

MEMO 521	Dato: 28.11.2013	Sign.: sss
BSF ENHETER – BEREGNING AV	Siste rev.: 14.02.2020	Sign.: sss
ARMERING	Dok. nr.: K4-10/521	Kontr.: ps
DIMENSJONERING		

## BSF ENHETER – BEREGNING AV ARMERING

### INNHold

<b>BSF ENHETER – BEREGNING AV ARMERING.....</b>	<b>1</b>
<b>DEL 1 GUNNLEGGENDE FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER .....</b>	<b>4</b>
1.1 GENERELT .....	4
1.2 STANDARDER .....	4
1.3 KVALITETER.....	5
1.4 DIMENSJONER OG TVERRSNITTSVERDIER.....	6
1.5 LAST .....	8
1.6 TOLERANSER.....	9
<b>DEL 2 DIMENSJONERINGSPRINSIPPER - ARMERING AV BSF.....</b>	<b>10</b>
2.1 GENERELT .....	10
2.2 BJELKEENHET - LIKEVEKT .....	10
2.3 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING .....	10
2.4 BJELKEENHET - HORISONTALFORANKRING.....	13
2.5 VURDERING AV ARMERINGSFØRING I ENDEN AV BJELKEN .....	14
2.5.1 FAGVERKSMODELLE .....	14
2.5.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	17
2.5.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	17
2.5.4 HORISONTALARMERING I BJELKEENDE .....	17
2.6 SØYLEENHET .....	18
<b>DEL 3 BSF 225 .....</b>	<b>23</b>
3.1 BJELKEENHET - LIKEVEKT .....	23

3.2	BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING .....	24
3.3	BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING .....	28
3.4	ARMERING AV BJELKEENDE.....	28
3.4.1	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	28
3.4.2	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	29
3.4.3	HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE .....	29
3.4.4	ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE .....	30
3.5	SØYLEENHET .....	31
3.5.1	OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_v$ .....	32
3.5.2	OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$ .....	33
3.5.3	BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN .....	33
<b>DEL 4 - BSF 300.....</b>		<b>34</b>
4.1	BJELKEENHET - LIKEVEKT .....	34
4.2	BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING .....	35
4.3	BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING .....	39
4.4	ARMERING AV BJELKEENDE.....	39
4.4.1	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	39
4.4.2	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	40
4.4.3	HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE .....	40
4.4.4	ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE .....	41
4.5	SØYLEENHET .....	42
4.5.1	OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_v$ .....	43
4.5.2	OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$ .....	44
4.5.3	BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN .....	44
<b>DEL 5 - BSF 450.....</b>		<b>46</b>
5.1	BJELKEENHET - LIKEVEKT .....	46
5.2	BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING .....	47
5.3	BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING .....	51
5.4	ARMERING AV BJELKEENDE.....	52
5.4.1	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	52
5.4.2	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	52
5.4.3	HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE .....	52
5.4.4	ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE .....	53
5.5	SØYLEENHET .....	54

5.5.1	OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_v$ .....	55
5.5.2	OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$ .....	56
5.5.3	BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN .....	56
<b>DEL 6 - BSF 700</b> .....		<b>57</b>
6.1	BJELKEENHET - LIKEVEKT .....	57
6.2	BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING .....	58
6.3	BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING .....	62
6.4	ARMERING AV BJELKEENDE.....	63
6.4.1	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	63
6.4.2	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	63
6.4.3	HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE .....	63
6.4.4	ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE .....	64
6.5	SØYLEENHET .....	65
6.5.1	OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_v$ *).....	66
6.5.2	l: Nominell posisjon til kniv.....	66
6.5.3	OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$ .....	67
6.5.4	BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN .....	67
<b>DEL 7 - BSF 1100</b> .....		<b>68</b>
7.1	BJELKEENHET - LIKEVEKT .....	68
7.2	BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING .....	69
7.3	BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING .....	73
7.4	ARMERING AV BJELKEENDE.....	73
7.4.1	SKJÆRARMERING I BJELKEENDE.....	73
7.4.2	SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE.....	74
7.4.3	HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE .....	74
7.4.4	ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE .....	75
7.5	SØYLEENHET .....	76
7.5.1	OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_v$ *).....	77
7.5.2	OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$ .....	78
7.5.3	BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN .....	78

# DEL 1 GUNNLEGGENDE FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER

## 1.1 GENERELT

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

Selve bjelkeenhetens kapasitet (kniven) er uavhengig av bjelkens betongkvalitet, men krever at forankringsarmeringen er plassert som forutsatt og vist i memoene for armering for de ulike enhetene. Dermed vil bruk av sterkere eller svakere betong kun påvirke forhold som går på selve bjelken. (Som f.eks. nødvendig tverrsnitt, mengde skjærarmering, nødvendig forankringslengde, dordiameter på forankringsarmering etc.)

Dette er litt annerledes for ståldelene i søylen. For BSF225, BSF300, BSF450 og BSF700 forutsetter dimensjonene på de ulike delene at søylen har en betongkvalitet på minimum B35, med dimensjonerende fastheter som gitt i avsnitt 1.3. For BSF1100 er forutsatt minimum betongkvalitet B45. Dermed vil bruk av svakere betong (lavere  $f_{cd}$ ) tilsi at mindre kraft kan overføres til søylen både vertikalt og horisontalt pga betongknusing. Bruk av sterkere betong (høyere  $f_{cd}$ ) vil ikke øke kapasiteten pga overbelastning av ståldelene.

I bjelken må det alltid kontrolleres at kreftene fra forankringsarmeringen kan overføres til bjelkens hovedarmering. Skjærarmeringen (bøyler) som er beregnet i eksemplene inkluderer alle bøyler det er behov for i bjelkeenden; det vil si den vanlige skjærarmeringen man finner i bjelkeender pluss et tillegg som skyldes innspenningen av bjelkeenheten i bjelken.

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

## 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.
- CEN/TS 1992-4-2:2009 Dimensjonering av festemidler i betong. Bolter med hode.

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

Parameter	$\gamma_c$	$\gamma_s$	$\alpha_{cc}$	$\alpha_{ct}$
Verdi	1,5	1,15	0,85	0,85

**Tabell 1: NDP-er i EC2.**

Parameter	$\gamma_{M0}$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$
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
$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times 35 / 1,5 = 19,8$ MPa	EC2, Pkt. 3.1.6
$f_{ctd} = \alpha_{ct} \times f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \times 2,2 / 1,5 = 1,24$ MPa	EC2, Pkt. 3.1.6
$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,24 = 2,79$ MPa	EC2, Pkt. 8.4.2

Betong B45/55: $f_{ck} = 45,0$ MPa	EC2, Tabell 3.1
$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times 45 / 1,5 = 25,5$ MPa	EC2, Pkt. 3.1.6
$f_{ctd} = \alpha_{ct} \times f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \times 2,70 / 1,5 = 1,53$ MPa	EC2, Pkt. 3.1.6
$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,53 = 3,4$ MPa	EC2, Pkt. 8.4.2

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 halvrundstålene fremme og bak på enheten.*

Stål Sxxx (EN 10025-2):

Stål S355:  $t \leq 40$  mm:

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

Stål S355:  $t > 40$  mm:

Strekk:	$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 335 / 1,1 = 304$ MPa
Trykk:	$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 335 / 1,1 = 304$ MPa
Skjær:	$f_{sd} = f_y / (\gamma_{M0} \times \sqrt{3}) = 335 / (1,1 \times \sqrt{3}) = 175$ MPa
Sveis S355:	$f_{w,d} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \sqrt{3}} \times \frac{1}{\beta_w} = \frac{470}{1,25 \times \sqrt{3}} \times \frac{1}{0,9} = 241$ MPa

Stål S275:	Strekk:	$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 275 / 1,1 = 250$ MPa
	Trykk:	$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 275 / 1,1 = 250$ MPa
	Skjær:	$f_{sd} = f_y / (\gamma_{M0} \times \sqrt{3}) = 275 / (1,1 \times \sqrt{3}) = 144$ MPa

$$\text{Sveis S275: } f_{w,d} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \sqrt{3}} \times \frac{1}{\beta_w} = \frac{430}{1,25 \times \sqrt{3}} \times \frac{1}{0,85} = 233 \text{ MPa}$$

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	KNIV				POSISJON	HALVRUNDSTÅL			HORIZONTAL FORANKRING <sup>1)</sup>
	L [mm]	H [mm]	t [mm]	Stålkv.		D [mm]	L [mm]	Stålkv.	
BSF225	510	195	20	S355	FRONT (TOPP)	Ø76	100	S355	2×M12, 8.8+ mutter, L=650mm & st.pl.50×50×8, S355
					BAK (BUNN)	Ø76	100	S275	1×M16, 8.8+ mutter, L=350mm & st.pl.70×70×10, S355
BSF300	510	235	20	S355	FRONT (TOPP)	Ø76	100	S355	2×M12, 8.8+ mutter, L=650mm & st.pl.50×50×8, S355
					BAK (BUNN)	Ø76	100	S275	1×M16, 8.8+ mutter, L=350mm & st.pl.70×70×10, S355
BSF450	645	250	30	S355	FRONT (TOPP)	Ø76	140	S355	2×M12, 8.8+ mutter, L=750mm & st.pl.50×50×8, S355
					BAK (BUNN)	Ø76	100	S275	1×M16, 8.8+ mutter, L=350mm & st.pl.70×70×10, S355
BSF700	645	280	40	S355	FRONT (TOPP)	Ø175	140	S355	2×M16, 8.8+ mutter, L=750mm & st.pl.70×70×10, S355
					BAK (BUNN)	Ø76	100	S275	1×M20, 8.8+ mutter, L=350mm & st.pl.90×90×12, S355
BSF1100	980	360	50	S355 <sup>2)</sup>	FRONT (TOPP)	Ø175	200	S355	2×M24, 8.8+ mutter, L=1000mm & st.pl.110×110×15, S355
					BAK (BUNN)	Ø100	100	S275	1×M24, 8.8+ mutter, L=350mm & st.pl.110×110×15, S355

Tabell 3: Dimensjoner – bjelkeenhet. <sup>1)</sup> Se også Tabell 5. <sup>2)</sup> Redusert flytespenning pga. t>40mm.

ENHET	BUNNPLATE				VERTIKALT ARMERINGJERN	HORIZONTAL FORANKRING <sup>1)</sup>
	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]	Stålkv.		
BSF225	110	110	20	S355	1×ø20 L=600mm	2×M12, 8.8 +mutter & st.pl. 50×50×8, S355
BSF300	110	150	25	S355	1×ø20 L=600mm	2×M12, 8.8 +mutter & st.pl. 50×50×8, S355
BSF450	125	180	30	S355	1×ø25 L=600mm	2×M16, 8.8 +mutter & st.pl. 70×70×10, S355
BSF700	150	200	40	S355	2×ø25 L=790mm	2×M20, 8.8 +mutter & st.pl. 90×90×12, S355
BSF1100	200	250	60	S355 <sup>2)</sup>	2×ø32 L=690mm	2×M24, 8.8 +mutter & st.pl. 110×110×15, S355

**Tabell 4: Dimensjoner – søyleenhet.** <sup>1)</sup> Se også Tabell 5. <sup>2)</sup> Redusert flytespenning pga.  $t > 40$ mm.

NOMINELL DIAMETER	M12		M16		M20		M24		
Ekvivalent diameter: $\varnothing_{eq}$ [mm]	10,4		14,1		17,7		21,2		
Spenningsareal: $A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	84		157		245		353		
Strekkekapasitet (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 $F_{cap}$ : <sup>1)</sup> $b_{req} \geq [F_{cap}/f_{cd} + \varnothing \times \varnothing_{nom}^2/4]^{0.5}$ [mm] Valgt $b \times b$	≈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 <sup>2</sup> ]	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: <sup>1)</sup> $a = (2^{0.5} \times b - NV)/2 \rightarrow t_1 \geq a \times (\varnothing_c/f_{yd})^{0.5}$ $c = b/2 - NV/2 \rightarrow t_2 \geq 3^{0.5} \times c \times (\varnothing_c/f_{yd})^{0.5}$ $t > [t_1, t_2]$ [mm]	a=25,9 c=15,5	t <sub>1</sub> =6,5 t <sub>2</sub> =6,7	a=37,5 c=23	t <sub>1</sub> =9,1 t <sub>2</sub> =9,7	a=48,6 c=30	t <sub>1</sub> =11,5 t <sub>2</sub> =12,3	a=60 c=37	t <sub>1</sub> =13,9 t <sub>2</sub> =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: (1,5D)	S275	18mm		24mm		30mm		36mm	
	S355	18mm		24mm		30mm		36mm	
Dimensjon gjengehylse [mm]	50×18×18		60×22×22		70×30×30		80×32×32		

**Tabell 5: Dimensjoner – gjengestenger, hylser og stålplater.**

<sup>1)</sup> De valgte/opplistede dimensjonene er basert på betongkvaliteter og parameter som gitt i avsnittene 1.2 og 1.3.

## 1.5 LAST

Bruddgrenselast vertikalt:  $F_v$  = se Tabell 6.

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

Bruddgrenselast horisontalt – på tvers:  $F_T=0\text{kN}$

### \*Merknader:

- BSF - enhetenes bruksområde er bæring av vertikallast.
- Betydelige horisontalkrefter på enheten kan oppstå dersom påførte deformasjoner (pga. svinn, temperaturvariasjoner etc.) i betongelementet fastholdes av stive søyler. 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.
- BSF kniven vil normalt gi en eksentrisk last på søylen. Dermed vil det oppstå et horisontalt kraftpar i topp og bunn av søylen som balanserer eksentrisiteten. Størrelsen på disse horisontalkreftene vil alltid være proporsjonal med den opptredende vertikalkraften. For normale situasjoner vil horisontalkreftene være mindre enn  $F_{v,opptredende} \times 0,1$ . Disse kreftene vil dermed normalt sett kunne overføres gjennom BSF-forbindelsen siden andelen er mindre enn minste friksjonsfaktor. Denne forutsetningen må imidlertid kontrolleres i hvert enkelt tilfelle.
- Horizontalforankring av ståldelene forutsetter minimum betongkvalitet B35/45 i søyle og bjelke. (Merk: minimum B45 i søyle for BSF1100 enhet)

ENHET	VERTIKAL BRUDDLAST $F_v$ [kN]	LASTKOMBINASJON BJELKE OG SØYLEENHET		HORISONTAL FORANKRING I BJELKE	
		VERT. $1,0F_v$ [kN]	HOR. $0,3F_v$ [kN]	OVERKANT ENHET $H=0,2F_v$	UNDERKANT ENHET $H=0,2F_v$
BSF225	225	225	67,5	45	45
BSF300	300	300	90	60	60
BSF450	450	450	135	90	90
BSF700	700	700	210	140	140
BSF1100	1100	1100	330	330 <sup>1)</sup>	165 <sup>1)</sup>

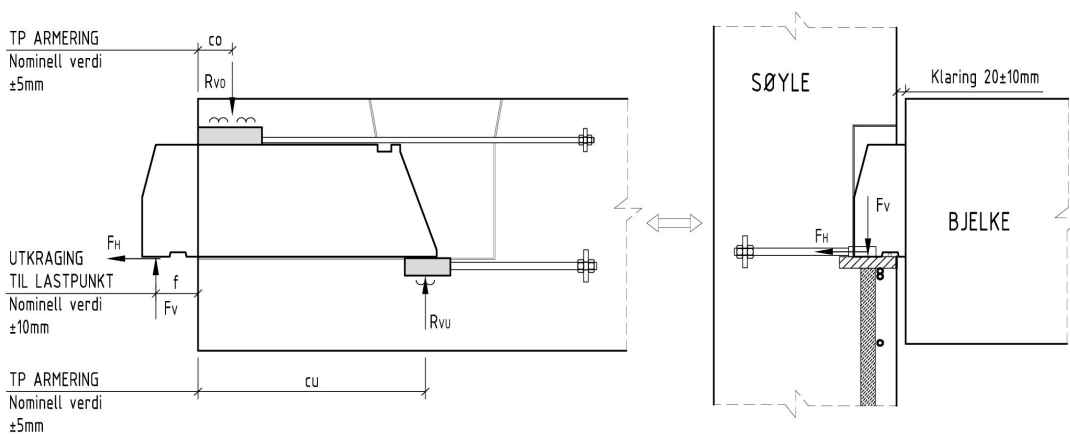
Tabell 6: Dimensjonerende laster. <sup>1)</sup>Pga geometri på BSF1100 er forankret for  $0,3F_v$  fremme og  $0,15F_v$  bak



## 1.6 TOLERANSER

Nominell klaring mellom søyle og bjelke er 20mm med en toleranse på  $\pm 10\text{mm}$ . 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 søylen alltid blir det samme. Kniven skal alltid skyves ut slik at den bunner i søylekassens bakplate.

Toleranser på plassering av forankringsarmering er  $\pm 5\text{mm}$ . (TP = tyngdepunkt)



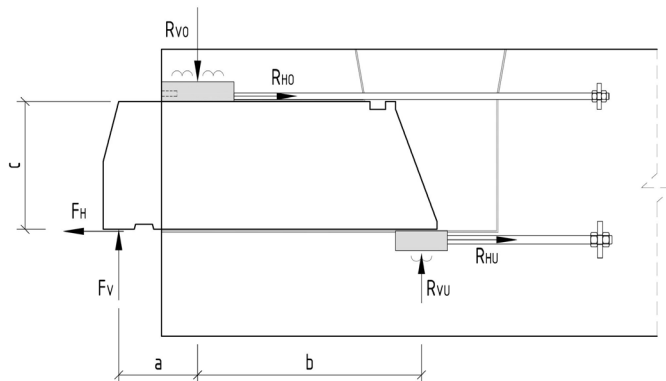
**Figur 1: Toleranser.**

## DEL 2 DIMENSJONERINGSPRINSIPPER - ARMERING AV BSF

### 2.1 GENERELT

Ved beregning av armering antas maksimal utkraging av kniven til lastpunktet i kombinasjon med ugunstigste plassering av forankringsarmeringen i front og bakkant av kniven.

### 2.2 BJELKEENHET - LIKEVEKT



Figur 2: Likevekt.

Ved beregning av nødvendig forankringsarmering i front og i bakkant av kniven antas at horisontale forankringskrefter er som følger:  $R_{HU} = 0,1F_V$  og  $R_{HO} = 0,2F_V$ . (For BSF 1100:  $R_{HU}$  er antatt  $0,06F_V$ , og  $R_{HO}$  er antatt  $0,24F_V$ ). Ugunstige toleranser på armeringsplassering og lastplassering er inkludert i parametrene a og b. Likevektsgningen blir:

$$\text{BSF 225, BSF300, BSF450, BSF700: } R_{VO} = F_V \times \frac{a+b}{b} + R_{HO} \times \frac{c}{b} = F_V \times \frac{a+b}{b} + 0,2F_V \times \frac{c}{b}$$

$$\text{BSF 1100: } R_{VO} = F_V \times \frac{a+b}{b} + R_{HO} \times \frac{c}{b} = F_V \times \frac{a+b}{b} + 0,24F_V \times \frac{c}{b}$$

$$\text{Alle enheter: } R_{VU} = R_{VO} - F_V$$

### 2.3 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

#### 1) Forankringsarmering i fremkant:

Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering i front blir:

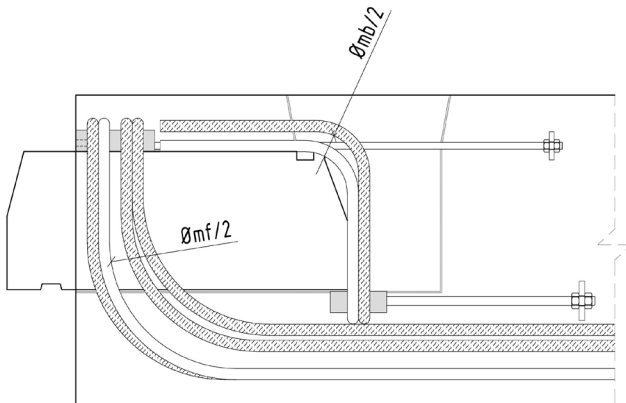
$$A_s = \frac{R_{VO}}{f_{yd}}$$

#### 2) Forankringsarmering i bakkant:

Nødvendig tverrsnittsareal på forankringsarmering i bakkant blir:

$$A_s = \frac{R_{VU}}{f_{yd}}$$

Bøying av forankringsarmering - EC2, pkt 6.5.4/6.5.2 samt fib Bulletin 52 "Structural concrete - Textbook on behaviour, design and performance", vol.2, avsnitt 3.2.3:



Figur 3: Bøying av armering.

Tillatt betongspenning i node:  $f_{cd2} = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd}$

Opptredende betongspenning i node:  $\sigma_c = \frac{R}{b_{eff} \times \varnothing_m \times \sin \theta \times \cos \theta}$

$b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Dersom trykkdiagonalen krysser enheten skal bredden av enheten trekkes fra.

$\varnothing_m$  = Dordiameter ved bøying av armering.

$\theta$  = antar trykkdiagonaler i 45 grader.  $\Rightarrow \sin \theta \times \cos \theta = 0,5$

R = Kraft i armering.

Løser ut for  $\varnothing_m$ , innsatt  $\sigma_c = f_{cd2}$  og  $\sin \theta \times \cos \theta = 0,5$ :

$$\varnothing_m = \frac{R}{b_{eff} \times f_{cd2} \times \sin \theta \times \cos \theta} = \frac{R}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5}$$

Minimum dordiameter - bøying av forankringsarmering i front:

$$\varnothing_{mf} = \frac{R_{VO}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5}$$

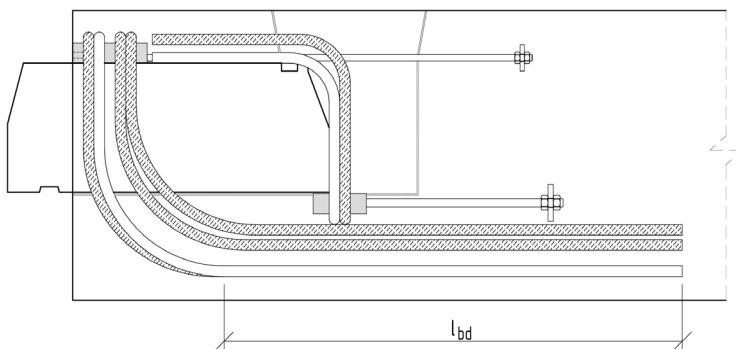
Minimum dordiameter - bøying av forankringsarmering i bakkant:

$$\varnothing_{mb} = \frac{R_{VU}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5}$$

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

Fra fagverksmodellen i Figur 6 ser man at kraften i frontarmeringen avtar noe ned mot bøyen for høye bjelker. Likevel anbefales å benytte full verdi på kraften  $R_{VO}$  ved beregning av minimum dordiameter.

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



**Figur 4: Forankring av armering.**

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

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

$$\text{Spenning i armeringsstang: } \sigma_{sd} = \frac{R_{VO}}{A_s}$$

$A_s$  = 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.

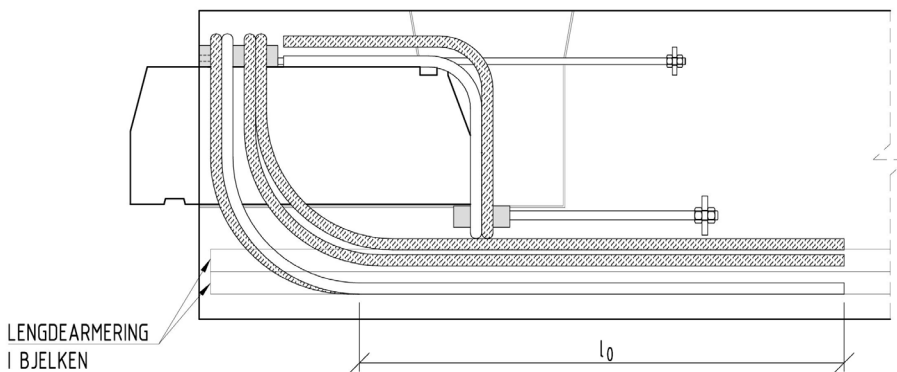
Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

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

**4) Omfaringslengde - EC2, pkt 8.7.3:**



**Figur 5: Omfaringslengde.**

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

Nødvendig omfaringslengde:

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

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

Tabell 8.2:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  and  $\alpha_5 = 1,0$  som beregnet i pkt. 3.

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

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

**5) Forankring av hovedarmering:**

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

**2.4 BJELKEENHET - HORISONTALFORANKRING**

Bjelkeenheten er forankret for en total horisontalkraft på  $F_H = 0,3F_V$ . Kniven vil kun være i kontakt med halvrundstålet i front oppe, og halvrundstålet i bakkant under enheten. Her overføres horisontalkraften ved friksjon mellom kniv og halvrundstål. Pga knivens geometri (BSF225, BSF300, BSF450 og BSF700) vil reaksjonskraften i bakkant være ca halvparten av knivens oppleggslast. Dersom man antar en friksjonsfaktor på 0,2 mellom kniv og halvrundstål i bakkant vil en horisontalkraft på  $0,5F_V \times 0,2 = 0,1F_V$  alltid kunne overføres i dette punktet. Dermed må de øvrige  $0,2F_V$  overføres mot halvrundstålet i fremkant av kniven. Det er valgt å forankre begge halvrundstålene for en horisontalkraft lik  $F_H = 0,2F_V$ .

BSF1100 kniven har en litt annen geometri enn de mindre enhetene, og reaksjonskraft i bakkant av enheten vil bli ca  $1/3$  av oppleggslasten. Med samme antagelse om friksjonsfaktor  $0,2$  vil en horisontalkraft lik  $1/3F_v \times 0,2 = 0,06F_v$  alltid kunne overføres i dette punktet. Den resterende kraften på  $0,24F_v$  må overføres i front av kniven, mot halvrundstålet over kniven. En horisontalkraft på  $0,24F_v$  i dette punktet er inkludert ved beregning av forankringsarmering for denne enheten. Med hensyn til horisontalforankring er det valgt å differensiere mellom de to halvrundstålene. Halvrundstålet i front er forankret for en horisontalkraft  $F_H = 0,3F_v$  mens halvrundstålet i bakkant er forankret for  $F_H = 0,15F_v$ .

Nødvendig dimensjon på gjengestenger, stålplater og gjengelengder i halvrundstål finnes fra Tabell 5.

## 2.5 VURDERING AV ARMERINGSFØRING I ENDEN AV BJELKEN

### 2.5.1 FAGVERKSMODELL

Den lastbærende virkemåten i enden av bjelken kan beskrives med en fagverksmodell. Figur 6 illustrerer modellen for indre høyde  $z$  som ulike multippel av indre lengde  $b$ . Som indikert vil et lokalt fagverk (blått) som bærer bøyemomentet fra utkragingen kunne ha ett eller flere høyder avhengig av bjelkehøyden.

#### Lave bjelker:

For lave bjelker vil hele reaksjonskraften  $R_{VU}$  kunne løftes/bæres av forankringsarmeringen i bakkant av enheten. Den nødvendige armeringen den første lengden ( $b$ ) av bjelken vil da kun bestå av forankringsarmering i front og bakkant av enheten, samt skjærarmering for skjærkraften  $R_{V0}$ .

#### Høye bjelker:

Illustrasjonen viser at for høye bjelker vil noe av reaksjonskraften  $R_{VU}$  passere forankringsarmeringen i bakkant av kniven og spre seg nedover i bjelken som trykkdiagonaler mot fronten av bjelken. Modellen indikerer at vertikalkomponenten i disse trykkdiagonalene vil henge seg på frontarmeringen og redusere kraften i denne mot bunn av bjelken. For dimensjoneringsformål anbefales ikke å utnytte denne reduksjonen, hverken når minimum dordiameter og forankringslengde beregnes, eller når nødvendig forankringsarmering i bakkant beregnes.

Horisontalkomponenten i trykkdiagonalene må forankres med horisontalarmering innover fra bjelkeenden. Ved dimensjoneringen kan 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:

$$1/2(a/b) \times F_v / (z/2). \text{ Dette tilsvarer: } (a/b) \times F_v / z = R_{VU} / z.$$

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

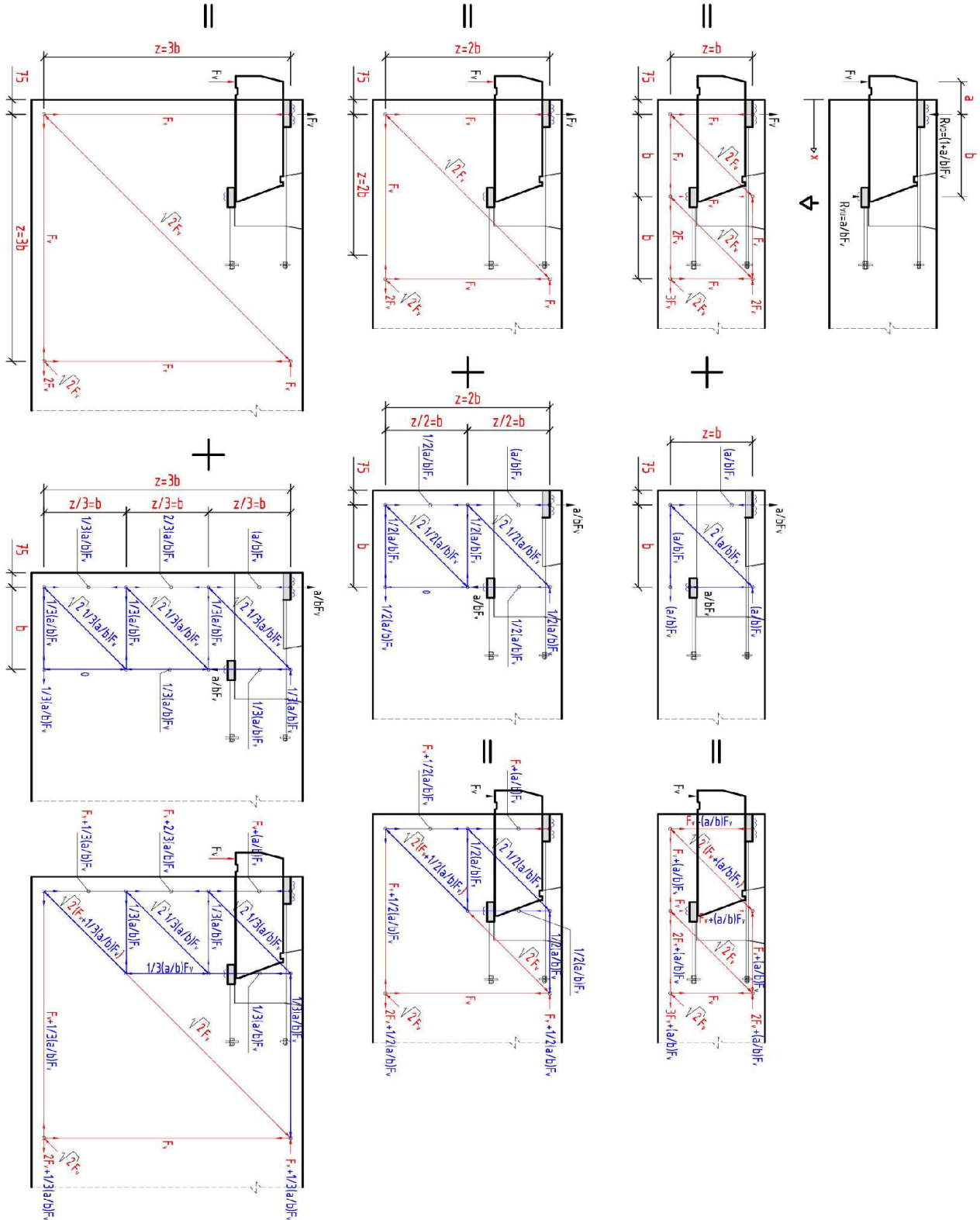
$$1/3(a/b) \times F_v / (z/3). \text{ Dette tilsvarer: } (a/b) \times F_v / z = R_{VU} / z.$$

Illustrasjonen over viser at kraftintensiteten mot enden av bjelken alltid blir:  $R_{VU} / z$ . Intensiteten er altså avhengig av bjelkehøyden. Horisontale bøyer er anbefalt når indre høyde ( $z$ ) er større enn  $b + \varnothing_{mandrel} / 2$ , se Figur 7.

Som nevnt vil vertikalkomponenten i trykkdiagonalen, i følge fagverksmodellen, henge seg på frontarmeringen. Denne interne effekten vil ikke redusere skjærkraften i bjelken, siden vertikal likevekt i ethvert snitt innenfor

---

den første lengde (b) vil kreve en skjærkraft lik kraften  $R_{V0}$ . Dermed er bjelkens kapasitet ivaretatt også for høyere bjelker dersom man i dette området dimensjonerer skjærarmingen for skjærkraften  $R_{V0}$ , samt inkluderer horisontale bøyer fra enden av bjelken og innover som beskrevet over. Det er viktig at disse bøyene er tilstrekkelig forankret videre innover bjelken fra bakkant av bjelkeenheten. Ingen ekstra skjærbøyer i bakkant av enheten for å ta imot de kreftene som spres forbi forankringsarmingen vil være nødvendig, siden fagverksmodellen viser at disse kreftene kan spres mot fronten av bjelken.



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



### 2.5.2 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Skjærkraften i bjelkeenden innenfor lengden av bjelkeenheten vil tilsvare kraften  $R_{VO}$

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

Den nødvendige mengde skjærarmering som kreves ifølge disse beregningene skal føres minst 200mm forbi enden av bjelkeenheten for å samtidig motvirke splittkreftene som kommer fra forankringen av horisontalkraft i gjengestengene. (Merk: Forankringsbøylene skal føres så langt ned i tverrsnittet som mulig. Dersom det pga bjelkens geometri er stort avvik (>5%) mellom ordinær z-verdi beregnet til tyngdepunkt for bjelkens hovedarmring og en z-verdi beregnet til tyngdepunkt for forankringsbøylene horisontaldel, skal skjærarmeringsbehov i første del av bjelken beregnes med den minste av de to z-verdiene. Ved store avvik må kraftgangen vurderes spesielt)

### 2.5.3 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

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

$$b_w = b_{bjelke} - b_{enhet}$$

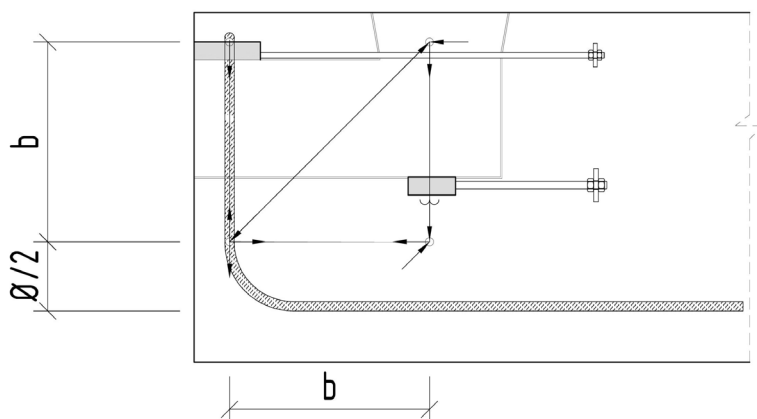
### 2.5.4 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

I henhold til fagverksmodell:

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

Anbefalt inkludert når  $z > b + \varnothing_m/2$ , se Figur 7

hvor:  $\varnothing_m$  = dordiameter på forankringsbøyer i front.

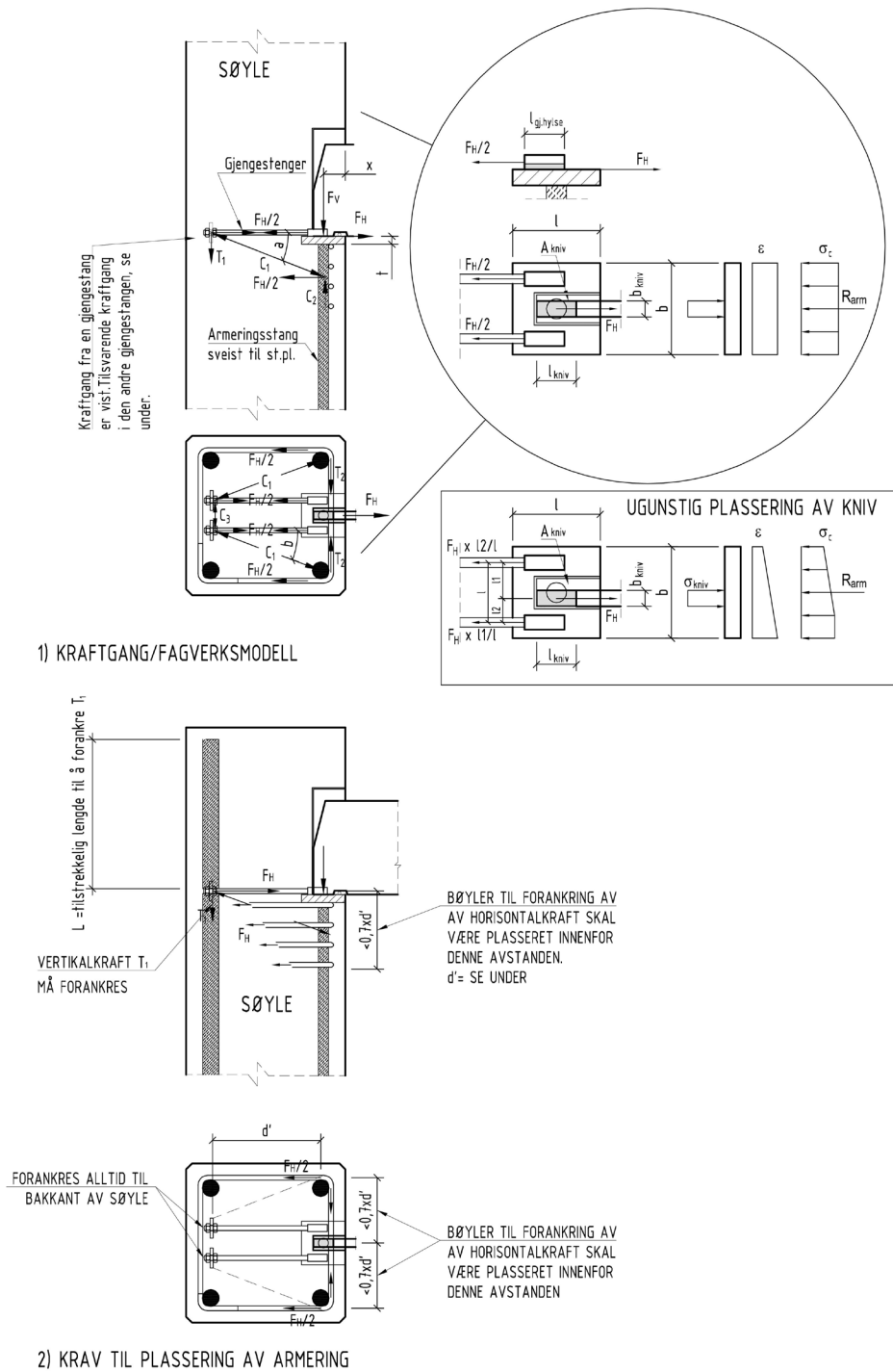


**Figur 7: Illustrasjon.**

Antar:  $z = 0,9d$ , og  $d = h - 2 \times \text{overdekning}$  gir følgende uttrykk for bjelkehøyde:

$$h > (b + \varnothing_m/2) / 0,9 + 2 \times \text{overdekning}$$

## 2.6 SØYLEENHET



Figur 8: Prinsipiell kraftgang i søylen.

**1) Overføring av vertikallast  $F_V$ :**

En del av kraften overføres delvis direkte til betongen og delvis til det påsveiste armeringsjernet. Et Excel ark benyttes for å finne kraftfordelingen under platen. Den benyttede spenning-tøyingskurven for betong er vist i Figur 9.

I: Nominell plassering av kniv (senter utsparing):

Betongspenning og kraft i armering er beregnet basert på konstant tøyning under stålplaten.

I: Ugunstig plassering av kniv:

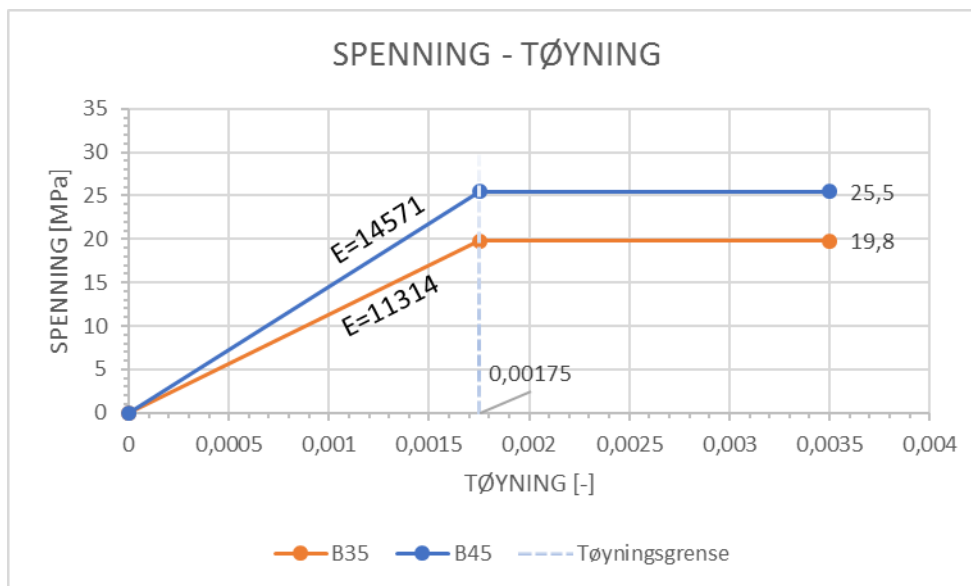
Pga. klaring i utsparingskassen kan lasten fra kniven komme eksentrisk på platen. Det antas en lineært varierende tøyning under stålplaten, og i regnearket varieres maks/min til det er likevekt mellom påført kraft og reaksjonskraft i betong/armering. Maksimal opptredende betongtøyning er kontrollert for å være mindre enn bruddgrensetøyning (3,5‰)

Når spenninger/krefter under stålplaten er funnet, brukes analyseprogrammet Colbeam til å dokumentere selve stålplaten.

Nødvendig lengde til armeringsjernet beregnes fra:

$$L_{armering} = \frac{F_{armering}}{2 \times \pi \times \varnothing / 2 \times f_{bd}}$$

Hvor:  $F_{armering}$  = Maksimum beregnet reaksjonskraft i armeringen fra vurdering I og II



**Figur 9: Betong spenning-tøyingskurve.**

**2) Overføring av horisontalkraft  $F_H=0,3F_V$ :**

Horisontalkraften overføres fra stålplaten til to gjengestenger via gjengehylser som er sveist direkte til stålplaten. Gjengestengene er forankret med stålplate og mutter. Det anbefales alltid at gjengestengene går helt til søylens baksida slik at forankringen er så dyp som mulig. Horisontalkraften antas videre overført til søylens bøylearmering via en fagverksmodell som illustrert i Figur 8 - pkt. 1). Søylene skal armeres i

overenstemmelse med kreftene i fagverksmodellen. Dette følger også av pkt. 5.3.1 i CEN/TS 1992-4-2. Armeringen for horisontalkraften bør legges så nær enheten som mulig, slik at vinklene i fagverket blir så små som mulig. Punkt 6.2.2 gir imidlertid spesifikke krav til plassering av armeringen, se Figur 8 - pkt. 2). Bare armering innenfor en avstand  $\leq 0,7d'$  kan regnes effektiv.

Beregner maksimale strekkrefter i fagverksmodellen (armering i avstand  $0,7d'$ ).

$$T_1 = F_H / 2 \times 0,7$$

$$\Rightarrow T_1 = F_H / 2 \times 0,7 = 0,35F_H$$

$\Rightarrow$  Summen av vertikalkraft fra de to nodene blir  $2 \times 0,35F_H / 2 = 0,7F_H$ .

Merk: Denne kraften må forankres nedover fra gjengestengenes posisjon. Normalt vil dette bli ivaretatt av trykkraft i søylen, eller at søylens hovedarmering er tilstrekkelig forankret oppover forbi enheten. Dersom enheten er plassert helt i toppen av en søyle må forankring av denne kraften vurderes spesielt.

$$T_2 = F_H / 2 \times 0,7$$

$$\Rightarrow T_2 = F_H / 2 \times 0,7 = 0,35F_H$$

$\Rightarrow T_2$  inkluderes i tillegg til splittkrefter når nødvendig mengde av armeringsbøyler under enheten beregnes.

### **3) Splittkrefter - EC2, pkt 6.5.3 (3):**

$$\text{Strekkraft: } T = \frac{1}{4} \times \frac{b-a}{b} \times F_V \text{ (hvor b og a er iht. EC2 og ikke Figur 8)}$$

$$\Rightarrow \text{Konservativ forenkling: } T = 0,25 \times F_V$$

Spalttestrekkbøyler skal plasseres iht. kravene i EC2.

### **4) Bøyler i søylen rett under søyleenheten:**

Nødvendig armering for splittkrefter (3) and horisontalkraft (2). Konservativ forenkling:

$$A_s = \frac{T}{f_{yd}} + \frac{T_2}{f_{yd}} = \frac{0,25 \times F_V}{f_{yd}} + \frac{0,35 \times F_H}{f_{yd}} = \frac{0,25 \times F_V}{f_{yd}} + \frac{0,35 \times 0,3 \times F_V}{f_{yd}} \approx \frac{0,4 \times F_V}{f_{yd}}$$

$$\text{Nødvendig mengde bøyler: } n = \frac{A_s}{\pi \times \frac{\varnothing_{stirrup}^2}{4}}$$

### **5) Prinsipiell armering i søylen:**

Figur 10 illustrerer og oppsummerer prinsipiell armering i søylen lokalt ved enheten. Armeringsmengde i sone 1 skal være som beregnet i punkt 4.

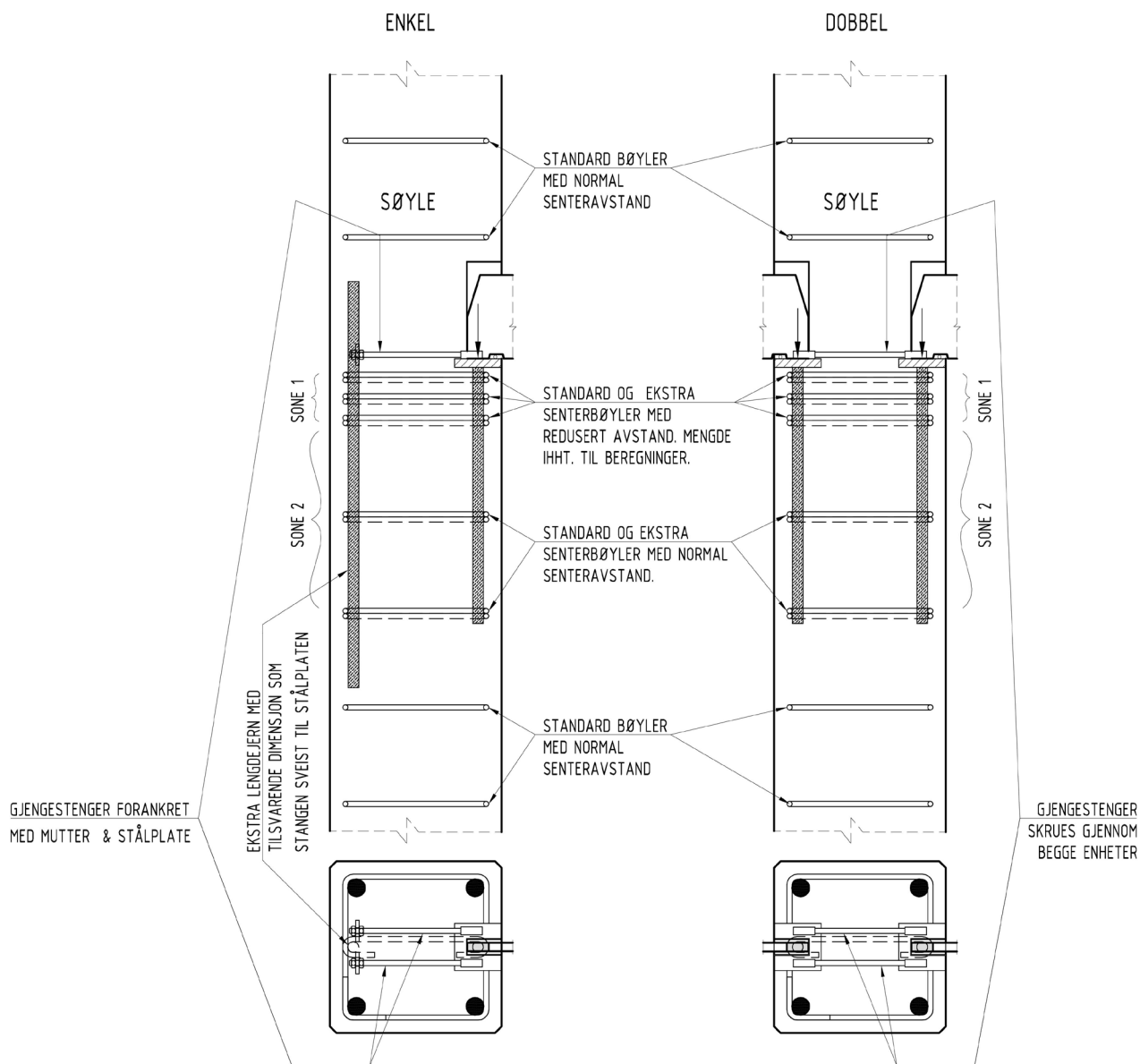
Det er videre anbefalt å bruke ekstra armeringsnåler i senter av søylen. Disse skal da forankres rundt armeringsstangen(ene) som er påsveist stålblaten. Det anbefales samme senteravstand og dimensjon på disse nålene som på standardbøylene. Dersom det brukes en enkelt enhet må det legges inn et ekstra

lengdejern i bakkant av søylen som nålene kan forankres rundt. Denne stangen kan ha samme dimensjon som stangen som er sveist til stålplaten.

Ved parvise enheter kan gjengestengene skrues inn i begge enheter slik at det dannes en gjennomgående horisontalforankring.

Figur 10 illustrerer søylen med fire lengdejern, ett i hvert hjørne av bøyene. Dette er bare en illustrasjon. Kniven vil gi en eksentrisk last på søylen og nødvendig hovedarmering i søylen må beregnes i hvert tilfelle, basert på opptredende krefter og knekk lengder.

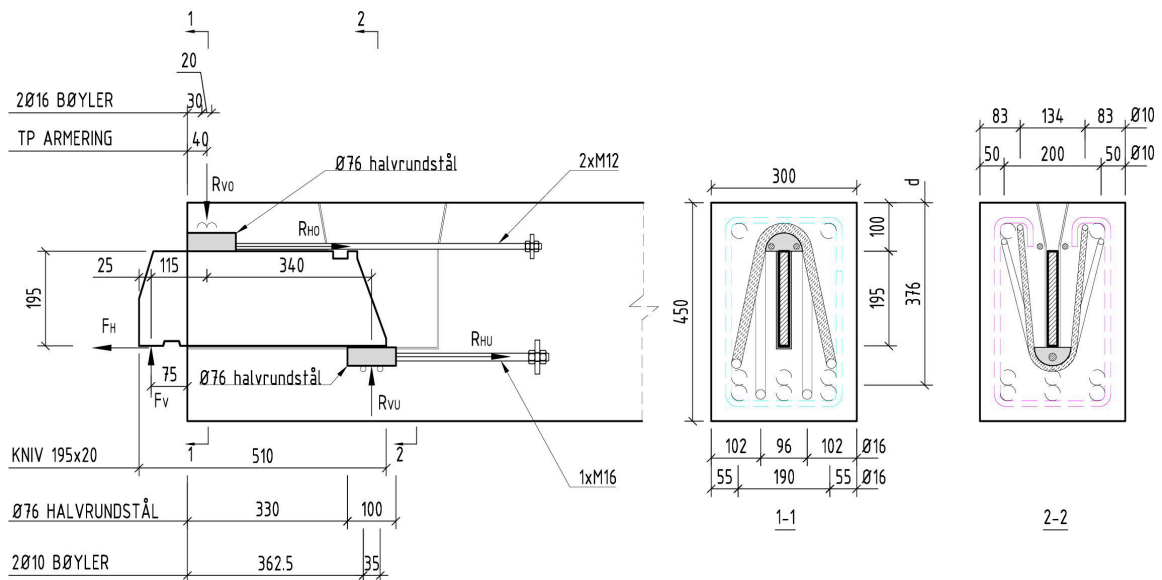
BSF - forbindelsen skal alltid støpes ut. Det kan dermed antas at søyens kapasitet kan beregnes uten reduksjon av tverrsnittsareal pga søyleenheten.



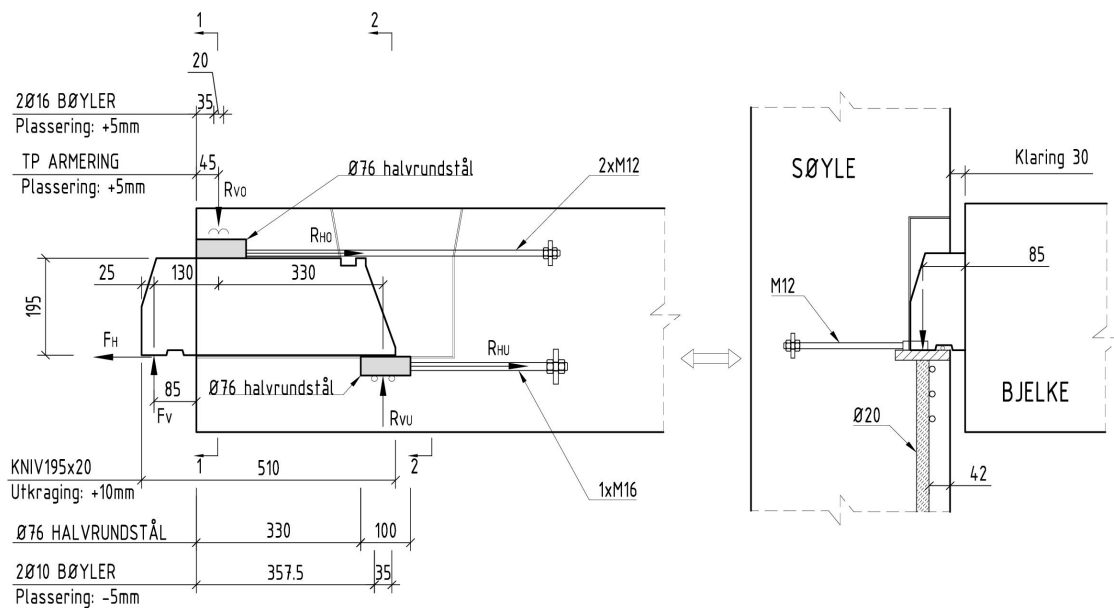
**Figur 10: Prinsipiell armering i søylen.**

## DEL 3 BSF 225

### 3.1 BJELKEENHET - LIKEVEKT



**Figur 11: BSF 225 Bjelkeenhet. Situasjon I – nominelle verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.**



**Figur 12: BSF 225 Bjelkeenhet. Situasjon II – ugunstige verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.**

**Krefter situasjon I:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{115\text{mm} + 340\text{mm}}{340\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{195\text{mm}}{340\text{mm}} \\
 &= 225\text{kN} \times \frac{115\text{mm} + 340\text{mm}}{340\text{mm}} + 0,2 \times 225\text{kN} \times \frac{195\text{mm}}{340\text{mm}} \approx 327\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 225\text{kN} = 327\text{kN} - 225\text{kN} = 102\text{kN}
 \end{aligned}$$

**Krefter situasjon II:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{130\text{mm} + 330\text{mm}}{330\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{195\text{mm}}{330\text{mm}} \\
 &= 225\text{kN} \times \frac{130\text{mm} + 330\text{mm}}{330\text{mm}} + 0,2 \times 225\text{kN} \times \frac{195\text{mm}}{330\text{mm}} = 340,2\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 225\text{kN} = 340,2\text{kN} - 225\text{kN} = 115,2\text{kN}
 \end{aligned}$$

## 3.2 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

**1) Vertikal forankringsarmering i front - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VO}}{f_{yd}} = \frac{340,2\text{kN}}{435\text{MPa}} = 782\text{mm}^2$$

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

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

Minimum dordiameter:

$$\emptyset_{mf, \min} = \frac{R_{VO}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{340200}{270 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8\text{MPa} \times 0,5} = 247\text{ mm}$$

 $b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 300\text{mm} - 30\text{mm} = 270\text{mm}$ 
 $\emptyset_{mf}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

 $\Rightarrow$  Velger:  $\emptyset = 250\text{mm}$



**2) Vertikal forankringsarmering i bakkant - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VU}}{f_{yd}} = \frac{115,2kN}{435MPa} = 265mm^2$$

$$2\emptyset 10B\ddot{y}ler = 78mm^2 \times 4 = 312mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 312mm^2 \times 435MPa = 135kN$$

Minimum dordiameter:

$$\emptyset_{mb,min} = \frac{R_{VU}}{b_{eff} \times 0,6 \times (1 - \frac{f_{ck}}{250}) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{115200}{270 \times 0,6 \times (1 - \frac{35}{250}) \times 19,8MPa \times 0,5} = 84mm$$

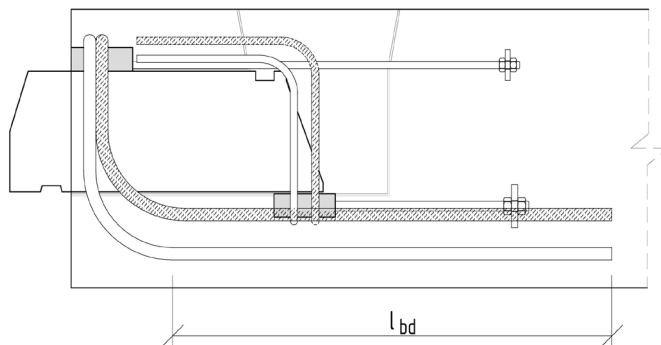
$b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 300mm - 30mm = 270mm$

$\emptyset_{mb}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

⇒ Velger:  $\emptyset = 100mm$

**3) Forankring av frontarmering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:**



**Figur 13: Forankring av armering.**

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

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

$$\text{Spenning i armering: } \sigma_{sd} = \frac{340,2kN}{804mm^2} = 423MPa$$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{423}{2,79} = 606mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \emptyset; 100mm) = 182mm$$

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 tverrarmring som ikke er sveist til hovedarmring:

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

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

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmring:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

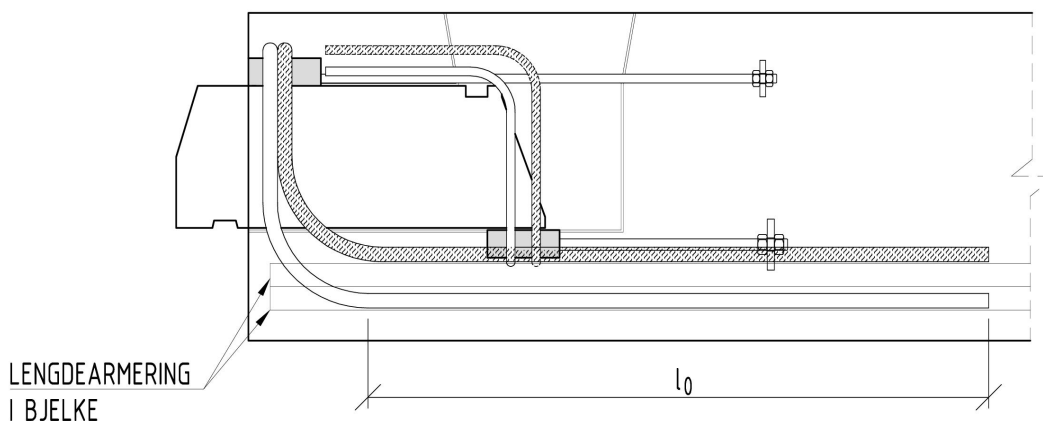
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

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

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 606 \text{mm} = 606 \text{mm}$$

#### 4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



Figur 14: 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:

$$l_{b, \text{reqd}} = 606 \text{mm, se beregning i pkt. 3.}$$

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

Tabell 8.2:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  and  $\alpha_5 = 1,0$  som beregnet i pkt. 3.

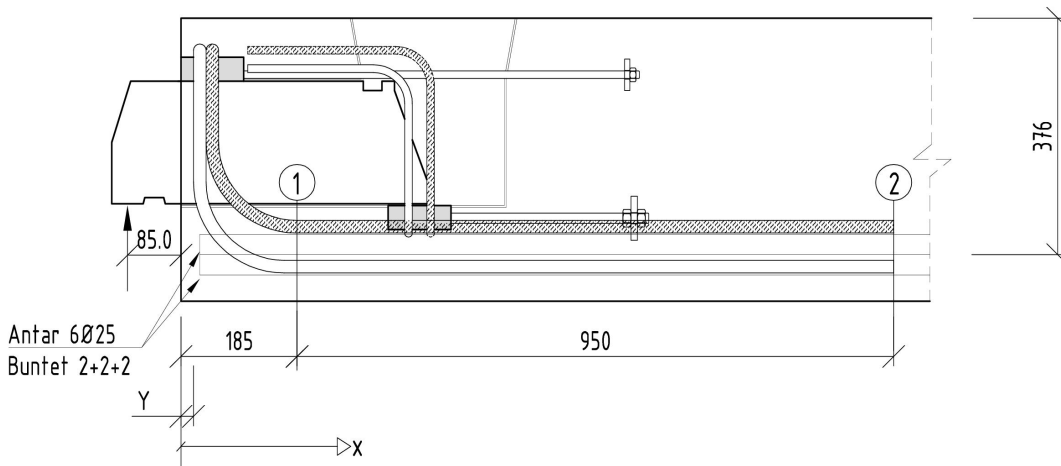
Tabell 8.3:  $\alpha_6 = 1.5$  (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 606 \text{mm} = 909 \text{mm}$$

$$\Rightarrow \text{Velger: } l_0 = 950 \text{mm}$$

### 5) Forankring av hovedarmering:

Horisontaldelen av forankringsbøylene i front av enheten må fortsette til bjelkens lengdearmering er tilstrekkelig forankret til å bære lasten.



**Figur 15: Forankring.**

Eksempel, antar:

- Lengdearmering i bunn: 6Ø25, buntet 2+2+2.
- Horisontallengden til forankringsbøylene i front er 950mm (≈ tilsvare minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved  $x=185+950=1135\text{mm}$ .
- $Y=30\text{mm}$

Snitt 1 (ved  $x=185\text{mm}$ ):

Ekvivalent diameter til 2Ø25 buntet:

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

Forankringslengde til bunt:

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

Kraft forankret i Ø25:

$$F_{\varnothing 25} = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (185 - Y) \times 3 = 2,79 \times 35 \times \pi \times (185 - 30) \times 3 = 142\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø16:

$$F_{\varnothing 16} = 340,2\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\varnothing 25} + F_{\varnothing 16} = 142\text{kN} + 340,2\text{kN} = 482,2\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=185\text{mm}$ : (pkt. 6.2.3(7))

$$\begin{aligned} S(x) &= M(x)/z + 0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)} \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0) \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \end{aligned}$$

Bøyemoment ved  $x=185$ :

$$M(x=185) = 225\text{kN} \times (185 + 85)\text{mm} = 60,8\text{kNm}$$

$$\text{Antar: } z = 0,9d = 0,9 \times 376\text{mm} = 338\text{mm (cirka)}$$

$$S(x=185) = 60,8\text{kNm} / 0,338\text{m} + 340,2\text{kN} / 2 = 350\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=185\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

#### Snitt2 (ved $x=1135\text{mm}$ ):

Kraft forankret i  $\varnothing 25$ :

$$F_{\varnothing 25} = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (1135 - Y) \times 3 = 2,79 \times 35 \times \pi \times (1135 - 30) \times 3 = 1017\text{kN}$$

Kraft forankret i  $\varnothing 16$ :

$$F_{\varnothing 16} = 0\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\varnothing 25} + F_{\varnothing 16} = 1017\text{kN} + 0\text{kN} = 1017\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=1135\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$S(x) = M(x) / z + 0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x) / z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)}$$

$$= M(x) / z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0)$$

$$= M(x) / z + 0,5 \times V_{Ed}$$

Moment ved  $x=1135$ :

$$M(x=1135) = 225\text{kN} \times (1135 + 85)\text{mm} = 274,5\text{kNm}$$

$$\text{Antar: } z = 0,9d = 0,9 \times 376\text{mm} = 338\text{mm (cirka)}$$

$$S(x=1135) = 274,5\text{kNm} / 0,338\text{m} + 225\text{kN} / 2 = 925\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=1135\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Merk: I dette eksempelet er det ikke regnet med noe reduksjon i bøyemomentet i bjelken pga jevnt fordelt last. Tverrsnittskreftene i snitt 2 vil dermed som regel være mindre enn hva som er beregnet her.

### 3.3 BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING

Horisontalforankring av halvrundstål i toppen:  $R_{HO} = 0,2 \times F_V = 45\text{kN}$ :

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

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

Horisontalforankring av halvrundstål i bunn:  $R_{HU} = 0,2 \times F_V = 45\text{kN}$ :

$$\text{Velger: } 1 \times \text{M16 gjengestang, 8.8 med mutter \& stålplate} = 90\text{kN}$$

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

### 3.4 ARMERING AV BJELKEENDE

#### 3.4.1 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i  $45^\circ$ . Skjærkraften i første del av bjelken blir  $R_{VO} = 340,2\text{kN}$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{340,2 \times 10^3 \text{ N}}{0,9 \times 0,376\text{m} \times 435\text{MPa}} = 2311\text{mm}^2 / \text{m}$$

Antar bjelkehøyde  $h=450\text{mm}$

Antar  $d=376\text{mm}$

Antar  $z=0,9d$

Antar skjærarmoring diameter  $\varnothing 10$ .

$\Rightarrow \varnothing 10c60$  ( $2617\text{mm}^2/\text{m}$ )

$\Rightarrow$  Velger  $\varnothing 10$  c/c60. Denne armeringen skal føres minst 200mm forbi enden av bjelkeenheden for og samtidig motvirke splittkreftene som kommer fra forankringen av horisontalkraft i gjengestengene.

### 3.4.2 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

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

$$b_w = b_{bjelke} - b_{enhet}$$

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

$$\Rightarrow b_w = 300\text{mm} - 30\text{mm} = 270\text{mm}$$

Antar bjelkehøyde  $h = 450\text{mm}$

Antar  $d = 376\text{mm}$

Antar  $z = 0,9d$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 270 \times 0,9 \times 376 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 466 \text{ kN } (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

### 3.4.3 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

I henhold til fagverksmodell:

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

Inkludert hvis:  $h > (b + \varnothing_{mandrel} / 2) / 0,9 + 2 \times \text{overdekning} = (320\text{mm} + 250\text{mm} / 2) / 0,9 + 2 \times 30 = 554\text{mm}$

$\Rightarrow$  Forenklet: Inkluderes hvis  $h > 550\text{mm}$

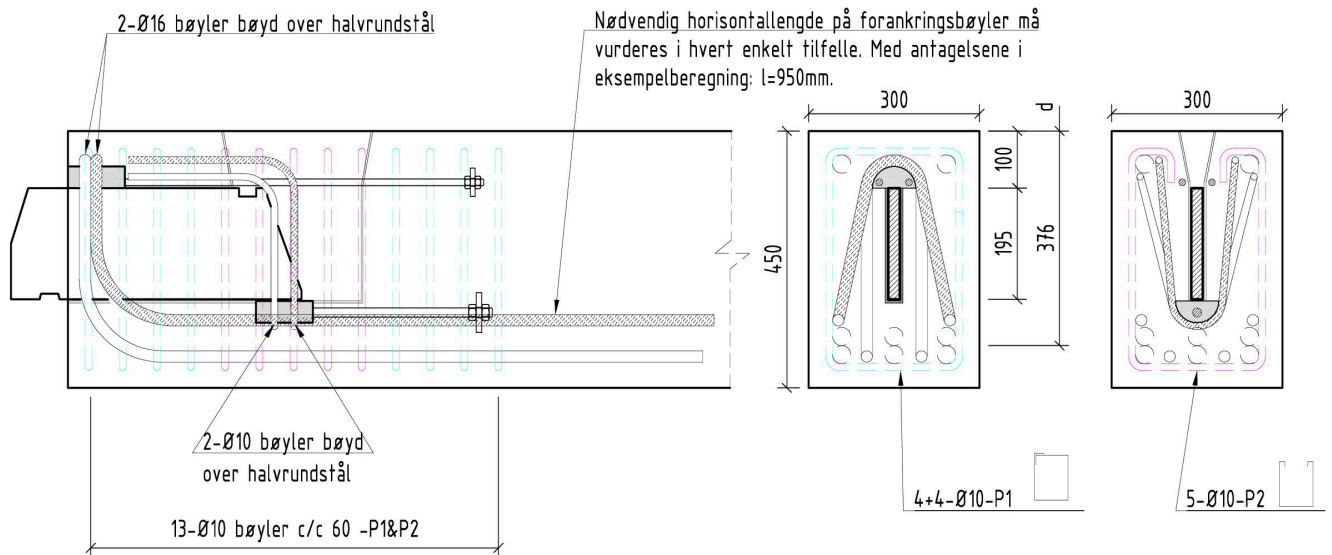
Eksempel: hvis  $z = 700\text{mm}$ :

$$\frac{A_s}{s} = \frac{115200\text{N}}{0,7\text{m} \times 435\text{MPa}} = 378\text{mm}^2 / \text{m}$$

Velger u-bøylor:  $\varnothing 12$  c/c200 =  $\pi \times 6^2 \times 2 / 0,2\text{m} = 1130\text{mm}^2/\text{m}$ . Fordeles vertikalt under enheten.

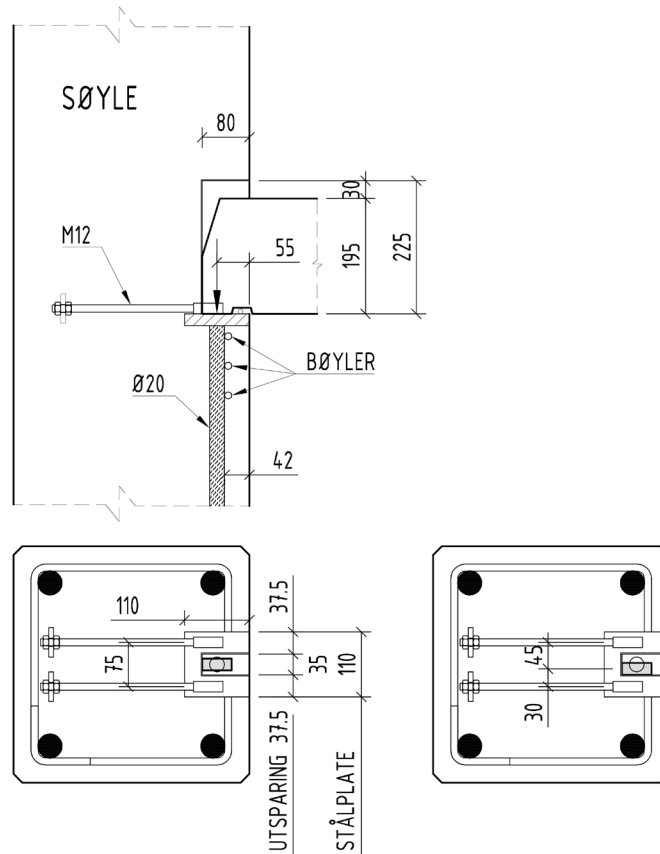
Forenklet: Horisontal lengde av stang:  $L = b + 40\varnothing = 320\text{mm} + 40 \times 12\text{mm} = 800\text{mm}$

**3.4.4 ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE**



**Figur 16: Armering i bjelkeenden.**

**3.5 SØYLEENHET**



NOMINELL POSISJON TIL KNIV

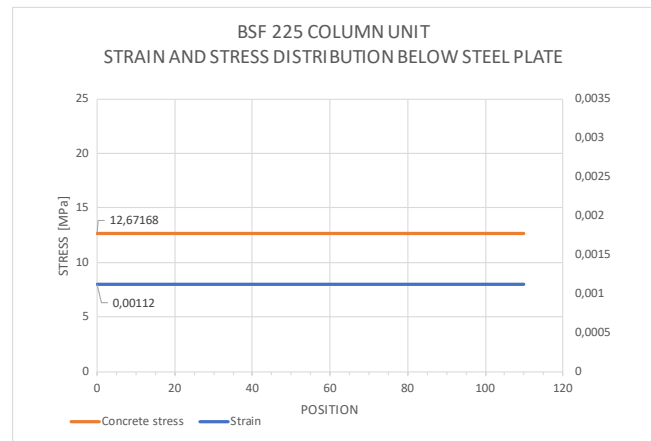
UGUNSTIG POSISJON TIL KNIV

**Figur 17: BSF225 søyleenhet. (Senterbøyler er ikke vist.)**

### 3.5.1 OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_V$

#### I: Nominell posisjon til kniv

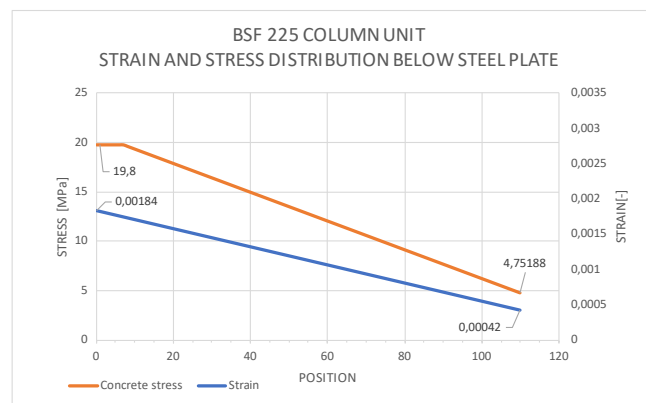
NOMINAL POSITION OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	225 kN
Eccentricity	0 m
Moment	0 kNm
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,12 [‰]
Minimum strain	1,12 [‰]
Maximum concrete stress	12,67 [Mpa]
Minimum concrete stress	12,67 [Mpa]
Stress in reinforcement bar	224 [Mpa]
Reaction force in concrete	154,7 [kN]
Reaction force in reinforcement	70,3 [kN]
$\Sigma$ Reaction force	225,1 [kN]
Moment - from concrete	
	0,00 kNm
Moment - from reinforcement	
	0,00 kNm
$\Sigma$ Moment	0,00 kNm



Figur 18: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning

#### II: Ugunstig posisjon til kniv

UNFAVOURABLE POSITION OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	225 kN
Eccentricity	0,008 m
Moment	1,8 kNm
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,84 [‰]
Minimum strain	0,42 [‰]
Maximum concrete stress	19,80 [Mpa]
Minimum concrete stress	4,75 [Mpa]
Stress in reinforcement bar	226 [Mpa]
Reaction force in concrete	155,66 kN
Reaction force in reinforcement	70,96 kN
$\Sigma$ Reaction force	226,62 kN
Moment - from concrete	
	1,81 kNm
Moment - from reinforcement	
	0,00 kNm
$\Sigma$ Moment	1,81 kNm



Figur 19: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning

Maksimum lengde til Ø20:  $L=1150\text{mm}-225\text{mm}-20\text{mm}-10\text{mm}=895\text{mm}$

Maksimum reaksjonskraft i Ø20 jern: 70,96kN

Nødvendig lengde av armeringsjern: (Antar gode heftbetingelser)

$$L_{\text{armering}} > \frac{71\text{kN}}{\pi \times \emptyset \times f_{bd}} = \frac{71\text{kN}}{\pi \times 20\text{mm} \times 2,79\text{MPa}} = 405\text{mm} \Rightarrow \text{Velger } L=600\text{mm}$$



### 3.5.2 OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$

Horisontalkraft  $H=0,3 \times F_v=0,3 \times 225\text{kN}=67,5\text{kN}$

Ved ugunstig posisjon av kniv:

$$F_{H1}=67,5\text{kN} \times 29,5\text{mm}/75\text{mm}=26,55\text{kN}$$

$$F_{H2}=67,5\text{kN} \times 45,5\text{mm}/75\text{mm}=40,95\text{kN}$$

I: Gjengestenger/hylser:

1xM12 8.8 hylse/stang med mutter & stålplate:  $48\text{kN} > 40,95\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

2xM12 8.8 hylser/stenger med mutter & stålplate:  $2 \times 48\text{kN}=96\text{kN} > 67,5\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

Forankres til bakkant søyle.

### 3.5.3 BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN

Nødvendig tverrsnittareal:

$$A_s = \frac{0,4 \times F_v}{f_{yd}} = \frac{0,4 \times 225000\text{N}}{435\text{MPa}} = 207\text{mm}^2$$

$$n = \frac{207\text{mm}^2}{78\text{mm}^2} = 2,6 \Rightarrow 3$$

$\Rightarrow$  Tre bøylers  $\varnothing 10$  i sone 1 er tilstrekkelig. Se avsnitt 2.6 og Figur 10 for prinsipiell og anbefalt armeringsføring.

Eksempel søyletverrsnitt 400x400:

Vurderer at c/c 50mm gir passende plassering av bøylerne både ift. fagverksmodell og spaltekrefter. Dette gir høyde på sone 1 lik 100mm.

Kontroll plassering av armering for horisontalkraft alene:  $0,7d'=0,7 \times 270\text{mm}=189\text{mm}$ .

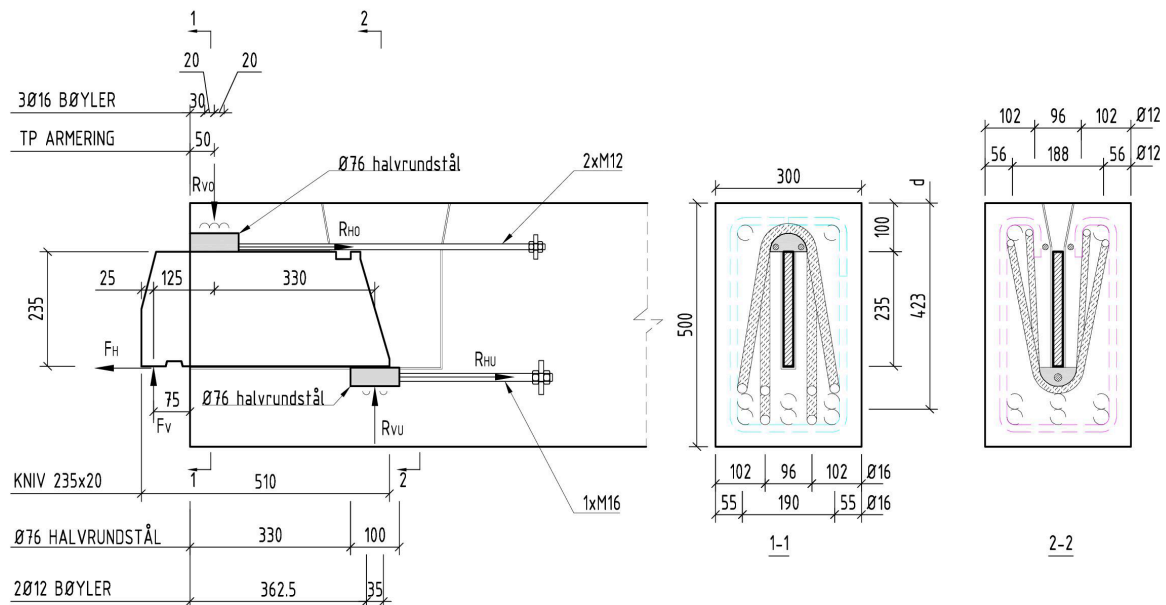
$\Rightarrow$  Avstand sidevegs: Alle bøylerne ligger innenfor denne avstanden  $\rightarrow$  ok.

$\Rightarrow$  Avstand under enheten: Alle bøylerne ligger innenfor denne avstanden  $\rightarrow$  ok.

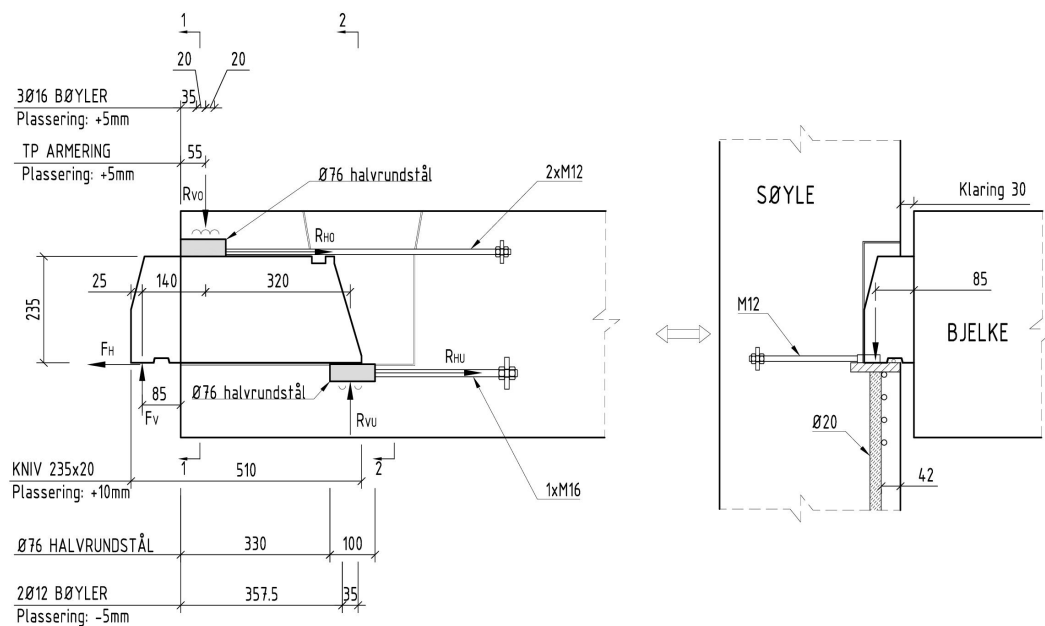
$\Rightarrow$  Velger 3 $\varnothing 10$ bøylers c/c 50. Bruker c/c 50 også på senterbøylers.

## DEL 4 - BSF 300

### 4.1 BJELKEENHET - LIKEVEKT



Figur 20: BSF300 Bjelkeenhet. Situasjon I – nominelle verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.



Figur 21: BSF300 Bjelkeenhet. Situasjon II – ugunstige verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.

**Krefter situasjon I:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{125\text{mm} + 330\text{mm}}{330\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{235\text{mm}}{330\text{mm}} \\
 &= 300\text{kN} \times \frac{125\text{mm} + 330\text{mm}}{330\text{mm}} + 0,2 \times 300\text{kN} \times \frac{235\text{mm}}{330\text{mm}} = 456,4\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 300\text{kN} = 456,4\text{kN} - 300\text{kN} = 156,4\text{kN}
 \end{aligned}$$

**Krefter situasjon II:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{140\text{mm} + 320\text{mm}}{320\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{235\text{mm}}{320\text{mm}} \\
 &= 300\text{kN} \times \frac{140\text{mm} + 320\text{mm}}{320\text{mm}} + 0,2 \times 300\text{kN} \times \frac{235\text{mm}}{320\text{mm}} = 475,3\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 300\text{kN} = 475,3\text{kN} - 300\text{kN} = 175,3\text{kN}
 \end{aligned}$$

## 4.2 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

### 1) Vertikal forankringsarmering i front - Situasjon II:

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VO}}{f_{yd}} = \frac{475,3\text{kN}}{435\text{MPa}} = 1093\text{mm}^2$$

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

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

Minimum dordiameter:

$$\emptyset_{mf, \min} = \frac{R_{VO}}{b_{\text{eff}} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{475300}{270 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8\text{MPa} \times 0,5} = 345\text{mm}$$

 $b_{\text{eff}}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{\text{bjelke}} - b_{\text{enhet}} = 300\text{mm} - 30\text{mm} = 270\text{mm}$ 
 $\emptyset_{mf}$  = dordiameter

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

 $\Rightarrow$  Velger:  $\emptyset = 350\text{mm}$

**2) Vertikal forankringsarmering i bakkant - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VU}}{f_{yd}} = \frac{175,3kN}{435MPa} = 403mm^2$$

$$2\emptyset 12 \text{ Bøyler} = 113mm^2 \times 4 = 452mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 452mm^2 \times 435MPa = 196kN$$

Minimum dordiameter:

$$\emptyset_{mb,min} = \frac{R_{VU}}{b_{eff} \times 0,6 \times (1 - \frac{f_{ck}}{250}) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{175300}{270 \times 0,6 \times (1 - \frac{35}{250}) \times 19,8MPa \times 0,5} = 127 \text{ mm}$$

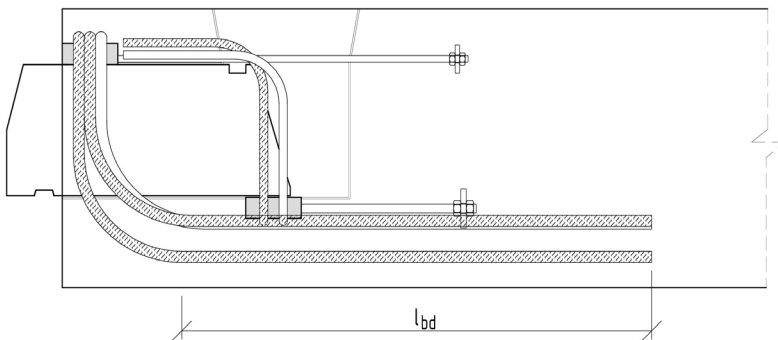
$b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 300mm - 30mm = 270mm$

$\emptyset_{mb}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

⇒ Velger:  $\emptyset = 160mm$

**3) Forankring av frontarmering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:**



**Figur 22: Forankring av armering.**

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

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

$$\text{Spenning i armering: } \sigma_{sd} = \frac{475,3kN}{1206mm^2} = 394MPa$$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{394}{2,79} = 565mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \emptyset; 100mm) = 170mm$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

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

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

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmring 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 tverrarmring:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

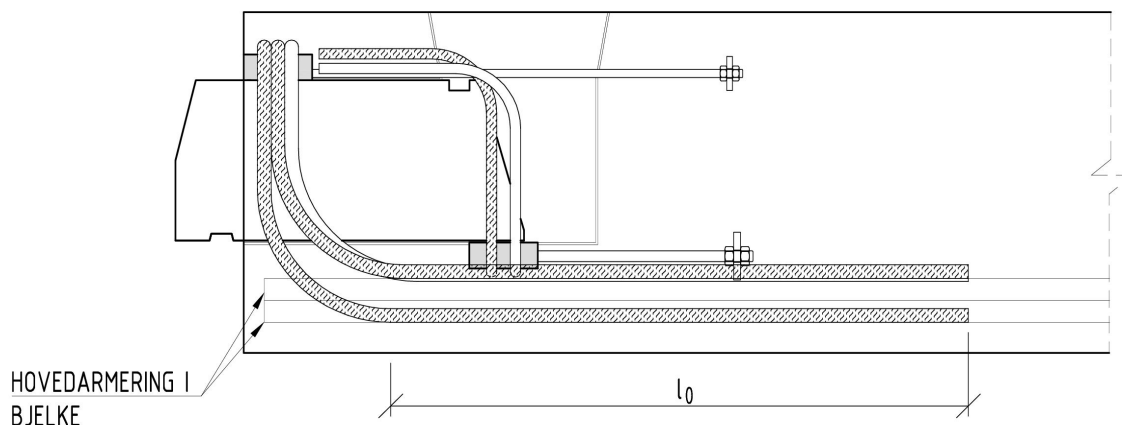
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

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

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 565 \text{mm} = 565 \text{mm}$$

#### **4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:**



**Figur 23: Omfaringslengde.**

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

Nødvendig omfaringslengde:

$$l_{b, \text{reqd}} = 565 \text{mm, se beregning i pkt. 3.}$$

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

Tabell 8.2:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  and  $\alpha_5 = 1,0$  som beregnet i pkt. 3.

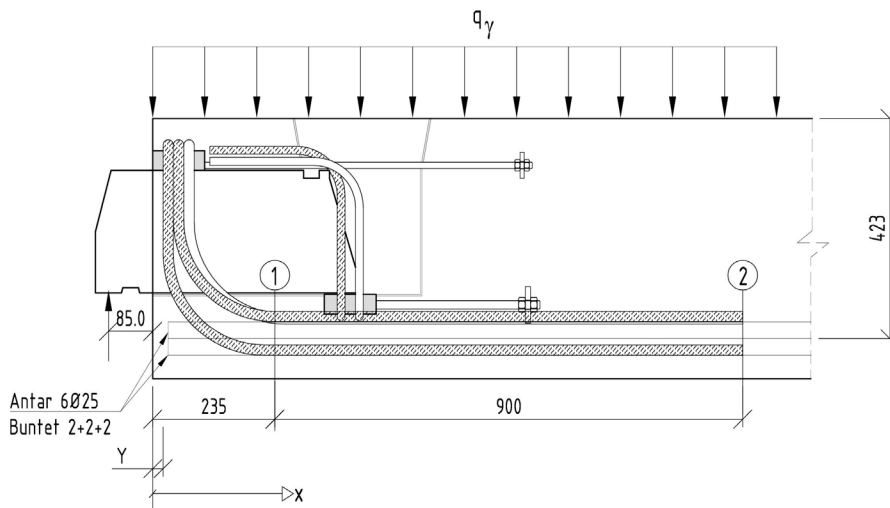
Tabell 8.3:  $\alpha_6 = 1.5$  (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 565 \text{mm} = 848 \text{mm}$$

$$\Rightarrow \text{Velger: } l_0 = 900 \text{mm}$$

**5) Forankring av hovedarmering:**

Horisontaldelen av forankringsbøylene i front av enheten må fortsette til bjelkens lengdearmering er tilstrekkelig forankret til å bære lasten.



**Figur 24: Forankring.**

Eksempel, antar:

- Lengdearmering i bunn: 6Ø25, buntet 2+2+2.
- Horisontallengden til forankringsbøylene i front er 900mm (≈ tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved  $x=235+900=1135\text{mm}$ .
- $Y=30\text{mm}$
- Jevnt fordelt last (inkludert sikkerhetsfaktor)  $q_\gamma=50\text{kN/m}$

Ekvivalent diameter til 2Ø25 buntet:

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

Forankringslengde til bunt:

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

Snitt 1 (ved  $x=235\text{mm}$ ):

Kraft forankret i Ø25:

$$F_{\varnothing 25} = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (235 - Y) \times 3 = 2,79 \times 35 \times \pi \times (235 - 30) \times 3 = 188\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø16:

$$F_{\varnothing 16} = 475,3\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\varnothing 25} + F_{\varnothing 16} = 188\text{kN} + 475,3\text{kN} = 663,3\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=235\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

Neglisjerer reduksjon i tverrsnittskrefter pga tverrlast i dette punket.

$$\begin{aligned} S(x) &= M(x)/z + 0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)} \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0) \end{aligned}$$

$$= M(x)/z+0,5 \times V_{Ed}$$

Bøyemoment ved  $x=235$ :

$$M(x=235)=300\text{kN} \times (235+85)\text{mm}=96\text{kNm}$$

Antar:  $z=0,9d=0,9 \times 423\text{mm}=381\text{mm}$  (cirka)

$$S(x=235)=96\text{kNm}/0,381\text{m}+475,3\text{kN}/2=490\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=235\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Snitt 2 (ved  $x=1135\text{mm}$ ):

Kraft forankret i  $\varnothing 25$ :

$$F_{\varnothing 25}=f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (1135-Y) \times 3=2,79 \times 35 \times \pi \times (1135-30) \times 3=1017\text{kN}$$

Kraft forankret i  $\varnothing 16$ :

$$F_{\varnothing 16}=0\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F=F_{\varnothing 25}+F_{\varnothing 16}=1017\text{kN}+0\text{kN}=1017\text{kN}$$

Tverrsnittskrefter:

$$V(x=1135)=300\text{kN}-50\text{kN/m} \times 1,135\text{m}=243\text{kN}$$

$$M(x=1135)=300\text{kN} \times (1,135+0,085)\text{m} - 50\text{kN/m} \times 1,135^2/2=334\text{kNm}$$

Strekk i armering ved  $x=1135\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$S(x)=M(x)/z+0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)}$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (1-0)$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed}$$

Antar:  $z=0,9d=0,9 \times 423\text{mm}=381\text{mm}$  (cirka)

$$S(x=1135)=334\text{kNm}/0,381\text{m}+243\text{kN}/2=998\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=1135\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

## 4.3 BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING

Horisontalforankring av halvrundstål i toppen:  $R_{Ho}=0,2 \times F_v=60\text{kN}$ :

Velger: 2×M12 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate = 48kN×2=96kN

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

Horisontalforankring av halvrundstål i bunn:  $R_{Hu}=0,2 \times F_v=60\text{kN}$ :

Velger: 1×M16 gjengestang, 8.8 med mutter & stålplate = 90kN

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

## 4.4 ARMERING AV BJELKEENDE

### 4.4.1 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir  $R_{Vo}=475,3\text{kN}$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{475,3 \times 10^3 \text{ N}}{0,9 \times 0,423\text{m} \times 435\text{MPa}} = 2870\text{mm}^2 / \text{m}$$

Antar bjelkehøyde  $h=500\text{mm}$

Antar  $d=423\text{mm}$

Antar  $z=0,9d$

Antar skjærarmoring diameter  $\varnothing 12$ .

$\Rightarrow \varnothing 12c75$  ( $3016\text{mm}^2/\text{m}$ )

$\Rightarrow$  Velger  $\varnothing 12$  c/c75. Denne armeringen skal føres minst 200mm forbi enden av bjelkeenheden for og samtidig motvirke splittkreftene som kommer fra forankringen av horisontalkraft i gjengestengene.

#### 4.4.2 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

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

$b_w = b_{bjelke} - b_{enhet}$

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

$\Rightarrow b_w = 300\text{mm} - 30\text{mm} = 270\text{mm}$

Antar bjelkehøyde  $h = 500\text{mm}$

Antar  $d = 423\text{mm}$

Antar  $z = 0,9d$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 270 \times 0,9 \times 423 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 525 \text{ kN } (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

#### 4.4.3 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

I henhold til fagverksmodell:

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

Inkludert hvis:  $h > (b + \varnothing_{mandrel}/2) / 0,9 + 2 \times \text{overdekning} = (320\text{mm} + 350\text{mm}/2) / 0,9 + 2 \times 30 = 610\text{mm}$

$\Rightarrow$  Forenklet: Inkluderes hvis  $h > 600\text{mm}$

Eksempel: hvis  $z = 700\text{mm}$ :

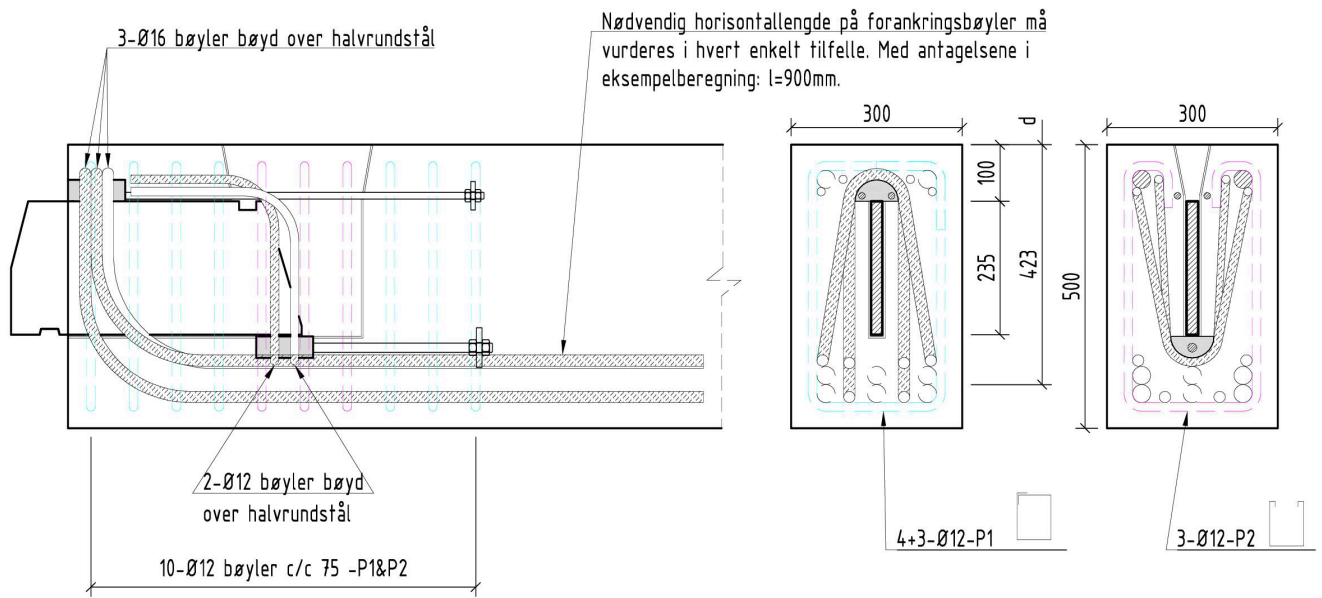
$$\frac{A_s}{s} = \frac{175300\text{N}}{0,7\text{m} \times 435\text{MPa}} = 576\text{mm}^2 / \text{m}$$

Velger u-bøyer:  $\varnothing 12$  c/c200 =  $\pi \times 6^2 \times 2 / 0,2\text{m} = 1130\text{mm}^2/\text{m}$ . Fordeles vertikalt under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang:  $L = b + 40\varnothing = 320\text{mm} + 40 \times 12\text{mm} = 800\text{mm}$

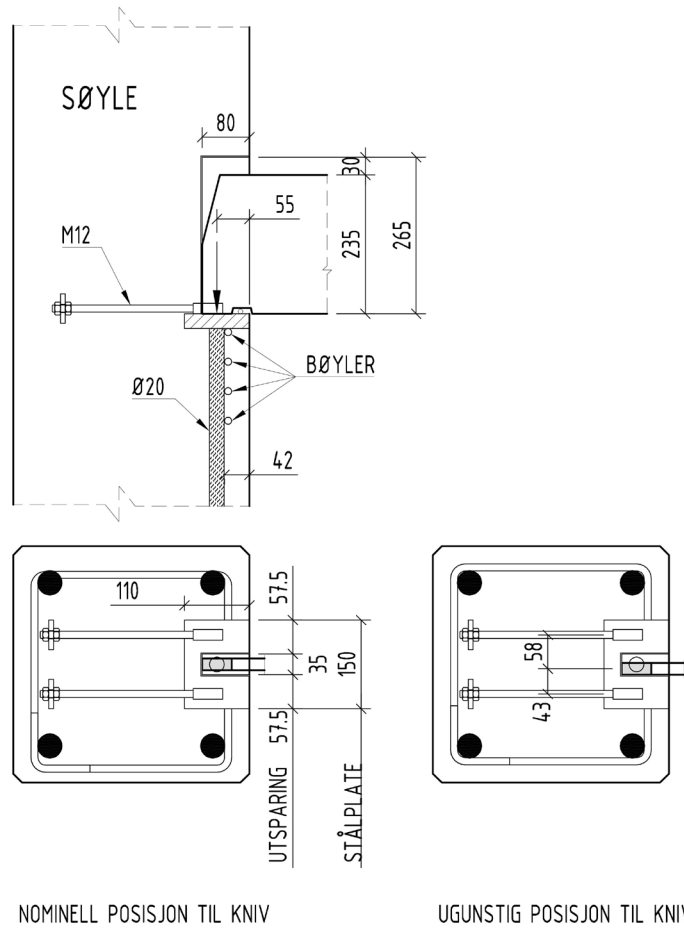


**4.4.4 ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE**



**Figur 25: Armering i bjelkeenden.**

**4.5 SØYLEENHET**

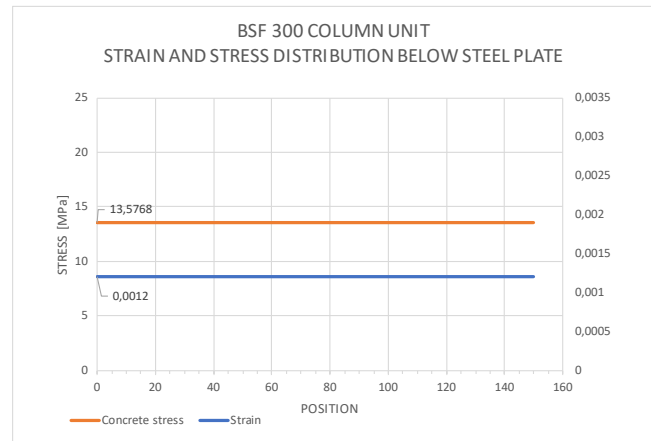


**Figur 26: BSF300 søyleenhet. (Senterbøyler er ikke vist.)**

### 4.5.1 OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_V$

#### I: Nominell posisjon til kniv

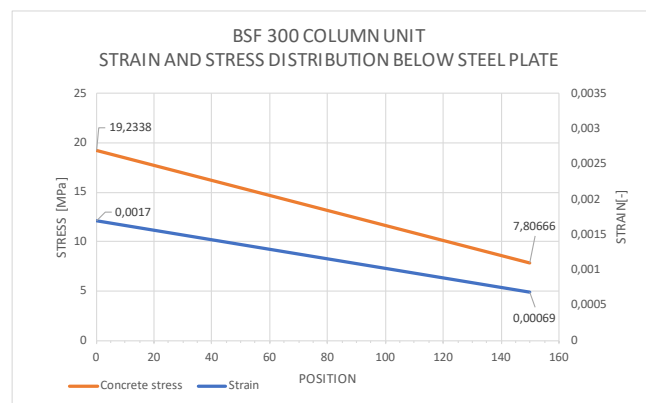
NOMINAL POSITON OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	300 kN
Eccentricity	0 m
Moment	0 kNm
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,2 [‰]
Minimum strain	1,2 [‰]
Maximum concrete stress	13,58 [Mpa]
Minimum concrete stress	13,58 [Mpa]
Stress in reinforcement bar	240 [Mpa]
Reaction force in concrete	225,5 [kN]
Reaction force in reinforcement	75,4 [kN]
$\Sigma$ Reaction force	300,9 [kN]
Moment - from concrete	0,00 kNm
Moment - from reinforcement	0,00 kNm
$\Sigma$ Moment	0,00 kNm



Figur 27: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning

#### II: Unfavourable position of knife

UNFAVOURABLE POSITON OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	300 kN
Eccentricity	0,008 m
Moment	2,4 kNm
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,7 [‰]
Minimum strain	0,69 [‰]
Maximum concrete stress	19,23 [Mpa]
Minimum concrete stress	7,81 [Mpa]
Stress in reinforcement bar	239 [Mpa]
Reaction force in concrete	224,57 kN
Reaction force in reinforcement	75,05 kN
$\Sigma$ Reaction force	299,62 kN
Moment - from concrete	2,40 kNm
Moment - from reinforcement	0,00 kNm
$\Sigma$ Moment	2,40 kNm



Figur 28: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning

Maksimum lengde til Ø20:  $L=1150\text{mm}-265\text{mm}-25\text{mm}-10\text{mm}=850\text{mm}$

Maksimum reaksjonskraft i Ø20 jern: 75,4kN

Nødvendig lengde av armeringsjern: (Antar gode heftbetingelser)

$$L_{\text{armering}} > \frac{75,4\text{kN}}{\pi \times \varnothing \times f_{bd}} = \frac{75,4\text{kN}}{\pi \times 20\text{mm} \times 2,79\text{MPa}} = 430\text{mm} \Rightarrow \text{Velger } L=600\text{mm}$$

#### 4.5.2 OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$

Horisontalkraft  $H=0,3 \times F_v=0,3 \times 300\text{kN}=90\text{kN}$

Ved ugunstig posisjon av kniv:

$$F_{H1}=90\text{kN} \times 43\text{mm}/100\text{mm}=38,7\text{kN}$$

$$F_{H2}=90\text{kN} \times 57\text{mm}/100\text{mm}=51,3\text{kN}$$

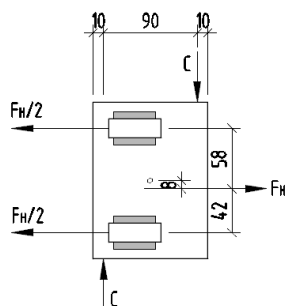
I: Gjengestenger/hylser:

1xM12 8.8 hylse/stang med mutter & stålplate:  $48\text{kN} < 51,3\text{kN}$

Dette tilsier 6% overskridelse av gjengestangens kapasitet. (Dette er en meget sjelden situasjon, med maksimal vertikallast, maksimal horisontallast, samt kniv i ugunstigste posisjon)

Betraktninger:

- 1) Største H før overskridelse av kapasitet til M12:  $H=48,4/51,3 \times 90\text{kN}=84,9\text{kN}$ . Manglende: 5,1kN.
  - 2) Friksjon mellom stålplate og betong kan overføre de manglende 5,1kN. Dette tilsvarer en friksjonsfaktor:  $\mu=5,1\text{kN}/(300\text{kN}-75,1\text{kN})=0,023$  (75,1kN av vertikalkraften overføres til armeringen)
  1. 3) Antar at rotasjon forårsakes av eksentrisitet balanseres av et kraftpar mot kant av stålplate, se illustrasjon under:  $C=F_H \times 8\text{mm}/90\text{mm}=90\text{kN} \times 8\text{mm}/90\text{mm}=8\text{kN}$ .
- Kapasitet:  $C_{Rd}=19,8\text{MPa} \times 20\text{mm} \times 25\text{mm}=9,5\text{kN}$



⇒ Konklusjon: Overskridelsen på 6% vurderes akseptabelt siden lasten kan bæres på andre måter.

2xM12 8.8 hylser/stenger med mutter & stålplate:  $2 \times 48\text{kN}=96\text{kN} > 90\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

Forankres til bakkant søyle.

#### 4.5.3 BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLENHETEN

Nødvendig tverrsnittareal:

$$A_s = \frac{0,4 \times F_v}{f_{yd}} = \frac{0,4 \times 300000\text{N}}{435\text{MPa}} = 276\text{mm}^2$$

Nødvendig antall  $\varnothing 10$  bøyler:

$$n = \frac{276\text{mm}^2}{78\text{mm}^2} = 3,5 \Rightarrow 4$$

⇒ Fire bøyler Ø10 i sone 1 er tilstrekkelig. Se avsnitt 2.6 og Figur 10 for prinsipiell og anbefalt armeringsføring.

Eksempel søyleverrsnitt 400x400:

Vurderer at c/c 50mm gir passende plassering av bøylerne både ift. fagverksmodell og spaltekrefter. Dette gir høyde på sone 1 lik 150mm.

Kontroll plassering av armering for horisontalkraft alene:  $0,7d' = 0,7 \times 270\text{mm} = 189\text{mm}$ .

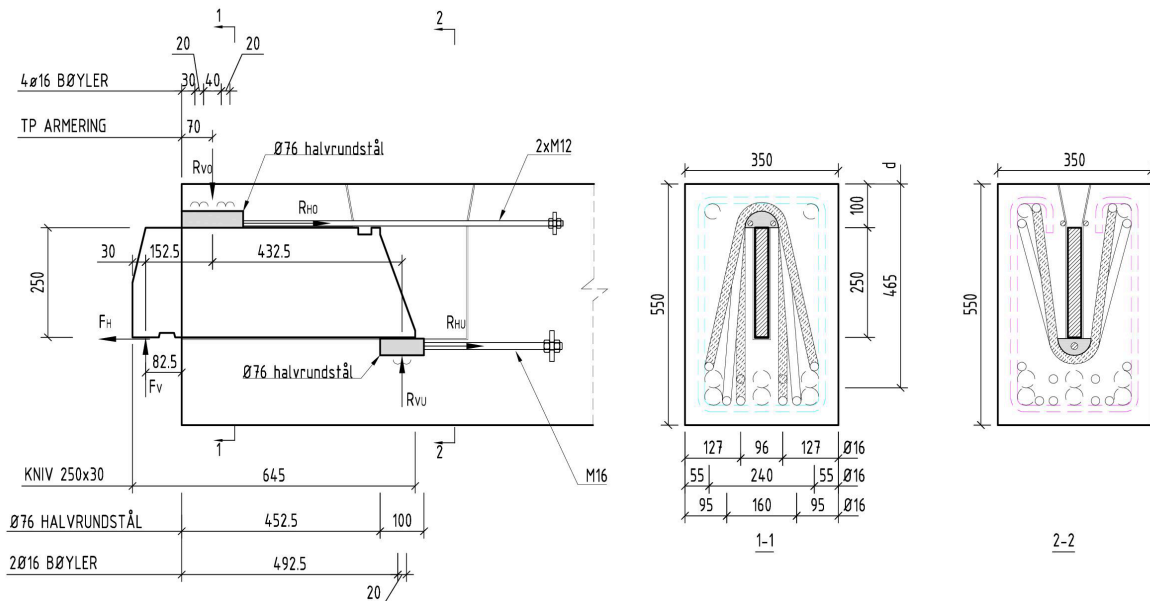
⇒ Avstand sidevegs: Alle bøylerne ligger innenfor denne avstanden -> ok.

⇒ Avstand under enheten: Alle bøylerne ligger innenfor denne avstanden -> ok.

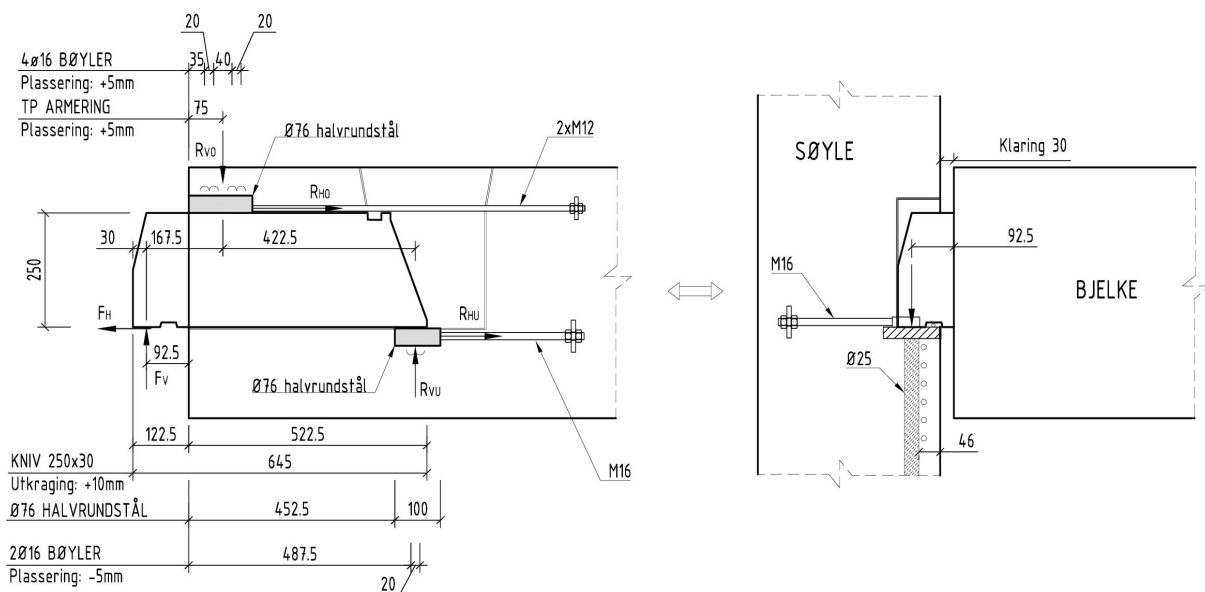
⇒ Velger 4Ø10bøyler c/c 50. Bruker c/c 50 også på senterbøyler.

## DEL 5 - BSF 450

### 5.1 BJELKEENHET - LIKEVEKT



**Figur 29: BSF 450 Bjelkeenhhet. Situasjon I – nominelle verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.**



**Figur 30: BSF 450 Bjelkeenhhet. Situasjon II – ugunstige verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.**

**Krefter situasjon I:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{152,5\text{mm} + 432,5\text{mm}}{432,5\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{250\text{mm}}{432,5\text{mm}} \\
 &= 450\text{kN} \times \frac{152,5\text{mm} + 432,5\text{mm}}{432,5\text{mm}} + 0,2 \times 450\text{kN} \times \frac{250\text{mm}}{432,5\text{mm}} = 660,7\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 450\text{kN} = 660,7\text{kN} - 450\text{kN} = 210,7\text{kN}
 \end{aligned}$$

**Krefter situasjon II:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{167,5\text{mm} + 422,5\text{mm}}{422,5\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{250\text{mm}}{422,5\text{mm}} \\
 &= 450\text{kN} \times \frac{167,5\text{mm} + 422,5\text{mm}}{422,5\text{mm}} + 0,2 \times 450\text{kN} \times \frac{250\text{mm}}{422,5\text{mm}} = 681,7\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 450\text{kN} = 681,7\text{kN} - 450\text{kN} = 231,7\text{kN}
 \end{aligned}$$

## 5.2 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

**1) Vertikal forankringsarmering i front - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VO}}{f_{yd}} = \frac{681,7\text{kN}}{435\text{MPa}} = 1567\text{mm}^2$$

$$4\text{Ø}16\text{Bøylar} = 201\text{mm}^2 \times 8 = 1608\text{mm}^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 4\text{Ø}16 \text{ bøylar} = 1608\text{mm}^2 \times 435\text{MPa} = 699\text{kN}$$

Minimum dordiameter:

$$\begin{aligned}
 \varnothing_{mf, \min} &= \frac{R_{VO}}{b_{\text{eff}} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{681700}{310 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8\text{MPa} \times 0,5} = 430\text{mm}
 \end{aligned}$$

 $b_{\text{eff}}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{\text{bjelke}} - b_{\text{enhet}} = 350\text{mm} - 40\text{mm} = 310\text{mm}$ 
 $\varnothing_{mf}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

 $\Rightarrow$  Velger:  $\varnothing = 450\text{mm}$ 
**2) Vertikal forankringsarmering i bakkant - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VU}}{f_{yd}} = \frac{231,7\text{kN}}{435\text{MPa}} = 533\text{mm}^2$$

2Ø16Bøyer= 201mm<sup>2</sup>×4=804mm<sup>2</sup>

Kapasitet til valgt armering: 2Ø16Strirrups=804mm<sup>2</sup>×435MPa=350kN

Minimum dordiameter:

$$\varnothing_{mb,min} = \frac{R_{VU}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{231700}{310 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8MPa \times 0,5} = 146 \text{ mm}$$

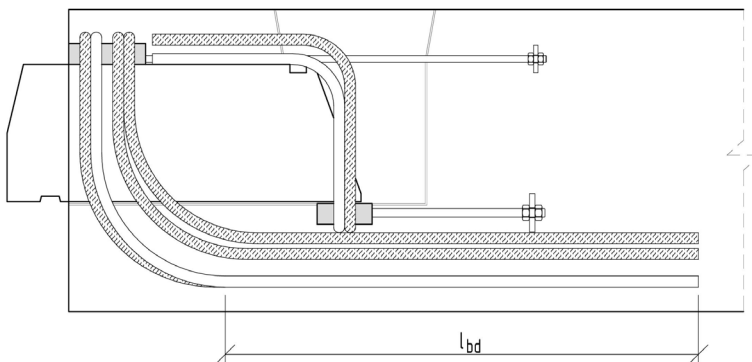
b<sub>eff</sub>= effektiv bjelkebredde. Antar: b=b<sub>bjelke</sub>-b<sub>enhet</sub> =350mm-40mm=310mm

Ø<sub>mb</sub>= dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

⇒ Velger: Ø=150mm

**3) Forankring av frontarmering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:**



**Figur 31: Forankring av armering.**

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

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

$$\text{Spenning i armering: } \sigma_{sd} = \frac{681,7kN}{1608mm^2} = 424MPa$$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{424}{2,79} = 608mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 182mm$$

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 α<sub>2</sub>=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 tverrarmring:

$\alpha_4 = 1,0$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

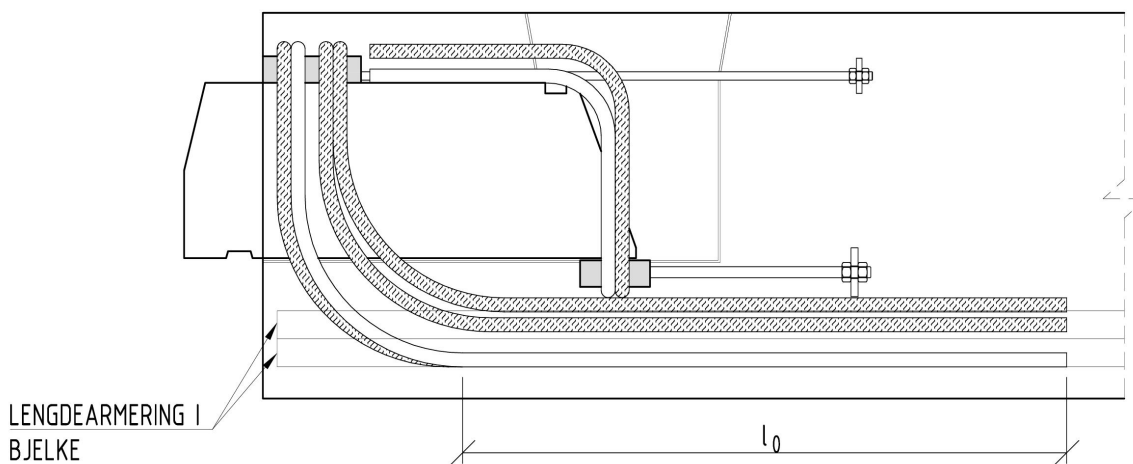
$\alpha_5 = 1,0$

Ikke relevant.

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

$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 608\text{mm} = 608\text{mm}$

**4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:**



**Figur 32: 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:

$l_{b,reqd} = 608\text{mm}$ , 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:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  and  $\alpha_5 = 1,0$  som beregnet i pkt. 3.

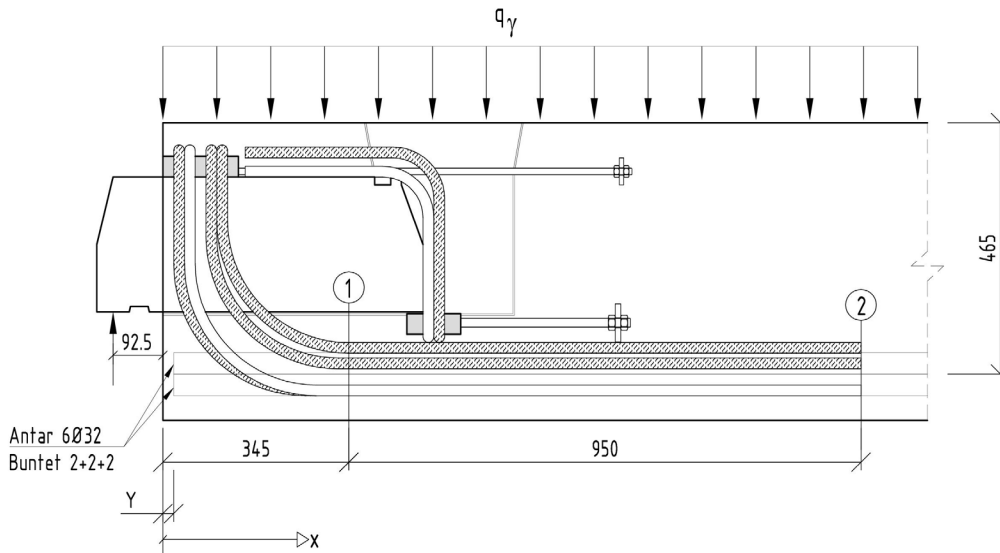
Tabell 8.3:  $\alpha_6 = 1.5$  (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 608\text{mm} = 912\text{mm}$$

$\Rightarrow$  Velger:  $l_0 = 950\text{mm}$

**5) Forankring av hovedarmering:**

Horisontaldelen av forankringsbøylene i front av enheten må fortsette til bjelkens lengdearmering er tilstrekkelig forankret til å bære lasten.



**Figur 33: Forankring.**

Eksempel, antar:

- Lengdearmering i bunn: 6Ø32, buntet 2+2+2.
- Horisontallengden til forankringsbøylene i front er 950mm (≈ tilsvare minimum omfaringslengde). Dvs forankringsbøylene slutter ved  $x=345+950=1295\text{mm}$ .
- $Y=30\text{mm}$
- Jevnt fordelt last (inkludert sikkerhetsfaktor)  $q_\gamma=100\text{kN/m}$

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

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

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435\text{MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435\text{MPa} \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79\text{MPa}} = \frac{700\text{kN}}{0,394\text{kN/mm}} = 1776\text{mm}$$

Snitt 1 (ved  $x=345\text{mm}$ ):

Kraft forankret i Ø32:

$$F_{\varnothing32} = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (345 - Y) \times 3 = 2,79 \times 45 \times \pi \times (345 - 30) \times 3 = 372\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø16:

$$F_{\varnothing16} = 681,7\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\varnothing32} + F_{\varnothing16} = 372\text{kN} + 681,7\text{kN} = 1053,7\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=345\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

Neglisjerer reduksjon i tverrsnittskrefter pga tverrlast i dette punket.

$$S(x) = M(x)/z + 0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)}$$

$$= M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (1-0)$$

$$= M(x)/z+0,5 \times V_{Ed}$$

Bøyemoment ved  $x=345$ :

$$M(x=345)=450\text{kN} \times (345+92,5)\text{mm}=197\text{kNm}$$

Antar:  $z=0,9d=0,9 \times 465\text{mm}=418\text{mm}$  (cirka)

$$S(x=345)=197\text{kNm}/0,418\text{m}+681,7\text{kN}/2=812\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=345\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Snitt 2 (ved  $x=1295\text{mm}$ ):

Kraft forankret i  $\varnothing 32$ :

$$F_{\varnothing 32}=f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (1295-Y) \times 3=2,79 \times 45 \times \pi \times (1295-30) \times 3=1497\text{kN}$$

Kraft forankret i  $\varnothing 16$ :

$$F_{\varnothing 16}=0\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F=F_{\varnothing 32}+F_{\varnothing 16}=1497\text{kN}+0\text{kN}=1497\text{kN}$$

Tverrsnittskrefter:

$$V(x=1295)=450\text{kN}-100\text{kN/m} \times 1,295\text{m}=321\text{kN}$$

$$M(x=1295)=450\text{kN} \times (1,295+0,0925)\text{m} - 100\text{kN/m} \times 1,295^2/2=541\text{kNm}$$

Strekk i armering ved  $x=1295\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$S(x)=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(\theta)-\cot(\alpha))$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45)-\cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)}$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (1-0)$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed}$$

Antar:  $z=0,9d=0,9 \times 465\text{mm}=418\text{mm}$  (cirka)

$$S(x=1295)=541\text{kNm}/0,418\text{m}+321\text{kN}/2=1455\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=1295\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

### 5.3 BJELKEENHET – HORISONTALFORANKRING

Horisontalforankring av halvrundstål i toppen:  $R_{HO}=0,2 \times F_V=90\text{kN}$ :

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

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

Horisontalforankring av halvrundstål i bunn:  $R_{HU}=0,2 \times F_V=90\text{kN}$ :

Velger:  $1 \times M16$  gjengestang, 8.8 med mutter & stålplate =  $90\text{kN}$

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

## 5.4 ARMERING AV BJELKEENDE

### 5.4.1 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir  $R_{V0}=681,7\text{kN}$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{681,7 \times 10^3 \text{ N}}{0,9 \times 0,465 \text{ m} \times 435 \text{ MPa}} = 3745 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Antar bjelkehøyde  $h=550\text{mm}$

Antar  $d=465\text{mm}$

Antar  $z=0,9d$

Antar skjærarmoring diameter  $\varnothing 12$ .

$\Rightarrow \varnothing 12\text{c}60$  ( $3770\text{mm}^2/\text{m}$ )

$\Rightarrow$  Velger  $\varnothing 12$  c/c60. Denne armeringen skal føres minst 200mm forbi enden av bjelkeendenheten for og samtidig motvirke splittkreftene som kommer fra forankringen av horisontalkraft i gjengestengene.

### 5.4.2 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

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

$b_w = b_{bjelke} - b_{enhet}$

Antar bjelkebredde  $b_{bjelke} = 350\text{mm}$

$\Rightarrow b_w = 350\text{mm} - 40\text{mm} = 310\text{mm}$

Antar bjelkehøyde  $h=550\text{mm}$

Antar  $d=465\text{mm}$

Antar  $z=0,9d$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 310 \times 0,9 \times 465 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 662 \text{ kN} (\Rightarrow \text{overskridelse med } 2\%. \text{ Cirka ok.})$$

### 5.4.3 HORISONTALARMERING I BJELKEENDE

I henhold til fagverksmodell:

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

Inkludert hvis:  $h > (b + \varnothing_{\text{mandrel}}/2)/0,9 + 2 \times \text{overdekning} = (422,5\text{mm} + 450\text{mm}/2)/0,9 + 2 \times 30 = 780\text{mm}$

⇒ Forenklet: Inkluderes hvis  $h > 750\text{mm}$

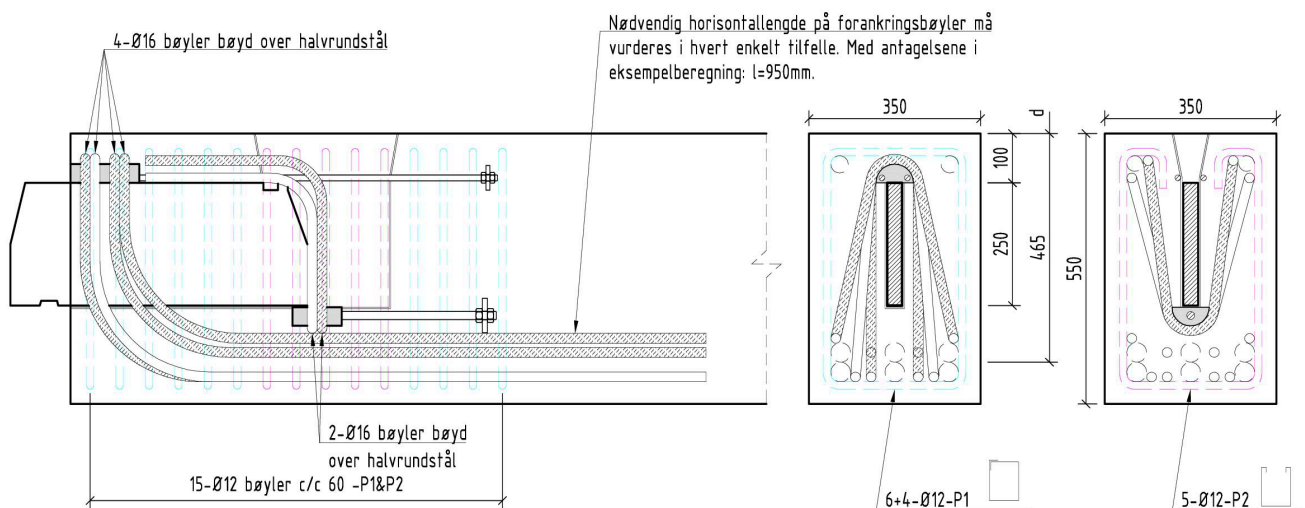
Eksempel: hvis  $z = 845\text{mm}$ :

$$\frac{A_s}{s} = \frac{231700\text{N}}{0,845\text{m} \times 435\text{MPa}} = 630\text{mm}^2 / \text{m}$$

Velger u-bøyer:  $\varnothing 12\text{c}200 = \pi \times 6^2 \times 2/0,2\text{m} = 1130\text{mm}^2/\text{m}$ . Fordeles vertikalt under enheten.

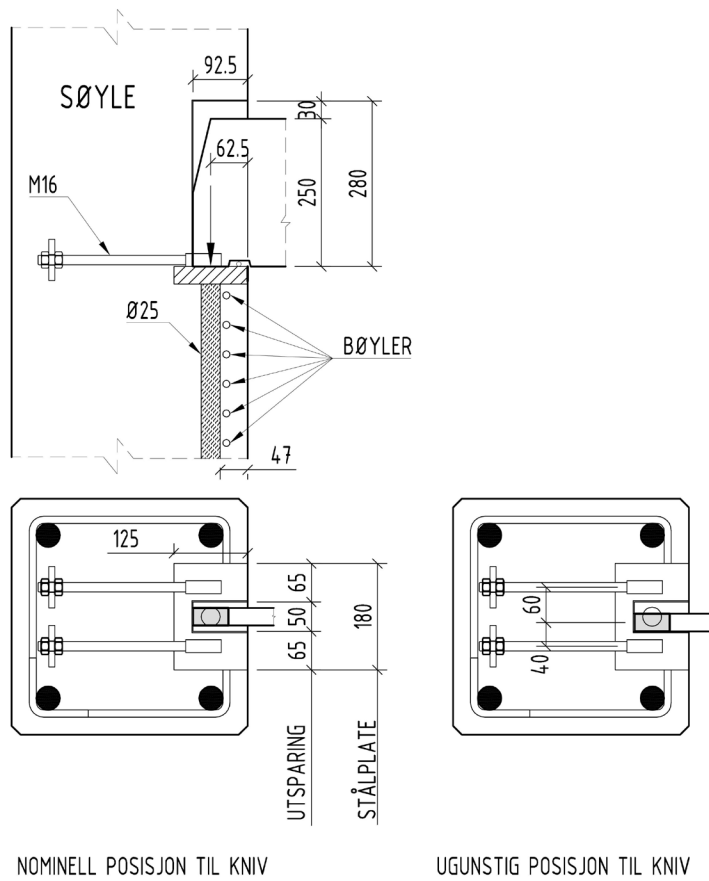
Forenklet: Horizontal lengde av stang:  $L = b + 40\varnothing = 422,5\text{mm} + 40 \times 12\text{mm} \approx 900\text{mm}$

#### 5.4.4 ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE



**Figur 34: Armering i bjelkeenden.**

**5.5 SØYLEENHET**

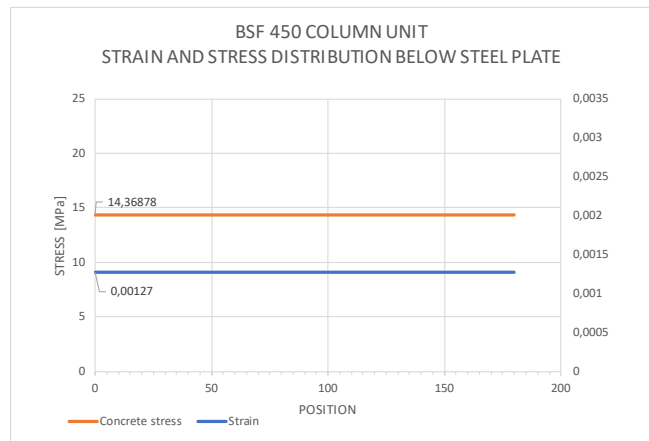


**Figur 35: BSF450 søyleenhet. (Senterbøyler er ikke vist.)**

### 5.5.1 OVERFØRING AV VERTIKALLAST $F_V$

#### I: Nominell posisjon til kniv

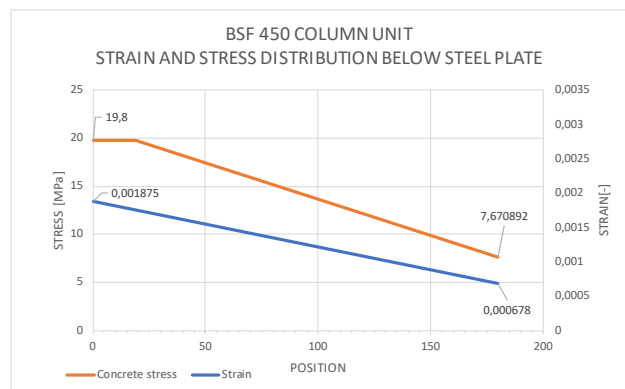
NOMINAL POSITON OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	450 kN
Eccentricity	0 m
Moment	0 kNm
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,27 [‰]
Minimum strain	1,27 [‰]
Maximum concrete stress	14,37 [Mpa]
Minimum concrete stress	14,37 [Mpa]
Stress in reinforcement bar	254 [Mpa]
Reaction force in concrete	325,1 [kN]
Reaction force in reinforcement	124,5 [kN]
$\Sigma$ Reaction force	449,6 [kN]
Moment - from concrete	0,00 kNm
Moment - from reinforcement	0,00 kNm
$\Sigma$ Moment	0,00 kNm



Figur 36: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning

#### II: Ugunstig posisjon til kniv

UNFAVOURABLE POSITON OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	450 kN
Eccentricity	0,01 m
Moment	4,5 kNm
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,875 [‰]
Minimum strain	0,678 [‰]
Maximum concrete stress	19,80 [Mpa]
Minimum concrete stress	7,67 [Mpa]
Stress in reinforcement bar	255,3 [Mpa]
Reaction force in concrete	325,01 kN
Reaction force in reinforcement	125,10 kN
$\Sigma$ Reaction force	450,11 kN
Moment - from concrete	4,50 kNm
Moment - from reinforcement	0,00 kNm
$\Sigma$ Moment	4,50 kNm



Figur 37: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning

Maksimum lengde til Ø25:  $L=1150\text{mm}-280\text{mm}-30\text{mm}-10\text{mm}=830\text{mm}$

Maksimum reaksjonskraft i Ø25 jern: 125,1kN

Nødvendig lengde av armeringsjern: (Antar gode heftbetingelser)

$$L_{\text{armering}} > \frac{125100N}{\pi \times \varnothing \times f_{bd}} = \frac{125100N}{\pi \times 25\text{mm} \times 2,79\text{MPa}} = 570\text{mm} \Rightarrow \text{Velger } L=600\text{mm}$$

### 5.5.2 OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$

Horisontalkraft  $H=0,3 \times F_v=0,3 \times 450\text{kN}=135\text{kN}$

Ved ugunstig posisjon av kniv:

$$F_{H1}=135\text{kN} \times 40\text{mm}/100\text{mm}=54\text{kN}$$

$$F_{H2}=135\text{kN} \times 60\text{mm}/100\text{mm}=81\text{kN}$$

I: Gjengestenger/hylser:

1xM16 8.8 hylse/stang med mutter & stålplate:  $90\text{kN} > 81\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

2xM16 8.8 hylser/stenger med mutter & stålplate:  $2 \times 90\text{kN}=180\text{kN} > 135\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

Forankres til bakkant søyle.

### 5.5.3 BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN

Nødvendig tverrsnittareal:

$$A_s = \frac{0,4 \times F_v}{f_{yd}} = \frac{0,4 \times 450000\text{N}}{435\text{MPa}} = 414\text{mm}^2$$

Nødvendig antall  $\varnothing 10$  bøyler:

$$n = \frac{414\text{mm}^2}{78\text{mm}^2} = 5,3 \Rightarrow 6$$

$\Rightarrow$  Seks bøyler  $\varnothing 10$  i sone 1 er tilstrekkelig. Se avsnitt 2.6 og Figur 10 for prinsipiell og anbefalt armeringsføring.

Eksempel søyletverrsnitt 400x400:

Vurderer at c/c 50mm gir passende plassering av bøylene både ift. fagverksmodell og spaltekrefter Dette gir høyde på sone 1 lik 250mm.

Kontroll plassering av armering for horisontalkraft alene:  $0,7d' = 0,7 \times 265\text{mm} = 185\text{mm}$ .

$\Rightarrow$  Avstand sidevegs: Alle bøylene ligger innenfor denne avstanden  $\rightarrow$  ok.

$\Rightarrow$  Avstand under enheten: Tre av bøylene under enheten vil ligge utenfor denne avstanden.

Kontroll av kapasitet for horisontalkraft:

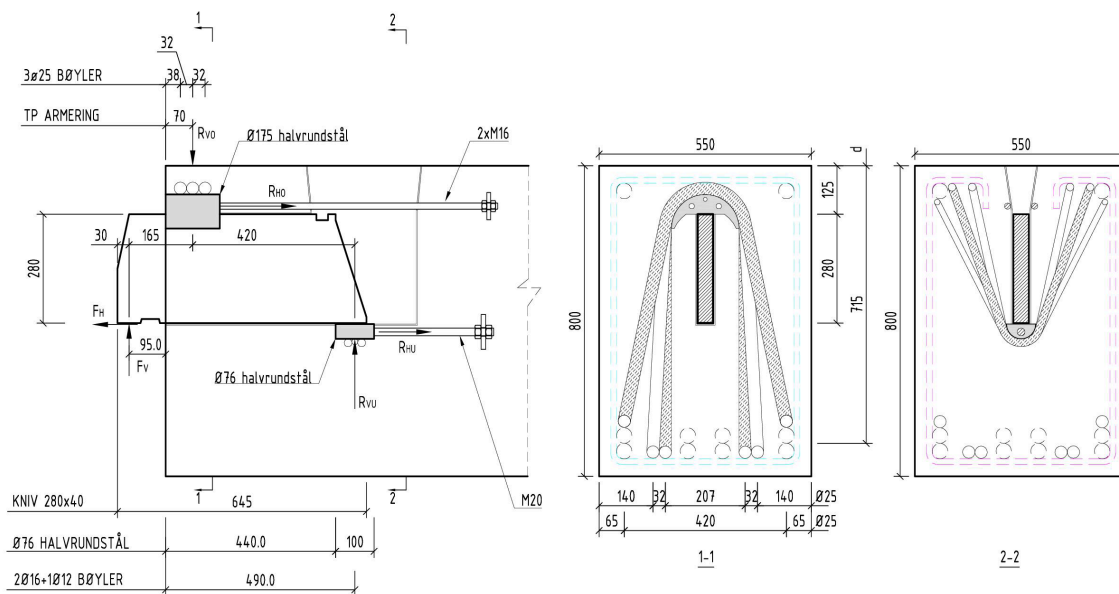
Tre bøyler (6 snitt) er innenfor avstand  $0,7d'$  under enheten: Kapasitet  $= 6 \times 34\text{kN} = 204\text{kN} > H \rightarrow$  ok.

$\Rightarrow$  Velger  $6\varnothing 10$  bøyler c/c 50. Bruker c/c 50 også på senterbøyler.

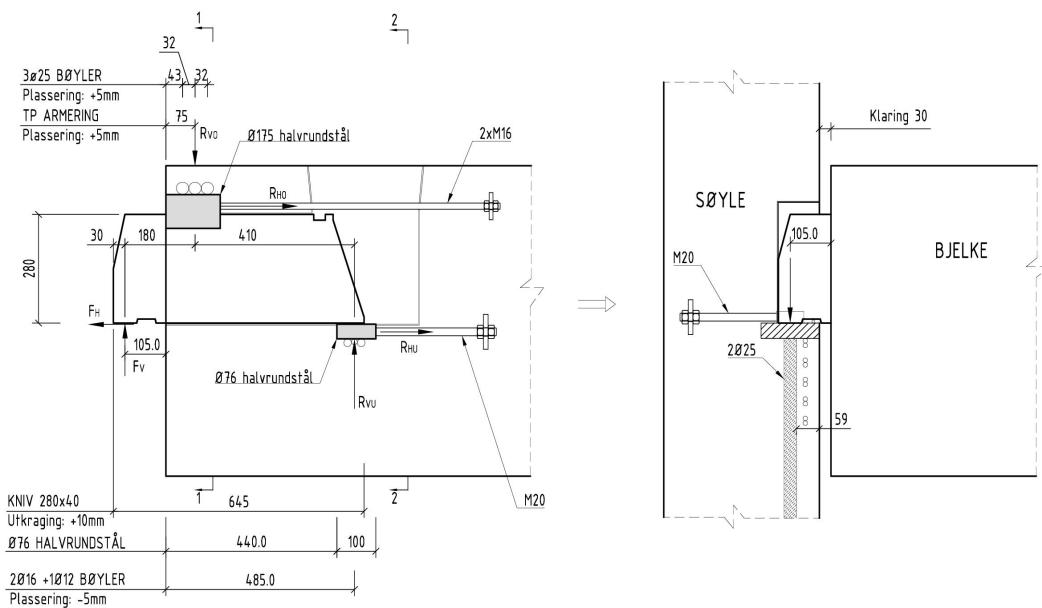


## DEL 6 - BSF 700

### 6.1 BJELKEENHET - LIKEVEKT



Figur 38: BSF700 Bjelkeenhet. Situasjon I – nominelle verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.



Figur 39: BSF700 Bjelkeenhet. Situasjon II – ugunstige verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.

**Krefter situasjon I:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{165\text{mm} + 420\text{mm}}{420\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{280\text{mm}}{420\text{mm}} \\
 &= 700\text{kN} \times \frac{165\text{mm} + 420\text{mm}}{420\text{mm}} + 0,2 \times 700\text{kN} \times \frac{280\text{mm}}{420\text{mm}} = 1068\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 700\text{kN} = 1068\text{kN} - 700\text{kN} = 368\text{kN}
 \end{aligned}$$

**Krefter situasjon II:**

Likevekt:

$$\begin{aligned}
 R_{VO} &= F_V \times \frac{180\text{mm} + 410\text{mm}}{410\text{mm}} + R_{HO} \times \frac{280\text{mm}}{410\text{mm}} \\
 &= 700\text{kN} \times \frac{180\text{mm} + 410\text{mm}}{410\text{mm}} + 0,2 \times 700\text{kN} \times \frac{280\text{mm}}{410\text{mm}} = 1103\text{kN} \\
 R_{VU} &= R_{VO} - 700\text{kN} = 1103\text{kN} - 700\text{kN} = 403\text{kN}
 \end{aligned}$$

## 6.2 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

**1) Vertikal forankringsarmering i front - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VO}}{f_{yd}} = \frac{1103\text{kN}}{435\text{MPa}} = 2536\text{mm}^2$$

$$3\text{Ø}25\text{Bøylor} = 490\text{mm}^2 \times 6 = 2940\text{mm}^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 3\text{Ø}25\text{Stirrups} = 2940\text{mm}^2 \times 435\text{MPa} = 1278\text{kN}$$

Minimum dordiameter:

$$\varnothing_{mf, \min} = \frac{R_{VO}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{1103000}{500 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8\text{MPa} \times 0,5} = 432\text{mm}$$

 $b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 550\text{mm} - 50\text{mm} = 500\text{mm}$ 
 $\varnothing_{mf}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

 $\Rightarrow$  Velger:  $\varnothing = 450\text{mm}$

**2) Vertikal forankringsarmering i bakkant - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VU}}{f_{yd}} = \frac{403kN}{435MPa} = 926mm^2$$

$$2\text{Ø}16\text{Bøyer} + 1\text{Ø}12\text{Bøyle} = 201mm^2 \times 4 + 113mm^2 \times 2 = 1030mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 1030mm^2 \times 435MPa = 448kN$$

Minimum dordiameter:

$$\varnothing_{mb, \min} = \frac{R_{VU}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{403000}{500 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8MPa \times 0,5} = 158 \text{ mm}$$

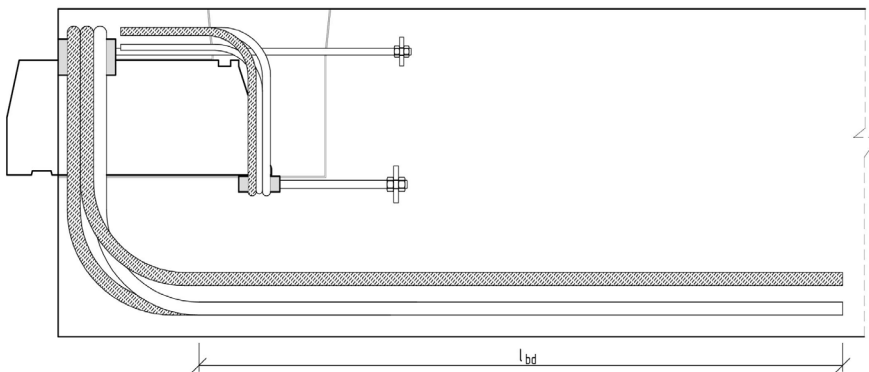
$b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 550mm - 50mm = 500mm$

$\varnothing_{mb}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

⇒ Velger:  $\varnothing = 200mm$

**3) Forankring av frontarmering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:**



**Figur 40: Forankring av armering.**

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

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

$$\text{Spenning i armering: } \sigma_{sd} = \frac{1103kN}{2940mm^2} = 375MPa$$

$$l_{b, reqd} = \frac{25}{4} \times \frac{375}{2,79} = 840mm$$

$$l_{b, \min} = \max(0,3 \times l_{b, reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 252mm$$

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 tverrarmring som ikke er sveist til hovedarmring:

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

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:

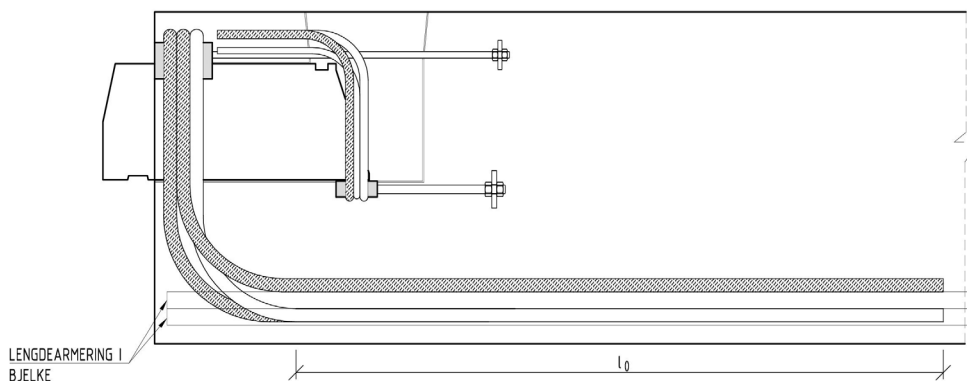
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

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

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 840 \text{mm} = 840 \text{mm}$$

#### 4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:



**Figur 41: 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:

$$l_{b, \text{reqd}} = 840 \text{mm, se beregning i pkt. 3.}$$

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

Tabell 8.2:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  and  $\alpha_5 = 1,0$  som beregnet i pkt. 3.

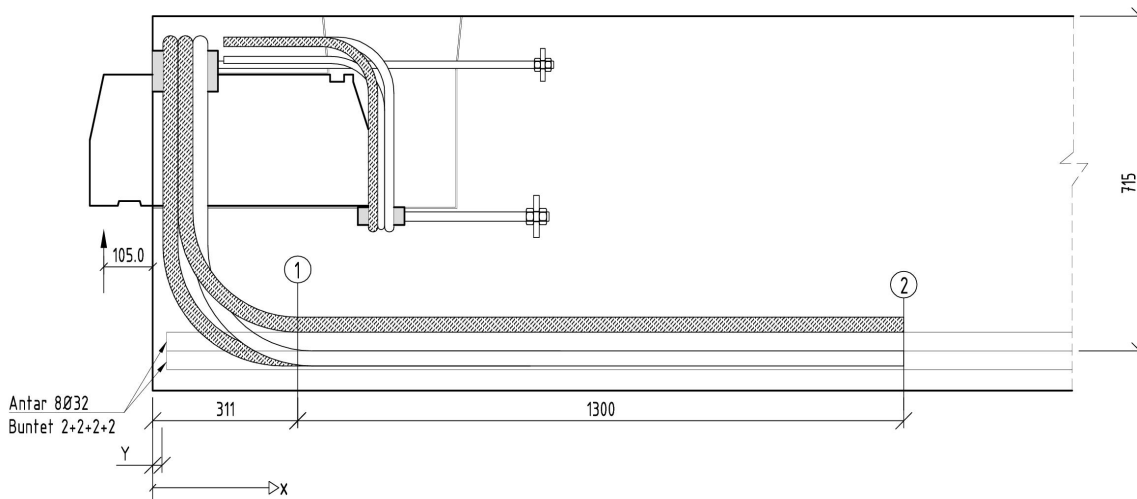
Tabell 8.3:  $\alpha_6 = 1.5$  (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 840 \text{mm} = 1260 \text{mm}$$

$$\Rightarrow \text{Velger } l_0 = 1300 \text{mm}$$

**5) Forankring av hovedarmering:**

Horisontaldelen av forankringsbøylene i front av enheten må fortsette til bjelkens lengdearmering er tilstrekkelig forankret til å bære lasten.



**Figur 42: Forankring.**

Eksempel, antar:

- Lengdearmering i bunn: 8Ø32, buntet 2+2+2+2.
- Horisontallengden til forankringsbøylene i front er 1300mm (≈tilsvarer minimum omfaringslengde). Dvs. forankringsbøylene slutter ved  $x=311+1300=1611\text{mm}$ .
- $Y=30\text{mm}$

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

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

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435\text{MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435\text{MPa} \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79\text{MPa}} = \frac{700\text{kN}}{0,394\text{kN/mm}} = 1776\text{mm}$$

Snitt 1 (ved  $x=311\text{mm}$ ):

Kraft forankret i Ø32:

$$F_{\varnothing32} = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (311 - Y) \times 4 = 2,79 \times 45 \times \pi \times (311 - 30) \times 4 = 443\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø25:

$$F_{\varnothing25} = 1103\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\varnothing32} + F_{\varnothing25} = 443\text{kN} + 1103\text{kN} = 1546\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=311\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$\begin{aligned} S(x) &= M(x)/z + 0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha)) \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)} \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0) \\ &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \end{aligned}$$

Bøyemoment ved  $x=311$ :

$$M(x=311) = 700\text{kN} \times (311 + 105)\text{mm} = 291\text{kNm}$$

Antar:  $z=0,9d=0,9 \times 715\text{mm}=643\text{mm}$  (cirka)

$$S(x=311)=291\text{kNm}/0,643\text{m}+1103\text{kN}/2=1004\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=311\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Snitt 2 (ved  $x=1611\text{mm}$ ):

Kraft forankret i  $\varnothing 32$ :

$$F_{\varnothing 32}=f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (1611-Y) \times 3=2,79 \times 45 \times \pi \times (1611-30) \times 4=2494\text{kN}$$

Kraft forankret i  $\varnothing 25$ :

$$F_{\varnothing 25}=0\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F=F_{\varnothing 32}+F_{\varnothing 25}=2494\text{kN}+0\text{kN}=2494\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=1611\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$S(x)=M(x)/z+0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta)-\cot(\alpha))$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45)-\cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)}$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed} \times (1-0)$$

$$=M(x)/z+0,5 \times V_{Ed}$$

Bøyemoment ved  $x=1611$ :

$$M(x=1611)=700\text{kN} \times (1611+105)\text{mm}=1201\text{kNm}$$

Antar:  $z=0,9d=0,9 \times 715\text{mm}=643\text{mm}$  (cirka)

$$S(x=1611)=1201\text{kNm}/0,643\text{m}+700\text{kN}/2=2218\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=1611\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Merk: I dette eksempelet er det ikke regnet med noe reduksjon i bøyemomentet i bjelken pga jevnt fordelt last. Tverrsnittskreftene i snitt 2 vil dermed som regel være mindre enn hva som er beregnet her.

## 6.3 BJELKEENHET – HORIZONTALFORANKRING

Horisontalforankring av halvrundstål i toppen:  $R_{HO}=0,2 \times F_V=140\text{kN}$ :

Velger: 2×M16 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate =  $90\text{kN} \times 2=180\text{kN}$

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

Horisontalforankring av halvrundstål i bunn:  $R_{HU}=0,2 \times F_V=140\text{kN}$ :

Velger: 1×M20 gjengestang, 8.8 med mutter & stålplate = 141kN

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

## 6.4 ARMERING AV BJELKEENDE

### 6.4.1 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i 45°. Skjærkraften i første del av bjelken blir  $R_{V0}=1103\text{kN}$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{1103 \times 10^3 \text{ N}}{0,9 \times 0,715 \text{ m} \times 435 \text{ MPa}} = 3940 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Antar bjelkehøyde  $h=800\text{mm}$

Antar  $d=715\text{mm}$

Antar  $z=0,9d$

Antar skjærarmering diameter  $\varnothing 12$ .

$\Rightarrow \varnothing 12 \text{ c}50 \text{ (} 4524 \text{ mm}^2/\text{m)}$

$\Rightarrow$  Velger  $\varnothing 12 \text{ c/c}50$ . Denne armeringen skal føres minst 200mm forbi enden av bjelkeenden for og samtidig motvirke splittkreftene som kommer fra forankringen av horisontalkraft i gjengestengene.

### 6.4.2 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

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

$b_w = b_{\text{bjelke}} - b_{\text{enhet}}$

Antar bjelkebredde  $b_{\text{bjelke}} = 550\text{mm}$

$\Rightarrow b_w = 550\text{mm} - 50\text{mm} = 500\text{mm}$

Antar bjelkehøyde  $h=800\text{mm}$

Antar  $d=715\text{mm}$

Antar  $z=0,9d$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 500 \times 0,9 \times 715 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 1643 \text{ kN } (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

### 6.4.3 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

I henhold til fagverksmodell:

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

Inkludert hvis:  $h > (b + \varnothing_{\text{mandrel}}/2) / 0,9 + 2 \times \text{overdekning} = (410\text{mm} + 450\text{mm}/2) / 0,9 + 2 \times 30 = 766\text{mm}$

$\Rightarrow$  Forenklet: Inkluderes hvis  $h > 750\text{mm}$

⇒ Horisontale bøyer er alltid anbefalt for denne enheten.

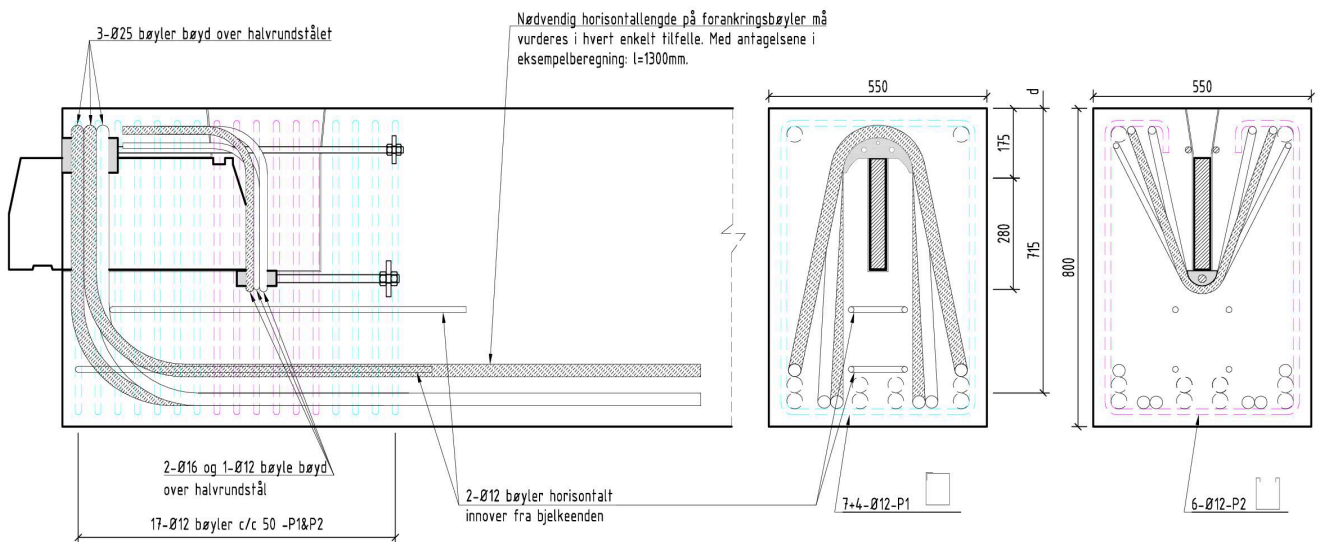
Eksempel: hvis  $z=0,9 \times 715 \text{mm} = 644 \text{mm}$ :

$$\frac{A_s}{s} = \frac{403000 \text{N}}{0,644 \text{m} \times 435 \text{MPa}} = 1439 \text{mm}^2 / \text{m}$$

Velger u-bøyer:  $\emptyset 12 \text{c}150 = \pi \times 6^2 \times 2/0,15 \text{m} = 1507 \text{mm}^2/\text{m}$ . Fordeles vertikalt under enheten.

Forenklet: Horisontal lengde av stang:  $L = b + 40\emptyset = 410 \text{mm} + 40 \times 12 \text{mm} \approx 900 \text{mm}$

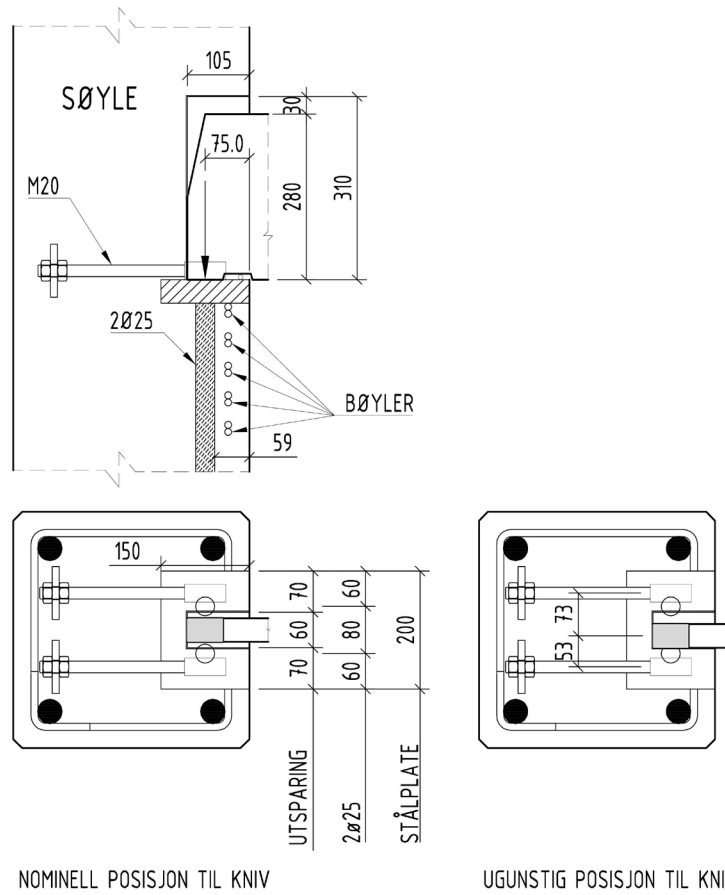
#### 6.4.4 ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE



**Figur 43: Armering i bjelkeenden.**



**6.5 SØYLEENHET**



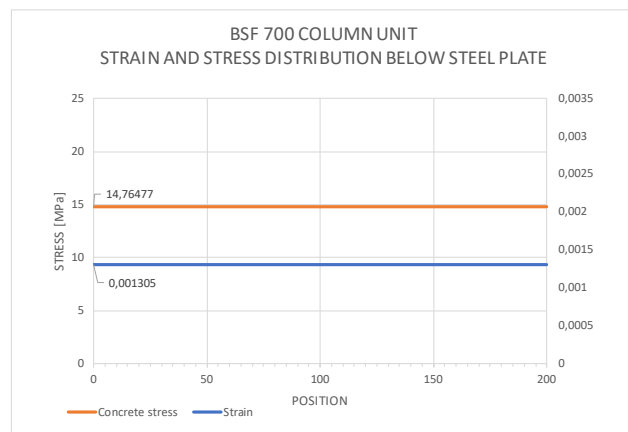
**Figur 44: BSF700 søyleenhet. (Senterbøyler er ikke vist.)**

**6.5.1 OVERFØRING AV VERTIKALLAST  $F_v$  \*)**

\*) To armeringsjern er sveist til stålplaten.

**I: Nominell posisjon til kniv**

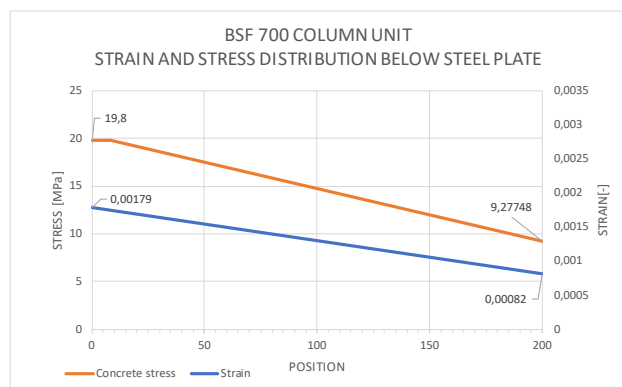
NOMINAL POSITON OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	<b>700 kN</b>
Eccentricity	<b>0 m</b>
Moment	<b>0 kNm</b>
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,305 [‰]
Minimum strain	1,305 [‰]
Maximum concrete stress	14,76 [Mpa]
Minimum concrete stress	14,76 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 1	261 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 2	261 [Mpa]
Reaction force in concrete	445,2 [kN]
Reaction force in reinforcement bar 1	127,9 [kN]
Reaction force in reinforcement bar 2	127,9 [kN]
<b>Σ Reaction force</b>	<b>700,9 [kN]</b>
Moment - from concrete	0,00 kNm
Moment - from reinforcement bar 1	5115,60 kNm
Moment - from reinforcement bar 2	-5115,60 kNm
<b>Σ Moment</b>	<b>0,00 kNm</b>



**Figur 45: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning**

**II: Ugunstig posisjon til kniv**

UNFAVOURABLE POSITON OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	<b>700 kN</b>
Eccentricity	<b>0,01 m</b>
Moment	<b>7 kNm</b>
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,79 [‰]
Minimum strain	0,82 [‰]
Maximum concrete stress	19,80 [Mpa]
Minimum concrete stress	9,28 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 1	299,8 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 2	222,2 [Mpa]
Reaction force in concrete	444,84 kN
Reaction force in reinforcement bar 1	146,90 kN
Reaction force in reinforcement bar 2	108,88 kN
<b>Σ Reaction force</b>	<b>700,62 kN</b>
Moment - from concrete	5,54 kNm
Moment - from reinforcement bar 1	5,88 kNm
Moment - from reinforcement bar 2	-4,36 kNm
<b>Σ Moment</b>	<b>7,06 kNm</b>



**Figur 46: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning**

Maksimum lengde til Ø25:  $L=1150\text{mm}-310\text{mm}-40\text{mm}-10\text{mm}=790\text{mm}$

Maksimum reaksjonskraft i Ø25 jern: 146,9kN

Nødvendig lengde av armeringsjern: (Antar gode heftbetingelser)

$$L_{\text{armering}} > \frac{146,9\text{kN}}{\pi \times \emptyset \times f_{bd}} = \frac{146,9\text{kN}}{\pi \times 25\text{mm} \times 2,79\text{MPa}} = 670\text{mm} \Rightarrow \text{Velger } L=790\text{mm}$$

### 6.5.2 OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$

Horisontalkraft  $H=0,3 \times F_v=0,3 \times 700\text{kN}=210\text{kN}$

Ved ugunstig posisjon av kniv:

$$F_{H1}=210\text{kN} \times 52,5\text{mm}/125\text{mm}=88,2\text{kN}$$

$$F_{H2}=210\text{kN} \times 72,5\text{mm}/125\text{mm}=121,8\text{kN}$$

I: Gjengestenger/hylser:

1xM20 8.8 hylse/stang med mutter & stålplate:  $141\text{kN} > 121,8\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

2xM20 8.8 hylser/stenger med mutter & stålplate:  $2 \times 141\text{kN}=282\text{kN} > 210\text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

Forankres til bakkant søyle.

### 6.5.3 BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN

Nødvendig tverrsnittareal:

$$A_s = \frac{0,4 \times F_v}{f_{yd}} = \frac{0,4 \times 700000\text{N}}{435\text{MPa}} = 644\text{mm}^2$$

Nødvendig antall  $\emptyset 10$  bøyer:

$$n = \frac{644\text{mm}^2}{78\text{mm}^2} = 8,3 \Rightarrow 9$$

$\Rightarrow$  Fem doble bøyer  $\emptyset 10$  i sone 1 er tilstrekkelig. Se avsnitt 2.6 og Figur 10 for prinsipiell og anbefalt armeringsføring.

Eksempel søyletverrsnitt 400x400:

Vurderer at doble bøyer c/c 50mm gir passende plassering av bøyene både ift. fagverksmodell og spaltekrefter. Dette gir høyde på sone 1 lik 200mm.

Kontroll plassering av armering for horisontalkraft alene:  $0,7d'=0,7 \times 260\text{mm}=182\text{mm}$

$\Rightarrow$  Avstand sidevegs: Alle bøyene ligger innenfor denne avstanden  $\rightarrow$  ok.

$\Rightarrow$  Avstand under enheten: Fire av bøyene under enheten vil ligge utenfor denne avstanden.

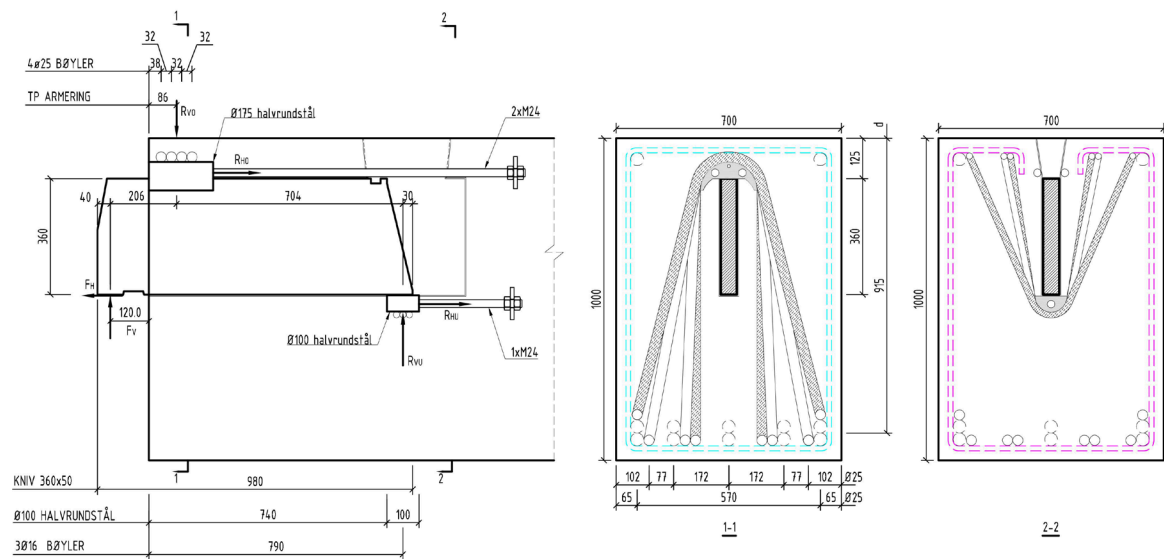
Kontroll av kapasitet for horisontalkraft:

Seks bøyer (12 snitt) er innenfor avstand  $0,7d'$  under enheten: Kapasitet= $12 \times 34\text{kN}=408\text{kN} > H \rightarrow \text{OK}$ .

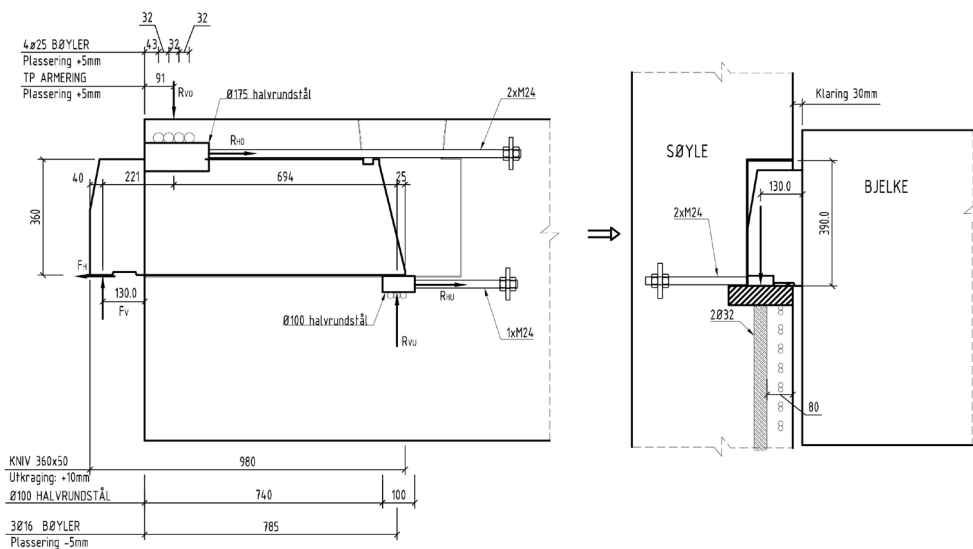
$\Rightarrow$  Velger 5 doble  $\emptyset 10$  bøyer c/c 50. Bruker c/c 50 også på senterbøyer.

## DEL 7 - BSF 1100

### 7.1 BJELKEENHET - LIKEVEKT



**Figur 47: BSF1100 Bjelkeenhet. Situasjon I – nominelle verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.**



**Figur 48: BSF1100 Bjelkeenhet. Situasjon II – ugunstige verdier på utkraging og plassering av forankringsarmering.**

**Krefter situasjon I:**

Likevekt:

$$R_{VO} = F_V \times \frac{206mm + 704mm}{704mm} + R_{HO} \times \frac{360mm}{704mm}$$

$$= 1100kN \times \frac{206mm + 704mm}{704mm} + 0,24 \times 1100kN \times \frac{360mm}{704mm} = 1557kN$$

$$R_{VU} = R_{VO} - 1100kN = 1557kN - 1100kN = 457kN$$

**Krefter situasjon II:**

Likevekt:

$$R_{VO} = F_V \times \frac{221mm + 694mm}{694mm} + R_{HO} \times \frac{360mm}{694mm}$$

$$= 1100kN \times \frac{221mm + 694mm}{694mm} + 0,24 \times 1100kN \times \frac{360mm}{694mm} = 1587kN$$

$$R_{VU} = R_{VO} - 1100kN = 1587kN - 1100kN = 487kN$$

## 7.2 BJELKEENHET – VERTIKAL FORANKRINGSARMERING

**1) Vertikal forankringsarmering i front - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VO}}{f_{yd}} \times \frac{1587kN}{435MPa} = 3648mm^2$$

$$4\emptyset 25B\text{øylers} = 490mm^2 \times 8 = 3920mm^2$$

$$\text{Kapasitet til valgt armering: } 4\emptyset 25b\text{øylers} = 3920mm^2 \times 435MPa = 1705kN$$

Minimum dordiameter:

$$\emptyset_{mf,min} = \frac{R_{VO}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{1587000N}{640mm \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8MPa \times 0,5} = 485mm$$

 $b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 700mm - 60mm = 640mm$ 
 $\emptyset_{mf}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

 $\Rightarrow$  Velger:  $\emptyset = 500mm$ 
**2) Vertikal forankringsarmering i bakkant - Situasjon II:**

Nødvendig armeringstverrsnitt:

$$A_s = \frac{R_{VU}}{f_{yd}} \times \frac{487kN}{435MPa} = 1120mm^2$$

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

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

Minimum dordiameter:

$$\varnothing_{mb,min} = \frac{R_{VV}}{b_{eff} \times 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \times 0,5} = \frac{487000N}{640mm \times 0,6 \times \left(1 - \frac{35}{250}\right) \times 19,8MPa \times 0,5} = 149mm$$

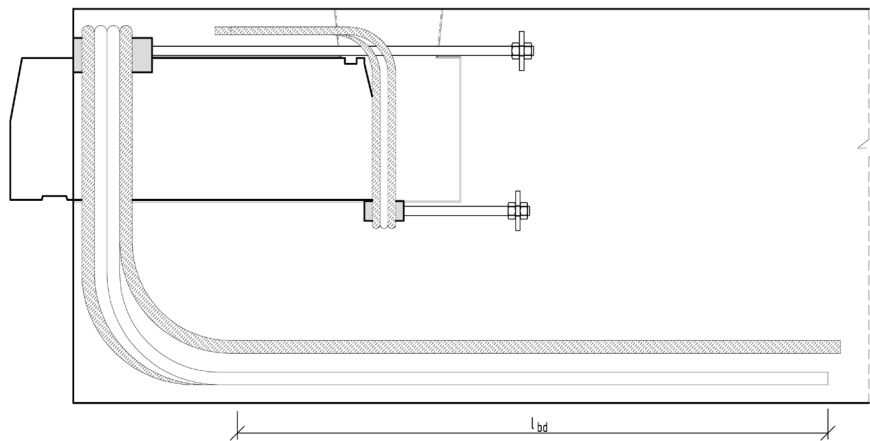
$b_{eff}$  = effektiv bjelkebredde. Antar:  $b = b_{bjelke} - b_{enhet} = 700mm - 60mm = 640mm$

$\varnothing_{mb}$  = dordiameter.

Trykkdiagonal antatt i 45grader, se Del 2.

⇒ Velger:  $\varnothing = 200mm$

**3) Forankring av frontarmering, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:**



**Figur 49: 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:  $\sigma_{sd} = \frac{1587kN}{3920mm^2} = 405MPa$

$$l_{b,reqd} = \frac{25}{4} \times \frac{405MPa}{2,79} = 907mm$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 269mm$$

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:

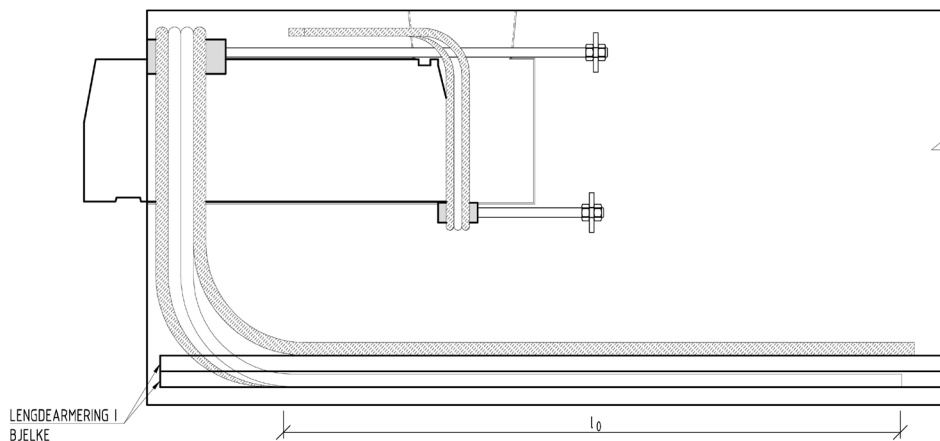
$\alpha_5 = 1,0$

Ikke relevant.

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

$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 907\text{mm} = 907\text{mm}$

**4) Omfaringslengde, EC2 pkt 8.7.3:**



**Figur 50: 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:

$l_{b,reqd} = 907\text{mm}$ , se beregning i pkt. 3.

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

Tabell 8.2:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  and  $\alpha_5 = 1,0$  som beregnet i pkt. 3.

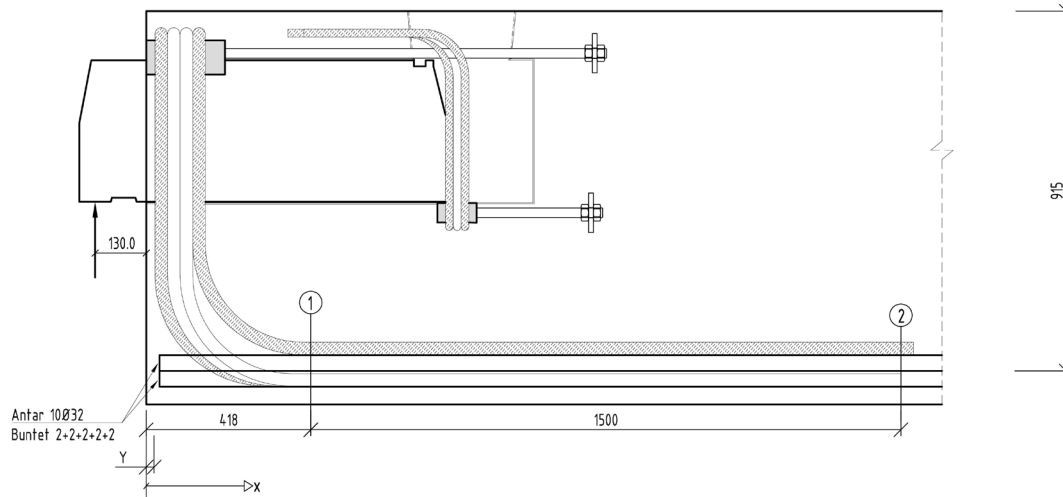
Tabell 8.3:  $\alpha_6 = 1.5$  (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 907\text{mm} = 1360\text{mm}$$

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

**5) Forankring av hovedarmering:**

Horisontaldelen av forankringsbøylene i front av enheten må fortsette til bjelkens lengdearmering er tilstrekkelig forankret til å bære lasten.



Figur 51: Forankring.

Eksempel, antar:

- Lengdearmering i bunn: 10Ø32, buntet 2+2+2+2+2.
- Horisontallengden til forankringsbøylene i front er 1500mm  
Dvs. forankringsbøylene slutter ved  $x=418+1500=1918\text{mm}$ .
- $Y=30\text{mm}$

Ekvivalent diameter til 2Ø32 buntet:

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

Forankringslengde til bunt:

$$L_n = \frac{\pi \times 16^2 \times 435\text{MPa} \times 2}{\pi \times \varnothing_n \times f_{bd}} = \frac{\pi \times 16^2 \times 435\text{MPa} \times 2}{\pi \times 45 \times 2,79\text{MPa}} = \frac{700\text{kN}}{0,394\text{kN/mm}} = 1776\text{mm}$$

Snitt 1 (ved  $x=418\text{mm}$ ):

Kraft forankret i Ø32:

$$F_{\varnothing32} = f_{bd} \times \varnothing_n \times \pi \times (418 - Y) \times 5 = 2,79 \times 45 \times \pi \times (418 - 30) \times 5 = 765\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø25:

$$F_{\varnothing25} = 1587\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\varnothing32} + F_{\varnothing25} = 765\text{kN} + 1587\text{kN} = 2352\text{kN}$$

Strekk i armering ved  $x=418\text{mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$S(x) = M(x)/z + 0,5V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyer)}$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0)$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}$$

Bøyemoment ved  $x=418$ :

$$M(x=418) = 1100\text{kN} \times (418 + 130)\text{mm} = 603\text{kNm}$$

$$\text{Antar: } z = 0,9d = 0,9 \times 915\text{mm} = 823\text{mm (cirka)}$$

$$S(x=418) = 603\text{kNm}/0,823\text{m} + 1587\text{kN}/2 = 1526\text{kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x=418\text{mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Snitt 2 (ved  $x=1918\text{mm}$ ):



Kraft forankret i Ø32:

$$F_{\text{Ø32}} = f_{bd} \times \text{Ø}_n \times \pi \times (1918 - Y) \times 5 = 2,79 \times 45 \times \pi \times (1918 - 30) \times 5 = 3723 \text{ kN}$$

Kraft forankret i Ø25:

$$F_{\text{Ø25}} = 0 \text{ kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{\text{Ø32}} + F_{\text{Ø25}} = 3723 \text{ kN} + 0 \text{ kN} = 3723 \text{ kN}$$

Strekk i armering ved  $x = 1918 \text{ mm}$ : (pkt 6.2.3(7))

$$S(x) = M(x)/z + 0,5 V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar trykkdiagonal i 45grader og vertikale skjærbøyler)}$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0)$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}$$

Bøyemoment ved  $x = 1918$ :

$$M(x=1918) = 1100 \text{ kN} \times (1918 + 130) \text{ mm} = 2253 \text{ kNm}$$

Antar:  $z = 0,9d = 0,9 \times 0,915 \text{ m} = 823 \text{ mm}$  (cirka)

$$S(x=1918) = 2253 \text{ kNm} / 0,823 \text{ m} + 1587 \text{ kN} / 2 = 3531 \text{ kN}$$

⇒ Forankringen ved  $x = 1918 \text{ mm}$  er tilstrekkelig i dette tilfellet.

Merk: I dette eksempelet er det ikke regnet med noe reduksjon i bøyemomentet i bjelken pga jevnt fordelt last. Tverrsnittskreftene i snitt 2 vil dermed som regel være mindre enn hva som er beregnet her.

## 7.3 BJELKEENHET – HORISONTALFORANKRING

Horisontalforankring av halvrundstål i toppen:  $R_{HO} = 0,3 \times F_V = 330 \text{ kN}$ :

Velger: 2 × M24 gjengestenger, 8.8 med mutter & stålplate =  $203 \text{ kN} \times 2 = 406 \text{ kN}$

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

Horisontalforankring av halvrundstål i bunn:  $R_{HU} = 0,15 \times F_V = 165 \text{ kN}$ :

Velger: 1 × M24 gjengestang, 8.8 med mutter & stålplate =  $203 \text{ kN}$

Gjengelengde i halvrundstål iht. Tabell 5.

## 7.4 ARMERING AV BJELKEENDE

### 7.4.1 SKJÆRARMERING I BJELKEENDE

Bruker fagverksmodell med trykkdiagonal i  $45^\circ$ . Skjærkraften i første del av bjelken blir  $R_{V0} = 1587 \text{ kN}$

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Rd,s}}{z \times f_{yd}} \approx \frac{1587 \times 10^3 \text{ N}}{0,9 \times 0,915 \text{ m} \times 435 \text{ MPa}} = 4430 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Antar bjelkehøyde  $h = 1000 \text{ mm}$

Antar  $d = 915 \text{ mm}$

Antar  $z = 0,9d$

Antar skjærarmoring diameter Ø12.

⇒ Ø12c50 ( $4524 \text{ mm}^2/\text{m}$ )

⇒ Velger Ø12 c/c50. Denne armeringen skal føres minst 200mm forbi enden av bjelkeenheten for og samtidig motvirke splittkreftene som kommer fra forankringen av horisontalkraft i gjengestengene.

#### 7.4.2 SKJÆRTRYKKBRUDDKONTROLL I BJELKEENDE

Skjærtrykkkapasitet beregnes etter EC2, pkt 6.2.3

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

$$b_w = b_{bjelke} - b_{enhet}$$

$$\text{Antar bjelkebredde } b_{bjelke} = 700\text{mm}$$

$$\Rightarrow b_w = 700\text{mm} - 60\text{mm} = 640\text{mm}$$

$$\text{Antar bjelkehøyde } h = 1000\text{mm}$$

$$\text{Antar } d = 915\text{mm}$$

$$\text{Antar } z = 0,9d$$

$$V_{Rd,max} = \{1,0 \times 640 \times 0,9 \times 915 \times 0,6 \times [1 - (35/250)] \times 19,8 / (1+1)\} \times 10^{-3}$$

$$V_{Rd,max} = 2692 \text{ kN } (> V_{Rd} \Rightarrow \text{OK})$$

#### 7.4.3 HORIZONTALARMERING I BJELKEENDE

I henhold til fagverksmodell:

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

Inkludert hvis:  $h > (b + \varnothing_{mandrel} / 2) / 0,9 + 2 \times \text{overdekning} = (694\text{mm} + 500\text{mm} / 2) / 0,9 + 2 \times 30 = 1109\text{mm}$

⇒ Forenklet: Inkluderes hvis  $h > 1100\text{mm}$

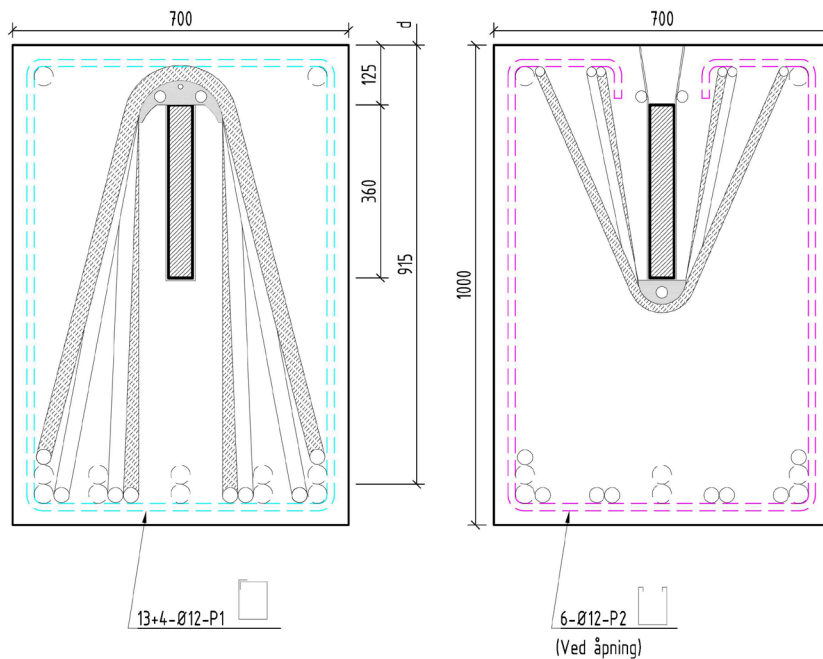
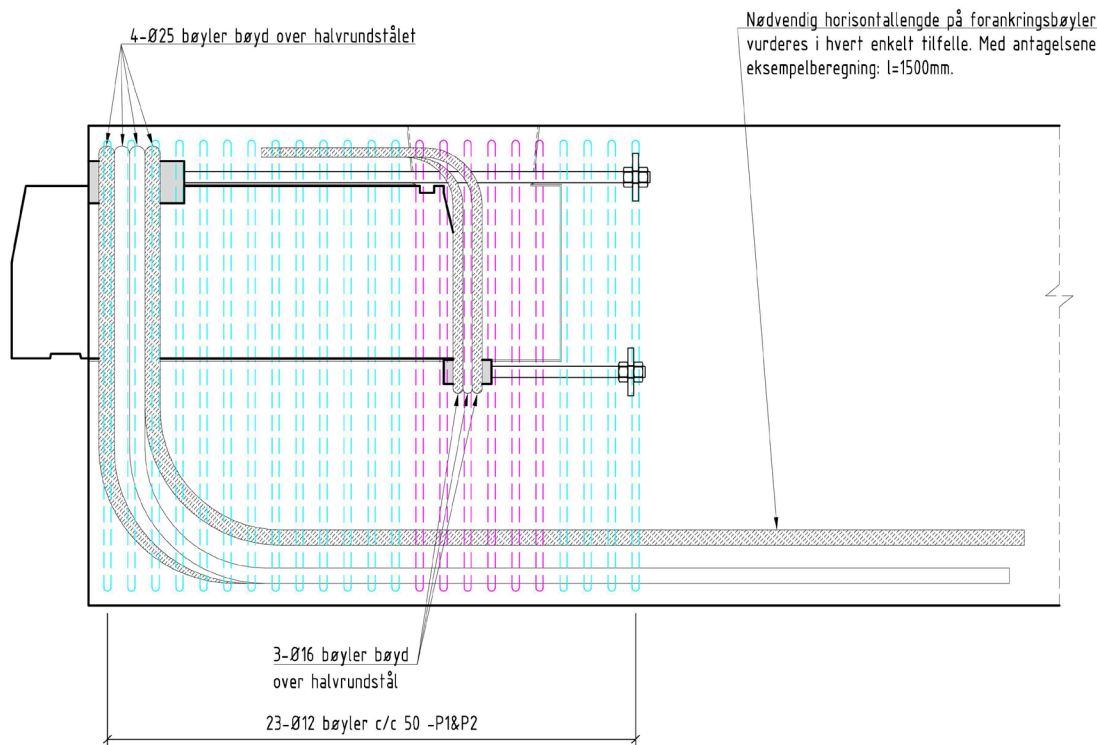
Eksempel: hvis  $z = 0,9 \times 1200\text{mm} = 1080\text{mm}$ :

$$\frac{A_s}{s} = \frac{487 \times 10^3 \text{ N}}{1,08\text{m} \times 435\text{MPa}} = 1037\text{mm}^2/\text{m}$$

Velger u-bøylar:  $\varnothing 12\text{c}150 = \pi \times 6^2 \times 2 / 0,15\text{m} = 1507\text{mm}^2/\text{m}$ . Fordeles vertikalt under enheten.

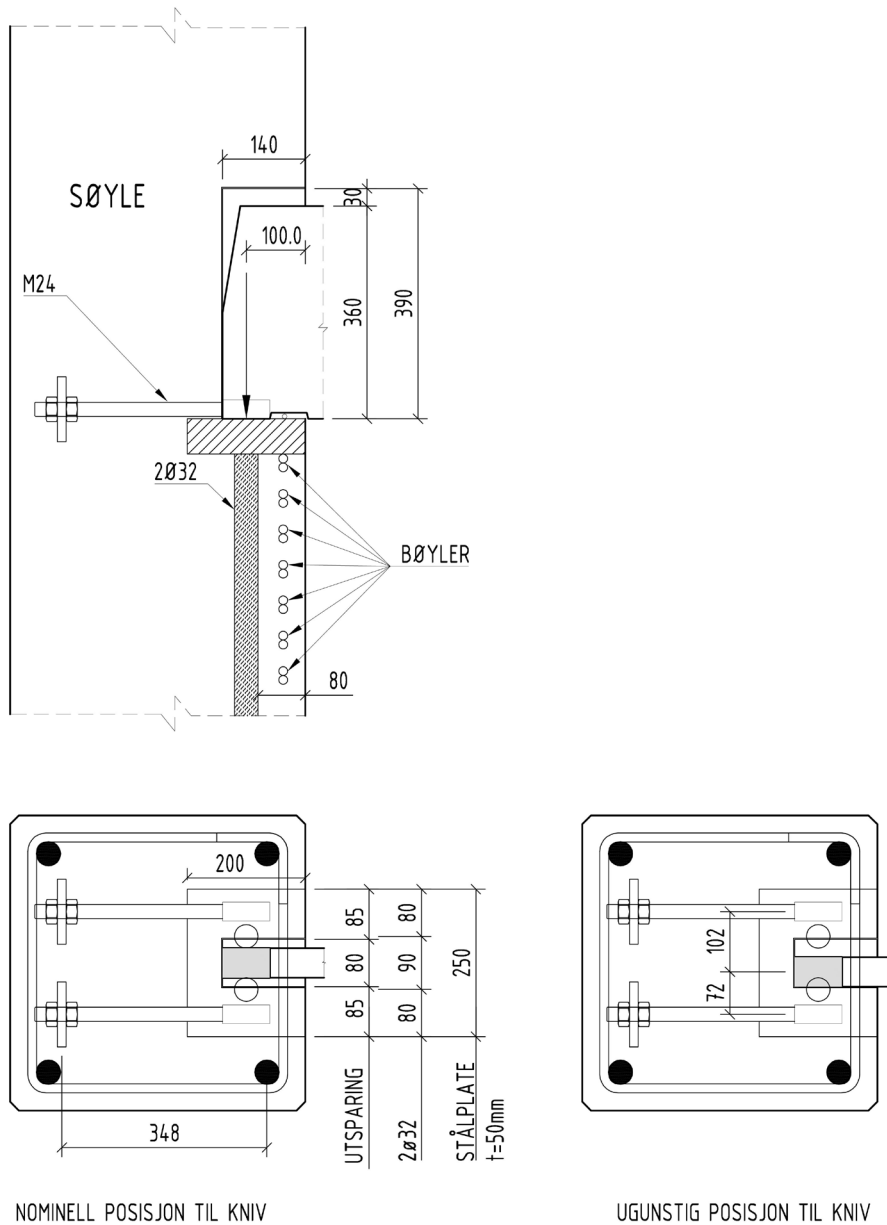
Forenklet: Horisontal lengde av stang:  $L = b + 40\varnothing = 410\text{mm} + 40 \times 12\text{mm} \approx 900\text{mm}$

**7.4.4 ILLUSTRASJON AV ARMERING I BJELKEENDE**



**Figur 52: Armering i bjelkeenden.**

**7.5 SØYLEENHET**



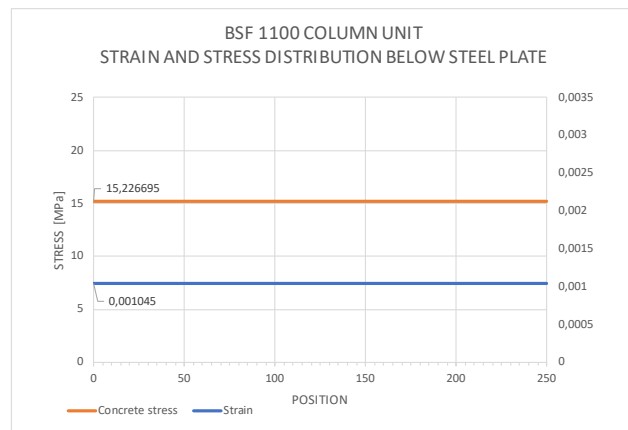
**Figur 53: BSF1100 søyleenhet. (Senterbøyer er ikke vist.)**

**7.5.1 OVERFØRING AV VERTIKALLAST  $F_V$  \*)**

\*) To armeringsjern er sveist til stålplaten. Det er også antatt betongkvalitet B45 i søylen.

**I: Nominell posisjon til kniv**

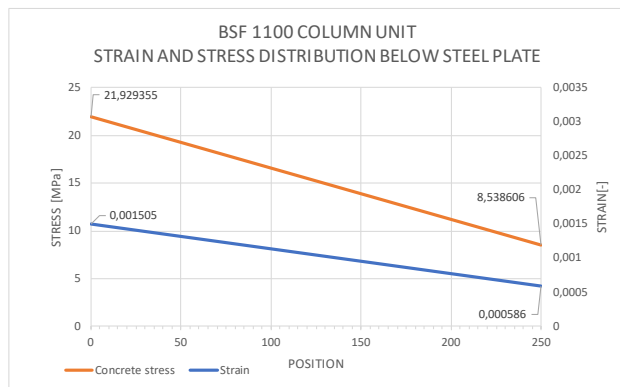
NOMINAL POSITION OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	<b>1100 kN</b>
Eccentricity	<b>0 m</b>
Moment	<b>0 kNm</b>
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,045 [‰]
Minimum strain	1,045 [‰]
Maximum concrete stress	15,23 [Mpa]
Minimum concrete stress	15,23 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 1	209 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 2	209 [Mpa]
Reaction force in concrete	764,4 [kN]
Reaction force in reinforcement bar 1	168,0 [kN]
Reaction force in reinforcement bar 2	168,0 [kN]
<b>Σ Reaction force</b>	<b>1100,5 [kN]</b>
Moment - from concrete	0,00 kNm
Moment - from reinforcement bar 1	7561,62 kNm
Moment - from reinforcement bar 2	-7561,62 kNm
<b>Σ Moment</b>	<b>0,00 kNm</b>



**Figur 54: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning**

**II: Ugunstig posisjon til kniv**

UNFAVOURABLE POSITION OF KNIFE	
<b>External load:</b>	
Load:	<b>1100 kN</b>
Eccentricity	<b>0,015 m</b>
Moment	<b>16,5 kNm</b>
<b>Reaction forces: (from illustrated stress distribution)</b>	
Maximum strain	1,505 [‰]
Minimum strain	0,586 [‰]
Maximum concrete stress	21,93 [Mpa]
Minimum concrete stress	8,54 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 1	242,184 [Mpa]
Stress in reinforcement bar 2	176,016 [Mpa]
Reaction force in concrete	764,75 kN
Reaction force in reinforcement bar 1	194,72 kN
Reaction force in reinforcement bar 2	141,52 kN
<b>Σ Reaction force</b>	<b>1100,98 kN</b>
Moment - from concrete	14,12 kNm
Moment - from reinforcement bar 1	8,76 kNm
Moment - from reinforcement bar 2	-6,37 kNm
<b>Σ Moment</b>	<b>16,51 kNm</b>



**Figur 55: Spenningsfordeling under stålplaten fra Excel beregning**

Maksimum lengde til Ø32:  $L=1150\text{mm}-390\text{mm}-60\text{mm}-10\text{mm}=690\text{mm}$

Maksimum reaksjonskraft i Ø32 jern: 194,7kN

Nødvendig lengde av armeringsjern: (Antar gode heftbetingelser)

$$L_{\text{armering}} > \frac{194,7 \text{ kN}}{\pi \times \emptyset \times f_{bd}} = \frac{194,7 \text{ kN}}{\pi \times 32 \text{ mm} \times 3,4 \text{ MPa}} = 570 \text{ mm} \Rightarrow \text{Velger } L=690 \text{ mm}$$

### 7.5.2 OVERFØRING AV HORIZONTALKRAFT $F_H$

Horisontalkraft  $H=0,3 \times F_v=0,3 \times 1100 \text{ kN}=330 \text{ kN}$

Ved ugunstig posisjon av kniv:

$$F_{H1}=330 \text{ kN} \times 72 \text{ mm} / 174 \text{ mm}=136,5 \text{ kN}$$

$$F_{H2}=330 \text{ kN} \times 102 \text{ mm} / 174 \text{ mm}=193,5 \text{ kN}$$

I: Gjengestenger/hylser:

1xM24 8.8 hylse/stang med mutter & stålplate:  $203 \text{ kN} > 193,5 \text{ kN} \Rightarrow \text{OK}$

2xM24 8.8 hylser/stenger med mutter & stålplate:  $2 \times 203 \text{ kN}=406 \text{ kN} > 330 \text{ kN} \Rightarrow \text{OK}$

Forankres til bakkant søyle.

### 7.5.3 BØYLER I SØYLEN RETT UNDER SØYLEENHETEN

Nødvendig tverrsnittareal:

$$A_s = \frac{0,4 \times F_v}{f_{yd}} = \frac{0,4 \times 1100000 \text{ N}}{435 \text{ MPa}} = 1012 \text{ mm}^2$$

Nødvendig antall  $\emptyset 12$  bøyer:

$$n = \frac{1012 \text{ mm}^2}{113 \text{ mm}^2} = 9$$

$\Rightarrow$  10 bøyer  $\emptyset 12$  i sone 1 er tilstrekkelig. Se avsnitt 2.6 og Figur 10 for prinsipiell og anbefalt armeringsføring.

Eksempel søyletverrsnitt 500x500:

Vurderer at 7 doble bøyer c/c 60mm gir passende plassering av bøyene både ift. fagverksmodell og spaltekrefter. Dette gir høyde på sone 1 lik 360mm.

Kontroll plassering av armering for horisontalkraft alene:  $0,7d'=0,7 \times 348 \text{ mm}= 244 \text{ mm}$

$\Rightarrow$  Avstand sidevegs: Alle bøyene ligger innenfor denne avstanden -> ok.

$\Rightarrow$  Avstand under enheten: 8 bøyer under enheten vil ligge innenfor denne avstanden.

Kontroll av kapasitet for horisontalkraft:

Åtte bøyer (16 snitt) er innenfor avstand  $0,7d'$  under enheten: Kapasitet= $16 \times 45 \text{ kN}= 720 \text{ kN} > H \rightarrow \text{OK}$ .

$\Rightarrow$  Velger 7 doble  $\emptyset 12$  bøyer c/c60. Bruker c/c 60 også på senterbøyer.

REVISJON	
Dato:	Beskrivelse:
28.11.2013	Første utgave på norsk. Oversatt fra engelsk utgave.
30.04.2014	Omarbeidet kapittel 2.6. Henvisning til CEN/TS 1992-4-2. Forankring bolter med hode. Inkludert eksempelberegning på bøyer under søleenhet.
26.06.2014	Endret halvrundstål BSF700
19.08.2014	Endret plassering av M16 på halvrundstål i front BSF700
13.01.2015	Endret nødvendig inngrepslengde for gjengestang i blindhull, tabell 5.
27.02.2015	Inkludert mutter på begge sider av stålplater på gjengestenger.
11.05.2016	Ny mal
28.09.2016	BSF 1100 oppdatert.
06.07.2018	BSF1100 oppdatert iht endeleg design.
15.11.2018	Korrigerer figurer BSF1100
27.09.2019	Tabell 3. Korrigerer angitt diameter bakre halvrundstål BSF1100.
14.02.2020	Redesignet sølekasser. Større klaring og toleranser.