

D07-103

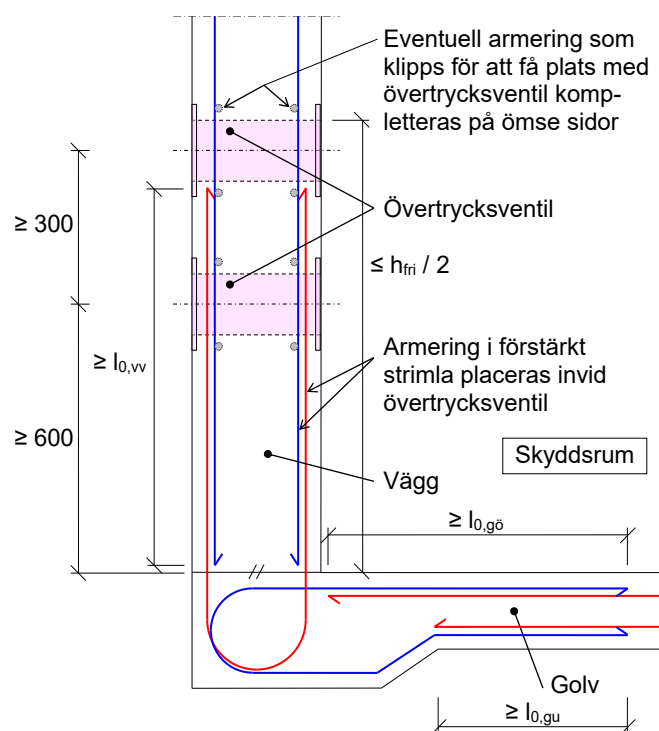
Lastkapacitet hos skyddsrum Armeringsutformning invid dörr

1 Orientering	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Om detta dokument	3
2 Lastkapacitet hos vägg	4
2.1 Förutsättningar	4
2.2 Beräkningsmodell	5
2.3 Vägg utan öppning	7
2.3.1 Erforderlig armeringsmängd	7
2.3.2 Momentkapacitet	8
2.3.3 Tvärkraftskapacitet	9
2.3.4 Tillåten spännvidd	10
2.4 Förstärkt strimla bredvid dörröppning	12
2.4.1 Orientering	12
2.4.2 Vald armeringsmängd	13
2.4.3 Kontroll av momentkapacitet	14
2.4.4 Kontroll av tvärkraftskapacitet	14
2.5 Förstärkt strimla ovan dörröppning	16
2.6 Förstärkt strimla i golv- och takplatta	18
2.7 Pardörr	19
2.8 Inverkan av ändrade förutsättningar	20
3 Revideringslista	21

1 Orientering

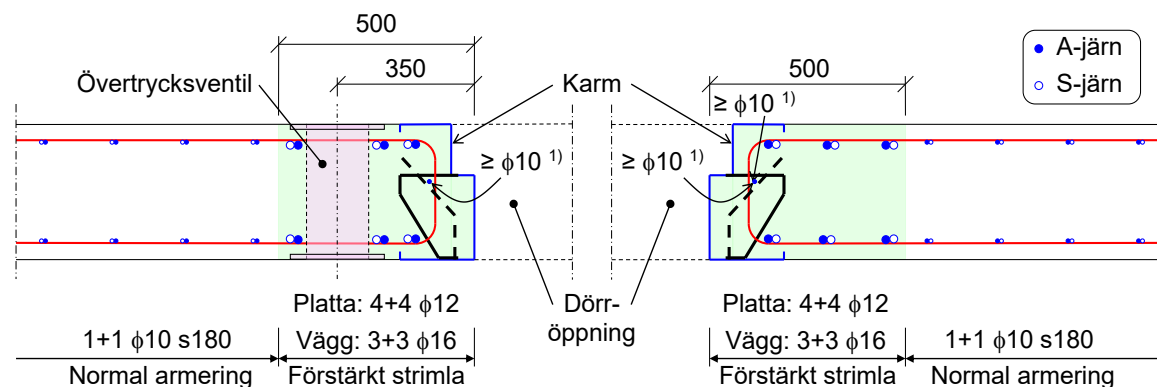
1.1 Bakgrund

I typlösning T03-109 ges anvisningar för principiell armeringsutformning invid skydds dörr i skyddsrum. Dessa utgår i sin tur från anvisningar i SR om att armeringsmängd i bärande huvudriktning, som beräkningsmässigt ska finnas där det finns en öppning, ska placeras i omedelbar anslutning till öppningen. Placeringen av denna extra armering invid dörröppning är dock praktiskt besvärlig att få plats med, särskilt om armeringen även behöver samsas om tillgängligt utrymme med övertrycksventiler som placeras invid dörren. I Figur 1.1 och Figur 1.2 visas utdrag på armeringsutformning invid dörr, hämtat från typlösning T03-109.



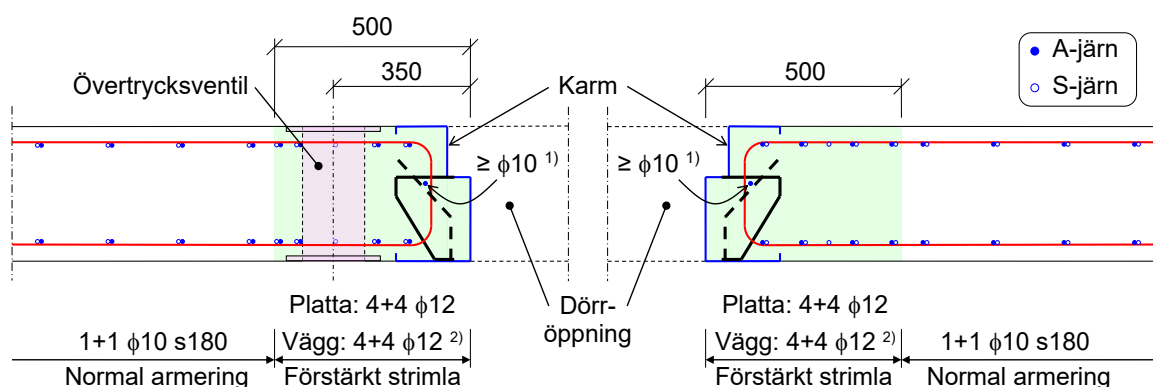
Figur 1.1 Vertikalsektion av vägg med övertrycksventil som schematiskt illustrerar armeringsutformning i förstärkt strimla invid dörr. Från typlösning T03-109.

Dimensioneringslösning



¹⁾ Stång placeras mellan horisontell armering och bygel från karm.

(a)



¹⁾ Stång placeras mellan horisontell armering och bygel från karm.

²⁾ Om gjutfog utan förtagning används behövs 5+5 $\phi 12$ genom fog, där 1+1 $\phi 12$ vid behov klipps under övertrycksventil.

(b)

Figur 1.2 Horisontalsektion av vägg vid enkeldörr med övertrycksventil. Schematisk illustration av två armeringsalternativ: (a) förstärkt strimla baserad på 3 $\phi 16$ i vägg, (b) förstärkt strimla baserad på 4 $\phi 12$ i vägg. Från typlösning T03-109.

1.2 Om detta dokument

I detta dokument presenteras hur dimensionering av armeringsmängd i typlösning T03-109 har tagits fram. Syftet är att via detta dokument åskådliggöra bakomliggande tankar för en sådan dimensionering så att motsvarande metod även kan användas för liknande situationer med andra förutsättningar än de som antagits här. Fokus ligger på att presentera det använda beräkningskonceptet för en enkeldörr i en skyddsrumsvägg.

I beräkningarna presenteras inte någon detaljerad redovisning av förutsättningar eller beräkningar av verkande laster eller för erforderliga skarvlängder – för information om hur detta kan göras hänvisas istället till andra dimensioneringslösningar.

2 Lastkapacitet hos vägg

2.1 Förutsättningar

Om inget annat anges så utgår visade lösningar från följande antaganden för skyddsrummet:

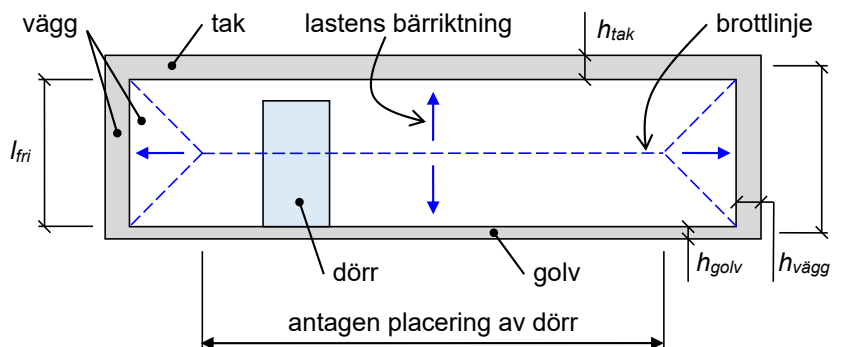
- Material
 - Betong C25/30: $f_{ck} = 25$ MPa, $\gamma_C = 1,2 \rightarrow f_{cd} = 20,8$ MPa, $f_{ctm} = 2,6$ MPa
 - Armering K500C: $f_{yk} = 500$ MPa, $\gamma_S = 1,0 \rightarrow f_{yd} = 500$ MPa, $E_s = 200$ GPa
- Geometri
 - Fri höjd: $l_{fri} = 3,8$ m $\rightarrow l \approx 4,1$ m
 - Golvplatta, tjocklek: $h_{golv} = 200$ mm
 - Takplatta, tjocklek: $h_{tak} = 350$ mm
 - Vägg, tjocklek: $h_{vägg} = 350$ mm
 - Effektiv höjd: $d = h - 50$ mm
 - Förstärkt strimla invid dörr, bredd: $b_f = 500$ mm
 - Dörr, bredd: $b_d = 1\ 100$ mm
- Last
 - Mot golv/tak: Ej beaktat¹
 - Mot vägg: $q_{våpen} = 50$ kN/m²
- Övrigt
 - Gjutfog med eller utan förtagning mellan vägg och platta.

För andra värden än vad som anges ovan kan angivna armeringsmängder behöva justeras, se avsnitt 2.8 för övergripande kommenterar kring detta. Principiell armeringsutformning i typlösning T03-109 kan dock fortfarande användas även för sådana fall. Framtagna armeringsmängder utgår enbart från last enligt SR, inverkan av fredslast har ej beaktats.

¹ Last mot golv och tak beror dels på magnitud hos våpen- och raslast, dels på spännvidd hos dessa. Det är därför inte möjligt att allmänt överblicka effekten mot dessa delar i denna dimensioneringslösning.

2.2 Beräkningsmodell

Det antas här att väggens bredd är lång i förhållande till dess höjd och att inverkan av lastbärning i horisontalled kan försummas för vald placering av dörröppning², se Figur 2.1 för schematisk illustration av studerad vägg. I figuren har även potentiell brottlinje samt lastens huvudsakliga bärriktning i väggen markerats.

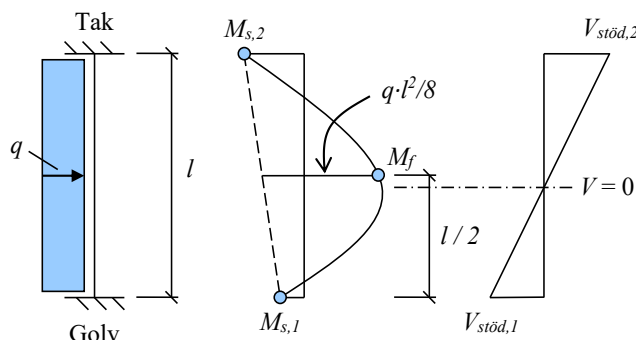


Figur 2.1 Elevation av vägg med potentiell brottlinje och lastens bärriktning markerad.

Baserat på ovanstående kan väggens lastkapacitet bedömas utgående från en strimla med bredd b , varvid en lastuppställning med tillhörande momentfördelning enligt Figur 2.2 fås. Här nyttjas plastisk omlagring, varför stödmoment $M_{s,1}$ och $M_{s,2}$ motsvarar aktuell momentkapacitet i golv respektive tak medan fältmoment M_f motsvarar aktuell momentkapacitet i vägg. Av detta kan följande uttryck användas för att approximativt³ beskriva total momentkapacitet

$$\frac{M_{s,1} + M_{s,2}}{2} + M_f = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (1)$$

varvid q är jämnt utbredd last och l är strimlans spännvidd enligt Figur 2.1.



Figur 2.2 Lastuppställning med tillhörande moment- och tvärkraftsfördelning för en vertikal väggestrimla inspänd i golv och tak.

² Dörren kan även placeras närmare väggens ände, varvid här utförda beräkningar blir konservativa med avseende på lastkapacitet.

³ Uttrycket i ekvation (1) är korrekt för ett fall där $M_{s,1} = M_{s,2}$, annars något konservativt.

Dimensioneringslösning

Dimensionerande tvärkraft vid stöd i beräknas som

$$V_{Ed,i} = V_{stöd,i} - q \cdot x_{krit,i} \quad (2)$$

där $V_{stöd,i}$ är tvärkraft i stödet (stödreaktion) och

$$x_{krit,i} = d_{vägg} + \frac{a_{stöd,i}}{2} \quad (3)$$

är avstånd från centrum stöd till kritiskt snitt enligt Figur 2.3. Tvärkraft i stöd beräknas, via Figur 2.2, som

$$V_{stöd,1} = \frac{q \cdot l}{2} + \frac{M_{s,1} - M_{s,2}}{l} \quad (4)$$

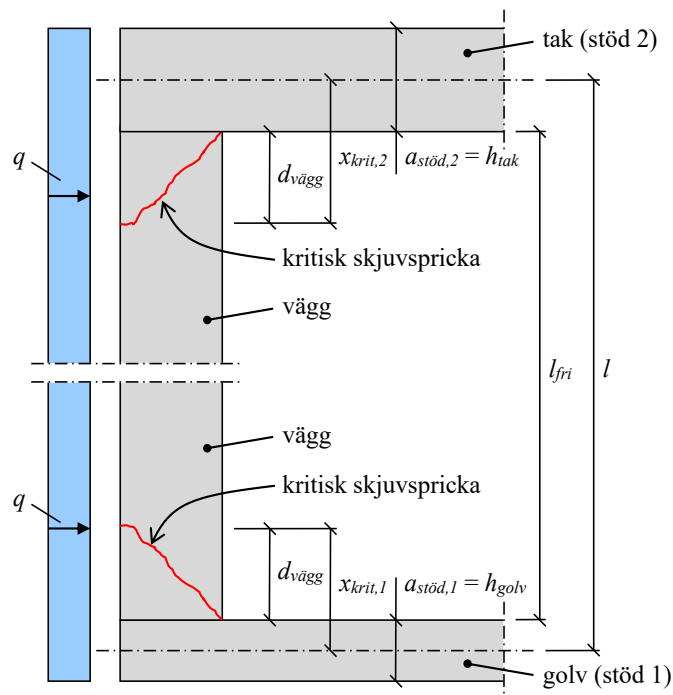
$$V_{stöd,2} = \frac{q \cdot l}{2} - \frac{M_{s,1} - M_{s,2}}{l} \quad (5)$$

Om $M_{s,1} < M_{s,2}$ fås $V_{stöd,1} < V_{stöd,2}$. För ett fall där $M_{s,1} = M_{s,2}$ fås dock att

$$V_{stöd,1} = V_{stöd,2} = \frac{q \cdot l}{2} \quad (6)$$

varvid dimensionerande tvärkraft vid stöd i kan beräknas som

$$V_{Ed,i} = q \cdot \left(\frac{l}{2} - \left(d_{vägg} + \frac{a_{stöd,i}}{2} \right) \right) \quad (7)$$



Figur 2.3 Kritiska snitt (avstånd x_{krit} från centrumlinje golv/tak) för dimensionerande tvärkraft invid golv och tak.

2.3 Vägg utan öppning

2.3.1 Erforderlig armeringsmängd

För beräkningar av vägg utgås här från minsta tillåtna armeringsmängd enligt SR. I SR anges minsta armeringsdimension och maximalt centrumavstånd, varvid följande fås:

- $\phi_{min} = 10 \text{ mm}$ och $s_{max} = 200 \text{ mm} \rightarrow A'_{s,min} = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$

Minsta tillåtna armeringsinnehåll [%] enligt SR beräknas som

$$\rho_{s,min} = 26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 26 \cdot \frac{2,6}{500} = 0,135 \% \quad (8)$$

dock minst 0,14 %, varför $\rho_{s,min} = 0,14 \%$ fås här. Minsta tillåtna armeringsmängd [mm^2/m] beräknas därefter som

$$A_{s,min} = \rho_{s,min} \cdot b \cdot d \quad (9)$$

Det är värt att notera att en högre betonghållfasthet medför en ökning av draghållfasthet f_{ctm} och därmed även av minsta tillåtna armeringsinnehåll $\rho_{s,min}$ enligt ekvation (8).

Beräkning görs för en strimla med bredd $b = 1,0 \text{ m}$ och effektiv höjd $d = h - 50 \text{ mm}$, då fås:

- Golv: $h_{golv} = 200 \text{ mm} \rightarrow d_{golv} = 150 \text{ mm} \rightarrow A'_{s,golv,min} = 210 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Tak: $h_{tak} = 350 \text{ mm} \rightarrow d_{tak} = 300 \text{ mm} \rightarrow A'_{s,tak,min} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Vägg: $h_{vägg} = 350 \text{ mm} \rightarrow d_{vägg} = 300 \text{ mm} \rightarrow A'_{s,vägg,min} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$

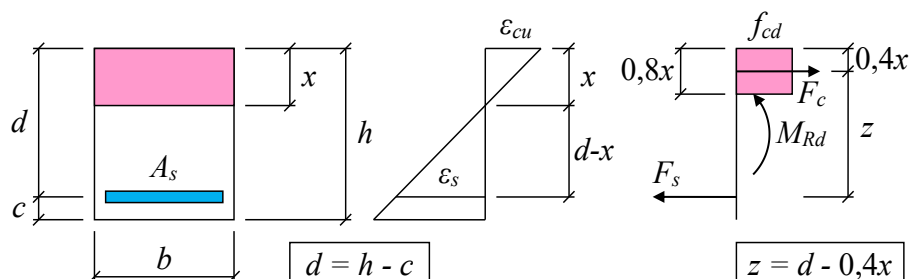
Baserat på detta används följande armeringsmängder i de fortsatta beräkningarna:

- Golv: $A'_{s,golv} = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Tak: $A'_{s,tak} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Vägg: $A'_{s,vägg} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$

Samtliga dessa armeringsmängder uppfylls av $\phi 10 \text{ s180} \rightarrow A'_s = 436 \text{ mm}^2/\text{m}$, vilket även ansätts som "normal armering" i konstruktionsdel utan öppning. SR ställer krav på att golv, väggar och tak i skyddsrummet ska utformas som dubbelarmerade, varför dessa armeringsmängder placeras på båda sidor i tvärsnittet.

2.3.2 Momentkapacitet

För beräkning av momentkapacitet utgås från ett armerat betongtvärsnitt enligt Figur 2.4, varvid inverkan av normalkraft bortses ifrån ($N = 0 \text{ kN}^4$).



Figur 2.4 Tvärsnittsanalys av ett armerat betongtvärsnitt utsatt för ren böjning ($N = 0 \text{ kN}$) i brottstadium.

För ett fall där armeringen flyter (dvs. $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} = f_{yd} / E_s = 2,5 \text{ ‰}$, vilket med god marginal uppfylls för aktuella armeringsmängder) kan momentkapaciteten, via Figur 2.4, bestämmas som

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = f_{yd} \cdot A_s (d - 0,4 \cdot x) \quad (10)$$

där tryckzonshöjden x beräknas ur en horisontell kraftjämvikt ($F_c = F_s$) som

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{0,8 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (11)$$

utgående från armeringsmängd A_s , dess flytgräns f_{yd} , betongens tryckhållfasthet f_{cd} samt bredden b .

För en strimla med bredd $b = 1,0 \text{ m}$ och armeringsmängder enligt avsnitt 2.3.1 fås följande momentkapaciteter:

- Golv: $M_{s,1} = M_{Rd,golv} = 28 \text{ kNm/m}$
- Tak: $M_{s,2} = M_{Rd,tak} = 64 \text{ kNm/m}$
- Vägg: $M_f = M_{Rd,vägg} = 64 \text{ kNm/m}$

⁴ Bortses från andra ordningens effekter skulle en tryckande normalkraft N medföra en ökad momentkapacitet hos tvärsnittet. Det kan argumenteras för att vertikal statisk last från en ovanliggande byggnad ska beaktas vid kapacitetskontroll av vägg. Enligt SR ska ett skyddsrum dock dels tåla verkan från en kortvarig tryckvåg från en närliggande explosion (arkivbomb), dels ett långvarigt tryck (kärnvapenexplosion från långt håll). För det kortvariga trycket är det rimligt att inverkan av normalkraft från ovanliggande byggnad beaktas – för detta fall kommer helt av byggnad troligen vara verksam innan kritisk dynamisk respons hos belastad skyddsrumsvägg hunnit avslutas. För ett långvarigt tryck är så dock inte fallet. Här är det istället troligt att ovanliggande byggnad helt eller delvis inte längre belastar skyddsrummet. Sammantaget medför detta att det för vertikallast i skyddsrumsvägg enbart blir rimligt att medräkna gynnsam inverkan av bidrag från byggnadsdelar som är dimensionerade som ett skyddsrum. Av försiktighetsskäl bör därför vertikal normalkraft i skyddsrumsvägg begränsas till bidrag av egentygnd från skyddsrummets takplatta. Ett sådant bidrag får dock i de flesta fall en förhållandevis liten inverkan och beaktas inte i här genomförda beräkningar.

2.3.3 Tvärkraftskapacitet

För beräkning av tvärkraftskapacitet utgås från ett armerat betongtvärsnitt enligt Figur 2.4, varvid inverkan av normalkraft, på samma sätt som i avsnitt 2.3.2, bortses ifrån ($N = 0$ kN).

Enligt SR beräknas betongens tvärkraftskapacitet i ett skyddsrum som

$$V_{Rd,c,dyn} = 1,1 \cdot V_{Rd,c,sta} \quad (12)$$

där $V_{Rd,c,dyn}$ och $V_{Rd,c,sta}$ är betongens dynamiska respektive statiska tvärkraftskapacitet. Den statiska kapaciteten beräknas i enlighet med Eurokod 2 som

$$V_{Rd,c,sta} = v_{Rd,c} \cdot b \cdot d \quad (13)$$

där (när $N = 0$ kN)

$$v_{Rd,c} = \max \begin{cases} \frac{0,18}{\gamma_C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_s \cdot f_{ck})^{1/3} \\ 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \end{cases} \quad (14)$$

är skjuvhållfasthet, $\gamma_C = 1,2$ är partialkoefficient för betong i olyckslastfall,

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad k \leq 2,0 \quad (d \text{ i [mm]}) \quad (15)$$

är en faktor som beaktar storlekseffekten,

$$\rho_s \leq \frac{A_s}{b \cdot d} = 0,02 \quad (16)$$

är armeringsinnehåll och f_{ck} är betongens karakteristiska tryckhållfasthet uttryckt i [MPa].

För en strimla med bredd $b = 1000$ mm, $d = 300$ mm och armeringsmängd $A'_{s,vägg} = 420$ mm²/m enligt avsnitt 2.3.1 fås följande tvärkraftskapacitet för väggen:

- Vägg: $V_{Rd,c,dyn,vägg} = 141$ kN/m

2.3.4 Tillåten spännvidd

I detta avsnitt beräknas maximalt tillåten spännvidd l_{max} hos en väggstrimla (bredd $b = 1,0$ m) utan öppning utgående från moment- och tvärkraftskapaciteter enligt avsnitt 2.3.2 respektive 2.3.3.

Med momentkapaciteter enligt avsnitt 2.3.2 kan tillåten last q_{Rd} beräknas som funktion av väggens spännvidd l . Via ekvation (1) fås

$$q_{Rd} = \frac{8}{l^2} \cdot \left(\frac{M_{s,1} + M_{s,2}}{2} + M_f \right) = \frac{8}{l^2} \cdot \left(\frac{28 + 64}{2} + 64 \right) = \frac{880}{l^2} \text{ kN/m}^2 \quad (17)$$

Kontroll görs mot normal vapenlast enligt SR, dvs. att $q_{Rd} \geq q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$, varvid tillåten spännvidd l kan beräknas som

$$l \leq \sqrt{\frac{880}{q_{vapen}}} = \sqrt{\frac{880}{50}} = 4,2 \text{ m} \quad (18)$$

SR anger maximalt tillåten fri höjd i ett skyddsrum till $l_{fri,max} = 3,8$ m, varvid maximalt tillåten spännvidd för väggen, se Figur 2.1, beräknas som

$$l_{max} = l_{fri,max} + \left(\frac{h_{tak} + h_{golv}}{2} \right) = 3,8 + \left(\frac{0,35 + 0,20}{2} \right) = 4,1 \text{ m} < 4,2 \text{ m} \text{ ok!} \quad (19)$$

Minsta tillåtna armeringsmängd enligt SR medför således att momentkapaciteten är tillräcklig i vägg utan öppning utsatt för en vapenlast $q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$, även för den största möjliga fria höjden i ett skyddsrum med geometri enligt avsnitt 2.1.

För att beräkna lastkapacitet med hänsyn till tvärkraft behöver tvärkraft vid stöd först bestämmas. Fördelning av tvärkraft i stöd beror på förhållandet mellan stödmomenten $M_{s,1}$ och $M_{s,2}$, se Figur 2.2 och det antas här att detta förhållande förblir detsamma oavsett värde på den utbredda lasten q^5 . Om $M_{s,1} = M_{s,2}$ fås med q_{Rd} enligt ekvation (17), att tvärkraften i båda stöd blir

$$V_{stöd,12} = \frac{q_{Rd} \cdot l}{2} = \frac{440}{l} \quad (20)$$

Med momentkapaciteter enligt avsnitt 2.3.2 fås att tvärkraften i stöd då uppgår till

$$V_{stöd,1} = \frac{q_{Rd} \cdot l}{2} + \frac{M_{s,1} - M_{s,2}}{l} = \frac{440}{l} + \frac{28 - 64}{l} = \frac{404}{l} = \frac{404}{440} \cdot V_{stöd,12} = 0,92 \cdot V_{stöd,12} \quad (21)$$

$$V_{stöd,2} = \frac{q_{Rd} \cdot l}{2} - \frac{M_{s,1} - M_{s,2}}{l} = \frac{440}{l} - \frac{28 - 64}{l} = \frac{476}{l} = \frac{476}{440} \cdot V_{stöd,12} = 1,08 \cdot V_{stöd,12} \quad (22)$$

En faktor $\eta_{V,i}$ introduceras för att i ett godtyckligt fall kunna ange kvoten mellan tvärkraft i stöd i och den tvärkraft som fås när tvärkraften är lika stor i stöd 1 och 2. Denna faktor definieras som

⁵ Vid linjärelastisk respons kommer en belastad strimla för en given lastsituation alltid ha samma förhållande mellan stödmomenten $M_{s,1}$ och $M_{s,2}$. Vid plastisk omlagring är så dock inte fallet. Här bedöms det dock vara en rimlig approximation att det momentförhållande som erhålls vid maximal lastkapacitet q_{Rd} även kan användas om $q < q_{Rd}$.

$$\eta_{V,i} = \frac{V_{stöd,i}}{V_{stöd,12}} \quad (23)$$

vilket, via resultat i ekvation (21) och (22), ger att $\eta_{V,1} = 0,92$ vid stöd 1 och $\eta_{V,2} = 1,08$ vid stöd 2 för här studerat fall. Samma fördelning av tvärkraft mellan stöd 1 och 2 antas även gälla för fall där $q < q_{Rd}$, varvid tvärkraft $V_{Ed,i}$ i kritiskt snitt nu kan beräknas. Med samband i ekvation (3) och (23) insatta i ekvation (2) fås

$$V_{Ed,i} = V_{stöd,i} - q \cdot x_{krit,i} = \eta_{V,i} \cdot V_{stöd,12} - q \cdot \left(d_{vägg} + \frac{a_{stöd,i}}{2} \right) \quad (24)$$

och med

$$V_{stöd,12} = \frac{q \cdot l_i}{2} \quad (25)$$

kan denna skrivas om som

$$V_{Ed,i} = q \cdot \left(\eta_{V,i} \cdot \frac{l_i}{2} - \left(d_{vägg} + \frac{a_{stöd,i}}{2} \right) \right) \quad (26)$$

I dessa uttryck har gynnsam inverkan av last nära upplag konservativt inte beaktats. Det kan noteras att om $\eta_{V,i} = 1,00$ så fås samma uttryck som i ekvation (7). Genom att sätta $V_{Ed,i} \leq V_{Rd,c,dyn,vägg}$ kan tillåten spännvidd l_i för kontroll vid stöd i slutligen uttryckas som

$$l_i \leq \frac{2}{\eta_{V,i}} \cdot \left(\frac{V_{Rd,c,dyn,vägg}}{q} + \left(d_{vägg} + \frac{a_{stöd,i}}{2} \right) \right) \quad (27)$$

där $V_{Rd,c,dyn,vägg} = 141 \text{ kN/m}$, $q = q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$ och $d_{vägg} = 0,30 \text{ m}$ medan $a_{stöd,1} = 0,20 \text{ m}$ och $a_{stöd,2} = 0,35 \text{ m}$ vid golv respektive tak.

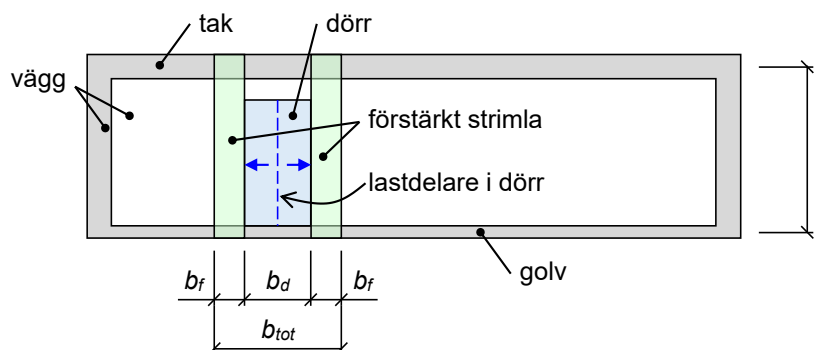
Av detta fås slutligen att tillräcklig tvärkraftskapacitet i vägg uppnås om väggens spännvidd $l_1 \leq 7,0 \text{ m}$ för kontroll kritiskt i snitt vid golv och $l_2 \leq 6,1 \text{ m}$ för kontroll i snitt vid tak. Dessa tillåtna spännvidder är således betydligt större än den längd $l \leq 4,2 \text{ m}$ som ovan fås för att väggens momentkapacitet ska vara tillräcklig. För vägg, utan öppning, blir tvärkraften således inte kritisk.

Sammantaget kan konstateras att den armering som krävs med hänsyn till minsta tillåtna armeringsmängd enligt SR är tillräcklig för att motstå en vapenlast mot vägg på $q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$ för samtliga tillåtna spännvidder i skyddsrum. I realiteten kommer inlagd armeringsmängd dock vara större än i dessa beräkningar nyttjad armeringsmängd (exempelvis $\phi 10$ s180 motsvarar $A'_s = 436 \text{ mm}^2/\text{m}$, vilket kan jämföras med $A'_{s,vägg} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$), varför ytterligare kapacitet också kommer finnas.

2.4 Förstärkt strimla bredvid dörröppning

2.4.1 Orientering

För skyddsrum finns det två typer av dörrar – enkeldörr och pardörr. Här behandlas enbart enkeldörr, vilken har en bredd $b_d \approx 0,9$ m eller 1,1 m, beroende på typ av dörr. Enligt SR ska den armering i bärande huvudriktning som beräkningsmässigt skulle placerats i dörröppningen, placeras i omedelbar anslutning till öppningen. Med beräkningsmässig erforderlig armering syftas även på minsta tillåten armeringsmängd som listas i slutet av avsnitt 2.3.1.



Figur 2.5 Schematisk illustration av förstärkt strimla bredvid dörröppning. En motsvarande förlängning av den förstärkta väggstrimlan antas även finnas i golv- och takplatta.

För att hantera armering som ”flyttas” från dörröppningen, anordnas på ömse sidor om dörren en förstärkt strimla så som schematiskt illustreras i Figur 2.5. Inom dessa två förstärkta strimlor, vardera med bredden $b_f = 0,5$ m⁶ placeras den armering som skulle rymmas inom bredden b_{tot} om det inte fanns någon dörröppning i väggen. Även i golv och tak finns förstärkta strimlor markerade i Figur 2.5, detta för att säkerställa momentkapaciteten i stöd vid vägg/tak, se avsnitt 2.6 för mer information.

I förstärkningsstrimlan kan lokala håltagningar för en eller två övertrycksventiler placeras, se Figur 1.1 och Figur 1.2 för schematiska illustrationer. Vid placering av övertrycksventil enligt anvisningar i SR godtas det att moment- och tvärkraftskapacitet beräknas utan hänsyn till sådana eventuella håltagningar.

⁶ Några anvisningar på val av bredden b_f för den förstärkta strimlan ges varken i SR eller Eurokod 2. Beaktat att kraften från den belastade dörren kommer in i ena sidan av den förstärkta strimlan bör denna dock vara ”lagom” smal. För här studerat fall bedöms det vara rimligt att välja $b_f \leq 1,5 \cdot h_{vägg} = 1,5 \cdot 350 = 525$ mm \rightarrow välj $b_f = 500$ mm.

2.4.2 Vald armeringsmängd

Här utgås konservativt från den största dörrbredden, dvs. $b_d \approx 1,1$ m, varvid den totala lastupptagande bredden för de förstärkta strimlorna kan beräknas som

$$b_{tot} = 2 \cdot b_f + b_d = 2 \cdot 0,5 + 1,1 = 2,1 \text{ m} \quad (28)$$

Den armering som ska placeras inom den förstärkta strimlan beräknas som

$$A_{s,f} = \frac{b_{tot} \cdot A'_s}{2} \quad (29)$$

vilket med armeringsmängder enligt avsnitt 2.3.1 ger följande:

- Golv, förstärkt strimla: $A_{s,f,golv} = 413 \text{ mm}^2$
- Tak, förstärkt strimla: $A_{s,f,tak} = 441 \text{ mm}^2$
- Vägg, förstärkt strimla: $A_{s,f,vägg} = 441 \text{ mm}^2$

Dessa armeringsmängder kan, beroende på val av armeringsdimension, uppfyllas med följande:

- $6\phi 10 \rightarrow A_s = 471 \text{ mm}^2$
- $4\phi 12 \rightarrow A_s = 452 \text{ mm}^2$
- $3\phi 16 \rightarrow A_s = 603 \text{ mm}^2$

Inlagd armeringsmängd får dock inte överstiga maximalt tillåten mängd enligt SR, varför detta behöver kontrolleras. Maximalt tillåtet armeringsinnehåll anges där som

$$\rho_{s,max} = 20 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 20 \cdot \frac{20,8}{500} = 0,83 \% \quad (30)$$

vilket för den förstärkta strimlan ger en maximal armeringsmängd

$$A_{s,max} = \rho_{s,max} \cdot b \cdot d \quad (31)$$

För den förstärkta strimlan med bredd $b_f = 0,5$ m fås $A_{s,max} = 625 \text{ mm}^2$ för förstärkt strimla i golv samt $A_{s,max} = 1\,250 \text{ mm}^2$ för förstärkt strimla i tak och vägg. Ovan angivna armeringsmängder uppfyller således krav på max tillåten armeringsmängd enligt SR.

På grund av platsbrist i den förstärkta strimlan är det en fördel om ett litet antal armeringsstänger kan användas, varför $4\phi 12$ och $3\phi 16$ bedöms utgöra rimliga alternativ. Användandet av $3\phi 16$ medför visserligen en märkbar ökning jämfört med erforderlig armeringsmängd men kommer även vara enklare att praktiskt lägga in inom den förstärkta strimlan när det invid dörren även placeras en övertrycksventil, se Figur 1.2 för tänkt armeringsutformning i ett sådant fall.

I gjutfog mellan golv/vägg och vägg/tak som förses med förtagning behöver armeringsmängden, enligt SR, inte justeras. I fog utan förtagning ska armeringsmängden dock ökas med 25 %, varvid följande armeringsmängd i så fall krävs genom fogen:

- Vägg, förstärkt strimla med fog: $A_{s,f,vägg,fog} = 1,25 \cdot 441 = 552 \text{ mm}^2$

Denna armeringsmängd uppfylls med:

- $5\phi 12 \rightarrow A_s = 565 \text{ mm}^2$
- $3\phi 16 \rightarrow A_s = 603 \text{ mm}^2$ (ingen ändring jämfört med vägg)

Armeringen som placeras i golv- och takplatta korsar inte någon fog, varför det här inte behövs någon extra armering med hänsyn till fog. Den ordinarie armeringsmängden på $4\phi 12$ är därför också tillräckligt i golv- och takplatta⁷.

2.4.3 Kontroll av momentkapacitet

I en betongplatta blir momentkapaciteten ungefär proportionell mot armeringsmängden, vilket gör att en bibehållen armeringsmängd samlad på en smalare strimla (armering på bredden $b_{tot} / 2$ placeras i en förstärkt strimla med bredden b_f) resulterar i en likvärdig momentkapacitet. Beaktat den skrivning som ges i SR om fördelning av armering invid öppning erfordras därför inte heller någon särskild kontroll av den förstärkta strimlans momentkapacitet.

2.4.4 Kontroll av tvärkraftskapacitet

Till skillnad mot momentkapaciteten så fås ingen proportionell ökning av tvärkraftskapaciteten med ökande armeringsmängd. Som framgår av uttryck för tvärkraftskapacitet i avsnitt 2.3.3 så är det istället den belastade betongens bredd som uppvisar en sådan proportionalitet. Eftersom armering i dörröppning ”flyttas” till den förstärkta strimlan invid dörren så ökar armeringsinnehållet ρ_s i denna. En sådan ökning medför visserligen att dess dynamiska tvärkraftskapacitet per längdenhet $V'_{Rd,c,dyn}$ [kN/m] ökar. Sammantaget fås dock en minskad tvärkraftskapacitet i den förstärkta strimlan eftersom väggdelens bredd även har minskat från $b_{tot} / 2 = 1,05 \text{ m}$ till $b_f = 0,5 \text{ m}$.

En kompletterande kontroll behöver därför göras av den förstärkta strimlan invid dörren för att därmed säkerställa att denna fortsatt kan hantera den tvärkraft som uppstår i den⁸. Med användande av vald armeringsmängd i vägg enligt avsnitt 2.4.2 fås, via uttryck i avsnitt 2.3.3, följande dynamiska tvärkraftskapaciteter i den förstärkta väggstrimlan invid dörr:

⁷ Beaktat att $\phi 12$ i praktiken är vanligt förekommande i ett skyddsrum är det också denna stångdimension som används i förstärkt strimla i Figur 1.2 både när $3\phi 16$ och $4\phi 12$ används i vägg.

⁸ Här utförd kontroll med hänsyn till tvärkraft är konservativ. Om resulterande tvärkraft beräknas mer detaljerat, t.ex. med FE-analys, fås förmodligen en mer gynnsam lastfördelning än vad som antas här. Vid behov kan det därför vara möjligt att påvisa ytterligare lastkapacitet med hänsyn till tvärkraft i väggdel intill förstärkt strimla.

Dimensioneringslösning

- Vägg, förstärkt strimla 3φ16: $V_{Rd,c,dyn,f} = 97$ kN (motsvarar $V'_{Rd,c,dyn,f} = 194$ kN/m)
- Vägg, förstärkt strimla 4φ12: $V_{Rd,c,dyn,f} = 88$ kN (motsvarar $V'_{Rd,c,dyn,f} = 176$ kN/m)

Av avsnitt 2.3.4 framgår det att förhållandet mellan stödmomenten påverkar vilken tvärkraftsfördelning som fås i väggen. Eftersom takplattan i ett skyddsrum sannolikt alltid kommer ha en högre momentkapacitet än golvplattan, dvs. $M_{s,2} > M_{s,1}$, så medför detta även att kritisk tvärkraft kommer vara högre invid tak än invid golv. Eftersom det vid en dörröppning dock även finns en väggdel ovan dörren ökar den tillgängliga bredden hos en förstärkt strimla invid tak och strimlans tvärkraftskapacitet blir därför också större här än invid golv⁹. Denna kapacitetsökning bedöms även bli större än den ökning av dimensionerande tvärkraft som kan kopplas till att $M_{s,2} > M_{s,1}$. I här utförd tvärkraftskontroll bortses därför också från potentiellt kritiskt snitt vid tak och fokus läggs istället enbart på kritiskt snitt vid golv. Vidare antas konservativt att maximal tvärkraft vid golv beräknas som

$$V_{stöd,1} = \frac{q \cdot l}{2} \quad (32)$$

vilket innebär att kvoten $\eta_{V,1} = 1,00$ enligt ekvation (26). Med en last

$$q' = q_{vapen} \cdot b_{last} = q_{vapen} \cdot \frac{b_{tot}}{2} = 50 \cdot \frac{2,1}{2} \approx 53 \text{ kN/m} \quad (33)$$

så kan tillåten spännvidd för fall med 3φ16 i vägg, via ekvation (27), beräknas till

$$l \leq \frac{2}{\eta_V} \cdot \left(\frac{V_{Rd,c,dyn,vägg}}{q} + \left(d_{vägg} + \frac{a_{stöd}}{2} \right) \right) = \frac{2}{1,00} \cdot \left(\frac{97}{53} + \left(0,3 + \frac{0,2}{2} \right) \right) = 4,4 \text{ m} \quad (34)$$

Motsvarande beräkning görs för fall med 4φ12 i vägg varvid följande fås:

- Vägg, förstärkt strimla 3φ16: $l = 4,4 \text{ m} \rightarrow l_{fri} \leq 4,1 \text{ m}$
- Vägg, förstärkt strimla 4φ12: $l = 4,1 \text{ m} \rightarrow l_{fri} \leq 3,8 \text{ m}$

Maximalt tillåten fri höjd, enligt SR, uppgår till $l_{fri,max} = 3,8 \text{ m}$, vilket innebär att tvärkraftskapaciteten är tillräcklig för samtliga tillåtna spännvidder både när 3φ16 och 4φ12 används i den förstärkta strimlan

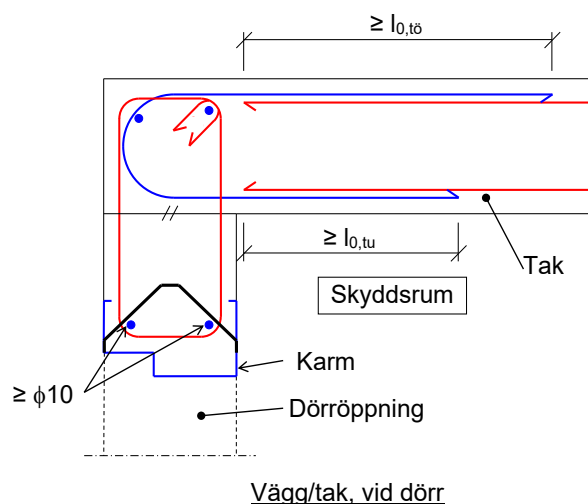
Sammantaget kan konstateras att de i avsnitt 2.4.1 föreslagna armeringsmängderna i förstärkt strimla invid dörr är tillräckligt för att hantera både moment- och tvärkraft som kan uppkomma vid belastning av skyddsrummet med en vapenlast $q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$.

⁹ Detta resonemang blir korrekt om den fria höjden l_{fri} i skyddsrummet överstiger $l_{dörr,max} + d_{vägg} = 2,1 + 0,3 = 2,4 \text{ m}$. Som framgång av tvärkraftskontroll nedan så krävs dock att l_{fri} är nära 3,8 m för att tvärkraften ska riskera att vara kritisk vid golv i den förstärkta strimlan. Detta resonemang bedöms därför vara acceptabelt.

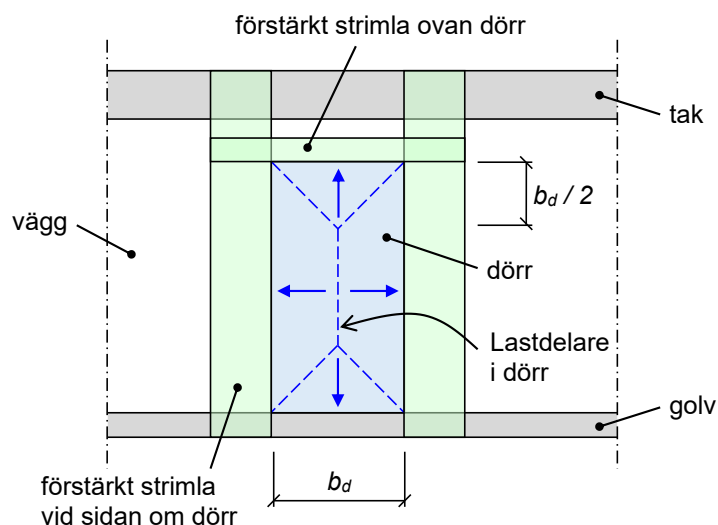
2.5 Förstärkt strimla ovan dörröppning

I typlösning T03-109 ges även anvisningar för hur armeringsutformning ovan dörr ska utföras, se Figur 2.6 för schematisk illustration. Liksom i avsnitt 2.4 utgår här från anvisningar i SR att armeringsmängd i bärande huvudriktning som beräkningsmässigt ska finnas där det finns en öppning, ska placeras i omedelbar anslutning till öppningen.

För en dörr placerad i enlighet med Figur 2.1 kommer den bärande huvudriktningen verka i vertikalled mellan tak- och golvplatta. I dörröppningens topp och botten kommer det dock också kunna uppstå en viss ökning av kraftupptagningsbehov, dock inte vad som motsvaras av den armeringsmängd som utan öppning skulle placeras horisontellt i väggen. Vid omplacering av horisontellt placerad armering i väggen är det därför inte rimligt att utgå från hela dörrens höjd. Istället görs här en bedömning baserad på hur last mot dörren kan antas fördela sig mot omgivande konstruktion, se Figur 2.7.



Figur 2.6 Vertikalsektion av vägg vid enkeldörr som schematiskt illustrerar armeringsutformning ovan dörr. Från typlösning T03-109.



Figur 2.7 Schematisk illustration av hur last mot dörr fördelas till omgivande konstruktion.

Dimensioneringslösning

Eftersom lasten i väggen primärt bärs i vertikalled, motsvaras den beräkningsmässigt erforderliga armeringsmängden i horisontalled av $A'_{s,vägg} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$ enligt avsnitt 2.3.1¹⁰. Av Figur 2.7 framgår vidare att dörrytan som för över last till den förstärkta strimla, placerad ovan dörren, har en triangulär form med höjden $b_d / 2$, vilket approximativt kan likställas med en rektangel med höjden $b_d / 4$. Tillsammans ger detta då att förstärkt strimla ovan dörr ska förstärkas med minst

$$\Delta A_{s,f} = \frac{b_d \cdot A'_{s,vägg}}{4} = \frac{1,1 \cdot 420}{4} = 116 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Använd } \Delta A_{s,f} = 2\phi 10 = 157 \text{ mm}^2 \quad (35)$$

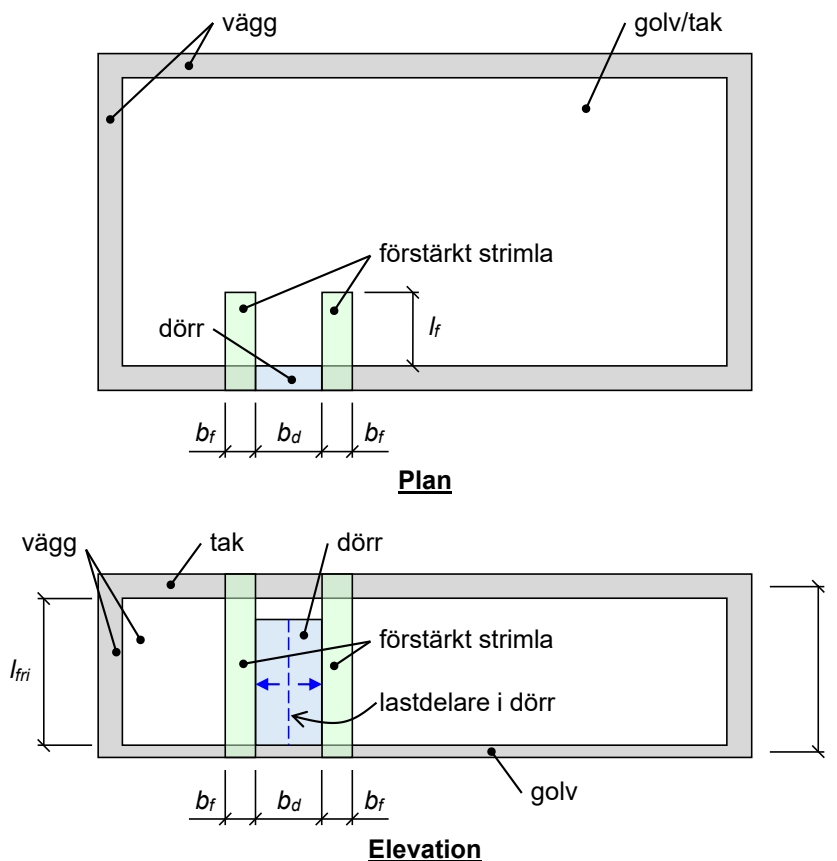
Denna armering placeras lämpligen i hörnen på den bockade armering som ansluter väggen till ovanliggande takplatta, se markering av minst $2\phi 10$ ovan dörr i Figur 2.6. Denna extra armering ska placeras utöver den armering som finns i vägg utan öppning. I dörrens underkant finns inte motsvarande behov av en ökad armeringsmängd i golvplattan.

Förutom den extra armering $\Delta A_{s,f}$ som läggs in enligt ovan behöver även en kontroll göras av kapaciteten hos vägg ovan dörröppning med hänsyn till vapen och raslast som verkar mot skyddsrummets tak. Detta behandlas dock inte i denna dimensioneringslösning.

¹⁰ Det är möjligt att större armeringsmängd än detta placeras horisontellt i väggen, t.ex. med hänsyn till tvångskrafter orsakade av krympning. Denna större armeringsmängd är dock inte kopplad till skyddsrummets funktion med hänsyn till vapenlast, varför den också kan bortses ifrån för här aktuell situation.

2.6 Förstärkt strimla i golv- och takplatta

En dörröppning påverkar inte bara lastupptagningsförmågan i väggen utan även i anslutande golv- och takplattor. För att hantera den koncentrerade armeringsmängd som finns i väggens förstärkta strimla kommer en motsvarande koncentration av armering därför även behöva anordnas i golv- och takplatta, se Figur 2.8 för en schematisk illustration. Detta görs genom att låta den förstärkta strimlan, med armeringsmängd 4+4 $\phi 12$ enligt Figur 1.2, gå ut en sträcka l_f i golv- och takplatta sådana att aktuellt stödmoment kan hanteras.

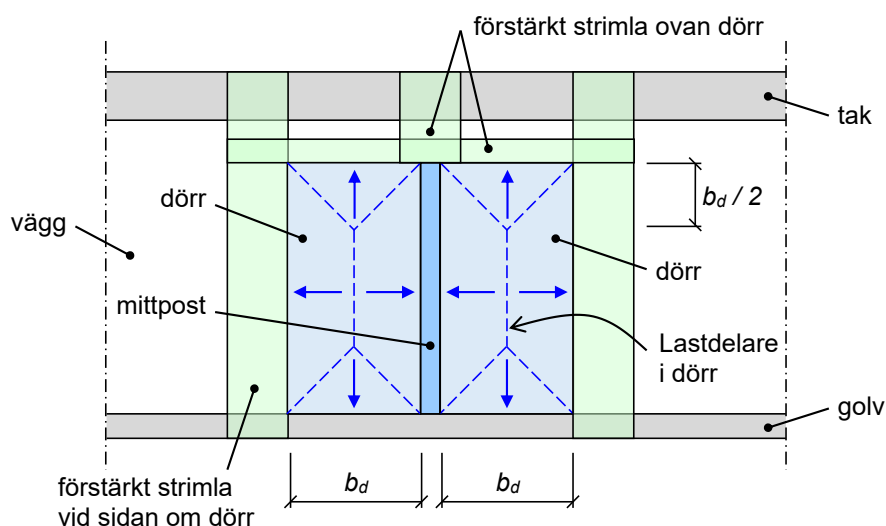


Figur 2.8 Schematisk illustration av förstärkt strimla i golv- och takplatta (plan) samt i vägg (elevation).

Särskilt för takplattan kan det finnas ett behov av att åstadkomma ett stort stödmoment så att möjlighet att hantera stora raslaster ökar. Ett sådant stödmoment kan således vara betydligt större än det stödmoment som utgått ifrån i här utförda beräkningar, se avsnitt 2.3.2 för momentkapacitet i vägg utan öppning. Om ett ökat stödmoment i platta ska vara möjligt så behöver även väggens momentkapacitet, och därmed armeringsmängd, ökas. Detta kan medföra att den armeringsmängd som utgår ifrån i Figur 1.2 blir otillräckligt. Ett sätt att hantera detta är genom att lokalt reducera takplattans stödmoment inom bredden b_{tot} vid dörröppning och istället kompensera detta genom att inom samma strimla öka upp plattans armeringsmängd i fält. Hur detta kan göras hanteras dock inte vidare i denna dimensioneringslösning.

2.7 Pardörr

I typlösning T03-109 behandlas inte explicit utformning av armering invid pardörr. Det konstateras dock att motsvarande lösning med förstärkt strimla som vid enkeldörr även kan användas för en pardörr. Vidare konstateras att det behövs ytterligare förstärkning för att hantera den last som tas upp i pardörrens mittpost. Utformning av en sådan förstärkning behandlas inte i detta dokument men i Figur 2.9 ges en schematisk illustration av hur principiell utformning av en sådan lämpligen kan se ut.



Figur 2.9 Schematisk illustration av hur last mot pardörr fördelas till omgivande konstruktion samt hur principiell förstärkning kan utformas.

2.8 Inverkan av ändrade förutsättningar

De beräkningar som utförs i detta dokument utgår från förutsättningar enligt avsnitt 2.1. Ändras någon av dessa så ändras även resultaten från de efterföljande beräkningarna, varför en kompletterande kontroll behöver göras. Nedan ges en kort överblick över vilken principiell inverkan som ändrade indata har:

- **Ökad betonghållfasthet:** I förutsättningarna utgås från den i SR minsta tillåtna betonghållfastheten C25/30. I SR tillåts dock en hållfasthet upp till C50/60.
 - En ökad betonghållfasthet medför en ökad moment- och tvärkraftskapacitet, vilket gör att typlösning blir konservativ med hänsyn till lastkapacitet.
 - En ökning av hållfastheten medför dock även ett ökat krav på minsta armeringsmängd, vilket kan medföra att den armeringsmängd som typlösning anger i förstärkt strimla blir otillräcklig och behöver ökas.
- **Ökad tjocklek hos golv/tak/vägg:** I förutsättningarna utgås från den minsta tillåtna tjockleken för ett skyddsrum ovan mark utan ovanliggande byggnad i betong. Beroende på situation kan tjocklek hos dessa konstruktionsdelar dock öka ytterligare.
 - En ökad tjocklek hos konstruktionsdel medför en ökad moment- och tvärkraftskapacitet, vilket gör att typlösning blir konservativ med hänsyn till lastkapacitet.
 - En ökning av tjockleken medför dock även ett ökat krav på minsta armeringsmängd, vilket kan medföra att den armeringsmängd som typlösning anger i förstärkt strimla blir otillräcklig och behöver ökas.
- **Minskad tjocklek hos tak/vägg:** I förutsättningarna utgås från den minsta tillåtna tjockleken för ett skyddsrum ovan mark utan ovanliggande byggnad i betong. SR tillåter dock att tak- och vägg tjocklek minskas till 300 mm respektive 250 mm om rätt förutsättningar uppfylls.
 - En minskad tjocklek hos konstruktionsdel medför en minskad moment- och tvärkraftskapacitet. Beroende på väggens spännvidd kan detta medföra att den armeringsmängd som typlösning anger i förstärkt strimla blir otillräcklig och behöver ökas.
 - En minskad tjocklek hos konstruktionsdel medför ett minskat krav på minsta armeringsmängd, vilket gör att typlösning blir konservativ med hänsyn till detta.
- **Ökad vapenlast:** I förutsättningarna utgås från den minsta vapenlasten $q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$ som antas kunna verka mot ett skyddsrum. Vapenlasten är dock en funktion av skyddsrummets form och storlek enligt anvisningar i SR och en vapenlast $q_{vapen} = 50 \text{ kN/m}^2$ förutsätter en zongräns $r \geq 5,0 \text{ m}$. Om inte detta uppfylls ökar vapenlasten.
 - En ökad vapenlast medför en ökning av dimensionerande moment och tvärkraft. Beroende på väggens spännvidd kan detta medföra att den armeringsmängd som typlösning anger i förstärkt strimla blir otillräcklig och behöver ökas.

3 Revideringslista

Datum	Avsnitt	Revidering
2024-11-01	D07-103	Första version, anpassad till SR 15 (2024)