \times 643 \text{mm} = 965 \text{mm}$

Har: $L_{\text{Ø25}} = 929 \text{mm}$, se Figur 24.

⇒ Forlenger horisontaldel av forankringsbøylere med 100mm.

Kontroll 3: Forankring av overkantarmoring i punket hvor forankringsbøylene slutter (x=1667).

Dette punket er innenfor opplegget ⇒ forankring er ok, se kontroll 1.

Kontroll 4: Heft/kraftinnføring i overkantarmoring:

Kraftøkning i armoring pr/mm:

$$\Delta S(x)/dx = (\Delta M(x)/dx)/z = V(x)/z = 700 \text{kN}/662 \text{mm} = 1058 \text{N/mm}$$

Kapasitet for kraftinnføring ved heft pr/mm:

$$\Delta S_{\text{heft}}(x)/dx = f_{bd} \times \text{Ø}_n \times \pi \times 3 = 2,79 \times 45 \times \pi \times 3 = 1183 \text{N/mm}$$

$\Delta S_{\text{heft}}(x)/dx > \Delta S(x)/dx \Rightarrow \text{OK}$. Har nok heftkapasitet mot armoring til å ivareta kraftøkning i alle punkt.

6.3.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir $F_v = 700 \text{kN}$. Bjelke som vist i Figur 24.

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{700 \times 10^3 \text{N}}{0,662 \text{m} \times 435 \text{MPa}} = 2430 \text{mm}^2 / \text{m}$$

Antar skjærarmoring diameter Ø12.

⇒ Velger Ø12c/c80 (2827mm²/m)

6.3.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3. Bjelke som vist i Figur 24.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times u_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$b_w = b_{\text{bjelke}} = 550 \text{mm}$$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 550 \times 662 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 1860 \text{ kN} (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

6.3.4 HORISONTALARMERING I BJELKEENDE

Eksempel: Bjelke som vist i Figur 24.

Smale bøyler for horisontalkraft i henhold til fagverksmodell:

Antar $z=0,9 \times d$

$$\frac{A_s}{s} \times h = \frac{F_v}{z \times f_{yd}} \times h = \frac{700000N}{0,9 \times 735mm \times 435MPa} \times 344mm = 837mm^2$$

Velger fire smale u-bøyler: $\emptyset 12 = \pi \times 6^2 \times 8 = 905mm^2$. Legges inn rett under enheten.

Forenklet: Horizontal lengde av stang: $L = (z-H) + 40\emptyset = (662-344)mm + 40 \times 12mm \approx 800mm$

Brede bøyler for spaltestrekk:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \frac{F_v}{f_{yd}} = \frac{1}{4} \times \frac{700000N}{435MPa} = 402mm^2$$

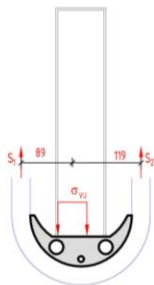
Velger to brede u-bøyler: $\emptyset 16 = \pi \times 8^2 \times 2 = 402mm^2$. Fordeles under enheten.

Forenklet: Horizontal lengde av stang: $L = 40\emptyset = 40 \times 16mm \approx 700mm$

DEL 7 BSF 1100

7.1 BJELKEKASSE – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heffforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))



Figur 25: Bjelkekasse.

1) Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering blir:

$$S_1 = F_V \cdot \left[\frac{b}{a + b} \right] = 1100kN \cdot \left[\frac{119}{89 + 119} \right] = 629kN$$

$$A_s = \frac{S_1}{f_{yd}} \cdot 2 = \frac{629kN}{435Mpa} \cdot 2 = 2892mm^2$$

$$3\emptyset 25B\text{øyler} = 490mm^2 \times 6 = 2940mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 2940mm^2 \times 435MPa = 1279kN$$

2) Minimum dordiameter - bøyning av forankringsarmering:

$$\emptyset_{mf,min} = \frac{S_1 \times 2}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{629000 \times 2}{700 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8 \times 0,5} = 352mm$$

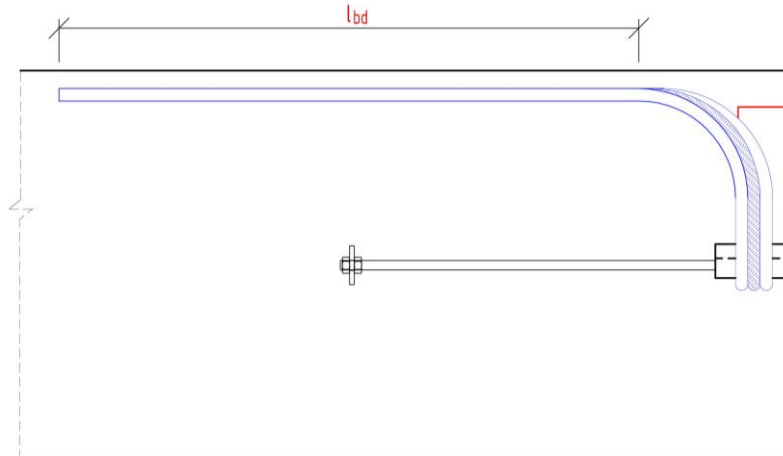
b_{eff} = effektiv bjelkebredde. Antar: $b_{eff} = b_{bjelke} = 700mm$

\emptyset_{mf} = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se del 2.

⇒ Velger: $\emptyset = 500mm$

3) Forankring av armering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



Figur 26: Forankring av armering.

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\sigma}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Spenning i armering: $\sigma_{sd} = \frac{629kN \times 2}{2940mm^2} = 428MPa$

$$l_{b,reqd} = \frac{25}{4} \times \frac{428}{2,79} = 959mm$$

(Merk: I dette eksempelet er antatt gode heftforhold ved beregning av f_{bd} . Det må vurderes om dette er tilfelle i overkant av bjelken, se EC2, pkt 8.4.2 (2))

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \sigma; 100mm) = 250mm$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \sigma) / \sigma$$

Neglisjerer eventuell positiv effekt av betongoverdekning, velger $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmoring som ikke er sveist til hovedarmoring:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer effekt av skjærbøyler, velger $\alpha_3 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmoring:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

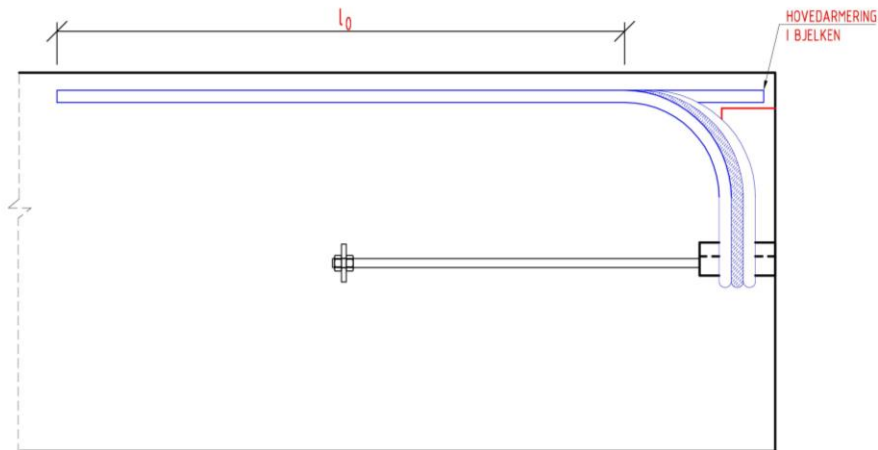
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7 - OK$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 959mm = 959mm$$

4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



Figur 27: Omfaringslengde.

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, \text{reqd}} \geq l_{0, \text{min}}$$

Nødvendig omfaringslengde:

$$l_{b, \text{reqd}} = 959 \text{ mm, se beregning i pkt. 3.}$$

$$l_{0, \text{min}} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, \text{reqd}}; 15 \times \emptyset; 200 \text{ mm})$$

Tabell 8.2: α_1 , α_2 , α_3 and $\alpha_5 = 1,0$ som beregnet i pkt. 3.

Tabell 8.3: $\alpha_6 = 1.5$ (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 959 \text{ mm} = 1438 \text{ mm}$$

\Rightarrow Velger: $l_0 = 1500 \text{ mm}$

7.2 BJELKEKASSE - HORIZONTALFORANKRING

Horizontalforankring av halvrundstål: $R_H = 0,3 \times F_V = 330 \text{ kN}$:

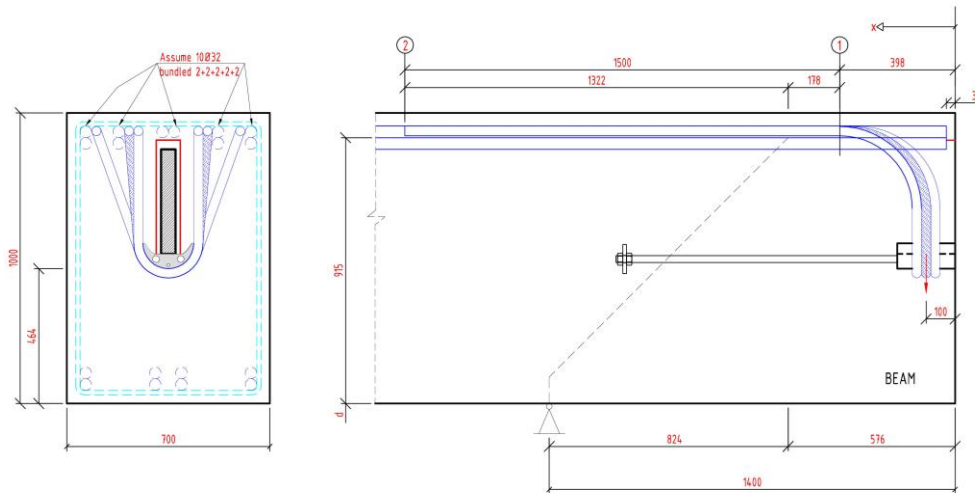
Velger: 2xM24 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate = 406kN

7.3 EKSEMPEL – ARMERINGSBEREGNINGER I BJELKEENDE

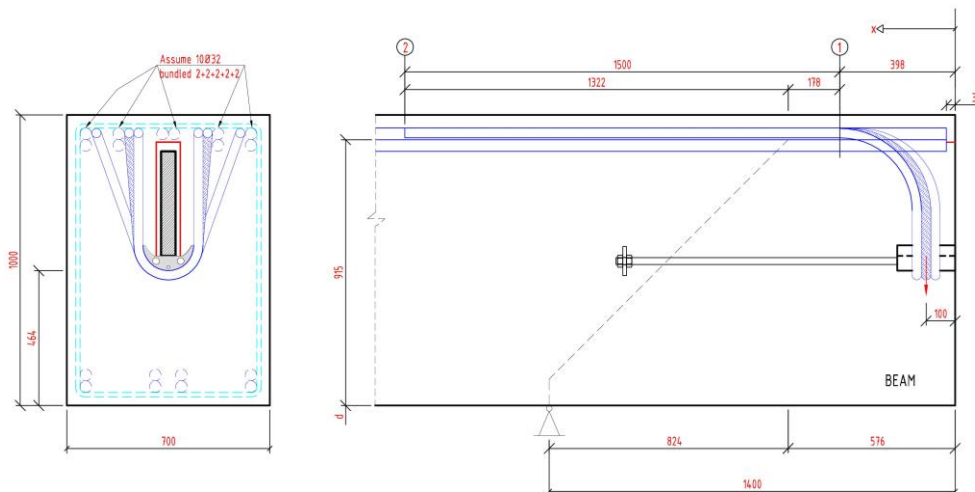
Eksempel, antar:

- Søylar med 7,2m akseavstand 1,4m utkrag til bjelkeskjøt.

Bjelketverrsnitt som vist i



- Figur 28.
- $z=0,9 \times d=0,9 \times 915\text{mm}=824\text{mm}$
- Horisontallengden til forankringsbøylene er 1500mm (≈ tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved $x=398+1500=1898\text{mm}$. (Antar som utg.punkt, lengde må kanskje økes!)
- Egenvekt neglisjeres. Påført egenvekt og nyttelast = 0kN/m.



Figur 28: Eksempel – Bjelke med BSF1100 bjelkekasse. (NB figuren representerer ikke endelig beregnet armering, følg beregninger under!)

7.3.1 OVERKANTARMERING – FORANKRING OG HEFT

Strekraft i overkantarmering i avstand z og ved opplegg:

$$S = \frac{1100\text{kN} \times (1500 - 100)\text{mm}}{824\text{mm}} = 1869\text{kN}$$

Overslag nødvendig overkantarmring:

$$A_s = \frac{1869kN}{435MPa} = 4296mm^2$$

⇒ Antar lengdearmring i topp: 10Ø32 buntet 2+2+2+2+2 (=8043mm²)

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

$$\varnothing_n = \varnothing \times \sqrt{2} = 32 \times \sqrt{2} = 45mm$$

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 MPa \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435 MPa \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79 MPa} = \frac{700 kN}{0,3944 kN / mm} = 1774 mm$$

Kontroll 1: Forankring ved opplegg (x=1400mm):

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 8043mm^2 \times (1400-30)mm / 1774mm = 6211mm^2$$

$A_{eqv} > 4296mm^2 \Rightarrow$ OK.

Kontroll 2: Forankring i avstand z fra opplegg (x=1400-824=576mm).

Ekvivalent fullforankret armeringstverrsnitt:

$$A_{eqv} = 8043mm^2 \times (576-30)mm / 1774mm = 2476mm^2$$

$A_{eqv} < 4296mm^2 \Rightarrow$ NOT OK.

Valgt løsning: Bruker forankringsbøylene. Disse er tilstrekkelig forankret mot bjelkeenden, men må også kontrollere at de er tilstrekkelig forankret innover mot opplegg:

Kraft som kan forankres i Ø32:

$$S_{\varnothing 32} = A_{eqv} \times 435MPa = 2476mm^2 \times 435MPa = 1077kN$$

Trenger: $\Delta S = 1869kN - 1077kN = 792kN$

Nødvendig forankringslengde for 6Ø25:

$$L_n = \frac{792000N}{\pi \times \varnothing \times f_{bd} \times 6} = \frac{792000N}{\pi \times 25mm \times 2,79MPa \times 6} = 603mm$$

Kraften skal overføres til Ø32 ved omfar. Velger $l_o = 1,5 \times l_n = 1,5 \times 603mm = 905mm$

Har: $L_{\varnothing 25} = 1322mm$, se Figur 28.

⇒ OK.

Kontroll 3: Forankring av overkantarmring i punket hvor forankringsbøylene slutter (x=1898).

Dette punket er innenfor opplegget ⇒ forankring er ok, se kontroll 1.

Kontroll 4: Heft/kraftinnføring i overkantarmring:

Kraftøkning i armering pr/mm:

$$\Delta S(x)/dx = (\Delta M(x)/dx)/z = V(x)/z = 1100kN/824mm = 1336N/mm$$

Kapasitet for kraftinnføring ved heft pr/mm:

$$\Delta S_{heft}(x)/dx = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times 3 = 2,79 \times 45 \times \pi \times 5 = 1972N/mm$$

$\Delta S_{heft}(x)/dx > \Delta S(x)/dx \Rightarrow$ OK. Har nok heftkapasitet mot armering til å ivareta kraftøkning i alle punkt.

7.3.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir $F_V=1100\text{kN}$. Bjelke som vist i Figur 28.

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} = \frac{1100000\text{N}}{0,824\text{m} \times 435\text{MPa}} = 3069 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Antar skjærarmering diameter $\varnothing 12$.

⇒ Velger doble $\varnothing 12\text{c}/\text{c}120$ ($3770\text{mm}^2/\text{m}$)

7.3.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3. Bjelke som vist i Figur 28.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times u_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$b_w = b_{bjelke} = 700\text{mm}$$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 700 \times 824 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 2946 \text{ kN} (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

7.3.4 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

Eksempel: Bjelke som vist i Figur 28.

Smale bøyler for horisontalkraft i henhold til fagverksmodell:

Antar $z=0,9 \times d$

$$\frac{A_s}{s} \times h = \frac{F_V}{z \times f_{yd}} \times h = \frac{1100000\text{N}}{0,9 \times 915\text{mm} \times 435\text{MPa}} \times 464\text{mm} = 1425\text{mm}^2$$

Velger fire smale u-bøyler: $\varnothing 16 = \pi \times 8^2 \times 8 = 1608\text{mm}^2$. Legges inn rett under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang: $L = (z-H) + 4\varnothing = (824-464)\text{mm} + 40 \times 16\text{mm} \approx 1000\text{mm}$

Brede bøyler for spaltestrekk:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \frac{F_V}{f_{yd}} = \frac{1}{4} \times \frac{1100000\text{N}}{435\text{MPa}} = 632\text{mm}^2$$

Velger to brede u-bøyler: $\varnothing 16 = \pi \times 8^2 \times 4 = 804\text{mm}^2$. Fordeles under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang: $L = 4\varnothing = 40 \times 16\text{mm} \approx 700\text{mm}$

REVISJON	
Dato:	Beskrivelse:
21.10.2013	Første utgave.
30.06.2014	Endret halvrundstål BSF700. Korrigert tabell 3 dim. gj.stenger BSF700.
20.08.2014	Endret plate til forankring av M20 gjengestenger.
13.01.2015	Endret nødvendig inngrepslengde for gjengestang i blindhull, tabell 4.
27.02.2015	Inkludert mutter på begge sider av stålplater på gjengestenger.
11.05.16	Ny mal
14.02.2020	Oppdaterte beregninger som følge av større klaring i bjelkekassen.