

D02-103	Last mot skyddsrum
	Vapenlast och raslast

1 Orientering	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Om detta dokument	2
2 Anvisningar enligt SR	2
2.1 Orientering	2
2.2 Vapenlast	3
2.2.1 Grundvärde	3
2.2.2 Reducerad vapenlast mot golv	4
2.3 Raslast	5
2.3.1 Grundvärde	5
2.3.2 Reducerad raslast av kupolverkan	6
3 Beräkningsexempel	7
3.1 Förutsättningar	7
3.2 Lastkombinering	9
3.3 Vapenlast	9
3.3.1 Grundvärde	9
3.3.2 Reducerad vapenlast mot golv	11
3.4 Raslast	12
3.4.1 Grundvärde	12
3.4.2 Detaljerad beräkning av rasmassornas tyngdpunkt h_t	13
3.4.3 Reducerad raslast av kupolverkan	15
3.4.4 Pelardäck samt kombination med pelare och balkar	17
4 Revideringslista	19

1 Orientering

1.1 Bakgrund

Vid dimensionering av ett skyddsrum ska primära och sekundära effekter av en explosion beaktas. Detta görs via användandet av vapenlast respektive raslast, vilka båda utgörs av exceptionella dynamiska laster som ett skyddsrum ska kunna motstå i händelse av krig. Tillsammans utgör de grunden för utformningen av den skyddande funktionen i ett skyddsrum.

1.2 Om detta dokument

I detta dokument presenteras ett beräkningsexempel om hur vapen- och raslast mot skyddsrum bestäms. Fokus ligger på att illustrera hur anvisningar om vapenlast och raslast mot skyddsrum är avsedda att tolkas och användas. Lastkombinering med statiskt verkande laster behandlas dock inte i detta dokument.

2 Anvisningar enligt SR

2.1 Orientering

I SR anges två typer av laster som ska beaktas vid dimensionering av ett skyddsrum: vapenlast och raslast. I detta avsnitt återges anvisningar i SR för de båda.

Den vapenlast som antas verka mot skyddsrummet representerar två olika lastsituationer:

- En kortvarig impulslast från MSB:s så kallade arkivbomb.¹
- En långvarig trycklast² med ett övertryck på 50 kPa och ett undertryck på 8 kPa.

Den raslast som antas verka mot skyddsrummet representerar en situation när ovanliggande eller näraliggande byggnad kollapsar och rasmassorna faller ner och träffar skyddsrummet³.

¹ Arkivbomben är en fiktiv bomb som av MSB definieras som: ”verkan av en tryckvåg motsvarande den som åstadkoms av en 250 kilograms minbomb med 50 viktprocent trotyl som briserar i det fria 5,0 meter från skyddets utsida vid fri tryckavlastning”. Detta motsvarar en laddning på $0,50 \cdot 250 = 125$ kg TNT som detonerar på avståndet 5,0 m med möjlighet till fri sfärisk avlastning.

² Den långvariga trycklasten representerar tryckvågen från en kärnvapenladdning som detonerar på ett långt avstånd.

³ Byggnadens kollaps antas initieras av någon form av explosion som inte direkt påverkar själva skyddsrummet. Raslastens värde är framtagen från en konservativt antagen situation där raset börjar i byggnadens topp och därefter gradvis fortplantar sig nedåt i byggnaden innan rasmassorna, tämligen samlat, träffar skyddsrummets tak.

Både vapen- och raslast utgörs av dynamiska laster. Vid dimensionering av ett skyddsrum godtas dock att i stället använda så kallade ekvivalenta statiska laster, vilka förenklat representerar verkan av den dynamiska lasten. Det är även möjligt enligt SR att utföra en dimensionering med hänsyn till dynamiska laster, detta behandlas dock inte vidare i detta dokument.

Eftersom vapen- och raslast antas uppstå i olika situationer ska de inte kombineras.

2.2 Vapenlast

2.2.1 Grundvärde

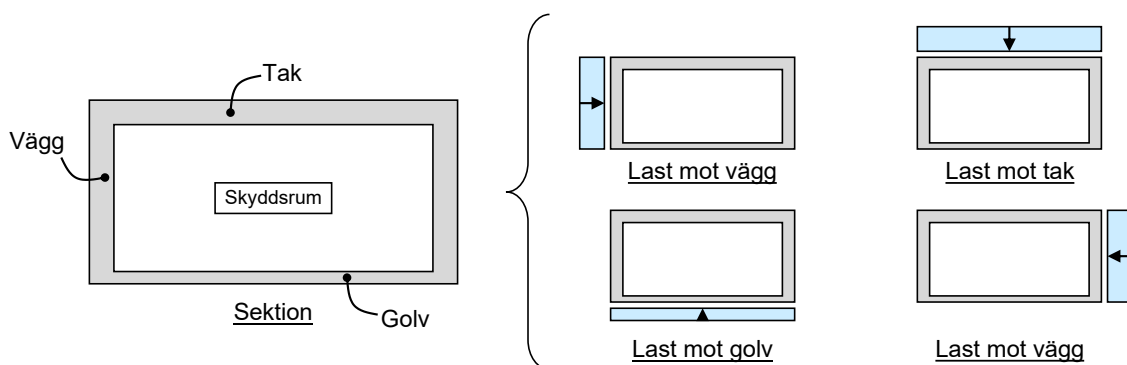
Vapenlasten består av en jämnt utbredd last enligt Tabell 2.1 som, med undantag av vindlast, ska kombineras med andra verkande laster enligt Eurokod. Vid dimensionering av vägg med hänsyn till vapenlast bör dock inverkan av vertikal last från ovanliggande byggnad bortses ifrån⁴. Vapenlast riktad mot respektive från skyddsrummet är skilda lastkombinationer och förutsätts var för sig påverka hela skyddsrummets utsida vinkelrätt mot konstruktionsdelens plan. Varje konstruktionsdel beräknas separat så som schematiskt illustreras i Figur 2.1. För bjälklag eller vägg mellan två skyddsrum ska vapenlasten fördubblas.

Tabell 2.1 Vapenlast vid varierande avstånd mellan utsida skyddsrumsvägg och maximal zongräns r .

Maximal zongräns, r [m]	Mot skyddet, $q_{\text{vapen},1}$ [kN/m ²] ¹⁾	Från skyddet, $q_{\text{vapen},2}$ [kN/m ²] ¹⁾
$\geq 5,0$	50	8
4,0	70	12
3,0	100	16
2,0	180	30
$< 2,0$	Dynamisk beräkning	

¹⁾ För avstånd mellan redovisade värden godtas linjär interpolering.

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 avsnitt 2.1 ska ett skyddsrum dock dels tåla verkan av en kortvarig impulslast från en närliggande explosion, dels ett långvarigt tryck från en kraftig explosion på långt håll. För det kortvariga trycket är det rimligt att inverkan av normalkraft från ovanliggande byggnad beaktas – för detta fall kommer last 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 i stället 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.



Figur 2.1 Schematisk illustration av belastning med vapenlast mot tak, väggar och golv i skyddsrum.

2.2.2 Reducerad vapenlast mot golv

Vapenlasten som verkar mot skyddsrummets golvbjälklag kan reduceras till

$$q_{v,red} = \beta \cdot q_{vapen,l} \quad (1)$$

där $q_{v,red}$ är reducerad vapenlast, β är en lastfaktor enligt Tabell 2.2 och $q_{vapen,l}$ är vapenlastens grundvärde verkande mot skyddsrummet enligt Tabell 2.1. Det godtas att olika värden på vapenlast används mot olika delar av golvkonstruktionen.

Om undergrunden inom ett avstånd (i djup eller sidled) av 5,0 m från golvplattan består av material som kan hänföras till olika grundtyper, ska den ogynnsammaste typen tillämpas. Det godtas att olika värden på vapenlast används mot olika delar av golvkonstruktionen.

Tabell 2.2 Lastfaktor β vid varierande grundtyp och bredd r på skyddsrummets zongräns.

Grundtyp	Beskrivning	Lastfaktor β (-) ¹⁾	
		$r \geq 5,0$ m	$r < 5,0$ m
1	berg, sprängbotten, sprängsten, grus ($\geq 1,0$ m)	0,0	0,2
2	grus ($< 1,0$ m), morän, sand, silt, fast lera ($C_{uk} \geq 50$ kPa)	0,2	0,4
3	ej fast lera ($C_{uk} < 50$ kPa), luftfyllt tomrum	1,0	1,0

¹⁾ För en situation där grundläggningen innehåller ett begränsat luftrum (t.ex. en kulvert) ska golvkonstruktion inom ett avstånd om 5,0 m från luftrum belastas med en vapenlast beräknad med dubblerat värde på β , dock inom $0,4 \leq \beta \leq 1,0$.

2.3 Raslast

2.3.1 Grundvärde

Raslasten q_{ras} är en vertikal last som ska antas verka mot skyddsrumstaket eller takplatta vid förstärkt utrymningsväg. I en given punkt beräknas raslasten som

$$q_{ras} = \max(q_b, \eta_n \cdot q_n, 50 \text{ kN/m}^2) \quad (2)$$

där

$$q_b = \min(q_{b,1}, q_{\max}) \quad (3)$$

avser raslast från ovanliggande byggnad och

$$q_n = \begin{cases} \min(q_{n,1}, q_{\max}) & \text{om rasmassa } m_n \text{ är känd} \\ q_{\max} & \text{om rasmassa } m_n \text{ är okänd} \end{cases} \quad (4)$$

avser raslast från en näraliggande byggnad. Vidare gäller att $q_{ras} \geq 50 \text{ kPa}$, vilket innebär att raslasten inte kan understiga vapenlastens minsta tillåtna värde.

För ovanliggande byggnad beräknas raslasten som

$$q_{b,1} = (0,7 \cdot \sqrt{h_t} + 1) \cdot m_b \quad (5)$$

där h_t är vertikalt avstånd [m] mellan skyddsrummets överkant och byggnadens tyngdpunkt och m_b är rasmassa hos ovanliggande byggnad. Samma princip används även för raslast

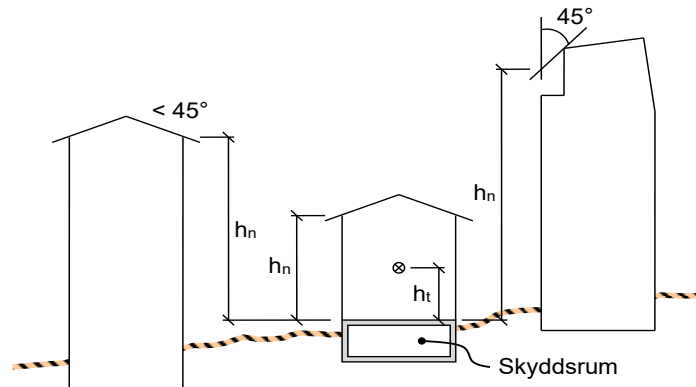
$$q_{n,1} = (0,7 \cdot \sqrt{h_t} + 1) \cdot m_n \quad (6)$$

från näraliggande byggnad om dess rasmassa m_n är känd. Båda dessa begränsas dock av den maximala raslasten

$$q_{\max} = 1,5 \cdot \sqrt{h_n^3} + 3,0 \cdot h_n \quad (7)$$

som fås när m_n är okänd. För samband i ekvation (5) till (7) definieras höjder h_t och h_n enligt Figur 2.2 medan m_b och m_n är rasmassor (summan av permanent och variabel last) uttryckta i enheten [kN/m^2] hos ovanliggande respektive näraliggande byggnad. För hus med en jämn massfördelning, så som normala bostads- och kontorshus, godtas att ansätta $h_t = h_n / 2$. Raslastens storlek kan variera för olika delar av ett och samma skyddsrum.

Den första termen i ekvation (5) och (6) beskriver det dynamiska lasttillskott som erhålls av de nedfallande rasmassorna medan den andra termen motsvarar rasmassornas statiska lastbidrag. Ekvation (7) är i sin tur härledd från ekvation (6) med antagande om att $h_t = h_n / 2$ och att rasmassans tunghet uppgår till $m_n' = m_n / h_n = 3,0 \text{ kN/m}^3$.



Figur 2.2 Definition av byggnaders höjd ovan skyddsrummet.

2.3.2 Reducerad raslast av kupolverkan

Raslast q_{ras} , beräknad enligt avsnitt 2.3.1 kan reduceras med hänsyn till kupolverkan. Den reducerade raslasten beräknas som

$$q_{r,red} = \max(\alpha_{ras} \cdot q_{ras}, 50) \quad (8)$$

där α_{ras} är en reduktionsfaktor beräknad som

$$\alpha_{ras} = \frac{3b}{h} \leq 1,0 \quad (9)$$

Här är b avståndet mellan centrumlinjer hos skyddsrummets bärande enheter och h är byggnadshöjd (räknat från takplattans överkant) hos byggnad som gett upphov till raslast q_{ras} . En bärande enhet kan utgöras av såväl bärande väggar (både ytter- och innerväggar) som invändiga balkar/pelare.

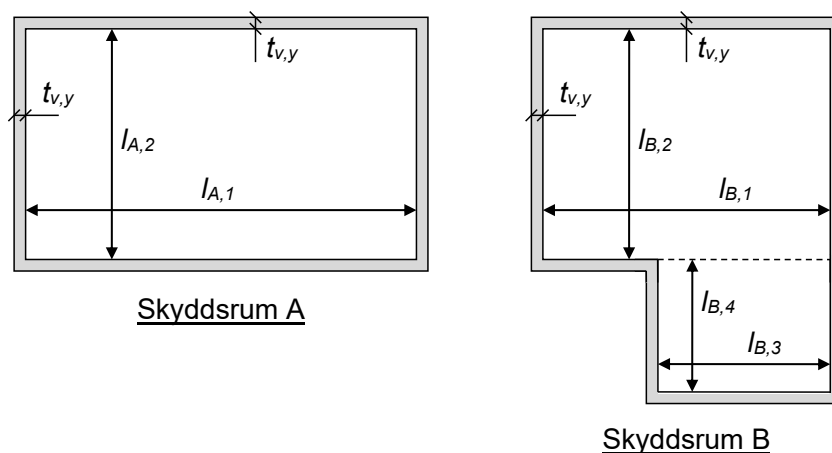
Värdet på raslast q_{ras} kan variera mot olika delar av skyddsrummet, till exempel på grund av olika avstånd till en eller flera näraliggande byggnader. Det godtas dock att samma reduktionsfaktor α_{ras} används, oavsett värde på q_{ras} , för en given kombination av b och h .

3 Beräkningsexempel

3.1 Förutsättningar

I detta beräkningsexempel utgår från ett skyddsrum i Karlstad med en bostadsbyggnad på fem våningar placerade ovanpå skyddsrummet, där varje våning har en höjd $h_{vån} = 3,2$ m. Två skyddsrum med olika geometri enligt D01-102 med en vägg tjocklek $t_{v,y} = 0,35$ m studeras, se Figur 3.1 för beteckningar och utformning:

- Skyddsrum A: (rektangulär form, fall R4 enligt D01-102)
 - $l_{A,1} = 13,5$ m, $l_{A,2} = 8,0$ m
 - $A_{V,A} = 15,5$ m², $A_{S,A} = 108,0$ m²
- Skyddsrum B: (L-form, fall L1 enligt D01-102)
 - $l_{B,1} = 10,0$ m, $l_{B,2} = 8,0$ m, $l_{B,3} = 6,0$ m, $l_{B,4} = 4,7$ m
 - $A_{V,B} = 16,4$ m², $A_{S,B} = 108,2$ m²

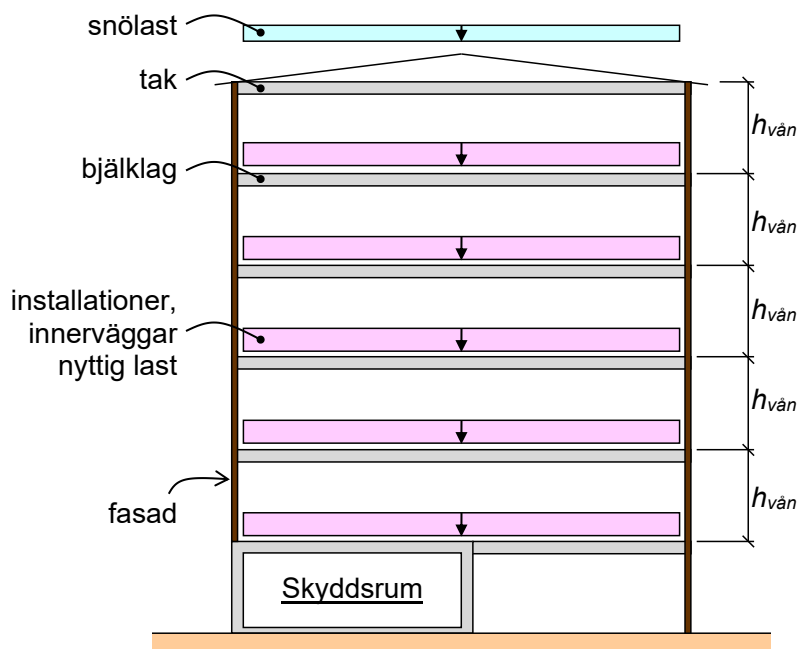


Figur 3.1 Geometrisk utformning hos studerade skyddsrum.

Skyddsrummen har liknande nettoarea $A_{S,A} = 108,0$ m² samt $A_{S,B} = 108,2$ m², när eventuella innerväggar och pelare inte beaktats samt uppfyller en bredd $r \geq 5,0$ m för skyddsrummets zongräns. På grund av olika utformning skiljer sig dock begränsningsväggarnas area något med $A_{V,A} = 15,5$ m² för skyddsrum A och $A_{V,B} = 16,4$ m² för skyddsrum B.

Följande statiska laster antas verka i ovanliggande byggnad, se Figur 3.2 för schematisk bild av byggnad:

- Bjälklag och tak: $g_b = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- Installationer: $g_{in} = 0,5 \text{ kN/m}^2$
- Innerväggar: $g_{v,i} = 0,5 \text{ kN/m}^2$
- Fasad: $g_{fasad} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Nyttig last: $q_n = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Snölast: $q_s = 2,0 \text{ kN/m}^2$



Figur 3.2 Schematisk bild av byggnad placerad ovanför skyddsrum.

3.2 Lastkombinering

Total last mot skyddsrum bestäms via lastkombinering enligt Eurokod 0. Med detta kan den dimensionerande lasten Q_d skrivas som

$$Q_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (10)$$

där G_k är karakteristisk last av egentygnd, 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. Denna lastkombinering används även för att bedöma den totala rasmassan vid beräkning av raslast från ovanliggande eller näraliggande byggnad.

För här studerad byggnad antas våningsplan ovanför skyddsrummet bestå av bostäder (kategori A) med $\psi_1 = 0,5$ och $\psi_2 = 0,3$. För snölast gäller att $\psi_2 = 0,2$.

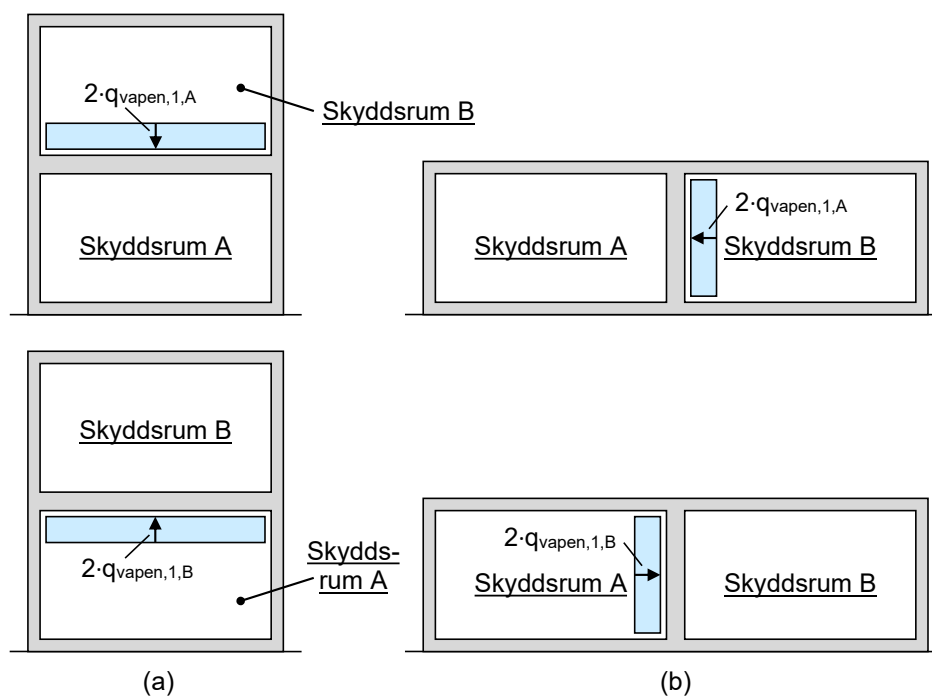
3.3 Vapenlast

3.3.1 Grundvärde

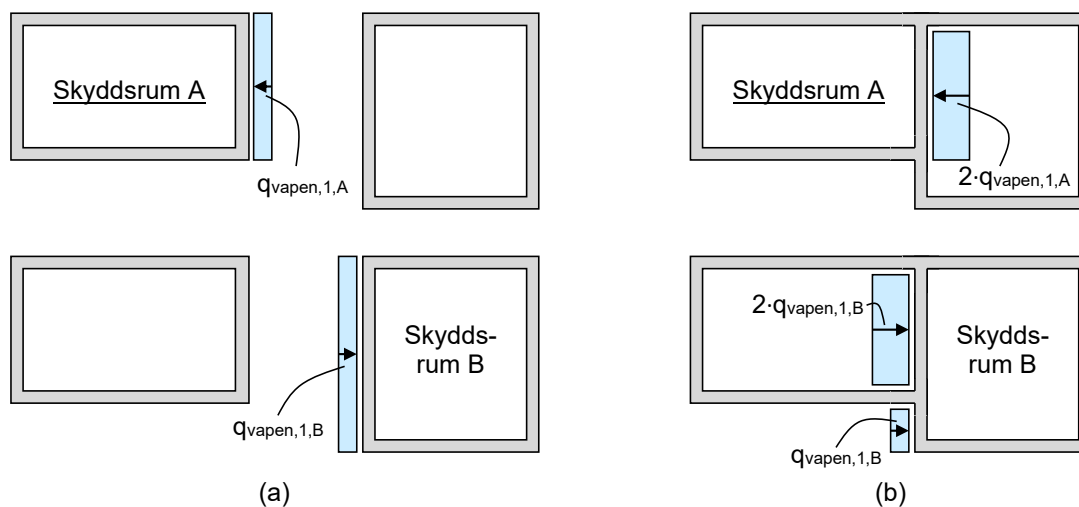
För här studerade skyddsrum uppgår zongränsens bredd till $r \geq 5,0$ m, vilket via Tabell 2.1, ger att $q_{vapen,1} = 50 \text{ kN/m}^2$ och $q_{vapen,2} = 8 \text{ kN/m}^2$. Vapenlasten har samma värde mot skyddsrummets väggar och tak. För last mot golv finns dock möjlighet att reducera vapenlasten, se avsnitt 3.3.2, och för en gemensam vägg eller bjälklag mellan två olika skyddsrum ska vapenlasten dubblas över den aktuella konstruktionsdelen, se schematiska illustrationer i Figur 3.3 och Figur 3.4.

Om zongränsen har en bredd $r < 5,0$ m så ökar vapenlasten. Om exempelvis $r = 4,6$ m fås, via linjär interpolation av värden i Tabell 2.1, att vapenlasten i stället skulle bli $q_{vapen,1} = 58 \text{ kN/m}^2$ och $q_{vapen,2} = 9,6 \text{ kN/m}^2$. En sådan ökning av vapenlasten påverkar även andra områden där denna används, till exempel storleken för last på infästningar.

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



Figur 3.3 Schematisk illustration (sektionsvy) av dubblerad vapenlast mot (a) gemensamt bjälklag, (b) gemensam vägg. Storleken på $q_{\text{vapen},1}$ beror på zongränsens bredd r enligt Tabell 2.2 för respektive skyddsrum.

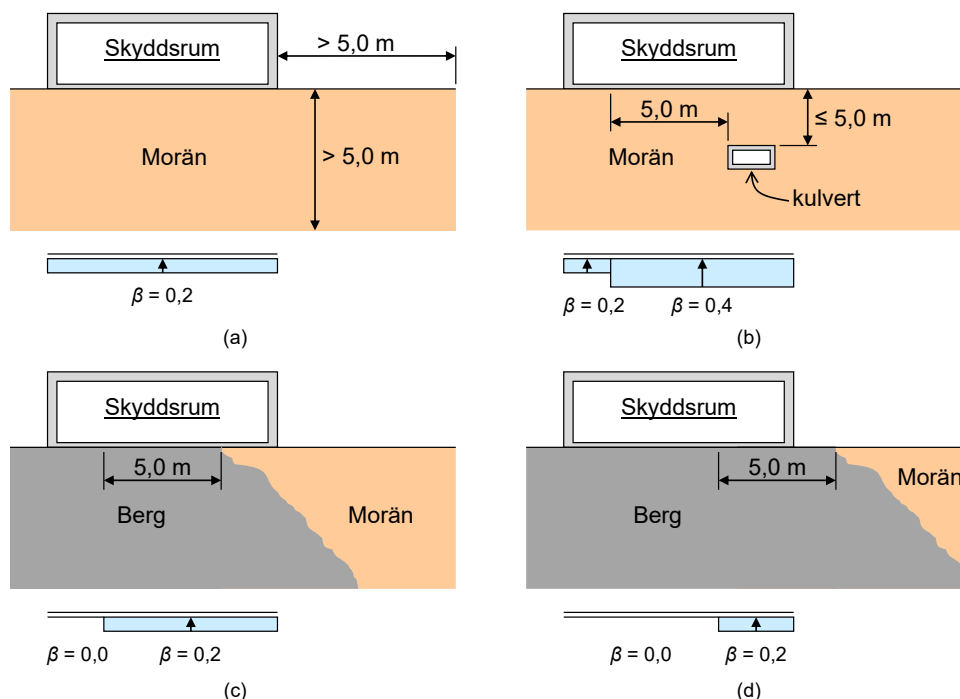


Figur 3.4 Schematisk illustration (planvy) av vapenlast mot skyddsrum vid (a) två enskilda skyddsrum, (b) två skyddsrum med gemensam vägg. Storleken på $q_{\text{vapen},1}$ beror på zongränsens bredd r enligt Tabell 2.2 för respektive skyddsrum.

3.3.2 Reducerad vapenlast mot golv

Hur stor reduktion som kan fås på vapenlasten beror på vilken grundtyp som skyddsrummet är grundlagt på, se ekvation (1) och Tabell 2.2. Om grundtypen varierar inom 5,0 m i djup eller sidled från golvplattan ska den ogynnsammaste typen användas. Det godtas dock även att olika lastvärden används för olika delar av golvplattan. I Figur 3.5 illustreras några schematiska exempel på olika situationer för ett fall där zongränsens bredd $r \geq 5,0$ m och som kort kommenteras nedan:

- **Allmänt:** Här utgås från en situation där skyddsrummet är grundlagt på berg och/eller morän. Berg motsvarar grundtyp 1 $\rightarrow \beta = 0,0$ och morän grundtyp 2 $\rightarrow \beta = 0,2$.
- **Figur 3.5a:** Skyddsrum är grundlagd på morän som sträcker sig till minst 5,0 m djup och 5,0 m åt sidorna räknat från skyddsrummet. Ett konstant värde $\beta = 0,2$ används därför över hela golvets längd.
- **Figur 3.5b:** En situation motsvarande Figur 3.5a men med en kulvert placerad under skyddsrummet på ett djup mindre än 5,0 m. Inom sträckan 5,0 m åt sidorna dubblas värdet på β , vilket ger att yttersta vänstra delen har $\beta = 0,2$ medan resterande del får $\beta = 2 \cdot 0,2 = 0,4$.
- **Figur 3.5c:** Skyddsrum är grundlagd på både berg och morän. Den mest ogynnsamma grundtypen ska antas, varför $\beta = 0,2$ inom 5,0 m från moränen och $\beta = 0,0$ för resterande del.
- **Figur 3.5d:** Skyddsrum är enbart grundlagd på berg men med morän inom 5,0 m i sidled. Den mest ogynnsamma grundtypen ska antas, varför $\beta = 0,2$ inom 5,0 m från moränen och $\beta = 0,0$ för resterande del.



Figur 3.5 Schematisk illustration för bestämning av lastfaktor β vid bestämning av reducerad vapenlast mot golv när skyddsrum är grundlagt på (a) morän, (b) morän med en grunt liggande kulvert (c) berg och morän, (d) berg men med morän inom 5,0 m från skyddsrum. Berg motsvarar grundtyp 1 och morän grundtyp 2.

3.4 Raslast

3.4.1 Grundvärde

För att beräkna raslasten enligt avsnitt 2.2.1 behöver avståndet h_t , mellan ovanliggande byggnads tyngdpunkt och ovankant skyddsrumstak, samt total rasmassa m_b beräknas. Byggnaden har $n = 5$ våningar, vardera med en våningshöjd på $h_{vån} = 3,2$ m. Total byggnadshöjd ovanför skyddsrummet uppgår därmed till

$$h_n = n \cdot h_{vån} = 5 \cdot 3,2 = 16,0 \text{ m} \quad (11)$$

varvid byggnadens tyngdpunkt ovan skyddsrum förenklat kan beräknas som

$$h_t = \frac{h_n}{2} = \frac{16,0}{2} = 8,0 \text{ m} \quad (12)$$

I Tabell 3.1 visas en sammanställning av aktuella laster för beräkning av total rasmassa, vilken uppgår till $m_b = 38,3 \text{ kN/m}^2$. Detta motsvarar en rasmassa/volymenhet på

$$m'_b = \frac{m_b}{h_n} = \frac{38,3}{16,0} = 2,4 \text{ kN/m}^3 \quad (13)$$

vilket kan jämföras med det värde på $m'_b = 3,0 \text{ kN/m}^2$ som används för att beräkna maximal raslast q_{max} i ekvation (7).

Insatt i ekvation (5) kan raslasten från ovanliggande byggnad nu beräknas som

$$q_{b,1} = (0,7 \cdot \sqrt{h_t} + 1) \cdot m_b = (0,7 \cdot \sqrt{8,0} + 1) \cdot 38,3 = 114 \text{ kN/m}^2 \quad (14)$$

En kontroll görs även mot maximalt värde enligt ekvation (7), vilket ger

$$q_{max} = 1,5 \cdot \sqrt{h_n^3} + 3,0 \cdot h_n = 1,5 \cdot \sqrt{16,0^3} + 3,0 \cdot 16,0 = 144 \text{ kN/m}^2 \quad (15)$$

Raslasten q_b från ovanliggande byggnad fås enligt ekvation (3) som

$$q_b = \min(q_{b,1}, q_{max}) = \dots = 114 \text{ kN/m}^2 \quad (16)$$

varvid raslasten slutligen kan bestämmas via ekvation (2) till

$$q_{ras} = \max(q_b, \eta_n \cdot q_n, 50 \text{ kN/m}^2) = \dots = 114 \text{ kN/m}^2 \quad (17)$$

Tabell 3.1 Sammanställning av laster för beräkning av total rasmassa m_b .

Typ av last	Beskrivning	Beteckning	q_k [kN/m ²]	ψ [-]	q_d [kN/m ²]	n [st]	$n \cdot q_d$ [kN/m ²]
Permanent	Bjälklag och tak	g_b	5,0	1,0	5,0	5	25,0
Permanent	Installation med mera	g_{in}	0,5	1,0	0,5	5	2,5
Permanent	Innervägg	$g_{v,i}$	0,5	1,0	0,5	5 ²	2,5
Permanent	Yttervägg ¹⁾	$g_{v,y}$	0,9	1,0	0,9	5	4,5
Variabel	Nyttig last, en våning	$q_{n,1}$	2,0	0,5	1,0	1	1,0
Variabel	Nyttig last, övriga vån	$q_{n,2}$	2,0	0,3	0,6	4 ²⁾	2,4
Variabel	Snö	q_s	2,0	0,2	0,4	1	0,4
Total	Rasmassa	m_b					38,3

¹⁾ $g_{v,y} = (g_{fasad} \cdot A_{fasad}) / (A_S + A_V)$. Med en tunghet på 2,5 kPa hos fasad och en längd $l_{fasad} = l_I + 2 \cdot t_{v,y}$ fås att $g_{v,y} \approx 0,9$ kPa och 0,7 kPa för skyddsrum A respektive B. Här används dock för enkelhetens skull det maximala värdet, $g_{v,y} = 0,9$ kPa, för båda skyddsrummen.

²⁾ Det kan argumenteras för att last av innervägg och nyttig last på våningen direkt ovan skyddsrum inte ska medräknas i rasmassan m_b utan i stället beaktas i en lastkombinering. Resultatet av ett sådant synsätt blir att den dimensionerande lasten med hänsyn till raslast minskar något. I och med att förenklad metod $h_t = h_n / 2$ resulterar i en underskattning av rasmassans tyngdpunkt har det här bedömts vara rimligt att använda ett något mer konservativt synsätt för beräkning av m_b . Skillnaden blir liten.

3.4.2 Detaljerad beräkning av rasmassornas tyngdpunkt h_t

I beräkning av raslast i avsnitt 3.4.1 har $h_t = h_n / 2 = 8,0$ m använts, se ekvation (12). Detta uttryck ger ett approximativt läge på tyngdpunktens placering i ovanliggande byggnad som godtas i SR. Det är dock även möjligt att bestämma tyngdpunktens placering mer noggrant genom att beakta massbidrag och dess läge för respektive del enligt följande uttryck:

$$h_t = \frac{\sum_i (q_i \cdot z_i)}{\sum_i q_i} \quad (18)$$

Här är q_i och z_i rasmassa respektive läge ovanför skyddsrumstak för del i . Med utgångspunkt från Tabell 3.1 kan tyngdpunktens läge för olika lastdelar beräknas via antaganden enligt nedan:

- Bjälklaget är 0,3 m tjockt och dess tyngdpunkt är placerad $3,2 - 0,3/2 = 3,05$ m ovan överkant hos underliggande bjälklag. Tyngdpunkten för samtliga bjälklag fås då som

$$z_b = \frac{5,0 \cdot (3,05 + 6,25 + 9,45 + 12,65 + 15,85)}{5 \cdot 5,0} = 9,45 \text{ m} \quad (19)$$

- Tyngdpunkt för installationen är placerad 0,2 m under underkant bjälklag, vilket ger en placering $3,2-0,3-0,2 = 2,7$ m ovan överkant hos underliggande bjälklag. Tyngdpunkten för samtliga installationer fås då som

$$z_{in} = \frac{0,5 \cdot (2,7 + 5,9 + 9,1 + 12,3 + 15,5)}{5 \cdot 0,5} = 9,1 \text{ m} \quad (20)$$

- Tyngdpunkt för innerväggar är placerade $(3,2-0,3) / 2 = 1,45$ m ovan 0,1 m under underkant bjälklag. Tyngdpunkten för samtliga installationer fås då som

$$z_{v,i} = \frac{0,5 \cdot (1,45 + 4,65 + 7,85 + 11,05 + 14,25)}{5 \cdot 0,5} = 7,85 \text{ m} \quad (21)$$

- Tyngdpunkt för ytterväggar är placerade på halva byggnadshöjden

$$z_{v,y} = \frac{5 \cdot 3,2}{2} = 8,0 \text{ m} \quad (22)$$

- Nyttig last antas ha sin tyngdpunkt 1,0 m ovan överkant bjälklag. Tyngdpunkten för den sammanlagda nyttiga lasten fås då som

$$z_n = \frac{1,0 \cdot 1,0 + 0,6 \cdot (4,2 + 7,4 + 10,6 + 13,8)}{1 \cdot 1,0 + 4 \cdot 0,6} = 6,65 \text{ m} \quad (23)$$

- Snö antas ha sin tyngdpunkt 0,5 m ovan överkant översta bjälklaget.

$$z_s = 5 \cdot 3,2 + 0,5 = 16,5 \text{ m} \quad (24)$$

Med dessa placeringar av tyngdpunkten och lastvärden enligt Tabell 3.1 kan slutligen rasmassornas läge beräknas enligt ekvation (18) som

$$h_t = \frac{25,0 \cdot 9,45 + 2,5 \cdot 9,1 + 2,5 \cdot 7,85 + 4,5 \cdot 8,0 + (1,0 + 2,4) \cdot 6,65 + 0,4 \cdot 16,5}{25,0 + 2,5 + 2,5 + 4,5 + (1,0 + 2,4) + 0,4} = 9,0 \text{ m} \quad (25)$$

Av denna beräkning framgår att rasmassornas tyngdpunkt är placerad 9,0 m ovanför skyddsrummets tak, vilket motsvarar en kvot $9,0 / 16,0 = 0,56$ av total byggnadshöjd h_n . Detta värde kan jämföras med den kvot 0,50 som enligt ekvation (12) ger $h_t = 8,0$ m. För här studerat fall underskattar således det approximativa uttrycket tyngdpunktens läge. Det godtas dock fortfarande att använda det förenklade uttrycket för att bestämma h_t , varför någon justering inte görs av här utförda beräkningar.

3.4.3 Reducerad raslast av kupolverkan

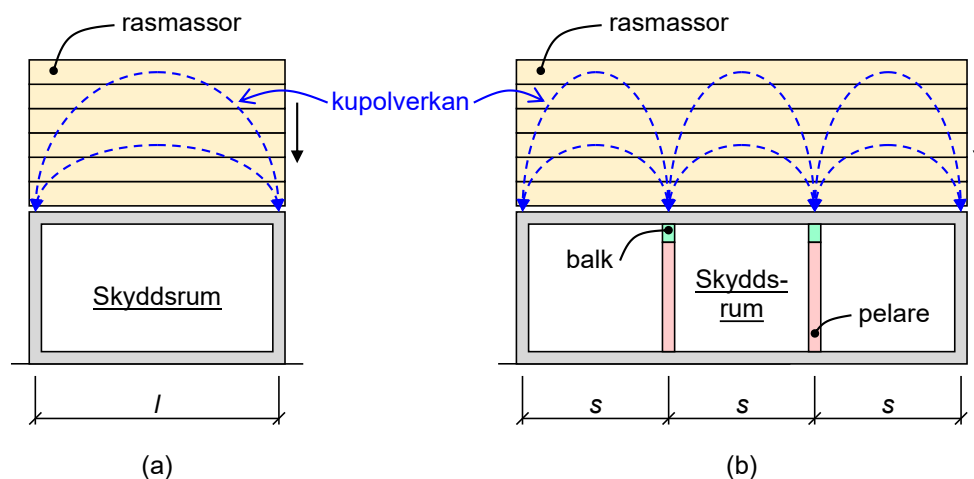
Raslasten kan reduceras med hänsyn till gynnsam inverkan av kupolverkan enligt anvisningar i avsnitt 2.3.2, se Figur 3.6 för en schematisk illustration av kupolverkan i rasmassorna som verkar mot skyddsrummet. Lastreduktionens storlek beror på förhållandet mellan takplattans minsta spännvidd b och byggnadshöjd h ovan skyddsrumstak enligt ekvation (9).

I Figur 3.7a visas takplattans spännvidder för studerade skyddsrum när någon justering med hänsyn till inre bärande delar (innerväggar eller balkar/pelare) inte har gjorts. För att minska takplattans spännvidd, och därmed möjliggöra en ytterligare reduktion av raslasten, visas i Figur 3.7b motsvarande situation när bärande innerväggar har placerats i skyddsrummet. Det ska noteras att det enbart är lasten mot själva takplattan som reduceras på det här sättet – lasten som verkar mot skyddsrummets ytter- och innerväggar utgörs av den oreducerade raslasten $q_{ras} = 114 \text{ kN/m}^2$.

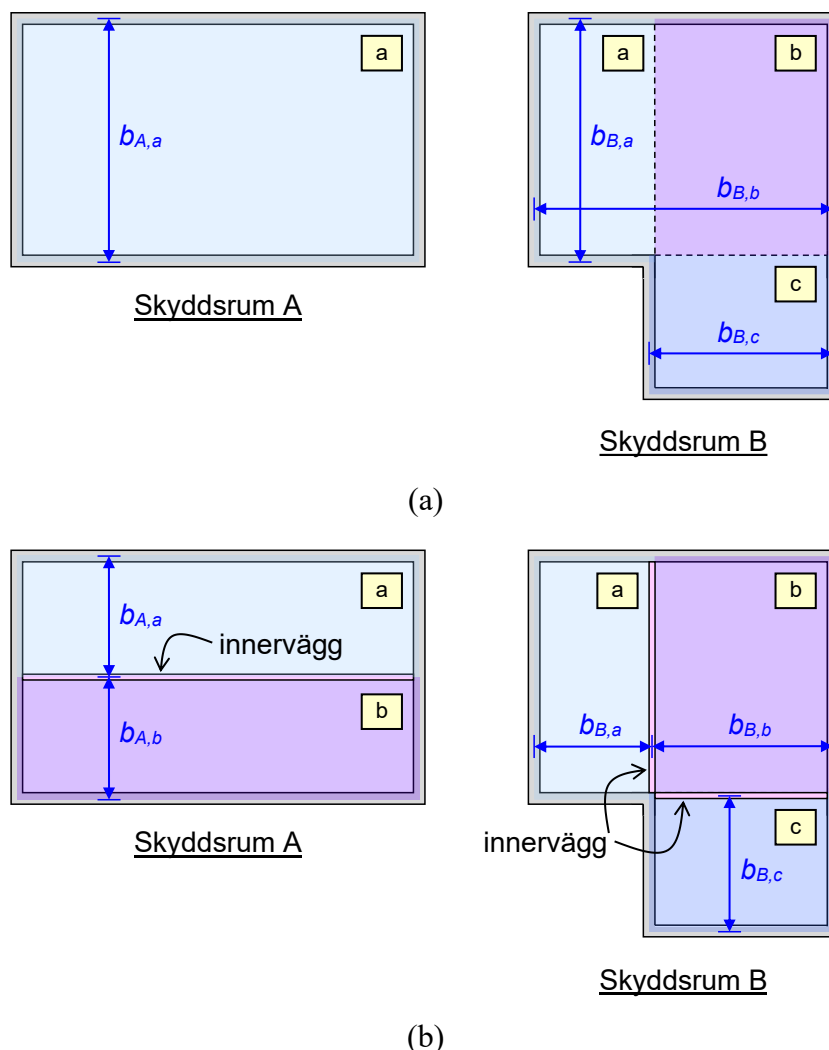
Vid beräkning av skyddsrummets storlek i D01-102 finns det utrymme för en övrig area, som upptas av exempelvis innerväggar, på $A_{övr,A} = 108,0 - 105,5 = 2,5 \text{ m}^2$ i skyddsrum A och $A_{övr,B} = 108,2 - 105,5 = 2,7 \text{ m}^2$ i skyddsrum B. Vid val av innerväggarnas storlek behöver detta därför beaktas:

- Skyddsrum A: $l_{v,i} = l_{A,1} = 13,5 \text{ m} \rightarrow t_{v,i} \leq 2,5 / 13,5 = 0,185 \text{ m}$
- Skyddsrum B: $l_{v,i} = l_{B,2} + l_{B,3} = 8,0 + 6,0 = 14,0 \text{ m} \rightarrow t_{v,i} \leq 2,7 / 14,0 = 0,192 \text{ m}$

För fortsatta beräkningar används en innervägg med tjocklek $t_{v,i} = 0,16 \text{ m}$ för både skyddsrum A och B. Denna tjocklek uppfyller även de krav som ställs i SR på en minsta väggjocklek om $0,15 \text{ m}$ för innerväggar.



Figur 3.6 Schematisk illustration av kupolverkan mellan bärande enheter när dessa utgörs av (a) skyddsrummets bärande ytterväggar och (b) balkar/pelare och bärande ytterväggar.



Figur 3.7 Spännvidder för kupolverkan vid situation (a) utan bärande innerväggar, (b) med bärande innerväggar.

Gränsen för när en reducerad raslast kan tillgodoräknas, dvs. $\alpha_{ras} < 1,0$, erhålls via ekvation (9) när

$$b < \frac{h_n}{3} = \frac{16,0}{3} = 5,33 \text{ m} \quad (26)$$

För skyddsrum utan bärande innerväggar enligt Figur 3.7a fås följande spännvidder:

- Skyddsrum A: $b_{A,a} = 8,35 \text{ m}$
- Skyddsrum B: $b_{B,a} = 8,35 \text{ m}$, $b_{B,b} = 13,85 \text{ m}$, $b_{B,c} = 6,35 \text{ m}$

Samtliga dessa är längre än $b = 5,33 \text{ m}$, vilket innebär att det inte erhålls någon reduktion av raslasten för dessa fall. I skyddsrum med bärande innerväggar enligt Figur 3.7b fås dock en reducerad raslast enligt Tabell 3.2. I skyddsrum A har innerväggen placerats i rummets mitt varför $b_{A,a} = b_{A,b}$. I skyddsrum B placeras dock innerväggar i linje med insida yttervägg, vilket medför att en skillnad erhålls mellan spännvidderna $b_{B,a}$ till $b_{B,c}$. Placering av innervägg mellan utrymme b och c medför även att den kortaste spännvidden ändrar riktning jämför med fall utan innervägg enligt Figur 3.7a.

Tabell 3.2 Sammanställning av spännvidd och reducerad raslast för skyddsrum när bärande innerväggar används enligt Figur 3.7b och raslasten $q_{ras} = 114 \text{ kN/m}^2$.

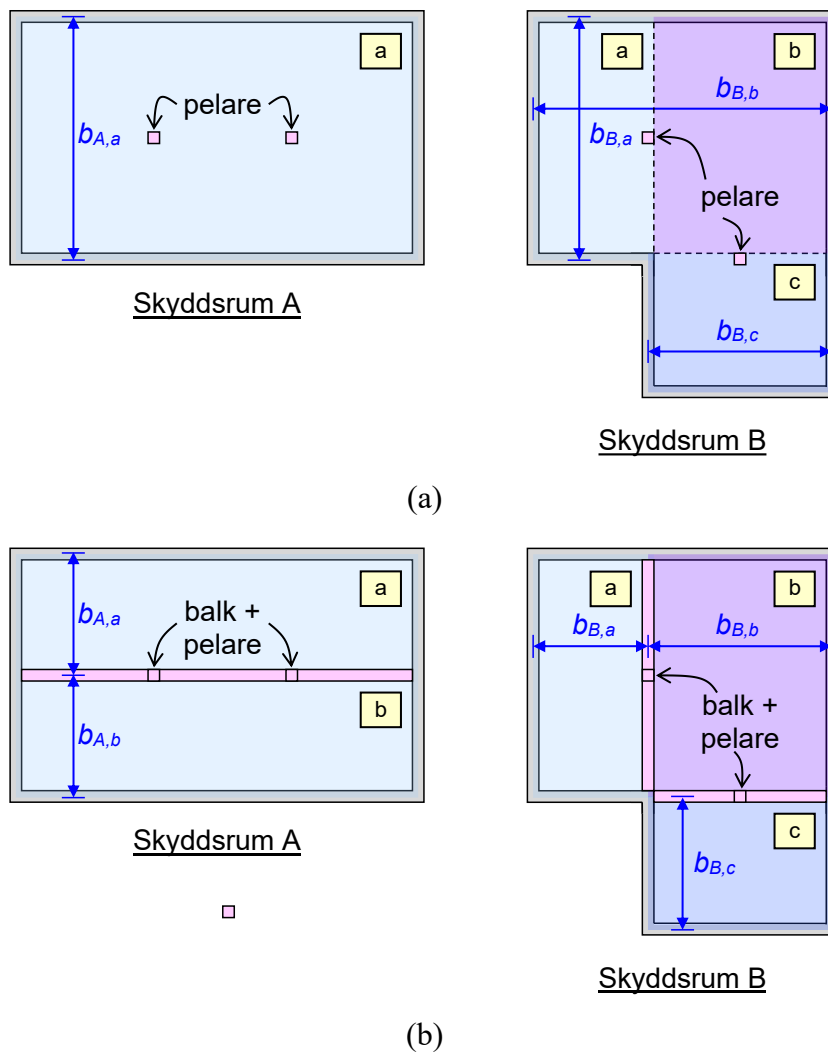
Skyddsrum	Del	l_{fri} [m]	t_1 [m]	t_2 [m]	b [m]	h_n [m]	q_{ras} [-]	$q_{r,red}$ [kPa]
A	a	3,92	0,35	0,16	4,18	16,0	0,78	89
	b	3,92	0,35	0,16	4,18	16,0	0,78	89
B	a	3,84	0,35	0,16	4,10	16,0	0,77	88
	b	6,00	0,35	0,16	6,26	16,0	1,00	114
	c	4,54	0,35	0,16	4,80	16,0	0,90	103

l_{fri} = fri längd mellan takplattans upplag, t_1 och t_2 = väggjocklekar, b = takplattans spännvidd, h_n = byggnadshöjd ovan skyddsrumstak, α_{ras} = reduktionsfaktor enligt ekvation (9), $q_{r,red}$ = reducerad raslast mot tak enligt ekvation (8).

3.4.4 Pelardäck samt kombination med pelare och balkar

Som alternativ till bärande innerväggar kan även pelare användas för att reducera aktuella spännvidder i takplattan vid beräkning av resulterande moment och snittkrafter. Det är dock inte tillräckligt att utforma takplattan som ett pelardäck för att kunna nyttja gynnsam inverkan av kupolverkan. För detta krävs i stället att pelarna kombineras med balkar så att något som motsvarar ett "linjeupplag" erhålls mellan pelarna, se schematisk illustration i Figur 3.8:

- **Pelardäck:** I Figur 3.8a fås en reducerad raslast $q_{r,red}$ baserad på spännvidder som mäter mellan skyddsrummets ytterväggar. Last mot takplatta och pelare beräknas med reducerad raslast $q_{r,red}$ medan last mot väggar beräknas för raslast q_{ras} . För här aktuell geometri fås dock att $b > 5,33 \text{ m}$ för samtliga fall, vilket innebär att $\alpha_{ras} = 1,0$ och därmed att $q_{r,red} = q_{ras} = 114 \text{ kN/m}^2$.
- **Pelare och balkar:** I Figur 3.8b fås en reducerad raslast $q_{r,red}$ baserad på spännvidder som mäter mellan skyddsrummets ytterväggar och balkar/pelare. Last mot takplatta beräknas med reducerad raslast $q_{r,red}$ medan last mot väggar och balk/pelare beräknas för raslast q_{ras} .



Figur 3.8 Spännvidder för kupolverkan vid situation (a) med pelare men utan balk (pelardäck), (b) med en kombination av balk och pelare.

4 Revideringslista

Datum	Avsnitt	Revidering
2025-12-15	D02-103	Första version