

24.3.2015

Skärmningsberäkning vid strålbehandling - räkneexempel

Allmänt

I planeringen av nya utrymmen är det bra att tänka på att utrymmena ofta används under tiotals år medan apparaterna byts ut så gott som vart tionde år. Det är bra att i början dimensionera skärmarna så att de är lite tjockare eller åtminstone avsätta utrymme för att kunna öka skärmningen i efterhand. En del av skärmningen kan vara lätt att demontera då maskinen byts ut. Utrymmen intill strålbehandlingsrum kan med fördel disponeras för service- och förrådssyften. Strålsäkerhetscentralen ger vid behov ytterligare upplysningar.

I det övervakade området får dosen som strålningsverksamheten medför inte överstiga värdet 120 μSv per vecka och på andra områden får dosen inte överstiga värdet 6 μSv per vecka. Dessutom får den momentana dosraten inte överstiga värdet 20 $\mu\text{Sv/h}$ på platser där man kontinuerligt vistas eller arbetar. Beräkningarna görs med strålbehandlingsapparatens största accelerationsenergi och fältstorleksvärde om det inte finns en grundad anledning att avvika från dessa. Dosraten väljs i regel på basis av det största värdet som kommer att användas. Om apparatens driftsbelastning inte är känd på förhand används minst värdet 800 Gy/vecka.

Vistelsefaktorn (T) beaktar utrymmets användningsgrad. Om människor vistas i utrymmet samtidigt som strålbehandlingsapparaten används, ges vistelsefaktorn värdet $T = 1$. I andra fall kan T få ett lägre värde. I arbetsutrymmen (till exempel manövreringsrum, kontor, laboratorium), väntrum och patientrum används vistelsefaktor $T = 1$. I inomhus- och utomhusutrymmen där människor inte kontinuerligt vistas (till exempel toalett, korridor, gata, förråd), får faktorn minst värdet 0,1. Om en korridor används ständigt, är det skäl att ge vistelsefaktorn värdet $T = 1$.

Riktningfaktorn (U) beaktar att maskinens strålfält inte alltid riktas åt ett och samma håll. I apparater för isocentrisk behandling är det bra att ge faktorn värdet $U = 1$ neråt och minst värdet $U = 0,25$ i alla andra möjliga riktningar. Om apparaten avses i mycket stor omfattning användas i en viss riktning, som till exempel vid helkroppsbehandlingar, är det skäl att ge riktningfaktorn för denna riktning värdet $U = 1$.

Dos i primärstrålfältet bakom skärmen

Transmissionsfaktorn B för primärstrålning hos den skärm som behövs för primärstrålfältet är

$$B = \frac{D_{\max} \cdot r^2}{D_I \cdot U \cdot T \cdot r_0^2}, \quad (1)$$

där D_{\max} är planeringsvärdet (120 μSv eller 6 μSv per vecka). Kontrollpunktens avstånd till strålkällan (acceleratorns target) är r . Avståndet mellan target och isocenter är r_0 . D_I är den planerade driftsbelastningen per

24.3.2015

vecka (maximidosis i vatten i isocenter). U är riktningsfaktorn och T är vistelsefaktorn.

Om människor kontinuerligt vistas eller arbetar i kontrollpunkten, ska man dessutom kontrollera huruvida den ovan beräknade dämpningen räcker också momentant. Den momentana dosraten \dot{D} kan beräknas med formeln

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_0 \cdot B \cdot r_0^2}{r^2}, \quad (2).$$

där \dot{D}_0 är strålbehandlingsapparatens dosrat i isocenter och de övriga markeringarna som ovan. Här används inte riktnings- och vistelsefaktorn.

Om skärmningen som uppskattats på basis av veckodosen inte är tillräcklig för att begränsa den momentana dosraten, räknas den transmissionsfaktor som behövs enligt den momentana dosraten (formel 2).

Antalet tiondelsskikt (TVL, se tabell 1.) som behövs för skärmar n är

$$n = \log_{10}(1/B). \quad (3)$$

Nödvändig tjocklek på skärmen s beräknas med formeln

$$s = TVL_1 + (n - 1) \cdot TVL_e. \quad (4)$$

TVL_1 avser det första tiondelsskiktet och TVL_e avser tiondelsskikt som kommer efter detta. Värdet för TVL väljs enligt använda material och strålningsenergi i tabell 1.

Maximienergi [MeV]	Bly		Betong		Stål		Grus	
	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e
2	35	40	220	200	75	70	-	340
4	50	55	290	290	90	90	-	490
6	55	55	350	350	100	100	-	570
8	55	55	380	380	105	105	-	630
10	55	55	410	400	105	105	-	650
12	55	55	440	420	105	105	-	690
15	55	55	470	440	110	110	-	720
20	55	55	490	450	110	110	-	730
25	55	55	510	460	110	110	-	750

TABELL 1. Tiondelsskikt för primärstrålning [mm].

24.3.2015

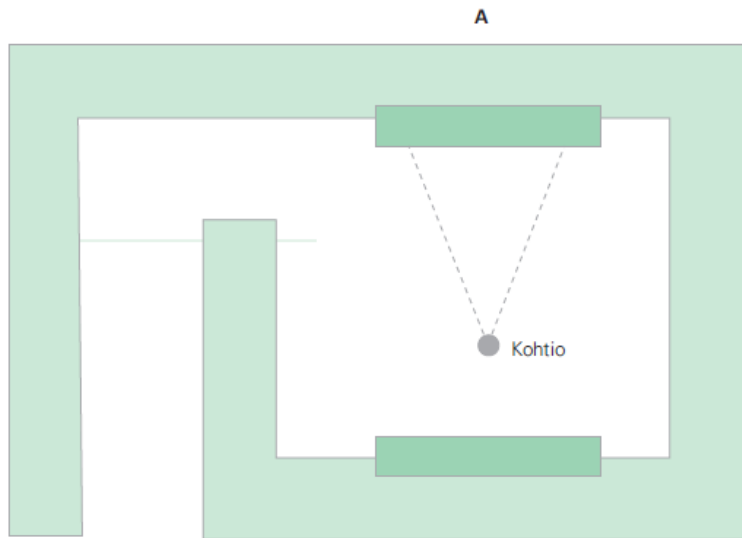


Bild 1. Ett vanligt strålbekämpningsrum.

Exempel 1. Dimensionering av skärmar för primärstrålning

Vid skyddande av ett oövervakat område utanför byggnaden, punkt A på bild 1, beräknas behovet av extraskärmning av stål. Antaganden: Apparats doshastighet i isocenter 4 Gy/min. Planerad driftbelastning 875 Gy/vecka, varav cirka 500 Gy med den största accelerationsenergin 15 MeV. Avståndet från punkt A till target är 5,5 m. Tillåten veckodos i området är 6 μ Sv. Vistelsefaktorn T är 0,1 och riktningsfaktorn U är 0,25. I väggen finns ursprungligen 13 cm stål och 100 cm betong. Som beräkningsgrund används alltid den största energin. Då får transmissionsfaktorn enligt formel (1) vara högst

$$B = \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{Sv} \cdot (5,5\text{m})^2}{875 \text{Sv} \cdot 0,25 \cdot 0,1 \cdot (1\text{m})^2} = 8,3 \cdot 10^{-6}$$

varvid antalet tiondelsskikt som behövs är $n = \log_{10}(1/B) = 5,08 \text{ TVL}$.

Eftersom stålet är först i strålens inkomstriktning och dess TVL_1 och TVL_e är desamma, fås antalet tiondelsskikt i stålskiktet n_t direkt genom att dividera stålets tjocklek med dess TVL-värde, alltså $n_t = 13 \text{ cm} / 11 \text{ cm} = 1,182$. Eftersom betongen kommer efter stålet fås antalet tiondelsskikt i betongen n_b genom att dividera betongens tjocklek med dess TVL_e -värde, alltså $n_b = 100 \text{ cm} / 44 \text{ cm} = 2,273$. Sammanlagt är antalet tiondelsskikt alltså $n_t + n_b$, det vill säga 3,45. Av det önskade 5,08 TVL saknas cirka 1,6 TVL som fås med 18 cm extra stål.

Om människor vistas i området kontinuerligt är en extraskärmning som planerats enligt formeln ovan inte tillräcklig, eftersom den momentana dosraten i punkt A är

$$\dot{D} = \frac{4 \text{Sv/min} \cdot B \cdot (1\text{m})^2}{(5,5\text{m})^2} = 1,1 \mu\text{Sv/min} = \frac{66 \mu\text{Sv}}{h}$$

24.3.2015

vilket överskrider gränsvärdet 20 µSv/h. För att minska dosraten måste stålets tjocklek därför ökas ytterligare med cirka ett halvt tiondelsskikt, alltså är den nödvändiga extra ståltjockleken sammanlagt 24 cm i stället för det tidigare beräknade 18 cm.

Dos i sekundärstrålfältet bakom skärmen

Sekundärstrålning uppstår när primärknippet träffar patienten eller behandlingsrummets väggar. Dessutom ska behandlingsapparatsens läckstrålning som sprids åt alla håll beaktas. Vid dimensionering av skärmar är andelen av spridd strålning med över tio megaelektronvolts accelerationsenergi oftast obetydlig jämfört med läckstrålningen. Effekten av den spridda strålningen måste dock beaktas i planeringen av passage. I tabell 2 presenteras spridningsfaktorer och i tabell 3 tiondelsskikt för sekundärstrålning.

Spridningsvinkel	6 MV	10 MV
30	0,007	0,003
45	0,0018	0,001
60	0,0011	0,0005
90	0,0006	0,0003
135	0,0004	0,0002

Tabell 2. Spridningsfaktorer. Spridningsfaktorerna som presenteras i tabellen anger förhållandet mellan dosen till följd av spridd strålning och fältdosen då fältstorleken på ytan av det spridande objektet är 400 cm² och mätning görs på en meters avstånd från objektet.

Hos accelerators kan target anses vara den största källan för läckstrålning. Om behandlingsapparatsens tillverkare inte har angett ett mer exakt värde, används vid dimensionering av skärmar 0,5 procent av dosraten vid isocenter som läckstrålningsmängd. Idag är dock läckstrålningen från en accelerator av hög kvalitet rentav under 0,05 procent av dosraten vid isocenter och därför är det bra att kontrollera apparatspecifikationen innan skärningsberäkning så att skärmarna inte överdimensioneras i onödan. Den transmissionsfaktor som behövs beräknas på samma sätt som för primärstrålning, dock korrigerad till mängden läckstrålning ($0,005 \cdot D_l$ i formel 5)

$$B = \frac{D_{max} \cdot r^2}{D_l \cdot 0,005 \cdot T \cdot r_0^2} \quad (5)$$

Dessutom ska den spridda strålningen beaktas om den största accelerationsenergin är under tio megaelektronvolt.

24.3.2015

Maximienergi [MeV]	Bly		Betong		Stål		Grus	
	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e
2	35	40	220	200	75	70	-	340
4	50	55	290	290	90	90	-	490
6	55	55	350	350	100	100	-	570
8	55	55	380	380	105	105	-	630
10	55	55	410	400	105	105	-	650
12	55	55	440	420	105	105	-	690
15	55	55	470	440	110	110	-	720
20	55	55	490	450	110	110	-	730
25	55	55	510	460	110	110	-	750

Tabell 3. Tiondelsskikt för sekundärstrålning [mm].

Transmissionsfaktorn B_s hos den skärm som behövs för spridd strålning beräknas med formeln

$$B_s = \frac{D_{max} \cdot r_1^2 \cdot r_2^2}{D_I(a/0,04) \cdot A \cdot T \cdot r_0^2} \quad (6)$$

Strålkällans avstånd till det spridande objektet är r_1 och det spridande objektets avstånd till kontrollpunkten är r_2 . Spridningsfaktor a (från tabell 2) väljs på basis av spridningsvinkeln och energin. A är det område på ytan av det spridande objektet som primärstrålningen träffar. Faktorn 0,04 i formeln kommer från att spridningsfaktorn gavs till ett fält med storleken 0,04 m². Dessutom ska man kontrollera huruvida den ovan beräknade dämpningen räcker också momentant.

Förutom i dimensioneringen av ovan presenterade skärm kan samma formler också användas för uppskattning av till exempel doser till en person som oavsiktligt utsatts för strålning i behandlingsrummet.

Exempel 2. Uppskattning av en persons dos vid olycka

Servicemannen höll på att reparera ett eluttag i hörnet av behandlingsrummet. Personen som startade apparaten märkte inte servicemannen då denne kontrollerade att rummet var tomt. Servicemannen var på cirka tre meters avstånd från en sex megaelektronvolts strålknippe med storleken 20 cm x 20 cm på en fantom på en meters avstånd. Gantryvinkeln var 0 grader (strålknippe rakt neråt). Dosraten för behandlingsapparatsens läckstrålning är 0,1 procent av dosraten vid isocenter. Servicemannen hann trycka på nödbrytaren efter tio monitorenheter (vilket motsvarade dosen $D_0 = 0,1$ Gy i isocentrer). Uppskatta den effektiva dosen som servicemannen fick. Här kan värdet 1 Sv/Gy användas som omvandlingskoefficient från absorberad dos till effektiv dos.

Dosen som fåtts från behandlingsapparatsens läckstrålning är

$$D_v = \frac{D_0 \cdot r_0^2 \cdot 0,001}{r^2} = \frac{0,1 \text{ Gy} \cdot (1 \text{ m})^2 \cdot 0,001}{(3 \text{ m})^2} \approx 11 \mu \text{ Sv}.$$

24.3.2015

Spridningsfaktorn fås från tabell 2, varvid servicemannens dos till följd av den spridda strålningen (i 90 graders vinkel i förhållande till kägeln) kan uppskattas till

$$D_s = \frac{D_0 \cdot r_0^2 \cdot (a/0,04) \cdot A}{r_1^2 \cdot r_2^2} = \frac{0,1Gy \cdot (1m)^2 \cdot (0,0006/0,04) \cdot 0,04m^2}{(1m)^2 (3m)^2} \approx 7\mu Sv .$$

Doserna räknas samman och som effektiv dos för servicemannen fås då cirka 18 μ Sv. Även om dosen klart underskrider registreringsgränsen ska den avvikande händelsen ändå anmälas skriftligt till Strålsäkerhetscentralen.