

D04-102	Lastkapacitet hos skyddsrum
	Dimensionering av takplatta

1 Orientering	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Om detta dokument	2
2 Anvisningar enligt SR	3
3 Beräkningsmodell, Strimlemetoden	4
3.1 Koncept	4
3.2 Moment i strimla	6
3.2.1 Medelvärde	6
3.2.2 Fördelning inom strimla	7
3.3 Tvärkraft i strimla	9
3.3.1 Medelvärde	9
3.3.2 Fördelning inom strimla	9
3.4 Sammanställda uttryck	10
4 Beräkningsexempel	11
4.1 Förutsättningar	11
4.2 Lastkombinering	12
4.3 Lastfördelning i takplatta	13
4.3.1 Modell	13
4.3.2 Moment	14
4.3.3 Tvärkraft	15
4.3.4 Sammanställning av lastfördelning	17
4.4 Dimensionering	18
4.4.1 Förutsättningar	18
4.4.2 Erforderlig armeringsmängd	19
4.4.3 Momentkapacitet	20
4.4.4 Tvärkraftskapacitet	21
4.4.5 Kontroll av momentkapacitet	22
4.4.6 Kontroll av tvärkraftskapacitet	24
4.5 Resultat	26
5 Revideringslista	28

1 Orientering

1.1 Bakgrund

I SR ges ställs bland annat krav på ingående materialegenskaper, minsta och största armeringsinnehåll samt tillåtet förhållande av momentkapacitet mellan stöd och fält i en takplatta. Dessa krav ställs för att säkerställa en seg och robust konstruktion vid belastning av dynamiska laster så som vapenlast och raslast. Vid dimensionering idag används normalt finita elementmetoden (FEM) med antagande om linjärelastisk respons. Det är dock även möjligt att nyttja gynnsam inverkan av plastiska omlagringar, vilket leder till ett mer effektivt utnyttjande av konstruktionens verkliga bärförmåga.

1.2 Om detta dokument

I detta dokument presenteras anvisningar för dimensionering av takplattan i ett skyddsrum utsatt för vapenlast och raslast. Fokus ligger på att illustrera följande delar:

- Beräkning av moment och tvärkrafter med strimlemetoden.
- Lastkombinering av statiska och dynamiska laster.
- Val av momentfördelning och dess inverkan på tvärkraftsfördelningen.
- Dimensionering med hänsyn till moment och tvärkraft.

I detta dokument behandlas enbart laster mot skyddsrum kopplade till dess belastning i en exceptionell dimensioneringssituation. Någon inverkan av krav i bruksgränstillstånd ingår inte.

2 Anvisningar enligt SR

Nedan sammanställs de huvudsakliga krav som ställs på utformning av takplatta i skyddsrum:

- Betong ska vara i lägst hållfasthetsklass C25/30 och högst i hållfasthetsklass C50/60.
- Armering som medverkar i lastupptagning från vapenlast eller raslast ska utgöras av kamstänger av varmvalsat stål i klass C. Armeringen får inte svetsas.
- Armeringens dimensioneringsvärde bestäms som

$$f_{yd} = 1,0 \cdot f_{yk} \quad (1)$$

där f_{yd} och f_{yk} är armeringens dimensionerande respektive karakteristiska sträckgräns.

- Betongens tvärkraftskapacitet bestäms som

$$V_{Rd,c,dyn} = 1,1 \cdot V_{Rd,c,sta} \quad (2)$$

där $V_{Rd,c,dyn}$ och $V_{Rd,c,sta}$ är betongens dynamiska respektive statiska tvärkraftskapacitet.

- I balkar och plattor upplagda på linjestöd ska armeringsinläggningen väljas så att momentkapaciteten i stöd inte blir mer än 50% större än momentkapaciteten i fält.
- För pelardäck ska armeringsinläggning väljas så att genomsnittlig momentkapacitet vid stöd (strimla över pelare och mellan pelare) inte överstiger momentkapaciteten i fält.
- Maximalt centrumavstånd mellan parallella stänger är $s_{max} = 200$ mm och för böjarmering ska $\phi \geq 10$ mm uppfyllas. Avkortning av fältarmering godtas inte.
- För att beakta risk för utstötning i skyddsrum ska täckande betongskikt för det yttersta armeringslagret uppfylla $c \leq 50$ mm.
- Skyddsrumtakets tjocklek ska uppfylla $t_{tak} \geq 350$ mm i skyddsrum utan ovanliggande byggnad i betong och $t_{tak} \geq 300$ mm i övriga skyddsrum. Armering ska placeras i takplattans över- och underkant.
- Armeringsinnehållet ρ_s (%) ska begränsas som

$$\rho_{s,min} = \max \begin{cases} 26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \\ 0,14 \end{cases} \quad (3)$$

$$\rho_{s,max} = 20 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (4)$$

där f_{ctm} är betongens medeldraghållfasthet, f_{yk} är armeringens karakteristiska sträckgräns, f_{cd} är betongens dimensionerande tryckhållfasthet och f_{yd} är armeringens dimensionerande sträckgräns.

3 Beräkningsmodell, Strimlemetoden

3.1 Koncept

Det finns olika sätt på vilka moment och tvärkrafter verkande i en platta kan beräknas. Det dominerande verktyget bland konstruktörer idag utgörs av finita element metoden (FEM) med antagande av linjärelastisk respons. Det är dock även möjligt att göra beräkningar på annat sätt, något som kan vara en fördel för att enklare nyttja omfattande plastiska kraftomlagringar i plattan. I litteraturen finns det olika sätt på vilka lastfördelningen i en platta kan beräknas. I detta dokument används den så kallade strimlemetoden utvecklad av Hillerborg (1996)¹ och återgiven i Engström (2014)². I detta dokument återges enbart valda delar av beräkningsmetoden och för mer detaljerad information om denna hänvisas därför till någon av dessa båda referenser.

Strimlemetoden är en undre gränsmetod (dvs. beräkning på säker sida) för plastisk analys av armerade betongplattor som hjälper konstruktören att bättre förstå jämviktsvillkor och responsen hos dessa. Eftersom det är en plastisk modell så står det även konstruktören fritt att, baserat på jämviktsvillkor, utföra omfördelningar i den belastade plattan. Detta gör metoden särskilt lämplig att använda vid hantering av exceptionella lastsituationer, så som vapenlast eller raslast.

Nedan listas de grundläggande stegen i strimlemetoden:

- Vridmoment bortses från i alla delar av plattan.
- Plattan delas in i strimlor i två huvudriktningar.
- Lasten på ett element fördelas mellan två vinkelrätt placerade strimlor.
- Respektive strimla dimensioneras som en tvåsidigt upplagd plattstrimla (balk).

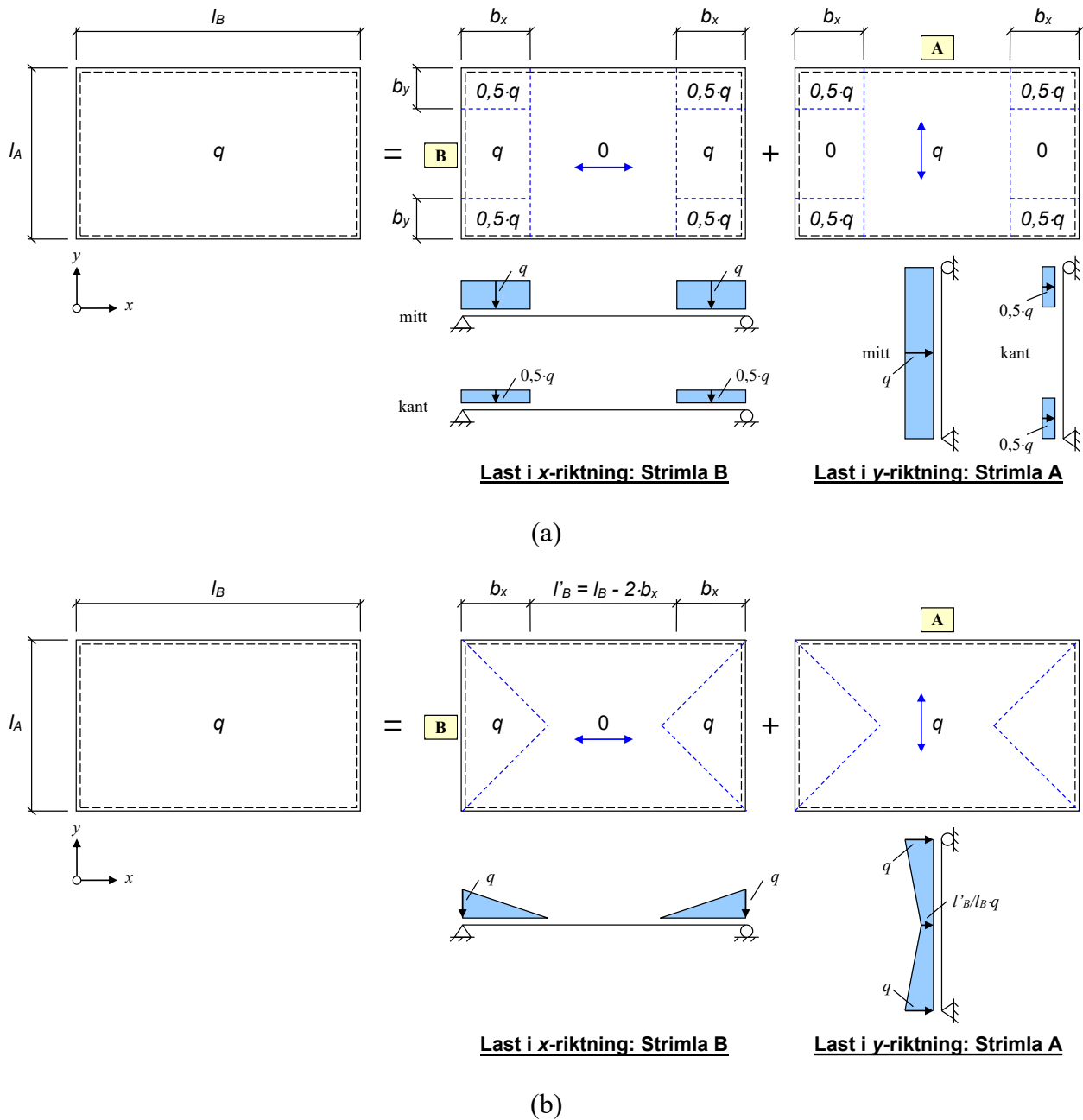
Det finns olika sätt som lasten kan fördelas mellan olika strimlor, se Figur 3.1 för olika koncept för hur detta kan göras. I Figur 3.1b efterliknar lastfördelningen ”naturliga” lastdelande linjer (blåstreckade linjer), längs vilka tvärkraften är noll, och i detta dokument används fortsättningsvis detta koncept.

I Figur 3.1b är de lastdelande linjerna i hörn inritade med varierande vinklar α . Storleken på dessa vinklar påverkas av inspänningsförhållandena vid plattans ränder – en styvare inspänning ger en större vinkel³. För ett fall med samma typ av randvillkor längs samtliga ränder, till exempel fritt upplagd eller fast inspänd, så kan dock $\alpha = 45^\circ$ antas.

¹ Hillerborg, A. (1996): Strip method design handbook. E & Fn Spon, 1996.

² Engström B. (2014): Design and analysis of slabs and flat slabs. Chalmers tekniska högskola, Konstruktionsteknik, Rapport 2011-5 (edition 2014), Göteborg.

³ En styvare inspänning drar till sig mer last och eftersom vinklarna beskriver lastdelande linjer där tvärkraften är noll så innebär en ökad styvhet att det belastade området i plattan som går till aktuellt stöd ökar. Det är även möjligt att i efterhand justera för att beakta olika styvheter i plattans upplag.



Figur 3.1 Schematisk illustration av strimlemetoden med olika koncept för uppdelning av platta i vinkelrätt placerade strimlor i vilka lasten fördelas. Uppdelning i (a) 3+3 strimlor med rektangulära delområden och (b) två strimlor med triangulära och trapsformade delområden.

3.2 Moment i strimla

3.2.1 Medelvärde

Med uppdelning enligt Figur 3.1b fås enbart två strimlor, i vilka strimlans medelmoment m_m kan beräknas via momentjämvikt. En statiskt bestämd strimla erhålls genom att storleken på eventuella stödmoment, enligt vissa riktlinjer⁴, väljs av konstruktören. I detta dokument utförs dessa beräkningar dock genom att ansätta att stödmomenten $m_{s,1} = m_{s,2} = 0$ kNm/m. Därmed fås det "totala" moment m_m som tillsammans ska bäras av strimlan via bidrag från $m_{s,1}$ och $m_{s,2}$ i stöd samt m_f i fält så som schematiskt visas i Figur 3.2.

Utgående från lastuppställning och beteckningar i Figur 3.1b kan medelmomentet i strimla A beräknas som

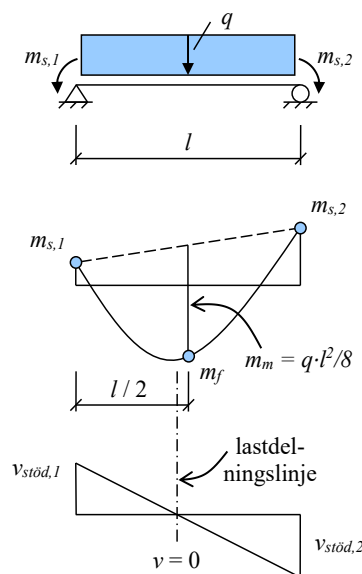
$$m_{A,m} = \frac{q_{red} \cdot l_A^2}{8} + (q - q_{red}) \cdot \frac{0,5 \cdot l_A}{2} \cdot \frac{0,5 \cdot l_A}{3} = \dots = (3 - 2\beta) \cdot \frac{q \cdot l_A^2}{24} \quad (5)$$

där

$$\beta = \frac{l_A}{l_B} \quad (6)$$

och i strimla B som

$$m_{B,m} = q \cdot \frac{0,5 \cdot l_A}{2} \cdot \frac{0,5 \cdot l_A}{3} = \frac{q \cdot l_A^2}{24} \quad (7)$$



Figur 3.2 Moment- och tvärkraftsfördelning för plattstrimla A i tvåsidigt upplagd plattstrimla belastad med en jämnt utbredd last.

⁴ I strimlemetoden ges anvisningar för val av fördelning mellan stöd- och fältmoment. Motsvarande anvisningar ges även i SR, se avsnitt 2. Dessa anvisningar skiljer sig åt men vid dimensionering i ett skyddsrum ska SR följas.

3.2.2 Fördelning inom strimla

I strimlemetoden beräknas det medelmoment som verkar i strimlan. Momentet är dock normalt fördelat ojämnt inom strimlan, vilket kan beaktas genom att låta momentet m_{mitt} i strimlans mitt och m_{kant} i dess kant vara olika. Denna fördelning kan väljas på olika sätt men i Hillerborg (1996) föreslås en fördelning där

$$\frac{m_{kant}}{m_{mitt}} = 0,5 \quad (8)$$

Det totala momentet M_{tot} i en strimla beräknas som

$$M_{tot} = m_{mitt} \cdot b_{mitt} + m_{kant} \cdot b_{kant} \quad (9)$$

där b_{mitt} och b_{kant} är den totala bredden i mittdel respektive plattans två kantdelar. Medelmomentet kan därmed beräknas som

$$m_m = \frac{M_{tot}}{b_{tot}} = \frac{m_{mitt} \cdot b_{mitt} + m_{kant} \cdot b_{kant}}{b_{tot}} = \frac{m_{mitt} \cdot [b_{mitt} + 0,5 \cdot b_{kant}]}{b_{tot}} \quad (10)$$

där

$$b_{tot} = b_{mitt} + b_{kant} \quad (11)$$

Kantstrimlans bredd kan väljas på olika sätt men ett lämpligt sätt är att basera den på den geometriska utformningen hos lastdelarna så som illustreras i Figur 3.3. Utgående från denna figur, i vilken lastdelarna antas ha en lutning på 45° , fås följande:

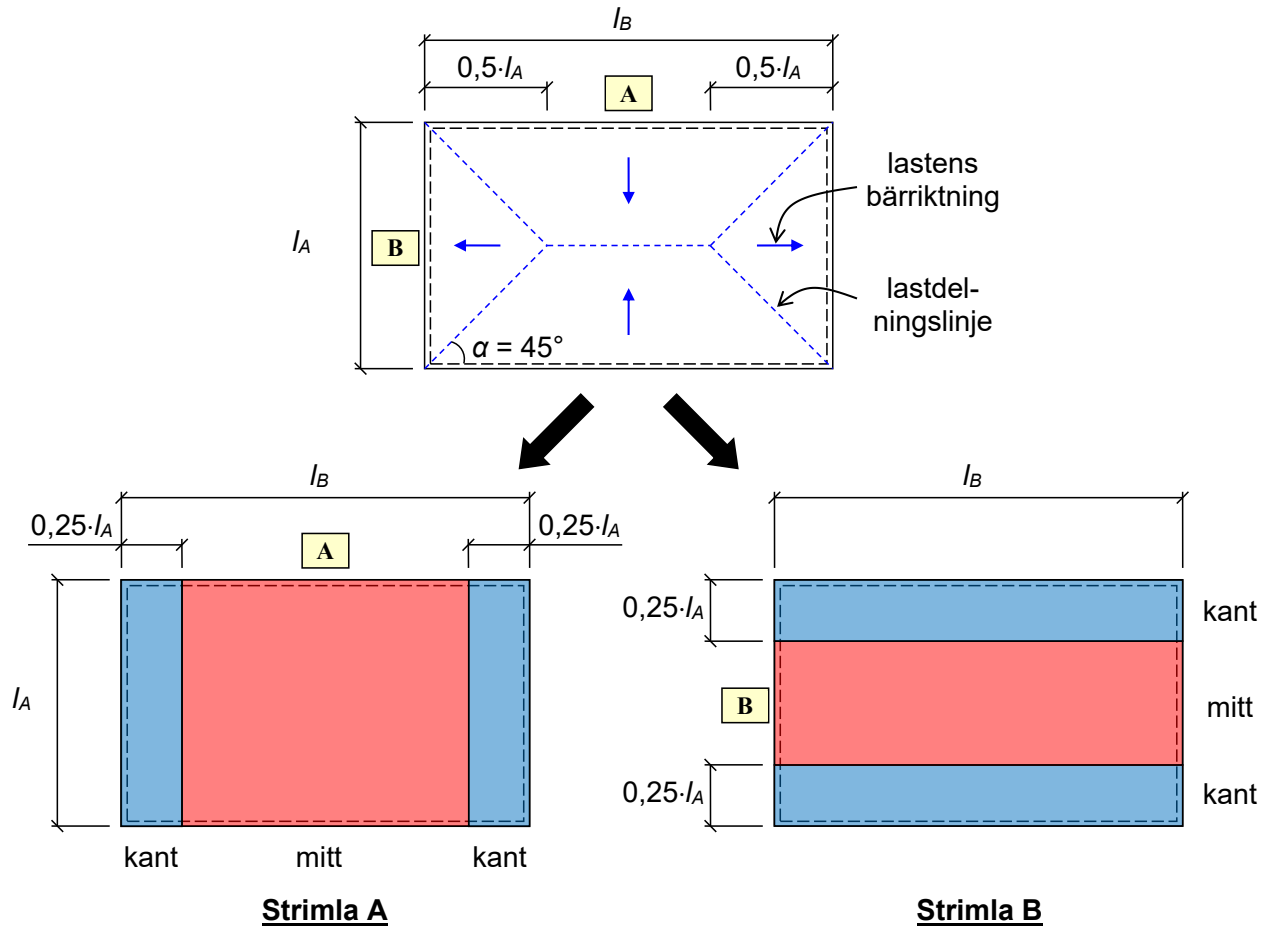
- Strimla A
 - $b_{A,kant} = 2 \cdot 0,5 \cdot l_A / 2 = 0,5 \cdot l_A$
 - $b_{A,mitt} = l_B - b_{A,kant} = l_B - 0,5 \cdot l_A$
- Strimla B
 - $b_{B,kant} = 2 \cdot 0,5 \cdot l_A / 2 = 0,5 \cdot l_A$
 - $b_{B,mitt} = l_A - b_{A,kant} = 0,5 \cdot l_A$

Insatt i ekvation (10) fås då, med nyttjande av att $\beta = l_A / l_B$ enligt ekvation (6), ett medelmoment i strimla A som

$$m_{A,m} = \frac{m_{A,mitt} \cdot [l_B - 0,5 \cdot l_A + 0,5 \cdot 0,5 \cdot l_A]}{l_B - 0,5 \cdot l_A + 0,5 \cdot l_A} = \frac{m_{A,mitt} \cdot (l_B - 0,25 \cdot l_A)}{l_B} = \left(1 - \frac{\beta}{4}\right) \cdot m_{A,mitt} \quad (12)$$

och i strimla B som

$$m_{B,m} = \frac{m_{B,mitt} \cdot [0,5 \cdot l_A + 0,5 \cdot 0,5 \cdot l_A]}{0,5 \cdot l_A + 0,5 \cdot l_A} = \frac{3}{4} \cdot m_{B,mitt} \quad (13)$$



Figur 3.3 Schematisk illustration av strimlemetoden med uppdelning av strimlor i mitt- och kantstrimlor.

Utgående från detta kan sedan momenten i mitt- och kantstrimla i strimla A uttryckas som

$$m_{A,mitt} = \frac{4}{4-\beta} \cdot m_{A,m} \quad (14)$$

$$m_{A,kant} = 0,5 \cdot m_{A,mitt} = \frac{2}{4-\beta} \cdot m_{A,m} \quad (15)$$

och i strimla B som

$$m_{B,mitt} = \frac{4}{3} \cdot m_{B,m} \quad (16)$$

$$m_{B,kant} = 0,5 \cdot m_{B,mitt} = \frac{2}{3} \cdot m_{B,m} \quad (17)$$

varvid $m_{A,m}$ och $m_{B,m}$ är medelmomentet för strimla A respektive B enligt avsnitt 3.2.1.

3.3 Tvärkraft i strimla

3.3.1 Medelvärde

Beräkning av medeltvärkraft i strimlan följer samma koncept som används för medelmoment i avsnitt 3.2.1. Utgående från lastuppställning och beteckningar i Figur 3.1b kan tvärkraften vid stöd (stödreaktion) i strimla A, med nyttjande av att $\beta = l_A / l_B$ enligt ekvation (6), beräknas som

$$v_{A, \text{stöd}, m} = q_{\text{red}} \cdot 0,5 \cdot l_A + (q - q_{\text{red}}) \cdot \frac{0,5 \cdot l_A}{2} = \dots = (2 - \beta) \cdot \frac{q \cdot l_A}{4} \quad (18)$$

och i strimla B som

$$v_{B, \text{stöd}, m} = q \cdot \frac{0,5 \cdot l_A}{2} = \frac{q \cdot l_A}{4} \quad (19)$$

3.3.2 Fördelning inom strimla

Samma koncept som används vid fördelning av medelmoment m_m i avsnitt 3.2.2 kan även användas vid fördelning av medeltvärkraft v_m inom en strimla. Förhållandet mellan tvärkraft v_{mitt} i strimlans mitt och v_{kant} i dess kant kan därmed uttryckas som

$$\frac{v_{\text{stöd}, \text{kant}}}{v_{\text{stöd}, \text{mitt}}} = 0,5 \quad (20)$$

På samma sätt som visas för momentet i avsnitt 3.2.2 kan därmed tvärkraften i mitt- och kantstrimla i strimla A uttryckas som

$$v_{A, \text{stöd}, \text{mitt}} = \frac{4}{4 - \beta} \cdot v_{A, \text{stöd}, m} \quad (21)$$

$$v_{A, \text{stöd}, \text{kant}} = \frac{2}{4 - \beta} \cdot v_{A, \text{stöd}, m} \quad (22)$$

i strimla B som

$$v_{B, \text{mitt}} = v_B = \frac{4}{3} \cdot v_{B, m} \quad (23)$$

$$v_{B, \text{kant}} = 0,5 \cdot v_B = \frac{2}{3} \cdot v_{B, m} \quad (24)$$

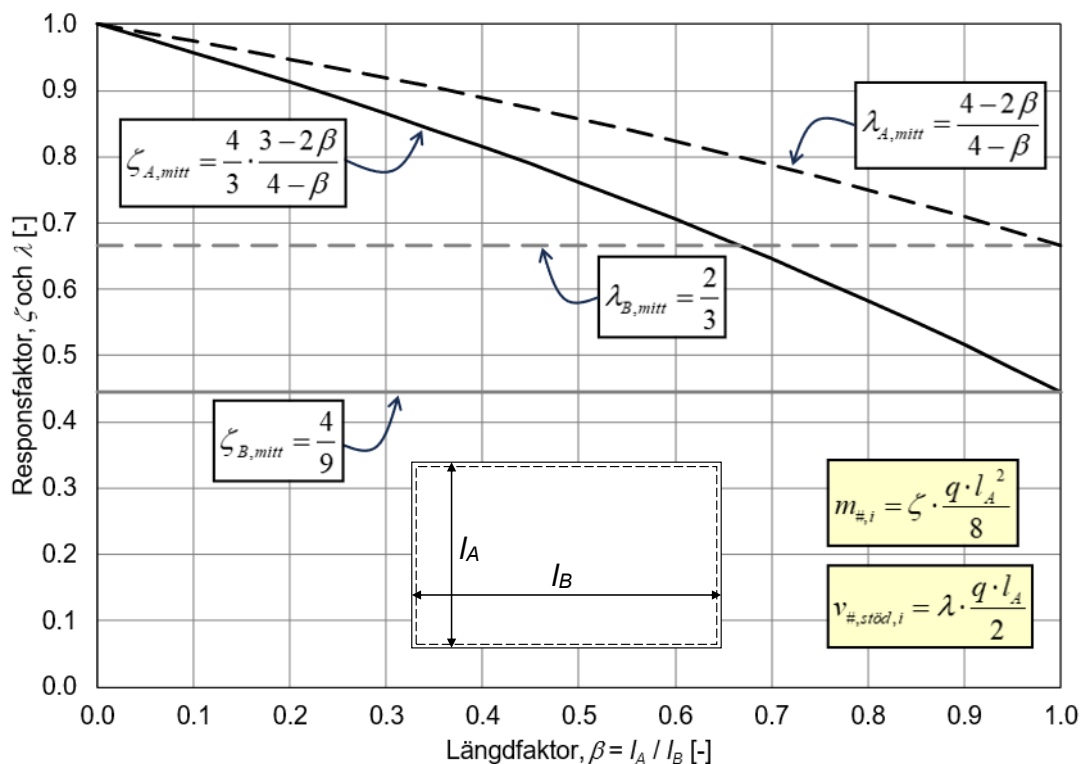
varvid $v_{A, m}$ och $v_{B, m}$ är medeltvärkraften för strimla A respektive B.

3.4 Sammanställda uttryck

I avsnitt 3.2 och 3.3 härleddes uttryck för hur moment och tvärkraft i strimlor i en firsidigt upplagd platta kan beräknas med strimlemetoden för ett fall där lutningen på lastdelningslinjerna är $\alpha = 45^\circ$. Kombinerade uttryck för medelvärde och mitt- respektive kantstrimla fås samband enligt Tabell 3.1. Dessa samband ges som en faktor ζ och λ på momentet ($q \cdot l_A^2 / 8$) respektive stödreaktionen ($q \cdot l_A / 2$) för en tvåsidigt upplagd plattstrimla belastad med en jämnt utbredd last.

Tabell 3.1 Sammanställning av samband för beräkning av moment och tvärkraft i mitt- och kantdel hos strimla A och B i en firsidigt upplagd platta enligt Figur 3.1b med längdkvot $\beta = l_A / l_B$. Dessa uttryck förutsätter att lastlinjernas vinkel $\alpha = 45^\circ$.

Strimla	Moment, $m_{\#,i} = \zeta \cdot \frac{q \cdot l_A^2}{8}$		Tvärkraft, $v_{\#,stöd,i} = \lambda \cdot \frac{q \cdot l_A}{2}$	
	Mitt	Kant	Mitt	Kant
A	$\zeta_{A,mitt} = \frac{4}{3} \cdot \frac{3-2\beta}{4-\beta}$	$\zeta_{A,kant} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3-2\beta}{4-\beta}$	$\lambda_{A,mitt} = \frac{4-2\beta}{4-\beta}$	$\lambda_{A,kant} = \frac{2-\beta}{4-\beta}$
B	$\zeta_{B,mitt} = \frac{4}{9}$	$\zeta_{B,kant} = \frac{2}{9}$	$\lambda_{B,mitt} = \frac{2}{3}$	$\lambda_{B,kant} = \frac{1}{3}$



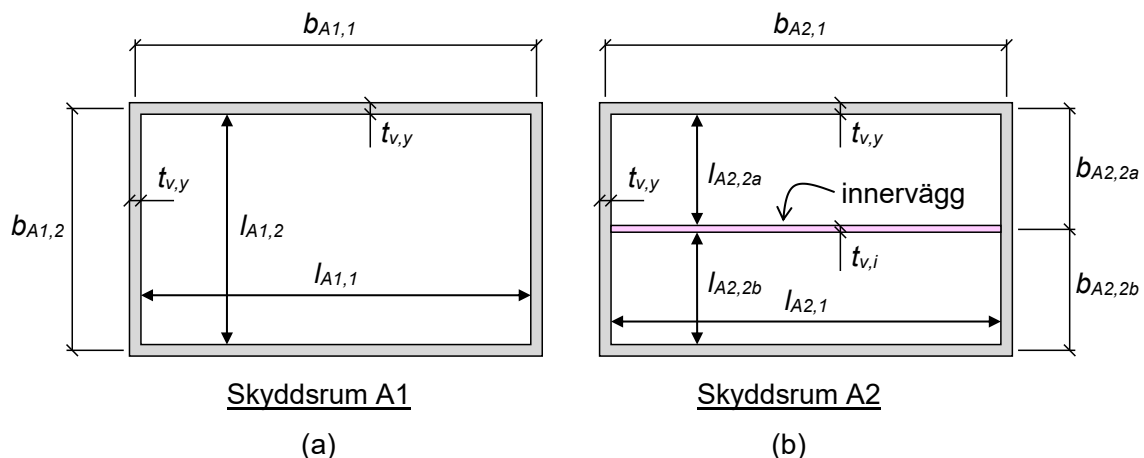
Figur 3.4 Sammanställning av responsfaktorer ζ och λ för beräkning av moment och tvärkraft i mitt- och kantdel hos strimla A och B i en firsidigt upplagd platta enligt Figur 3.1b med längdkvot $\beta = l_A / l_B$. Uttryck ges i Tabell 3.1.

4 Beräkningsexempel

4.1 Förutsättningar

I detta beräkningsexempel utgår från Skyddsrum A som behandlas i D02-103. Information om skyddsrummets geometriska utformning och verkande laster hämtas från detta dokument, se Figur 4.1 för en sammanställning. Vidare utgår här från att skyddsrummets takplatta är 0,35 m tjock. Två fall behandlas här – skyddsrum utan bärande innervägg (Skyddsrum A1) och skyddsrum med bärande innervägg (Skyddsrum A2). Följande geometri och laster gäller:

- Skyddsrum A1: (skyddsrum utan bärande innervägg)
 - $t_{v,y} = 0,35 \text{ m}$, $t_t = 0,35 \text{ m}$
 - $l_{A1,1} = 13,50 \text{ m} \rightarrow$ Spännvidd: $b_{A1,1} = 13,85 \text{ m}$
 - $l_{A1,2} = 8,00 \text{ m} \rightarrow$ Spännvidd: $b_{A1,2} = 8,35 \text{ m}$
 - Vapenlast: $q_{vapen,1} = 50 \text{ kN/m}^2$
 - Raslast: $q_{ras} = q_{r,red} = 114 \text{ kN/m}^2$
- Skyddsrum A2: (skyddsrum med bärande innervägg)
 - $t_{v,y} = 0,35 \text{ m}$, $t_{v,i} = 0,16 \text{ m}$, $t_t = 0,35 \text{ m}$
 - $l_{A2,1} = 13,5 \text{ m} \rightarrow$ spännvidd: $b_{A2,1} = 13,85 \text{ m}$
 - $l_{A2,2a} = l_{A2,2b} = 3,92 \text{ m} \rightarrow$ spännvidd: $b_{A2,2a} = b_{A2,2b} = 4,175 \text{ m}$
 - Vapenlast: $q_{vapen,1} = 50 \text{ kN/m}^2$
 - Raslast: $q_{ras} = 114 \text{ kN/m}^2$, $q_{r,red} = 89 \text{ kN/m}^2$



Figur 4.1 Geometrisk utformning hos studerat skyddsrum: (a) Skyddsrum A1 (utan bärande innervägg), (b) Skyddsrum A2 (med bärande innervägg).

Övrig last mot skyddsrummets takplatta hämtas från D02-103 och listas nedan:

- Egentyngd takplatta: $g_{tak} = 0,35 \cdot 25 = 8,8 \text{ kN/m}^2$
- Egentyngd innerväggar: $g_{v,i} = 0,5 = 0,5 \text{ kN/m}^2$
- Nyttig last mot skyddsrumstak: $q_{n,k} = 2,0 \text{ kN/m}^2$

4.2 Lastkombinering

Total last mot skyddsrum bestäms via lastkombinering enligt Eurokod 0. Med detta kan den totala lasten Q_{tot} skrivas som

$$Q_{tot} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (25)$$

där G_k är karakteristisk last av egentyngd, A_d är dimensionerande olyckslast (vapen- eller raslast enligt SR) och Q_k är karakteristisk variabel last, varvid ψ_1 ⁵ och ψ_2 är lastfaktorer. För här studerad byggnad antas våningsplan ovanför skyddsrummet bestå av bostäder (kategori A) med $\psi_1 = 0,5$ och $\psi_2 = 0,3$.

Den dimensionerande vid vapenlast kan nu beräknas som

$$q_{d,vapen} = (8,8 + 0,5) + 50 + 0,5 \cdot 2,0 \approx 61 \text{ kN/m}^2 \quad (26)$$

Inverkan av egentyngd innerväggar och nyttig last mot skyddsrumstak har redan beaktats vid beräkning av raslasten, se D02-103, varför den dimensionerande lasten vid reducerad raslast i Skyddsrum A1 kan beräknas som

$$q_{d,ras_red,A1} = 8,8 + 114 \approx 123 \text{ kN/m}^2 \quad (27)$$

och i Skyddsrum A2

$$q_{d,ras_red,A2} = 8,8 + 89 \approx 98 \text{ kN/m}^2 \quad (28)$$

En jämförelse mellan vapenlast och raslast visar att den senare är större och fortsättningsvis beaktas därför enbart raslasten.

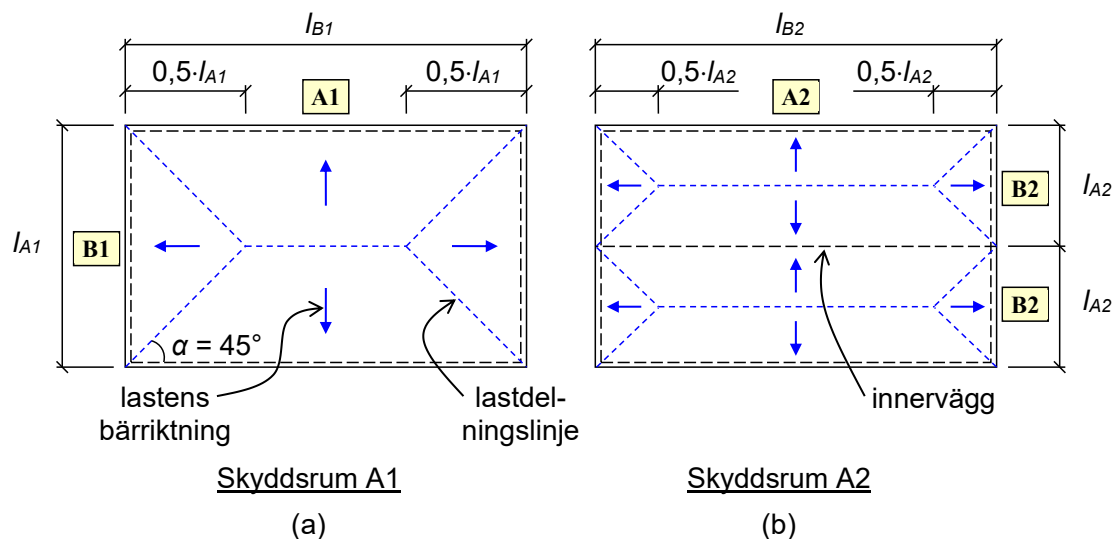
⁵ Vapenlast- och raslast kan betraktas som kända olyckslaster och därför används lastfaktor $\psi_{1,1}$ för den dominerande variabla lasten $Q_{k,1}$.

4.3 Lastfördelning i takplatta

4.3.1 Modell

Baserat på anvisningar i avsnitt 4.1 kan modell för skyddsrummets takplatta tas fram i enlighet med strimlemetoden. I Figur 4.2 visas två fall, en utan bärande innervägg (Skyddsrum A1) och en med (Skyddsrum A2). För respektive fall delas takplattan upp i strimlor för respektive huvudriktning varvid beräkning utförs för en jämnt utbredd last $q_{d,ras}$ enligt avsnitt 4.2:

- Skyddsrum A1: (skyddsrum utan bärande innervägg)
 - Strimla A1: $l_{A1} = 8,35$ m
 - Strimla B1: $l_{B1} = 13,85$ m
 - Jämnt utbredd last: $q_{d,ras,A1} = 123$ kN/m²
- Skyddsrum A2: (skyddsrum med bärande innervägg)
 - Strimla A2: $l_{A2} = 4,175$ m
 - Strimla B2: $l_{B2} = 13,85$ m
 - Jämnt utbredd last: $q_{d,ras,A2} = 98$ kN/m²



Figur 4.2 Modell med strimlemetoden i (a) Skyddsrum A1 (utan bärande innervägg) och i (b) Skyddsrum A2 (med bärande innervägg).

4.3.2 Moment

Här utgås från samband givna i avsnitt 3.2, varvid beräkning görs för Skyddsrum A1 och A2:

Skyddsrum A1

- En längdkvot β mellan plattans sidor beräknas enligt ekvation (6) som

$$\beta_{A1} = \frac{l_{A1}}{l_{B1}} = \frac{8,35}{13,85} = 0,603 \quad (29)$$

- Medelmomentet i strimla A1 och B1 beräknas enligt ekvation (5) respektive (7) som

$$m_{A1,m} = (3 - 2\beta_{A1}) \cdot \frac{q_{d,ras_red,A1} \cdot l_{A1}^2}{24} = (3 - 2 \cdot 0,603) \cdot \frac{123 \cdot 8,35^2}{24} = 641 \text{ kNm/m} \quad (30)$$

$$m_{B1,m} = \frac{q_{d,ras_red,A1} \cdot l_{A1}^2}{24} = \frac{123 \cdot 8,35^2}{24} = 357 \text{ kNm/m} \quad (31)$$

- Detta moment fördelas i sin tur till en mitt- och en kantdel med en inbördes fördelning $m_{kant} = 0,5 \cdot m_{mitt}$ enligt ekvation (8). Dessa moment kan beräknas enligt ekvation (14) till (17) som

$$m_{A1,mitt} = \frac{4}{4 - \beta_{A1}} \cdot m_{A1,m} = \frac{4}{4 - 0,603} \cdot 641 = 755 \text{ kNm} \quad (32)$$

$$m_{A1,kant} = \frac{2}{4 - \beta_{A1}} \cdot m_{A1,m} = \frac{2}{4 - 0,603} \cdot 641 = 378 \text{ kNm} \quad (33)$$

$$m_{B1,mitt} = \frac{4}{3} \cdot m_{B1,m} = \frac{4}{3} \cdot 357 = 476 \text{ kNm} \quad (34)$$

$$m_{B1,kant} = \frac{2}{3} \cdot m_{B1,m} = \frac{2}{3} \cdot 357 = 238 \text{ kNm} \quad (35)$$

Skyddsrum A2

- En längdkvot β mellan plattans sidor beräknas enligt ekvation (6) som

$$\beta_{A2} = \frac{l_{A2}}{l_{B2}} = \frac{4,175}{13,85} = 0,301 \quad (36)$$

- Medelmomentet i strimla A2 och B2 beräknas enligt ekvation (5) respektive (7) som

$$m_{A2,m} = (3 - 2\beta_{A2}) \cdot \frac{q_{d,ras_red,A2} \cdot l_{A2}^2}{24} = (3 - 2 \cdot 0,301) \cdot \frac{98 \cdot 4,175^2}{24} = 171 \text{ kNm/m} \quad (37)$$

$$m_{B2,m} = \frac{q_{d,ras_red,A2} \cdot l_{A2}^2}{24} = \frac{98 \cdot 4,175^2}{24} = 71 \text{ kNm/m} \quad (38)$$

- Detta moment fördelas i sin tur till en mitt- och en kantdel med en inbördes fördelning $m_{kant} = 0,5 \cdot m_{mitt}$ enligt ekvation (8). Dessa moment kan då beräknas enligt ekvation (14) till (17) som

$$m_{A2, mitt} = \frac{4}{4 - \beta_{A2}} \cdot m_{A2, m} = \frac{4}{4 - 0,301} \cdot 171 = 185 \text{ kNm/m} \quad (39)$$

$$m_{A2, kant} = \frac{2}{4 - \beta_{A2}} \cdot m_{A2, m} = \frac{2}{4 - 0,301} \cdot 171 = 93 \text{ kNm/m} \quad (40)$$

$$m_{B2, mitt} = \frac{4}{3} \cdot m_{B2, m} = \frac{4}{3} \cdot 71 = 95 \text{ kNm} \quad (41)$$

$$m_{B2, kant} = \frac{2}{3} \cdot m_{B2, m} = \frac{2}{3} \cdot 71 = 48 \text{ kNm} \quad (42)$$

4.3.3 Tvärkraft

Här utgås från samband givna i avsnitt 3.2, varvid beräkning görs för Skyddsrum A1 och A2:

Skyddsrum A1

- En längdkvot mellan plattans sidor fås enligt ekvation (29) som $\beta_{A1} = 0,603$.
- Medeltvärkraften vid stöd i strimla A1 och B1 beräknas enligt ekvation (18) respektive (19) som

$$v_{A1, stöd, m} = (2 - \beta_{A1}) \cdot \frac{q_{d, ras_red, A1} \cdot l_{A1}}{4} = (2 - 0,603) \cdot \frac{123 \cdot 8,35}{4} = 359 \text{ kN/m} \quad (43)$$

$$v_{B1, stöd, m} = \frac{q_{d, ras_red, A1} \cdot l_{A1}}{4} = \frac{123 \cdot 8,35}{4} = 257 \text{ kN/m} \quad (44)$$

- Denna tvärkraft fördelas i sin tur till en mitt- och en kantdel med en inbördes fördelning $v_{kant} = 0,5 \cdot v_{mitt}$ enligt ekvation (20). Dessa tvärkrafter kan då beräknas enligt ekvation (21) till (24) som

$$v_{A1, stöd, mitt} = \frac{4}{4 - \beta_{A1}} \cdot v_{A1, stöd, m} = \frac{4}{4 - 0,603} \cdot 359 = 423 \text{ kN/m} \quad (45)$$

$$v_{A1, stöd, kant} = \frac{2}{4 - \beta_{A1}} \cdot v_{A1, stöd, m} = \frac{2}{4 - 0,603} \cdot 359 = 212 \text{ kN/m} \quad (46)$$

$$v_{B1, stöd, mitt} = \frac{4}{3} \cdot v_{B1, stöd, m} = \frac{4}{3} \cdot 257 = 343 \text{ kN/m} \quad (47)$$

$$v_{B1, stöd, kant} = \frac{2}{3} \cdot v_{B1, stöd, m} = \frac{2}{3} \cdot 257 = 172 \text{ kN/m} \quad (48)$$

Skyddsrum A2

- En längdkvot mellan plattans sidor fås enligt ekvation (36) som $\beta_{A2} = 0,301$.
- Medeltvärkraften vid stöd i strimla A2 och B2 beräknas enligt ekvation (18) respektive (19) som

$$v_{A2, \text{stöd}, m} = (2 - \beta_{A2}) \cdot \frac{q_{d, \text{ras-red}, A2} \cdot l_{A2}}{4} = (2 - 0,301) \cdot \frac{98 \cdot 4,175}{4} = 174 \text{ kN/m} \quad (49)$$

$$v_{B2, \text{stöd}, m} = \frac{q_{d, \text{ras-red}, A2} \cdot l_{A2}}{4} = \frac{98 \cdot 4,175}{4} = 103 \text{ kN/m} \quad (50)$$

- Denna tvärkraft fördelas i sin tur till en mitt- och en kantdel med en inbördes fördelning $v_{\text{kant}} = 0,5 \cdot v_{\text{mitt}}$ enligt ekvation (20). Dessa tvärkrafter kan då beräknas enligt ekvation (21) till (24) som

$$v_{A2, \text{stöd}, \text{mitt}} = \frac{4}{4 - \beta_{A2}} \cdot v_{A2, \text{stöd}, m} = \frac{4}{4 - 0,301} \cdot 174 = 188 \text{ kN/m} \quad (51)$$

$$v_{A2, \text{stöd}, \text{kant}} = \frac{2}{4 - \beta_{A2}} \cdot v_{A2, \text{stöd}, m} = \frac{2}{4 - 0,301} \cdot 174 = 94 \text{ kN/m} \quad (52)$$

$$v_{B2, \text{stöd}, \text{mitt}} = \frac{4}{3} \cdot v_{B2, \text{stöd}, m} = \frac{4}{3} \cdot 103 = 138 \text{ kN/m} \quad (53)$$

$$v_{B2, \text{stöd}, \text{kant}} = \frac{2}{3} \cdot v_{B2, \text{stöd}, m} = \frac{2}{3} \cdot 103 = 69 \text{ kN/m} \quad (54)$$

4.3.4 Sammanställning av lastfördelning

En sammanställning av erhållna moment och tvärkrafter i Skyddsrum A1 och A2 ges i Tabell 4.1. Av detta kan konstateras att erhållna moment och tvärkrafter är mycket stora i Skyddsrum A1, dvs. det skyddsrum som inte har någon bärande innervägg. Detta är en effekt av den långa spännvidden l_{A1} i takplattans korta bärriktning, vilken både påverkar möjligheten att nyttja en reducerad vapenlast med hänsyn till kupolverkan i rasmassorna samt på de moment och tvärkrafter som denna last ger upphov till.

För att hantera uppkomna moment och tvärkrafter i Skyddsrum A1 är det inte rimligt att använda sig av den plattjocklek på 0,35 m som det utgås ifrån i avsnitt 4.1. Även med en väsentligt ökad plattjocklek blir det dock besvärligt att hantera erhållna moment och tvärkrafter. En rimlig lösning är därför att justera det statiska systemet så att pålagda laster kan tas upp på ett alternativt, mer effektivt, sätt. Detta är också vad som görs i Skyddsrum A2. Genom införandet av en bärande innervägg halveras takplattans spännvidd i plattans korta bärriktning, vilket ger dels en reducerad raslast, dels mer gynnsamma förutsättningar för att förhindra uppkomsten av stora moment och tvärkrafter. För den fortsatta dimensioneringen av takplattan utgås därför enbart från Skyddsrum A2.

Tabell 4.1 Sammanställning av beräknade moment och tvärkrafter för takplatta i Skyddsrum A1 och A2. På grund av stora moment och tvärkrafter i Skyddsrum A1 beaktas fortsättningsvis enbart Skyddsrum A2.

Skyddsrum	Raslast		Strimla	Moment			Tvärkraft		
	$q_{d,ras}$	q_{d,ras_red}		m_m	m_{mitt}	m_{kant}	$v_{stöd,m}$	$v_{stöd,mitt}$	$v_{stöd,kant}$
	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
A1	123	123	A	641	755	378	369	432	212
			B	357	476	238	257	343	172
A2	123	98	A	171	185	93	174	188	94
			B	71	95	48	103	138	69

För skyddsrum A2 fås följande bredder på ingående delar:

- Strimla A
 - Mittdel: $b_{mitt} = 13,85 - 0,5 \cdot 4,175 \approx 11,75$ m
 - Kantdel: $b_{kant,1} = b_{kant,2} = 0,25 \cdot 4,175 \approx 1,05$ m
- Strimla B
 - Mittdel: $b_{mitt} = 0,5 \cdot 4,175 \approx 2,10$ m
 - Kantdel: $b_{kant,1} = b_{kant,2} = 0,25 \cdot 4,175 \approx 1,05$ m

4.4 Dimensionering

4.4.1 Förutsättningar

Moment- och tvärkraftskapacitet beräknas enbart för takplatta i Skyddsrum A2, se avsnitt 4.3.4 för bakomliggande resonemang. Följande förutsättningar gäller för studerad takplatta:

- Täckande betongskikt
 - Vidhäftning: $c_{min,b} = \phi$ ($\phi \leq 12$ mm antas här)
 - Miljöpåverkan: XC1, L50 $\rightarrow c_{min,dur} = 10$ mm
 - Tolerans: $\Delta c_{dev} = 10$ mm
 - Totalt: $c_{nom} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur}) + \Delta c_{dev} = 12 + 10 = 22$ mm (≤ 50 mm, ok)
- 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
 - Takplatta, tjocklek: $h_{tak} = 350$ mm
 - Yttervägg, tjocklek: $h_{vägg} = 350$ mm
 - Centrum armering till fri kant
 - Yttre lagret (Strimla A): $c'_A = c_{nom} + 0,5 \cdot \phi = 22 + 0,5 \cdot 12 = 28$ mm
 - Inre lagret (Strimla B): $c'_B = c_{nom} + 1,5 \cdot \phi = 22 + 1,5 \cdot 12 = 40$ mm
 - Effektiv höjd: $d = h - c'$
 - Yttre lagret (Strimla A): $d_A = 350 - 28 = 322$ mm
 - Inre lagret (Strimla B): $d_B = 350 - 40 = 310$ mm

4.4.2 Erforderlig armeringsmängd

För beräkningar av vägg utgå här från minsta tillåtna armeringsmängd enligt SR, se avsnitt 2. Där anges minsta armeringsdimension och maximalt centrumavstånd. Beräkningar görs för två möjliga armeringsdimensioner, $\phi = [10, 12]$ mm, varvid följande fås:

- $\phi_{min} = 10$ mm och $s_{max} = 200$ mm
 - $\phi = 10$ mm $\rightarrow A'_{s,min} = 393$ mm²/m
 - $\phi = 12$ mm $\rightarrow A'_{s,min} = 565$ mm²/m

Minsta tillåtna armeringsinnehåll [%] enligt SR beräknas som

$$\rho_{s,min} = 26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 26 \cdot \frac{2,6}{500} = 0,135 \% \quad (55)$$

dock minst 0,14 %, varför $\rho_{s,min} = 0,14$ % används här. Minsta tillåtna armeringsmängd [mm²/m] beräknas därefter som

$$A_{s,min} = \rho_{s,min} \cdot b \cdot d \quad (56)$$

Det är värt att notera att en högre betonghållfasthet medför en ökning av draghållfasthet f_{ctm} och därmed även en ökning av minsta tillåtna armeringsinnehåll $\rho_{s,min}$ enligt ekvation (55).

Beräkning görs för en strimla med bredd $b = 1,0$ m, då fås:

- Strimla A: $d_A = 322$ mm $\rightarrow A'_{s,A,min} = 451$ mm²/m
- Strimla B: $d_B = 310$ mm $\rightarrow A'_{s,B,min} = 434$ mm²/m

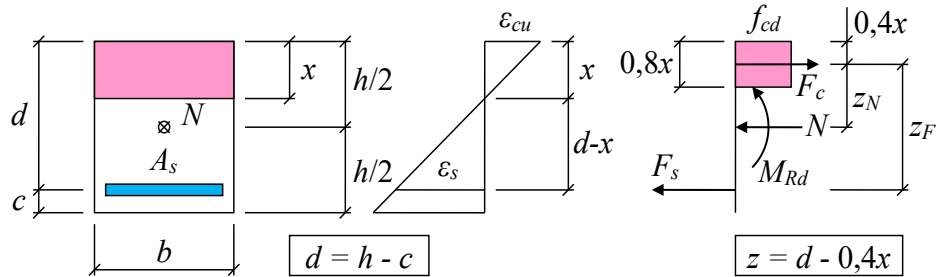
Baserat på detta används följande armeringsmängder i de fortsatta beräkningarna:

- Strimla A
 - $\phi = 10$ mm: $A'_{s,A} = 451$ mm²/m (välj $\phi 10$ s170 $\rightarrow A'_s = 462$ mm²/m)
 - $\phi = 12$ mm: $A'_{s,A} = 565$ mm²/m ($\phi 12$ s200)
- Strimla B
 - $\phi = 10$ mm: $A'_{s,B} = 434$ mm²/m (välj $\phi 10$ s180 $\rightarrow A'_s = 436$ mm²/m)
 - $\phi = 12$ mm: $A'_{s,B} = 565$ mm²/m ($\phi 12$ s200)

SR ställer krav på att golv, väggar och tak i skyddsrummet ska utformas som dubbelarmerade, varför minst dessa armeringsmängder placeras på båda sidor i tvärsnittet.

4.4.3 Momentkapacitet

Vid beräkning av momentkapacitet i takplattan utgås från ett armerat betongtvärsnitt enligt Figur 4.3, varvid eventuell inverkan av normalkraft bortses ifrån ($N = 0 \text{ kN}$).



Figur 4.3 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 lågt armeringsinnehåll) kan momentkapaciteten, via Figur 4.3, bestämmas som

$$M_{Rd} = F_s \cdot z_F + N \cdot z_N = f_{yd} \cdot A_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) + N \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) \quad (57)$$

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

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_s + N}{0,8 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (58)$$

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

För en strimla med bredd $b = 1000 \text{ mm}$ samt effektiv höjd d och armeringsmängd A_s enligt avsnitt 4.4.2 fås momentkapaciteter i takplattan enligt nedan. Vid dimensionering av takplattan utgås från dessa kapaciteter och komplettering görs där så behövs:

- Strimla A
 - $A'_s = 10 \text{ s170} = 462 \text{ mm}^2/\text{m}$: $m_{Rd,A} = 73 \text{ kNm/m}$
 - $A'_s = 12 \text{ s200} = 565 \text{ mm}^2/\text{m}$: $m_{Rd,A} = 89 \text{ kNm/m}$
- Strimla B
 - $A'_s = 10 \text{ s180} = 436 \text{ mm}^2/\text{m}$: $m_{Rd,B} = 66 \text{ kNm/m}$
 - $A'_s = 12 \text{ s200} = 565 \text{ mm}^2/\text{m}$: $m_{Rd,B} = 86 \text{ kNm/m}$

⁶ Eventuell inverkan av tvångskrafter i plattan är rimligt att bortse ifrån vid den typ av belastning som studeras här, i vilken betydande uppsprickning i plattan är att förvänta. Eventuell inverkan av tryckande horisontalkraft orsakad av jordtryck kan dock motiveras. Här utgås dock konservativt från ett fall där normalkraften i takplattan kan försummas.

4.4.4 Tvärkraftskapacitet

Vid beräkning av tvärkraftskapacitet utgås från ett armerat betongtvärsnitt enligt Figur 4.3, varvid inverkan av normalkraft, på samma sätt som i avsnitt 4.4.3, bortses ifrån ($N = 0$ kN).

Enligt SR beräknas betongens tvärkraftskapacitet i ett skyddsrum som

$$V_{Rd,c,dyn} = 1,1 \cdot V_{Rd,c,sta} \quad (59)$$

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

$$V_{Rd,c,sta} = v_{Rd,c} \cdot b \cdot d \quad (60)$$

där (när $N = 0$ kN)

$$v_{Rd,c} = \max \begin{cases} \frac{0,18}{\gamma_C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_s \cdot f_{ck})^{1/3} \\ 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \end{cases} \quad (61)$$

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad k \leq 2,0 \quad (d \text{ i [mm]}) \quad (62)$$

är en faktor som beaktar storlekseffekten,

$$\rho_s \leq \frac{A_s}{b \cdot d} = 0,02 \quad (63)$$

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

För en strimla med bredd $b = 1000$ mm samt effektiva höjder d och minsta erforderliga armeringsmängd A'_s enligt avsnitt 4.4.2, fås följande tvärkraftskapaciteter:

- Strimla A
 - Kantdel: $A'_s = 10 \text{ s170} = 462 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow v_{Rd,A} = 148 \text{ kN/m}$
 - Mittdel: $A'_s = 12 \text{ s200} = 565 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow v_{Rd,A} = 156 \text{ kN/m}$
- Strimla B
 - Kantdel: $A'_s = 10 \text{ s180} = 436 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow v_{Rd,B} = 144 \text{ kN/m}$
 - Mittdel: $A'_s = 10 \text{ s180} = 436 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow v_{Rd,B} = 144 \text{ kN/m}$

4.4.5 Kontroll av momentkapacitet

Som påtalas i avsnitt 3.1 är det vid plastisk omlagring möjligt för konstruktören att, inom vissa givna gränser, själv välja vilken momentfördelning mellan stöd och fält som ska användas. Det totala dimensionerande momentet m_{Ed} ska gemensamt balanseras av momentkapaciteten i stöd $m_{Rd,s,1}$ och $m_{Rd,s,2}$ samt i fält $m_{Rd,f}$ på ett sådant sätt att följande villkor uppfylls

$$m_{Ed} \leq \frac{(m_{Rd,s,1} + m_{Rd,s,2})}{2} + m_{Rd,f} \quad (64)$$

Det är möjligt att hitta flera olika kombinationer av $m_{Rd,s,1}$, $m_{Rd,s,2}$ och $m_{Rd,f}$ där så är fallet, dock krävs det enligt SR även att momentkvoten

$$\gamma_M = \frac{m_{Rd,s}}{m_{Rd,f}} \leq 1,50 \quad (65)$$

mellan stöd och fält uppfylls. Det kan finnas flera olika orsaker till att en viss momentfördelning är önskvärd, exempelvis:

- Anpassa lösningen till den momentkapacitet som fås i takplattan vid användande av en given armeringsmängd, till exempel minimiarmeringsmängd.
- Anpassa takplattans stödmoment till vad som kan balanseras i anslutande konstruktionsdel.

Vid yttervägg kommer stödmomentkapaciteten i takplatta att balanseras av momentkapaciteten i ytterväggen. Den maximala momentkapacitet som kan tillgodoräknas invid stöd i takplattan är det moment som kan bäras i motsvarande stöd i väggen. Armeringsmängden i väggen hanteras inte i detta dokument. I D07-103 har det dock visats att en armeringsmängd motsvarande $\phi 10$ s180 är tillräckligt för att hantera normal vapenlast ($q_{vapen,l} = 50 \text{ kN/m}^2$) som verkar mot väggen när den effektiva höjden är $d_{vägg} = 310 \text{ mm}$. Det antas här att detta är den armeringsmängd som placeras i väggen om inga andra behov uppstår. Ett sådant behov skulle dock kunna fås av att en ökning av takplattans inspänning i väggen önskas, något som kan medföra ett ökat armeringsbehov i väggen.

Vid beräkning av momentkapacitet i takplattan har det ovan antagits att normalkraften $N = 0$. Vid kontroll av vilken momentkapacitet det finns i väggen för att balansera ett stödmoment i takplattan är det dock rimligt att beakta den gynnsamma effekt som fås av den tryckande normalkraft som fås i väggen från den vapenlast eller raslast som verkar mot skyddsrummets tak.

Avsnitt 4.3.3 ger att tvärkraften vid takplattans stöd (stödreaktion som ger normalkraft N' i väggen), beroende på strimla samt mitt- eller kantdel, varierar mellan $v = 69\text{--}188 \text{ kN/m}$. Här görs en övergripande kontroll av vilken inverkan som olika normalkrafter har på väggens momentkapacitet:

- Armering: $A'_s = \phi 10 \text{ s180} = 436 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Effektiv höjd: $d = 310 \text{ mm}$
- Normalkraft: $N'_{vägg} = [0, 50, 100, 200] \text{ kN/m}$
- Momentkapacitet: $m_{Rd,vägg} = [66, 75, 83, 98] \text{ kNm/m}$

Det kan noteras att studerade ökning av normalkraften medför en tämligen betydande ökning av väggens momentkapacitet. För de fortsatta beräkningarna utgås här konservativt från att $N' = 100 \text{ kN/m}$ i mittdel och $N' = 50 \text{ kN/m}$ i kantdel. Detta ger att det i väggen finns en möjlighet att generera en momentkapacitet på $m_{Rd, \text{mitt}} = 83 \text{ kNm/m}$ och $m_{Rd, \text{kant}} = 75 \text{ kNm/m}$, i mittdel respektive kantdel, som kan balansera det stödmoment som nyttjas i takplattan. Baserat på detta kan nu en momentfördelning i takplattan väljas, se Tabell 4.2 för en sammanställning av vald fördelning i stöd och fält för takplattan i dess olika delar. Som jämförelse visas även plattans momentkapacitet när enbart minimiarmering baserat på armering $\phi 10$ och $\phi 12$ enligt ovan används. Av detta framgår att det för mittdelen i Strimla A inte är tillräckligt med enbart minimiarmering. Där behöver takplattan kompletteras med ytterligare armering över stöd 2 (innervägg) så att $m_{Rd, s, 2} \geq 109 \text{ kNm/m}$. För övriga delar i takplattan fås dock tillräcklig momentkapacitet med enbart minimiarmeringsmängd baserad på armering $\phi 10$. Via tvärsnittsanalys enligt Figur 4.3 bestäms nu erforderlig armeringsmängd över stöd 2:

- Strimla A (mittdel): $A'_s = 12 \text{ s}160 = 707 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow m_{Rd, A} = 111 \text{ kNm/m}$

Detta ger en momentkvot $\gamma_M = 111 / 89 = 1,25$, vilket är lägre än kravet på 1,50 enligt ekvation (65). Denna lösning kan därmed godtas och i de fortsatta beräkningarna utgås från detta val. Det är dock möjligt att även göra andra val på momentfördelning i mittdelen av Strimla A, se Tabell 4.3 för några exempel på potentiella alternativ med tillhörande motivering.

Tabell 4.2 Sammanställning av vald momentfördelning i stöd och fält samt i takplattans olika delar. Momentkapacitet anges för erforderlig armeringsmängd enligt avsnitt 4.4.2 när armeringen består av $\phi 10$ eller $\phi 12$.

Skyddsrum	Strimla	Del	Dimensionerande moment				Momentkapacitet	
			m_{Ed}	$m_{s,1}$	$m_{s,2}$	m_f	$m_{Rd, \phi 10}$	$m_{Rd, \phi 12}$
			[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]
A2	A	Mitt	185	83 ¹⁾	109 ²⁾	89 ³⁾	73	89
		Kant	93	46	46	47		
	B	Mitt	95	47	47	48	66	86
		Kant	48	24	24	24		

¹⁾ Momentkapaciteten i takplattan uppgår med minimiarmering med $\phi 12$ till 89 kNm/m men här tillgodoses enbart en kapacitet på 83 kNm/m eftersom detta är den momentkapacitet som konservativt bedöms kunna hanteras i den anslutande väggen.

²⁾ Erforderlig momentkapacitet bestäms via ekvation (64).

³⁾ Med minimiarmering baserad på $\phi 12$ uppgår momentkapaciteten i takplattan till 89 kNm/m.

Tabell 4.3 Alternativa val för momentfördelning mellan stöd och fält i mittdelen av Strimla A.

Skyddsrum	Strimla	Del	Alt	Dimensionerande moment				Momentkapacitet	
				m_{Ed}	$m_{s,1}$	$m_{s,2}$	m_f	$m_{Rd,\phi 10}$	$m_{Rd,\phi 12}$
				[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]
A2	A	Mitt	I ¹⁾	185	83	109	89	73	89
			II ²⁾	185	83	89	99		
			III ³⁾	185	83	96	96		

1) Momentkapacitet i stöd 1 och fält baseras på minimiarmering $\phi 12$ s200 med extra momentkapacitet i stöd 2, detta motsvarar det alternativ som visas i Tabell 4.2. Denna fördelning används fortsättningsvis.

2) Momentkapacitet i stöd 1 och stöd 2 baseras på minimiarmering $\phi 12$ s200 med extra momentkapacitet i fält.

3) Momentkapacitet i stöd 1 baseras på minimiarmering $\phi 12$ s200 med extra momentkapacitet i stöd 2 och fält som väljs att vara lika.

4.4.6 Kontroll av tvärkraftskapacitet

I avsnitt 4.4.4 presenteras tvärkraftskapaciteter i takplattan, vilka kan jämföras med de tvärkrafter i stöd (stödreaktioner) som sammanställs i avsnitt 4.3.4. Av detta framgår att takplattans tvärkraftskapacitet är tillräcklig vid användande av minimiarmering i kantdel i Strimla A samt mitt- och kantdel i Strimla B. För mittdel i Strimla A gäller dock att stödreaktionen är $v_{Ed,mitt} = 188$ kN/m medan tvärkraftskapaciteten är $v_{Rd,A} = 156$ kN/m, varför en mer detaljerad kontroll behöver göras för att bedöma huruvida takplattans tvärkraftskapacitet är tillräcklig eller inte. I en sådan nyanserad kontroll beaktas dels att armeringsmängden i stöd 2 är överstiger den minsta erforderliga armeringen, dels att kritisk tvärkraft i stöd påverkas av vald momentfördelning samt läge på kritiskt snitt.

Med användning av uttryck enligt avsnitt 4.4.4 kan tvärkraftskapaciteten för mittdel i strimla A, vid stöd 2, beräknas som:

$$\bullet A'_s = 12 \text{ s160} = 707 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow v_{Rd,A,2} = 168 \text{ kN/m}$$

Den tvärkraft, $v_{Ed,mitt} = 188$ kN/m, som listas i Tabell 4.1 är beräknat för ett fall där stödmomenten i stöd 1 och stöd 2 är desamma, $m_{s,1} = m_{s,2}$. Så är dock inte längre fallet, se avsnitt 4.4.3, varför en ny beräkning behöver göras. Inverkan av olika stödmoment kan förenklat beräknas med antagande av en strimla med spännvidd l belastad med en jämnt utbredd last q . För en sådan lastsituation kan tvärkraften vid stöd (reaktionskraft) beräknas som

$$v_{stöd,1} = \frac{q \cdot l}{2} + \frac{m_{s,1} - m_{s,2}}{l} = \frac{q \cdot l}{2} + \Delta v_{stöd} \quad (66)$$

$$v_{stöd,2} = \frac{q \cdot l}{2} - \frac{m_{s,1} - m_{s,2}}{l} = \frac{q \cdot l}{2} - \Delta v_{stöd} \quad (67)$$

Med $m_{s,1} = 83 \text{ kNm/m}$ och $m_{s,2} = 111 \text{ kNm/m}$ fås

$$\Delta v_{stöd} = \frac{m_{s,1} - m_{s,2}}{l} = \frac{83 - 111}{4,175} \approx -7 \text{ kN} \quad (68)$$

Därmed kan tvärkraften i stöd, för mittdel i Strimla A, beräknas som

$$v_{stöd,1} = 188 - 7 = 181 \text{ kN} \quad (69)$$

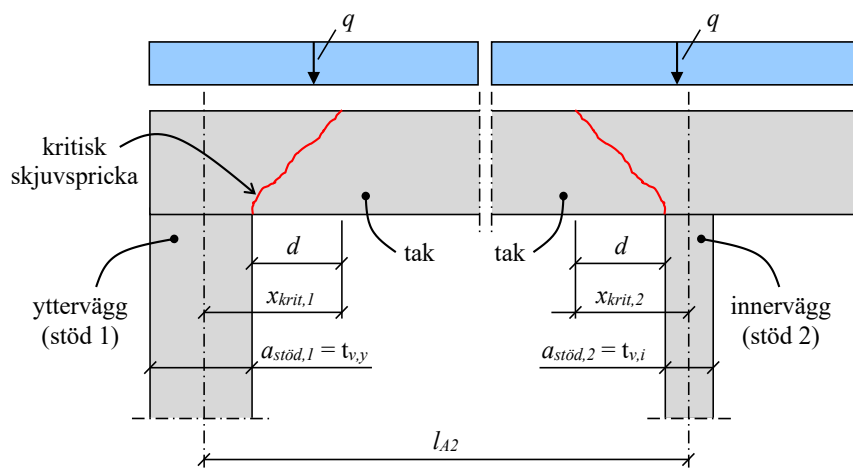
$$v_{stöd,2} = 188 + 7 = 195 \text{ kN} \quad (70)$$

i stöd 1 respektive 2. För jämförelse med tvärkraftskapaciteten $v_{Rd,A,1}$ och $v_{Rd,A,2}$ enligt ovan så ska dessa krafter dock reduceras ytterligare med hänsyn till det kritiska snittets placering, se Figur 4.4. Det kritiska snittet är placerat på avståndet

$$x_{krit,i} = d + \frac{a_{stöd,i}}{2} \quad (71)$$

från stöd, varmed tvärkraften i det kritiska snittet kan beräknas som

$$v_{Ed,i} = v_{stöd,i} - q \cdot x_{krit,i} \quad (72)$$



Figur 4.4 Placering av kritiska snitt (avstånd x_{krit} från centrumlinje vägg) för dimensionerande tvärkraft i takplattan invid stöd 1 och 2.

Den utbredd lasten som verkar mot takplattan uppgår enligt avsnitt 4.2 till $q_{tot,ras,A2} = 98 \text{ kN/m}^2$. I en firsidigt upplagd platta kommer denna last i viss mån alltid bäras i två riktningar. I mittdelen av en strimla är det dock rimligt att anta att lasten som går i strimlans tvärriktning vid stöd är liten, varför detta värde bedöms vara en god approximation att använda här. Då fås tvärkraft i kritiskt snitt som

$$v_{Ed,1} = 181 - 98 \cdot \left(0,322 + \frac{0,35}{2} \right) = 133 \text{ kN/m} \quad (73)$$

$$v_{Ed,2} = 195 - 98 \cdot \left(0,322 + \frac{0,16}{2} \right) = 156 \text{ kN/m} \quad (74)$$

invid stöd 1 respektive 2. Dessa värden kan slutligen jämföras med $v_{Rd,A,1} = 156 \text{ kN/m}$ och $v_{Rd,A,2} = 168 \text{ kN/m}$, varmed det kan konstateras att takplattans tvärkraftskapacitet är tillräcklig, se sammanställning i Tabell 4.4.

Tabell 4.4 Sammanställning av tvärkraftskontroll i studerade strimlor. Tvärkraftskapacitet är beräknad för den armeringsmängd som är inlagd med hänsyn till moment.

Skyddsrum	Strimla	Del	Dim. tvärkraft		Tvärkraftskapacitet	
			$v_{Ed,1}$	$v_{Ed,2}$	$v_{Rd,s1}$	$v_{Rd,s2}$
			[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
A2	A	Mitt	133	156	156	168
		Kant	$< 94^1$	$< 94^1$	148	148
	B	Mitt	$< 138^1$	$< 138^1$	144	144
		Kant	$< 69^1$	$< 69^1$	144	144

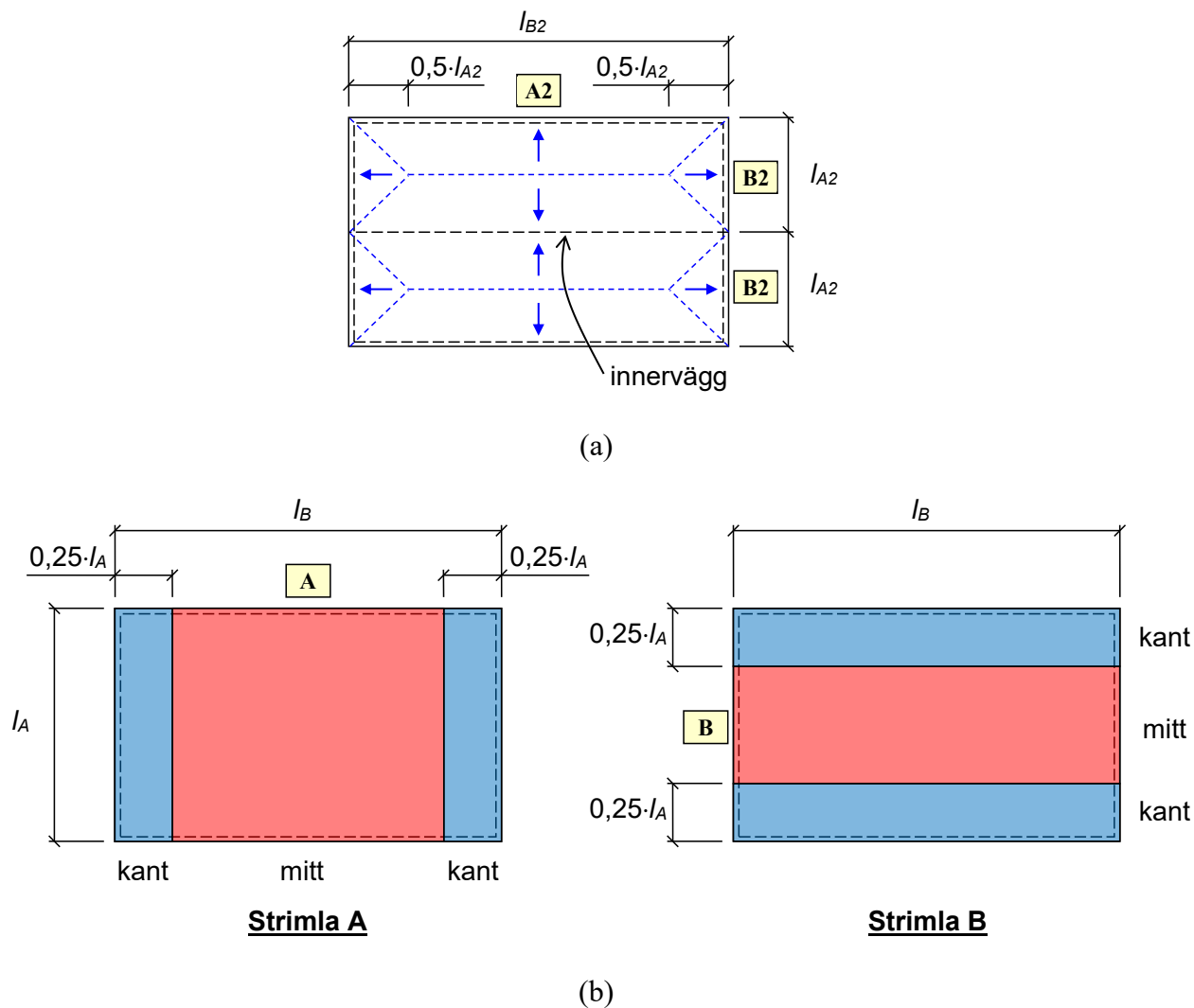
¹⁾ Angivet värde anger stödreaktion från Tabell 4.1.

4.5 Resultat

Följande armeringsmängder placeras i takplatta för Skyddsrum A2 (skyddsrum med bärande innervägg), se Figur 4.5 för indelning i strimlor samt principiell indelning i mitt- och kantdelar:

- Strimla A (yttre armeringslager $\rightarrow$ effektiv höjd, $d = 328 \text{ mm}$)
 - Mittdel ($b_{mitt} \approx 11,75 \text{ m}$)
 - Stöd 1 (yttervägg), fält: $\phi 12 \text{ s}200$ (minimiarmering med $\phi 12$)
 - Stöd 2 (innervägg): $\phi 12 \text{ s}160$
 - Kantdel ($b_{kant,1} = b_{kant,2} \approx 1,05 \text{ m}$)
 - Stöd 1, stöd 2, fält: $\phi 10 \text{ s}170$ (minimiarmering med $\phi 10$)
- Strimla A (inre armeringslager $\rightarrow$ effektiv höjd, $d = 310 \text{ mm}$)
 - Mittdel ($b_{mitt} \approx 2,10 \text{ m}$) och kantdel ($b_{kant,1} = b_{kant,2} \approx 1,05 \text{ m}$)
 - Stöd 1, stöd 2, fält: $\phi 10 \text{ s}180$ (minimiarmering med $\phi 10$)

Av praktiska skäl (till exempel via ett mer enhetligt centrumavstånd) är det möjligt att en större armeringsinläggning än den beräknade läggs in, detta beaktas dock inte här.



Figur 4.5 (a) Modell med strimlemetoden i Skyddsrum A2 (med bärande innervägg), (b) schematisk uppdelning av strimlor i mitt- och kantstrimlor.

5 Revideringslista

Datum	Avsnitt	Revidering
2025-12-15	D04-102	Första version