

**PROJEKT TECHNICZNY
W ZAKRESIE OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
bunkra przeznaczonego do instalacji akceleratora
wysokoenergetycznego
(obliczenia osłon biologicznych)**

**Świątokrzyskie Centrum Onkologii w Kielcach
ul. Artwińskiego 3
Dz. nr 931/10, obręb 0015
25-734 Kielce**

Autor:
mgr inż. Jan Kopeć

Warszawa, grudzień 2017r.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

SPIS TREŚCI

	Strona
I. CZĘŚĆ WSTĘPNA	4
A - Przedmiot opracowania	4
B - Podstawa opracowania	4
C - Przepisy prawne	5
D - Zakres opracowania	6
II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA	7
1. Opis lokalizacji bunka z uwzględnieniem pomieszczeń sąsiednich	7
2. Parametry techniczne urządzenia	7
3. Ustawienie aparatu	8
4. Uruchomienie i eksploatacja	9
5. Założenia do projektu istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej	9
5.1 Przyjęte do obliczeń dawki promieniowania dla osób przebywających w pobliżu	9
5.2 Ocena zagrożenia pracowników	10
5.3 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu	11
5.4 Parametry eksploatacji	11
5.4.1 Energia i moc dawki	11
5.4.2 Obciążenie	11
5.4.3 Współczynniki skierowania wiązki i czasu przebywania	12
5.5 Dawka miejscowa	12
5.6 Kierunki padania promieniowania jonizującego	12
5.7 Materiały stosowane na osłony	13
5.8 Tereny nadzorowane	13
6. Obliczenia	13
6.1 Wzory stosowane do obliczeń	13
6.2 Obliczenia sprawdzające osłon biologicznych dla komory Akceleratora – rys. 1, 2, 3, 4, 5	19
6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń	19
6.2.2 Ogólny układ komory	19
6.2.3 Założenia przyjęte do obliczeń na podstawie danych użytkownika i normy DIN 6847-2:2014	20
6.2.4 Wyniki obliczeń osłon biologicznych dla komory akceleratora	41
7. Wymagania branżowe	44

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

7.1	Opis osłon (ściany, sufit, drzwi ochronne przepusty instalacyjne,)	44
7.2	Wentylacja	44
7.3	Opis instalacji wodno-kanalizacyjnej	44
7.4	Opis instalacji elektrycznej	45
7.5	Opis systemu ochrony przeciw - pożarowej	45
7.6	Wyposażenie bunkra dla potrzeb ochrony radiologicznej	45
7.7	Bezpieczna eksploatacja	46
7.8	System sygnalizacyjno - ostrzegawczy	46

I. CZĘŚĆ WSTĘPNA

A - Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej obliczenia grubości osłon dla projektowanego bunkra w ramach rozbudowy Kliniki Radioterapii Świętokrzyskiego Centrum Onkologii w Kielcach, mieszczącym się przy ulicy Artwińskiego 3.

W bunkerze będzie prowadzona teleradioterapia z zastosowaniem akceleratora wysokoenergetycznego.

W obliczeniach uwzględniono maksymalne parametry wiązki promieniowania i dane instalacyjne akceleratorów wysokoenergetycznych firm Elekta i Varian Medical Systems.

Plan zagospodarowania terenu przedstawia załącznik nr 1.

Rzut bunkra, z usytuowaniem urządzenia przedstawiają rysunki odpowiednio nr 1, 2, 3, 4 i 5.

Celem opracowania jest obliczenie grubości osłon stałych projektowanego bunkra.

B - Podstawa opracowania

Podstawą opracowania są:

- Rysunki architektoniczne rozbudowy Kliniki Radioterapii Świętokrzyskiego Centrum Onkologii w Kielcach otrzymane od projektanta, GPVT Pracownia Architektoniczna s.c. ul. Pamiątkowa 2/37, 61-512 Poznań, w zakresie dotyczącym opracowania.
- przetarg Nr: AZP 241-61/17 pn. „Opracowanie projektu budynku radioterapii z bunkrem dla akceleratora w ramach rozbudowy Kliniki Radioterapii Świętokrzyskiego Centrum Onkologii w Kielcach.” – Załącznik Nr 3B do SIWZ.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

- Dane Użytkownika dotyczące obciążenia roboczego akceleratora z punktu widzenia ochrony radiologicznej – Załącznik nr 2.
- Założenia instalacyjne dla akceleratorów wysokoenergetycznych firm Elekta i Varian Medical Systems.

C - Przepisy prawne i normy

- Ustawa Prawo Atomowe z dn. 29 listopada 2000r. – (Dz. U. z 2014 r. poz. 1512, wersja ujednolicona).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18.01.2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20. poz. 168).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 12 lipca 2006r w sprawie szczegółowych warunków pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 140. poz. 994).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych (Dz. U. z 2007r. Nr 131 poz.910).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2015 roku w sprawie dokumentów wymaganych przy składaniu wniosku o wydanie zezwolenia na wykonywanie działalności związanej z narażeniem na działanie promieniowania jonizującego albo przy zgłoszeniu wykonywania tej działalności (Dz. U. 2015 poz. 1355).
- Norma DIN Medical electron accelerators – Part 2: Rules for construction of structural radiation protection, EN translation of DIN 6847-2:2014-03.
- Norma PN-86/J-80001 – Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i Gamma, obliczanie osłon stałych.
- NCRP Report No. 151, Structural Shielding Design and Evaluation from Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities (2005).

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

- P.H. McGinley – Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities, 2nd Edition, Medical Physics Publishing (2002).
- Gostkowska B. – Wielkości, jednostki i obliczenia stosowane w ochronie radiologicznej (CLOR 1991).

D - Zakres opracowania

Zakres opracowania dotyczy bunkra wysokoenergetycznego, w którym zostanie zainstalowany akcelerator wysokoenergetyczny i jest zgodny ze spisem treści opracowania.

Obejmuje obliczenia sprawdzające charakterystycznych, osłanianych punktów na zewnątrz bunkra dla wykonania osłon stałych.

II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA

1. Opis lokalizacji bunkra z uwzględnieniem pomieszczeń sąsiednich.

Nowoprojektowany budynek, w którym został zaprojektowany bunkier do napromieniania pacjentów, znajduje się na terenie Świętokrzyskiego Centrum Onkologii w Kielcach przy ul. Artwińskiego 3.

Bunkier znajduje się na parterze budynku. Bunkier nie jest podpiwniczony. Nad bunkrem nie znajdują się żadne pomieszczenia.

Bunkier ma powierzchnię 72,64 m² i wysokość 3,80 m – pomieszczenie 0.21.

Do bunkra przylegają następujące pomieszczenia:

- teren zewnętrzny;
- pomieszczenie techniczne akceleratora 0.25;
- sterownia akceleratora, pomieszczenie 0.20;
- pomieszczenie weryfikacji i akceptacji planów leczenia 0.17;
- poczekalnia, pomieszczenie 0.16;
- komunikacja, pomieszczenie 0.13;
- przebieralnie pacjentów, pomieszczenia 0.18 i 0.19;
- pomieszczenie socjalne, 0.24.

2. Parametry techniczne urządzenia

Rozważając instalację akceleratora należy w pierwszym rzędzie ustalić jego parametry techniczne, bowiem określają one budowę urządzenia i położenie izocentrum, które jest punktem wyjścia dla usytuowania aparatu w pomieszczeniu terapeutycznym i obliczeń w zakresie ochrony radiologicznej. Parametry te w sposób zasadniczy wpływają na wymagania instalacyjne oraz wielkość pomieszczenia.

Instalacja aparatu w bunkrze wymaga rozpatrzenia zagadnień z zakresu:

- ochrony radiologicznej,
- geometrii urządzenia i jego elementów składowych,
- stosowanych technik i wymagań jakości w radioterapii,
- konstrukcji bunkra,

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

- wprowadzenia aparatu do bunkra,
- zasilania,
- wentylacji / klimatyzacji,
- chłodzenia akceleratora,
- możliwości prowadzenia prac serwisowych.

Parametry techniczne urządzenia, właściwie wykonane obliczenia i osłony stałe oraz prawidłowa instalacja, są podstawą do przyszłej, bezpiecznej eksploatacji akceleratora.

Podstawowe parametry techniczne urządzenia przyjętego do obliczeń, istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej, przedstawiono poniżej.

Energia promieniowania X	max. 15 MV
Energia elektronów	do 22 MeV
Odległość SAD (źródło – izocentrum)	100 cm
Kąt kolimatora wstępnego	34°
Moc dawki w odległości SAD (prom. X)	: 1000÷6000 mGy/min
Moc dawki w odległości SAD (prom. X)	tryb FFF energia 6 MV – 1400 MU/min tryb FFF energia 10 MV – 2400 MU/min
Moc dawki w odległości SAD (prom. elektronowe)	max 10 Gy/min (1000MU/min)
Pole napromieniania w odległości SAD (prom. X)	max.40 x 40 cm
Wysokość izocentrum nad poziomem wykończonej podłogi	130 cm
Zakres obrotu ramienia akceleratora	360°
Obrót kolimatora wokół osi wiązki	± 180°
Odległość ściana – izocentrum, mierzona wzdłuż osi akceleratora	od 294 do 370 cm
Przecieki promieniowania	1x10 ⁻³ dawki w izocentrum

3. Ustawienie aparatu

Akcelerator terapeutyczny jest stosowany w teleradioterapii i pracuje w technice izocentrycznej, co oznacza, że oś pierwotnej wiązki promieniowania przechodzi zawsze przez izocentrum (przecina się z osią obrotu ramienia), dla każdego kąta położenia ramienia. Punkt wyjścia (rozchodzenia się) wiązki promieniowania zatacza okrąg, w płaszczyźnie przechodzącej przez izocentrum i prostopadłej do osi obrotu, w odległości 100cm od izocentrum.

Do obliczeń przyjęto graniczne wartości ustawienia aparatów w odległości ściana - izocentrum od 294 do 370 cm.

Geometria ustawienia urządzenia, izocentrum, punkty wyjścia wiązki, kierunki padania i kąty rozbieżności wiązki, są przedstawione na rysunkach 1, 2, 3, 4 i 5.

4. Uruchomienie i eksploatacja

Uruchomienia i przekazania urządzenia do eksploatacji dokonuje specjalistyczny serwis producenta.

Urządzenie przeznaczone jest do terapii megawoltowej. Dostarcza w bardzo krótkim czasie wysokiej dawki wysokoenergetycznego promieniowania. Może więc być stosowane wyłącznie pod nadzorem kwalifikowanych fizyków.

Nieuważna obsługa urządzenia, z wykonywaniem prac serwisowych włącznie, może być przyczyną słabych osiągnięć aparatu oraz pociągać za sobą szkody w sprzęcie, poważne obrażenia, a nawet śmierć osób obsługujących lub pacjenta.

Napromienianie pacjenta może prowadzić tylko uprawniony operator, posiadający uprawnienia typu S-A, zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia dostarczoną przez producenta i quality assurance opracowanym przez szpital.

W pomieszczeniu terapeutycznym, podczas działania wiązki nie może przebywać nikt inny oprócz pacjenta. Jeżeli drzwi do pomieszczenia terapeutycznego są / zostaną otwarte, terapia jest niemożliwa lub zostaje przerwana.

5. Założenia do projektu istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej

5.1 Przyjęte do obliczeń dawki promieniowania dla osób przebywających w pobliżu

W celu określenia wielkości osłon stałych, chroniących:

- osoby pracujące w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące;
- pracowników szpitala, którzy nie podlegają narażeniom zawodowym, a przebywają w sąsiedztwie źródła promieniowania podczas pracy;
- osoby z populacji, z małym prawdopodobieństwem równoczesnego dłuższego przebywania w sąsiedztwie źródła promieniowania,

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

zostały przyjęte, do obliczeń dla celów budowlanych (na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dn. 12 lipca 2006r w sprawie szczegółowych warunków pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, Dz. U. Nr 140. poz. 994.), następujące dawki graniczne, wyrażone jako dawki skuteczne (efektywne):

- | | |
|--|-----------------|
| a) dawka graniczna dla osób narażonych zawodowo: | 6 mSv/rok, |
| co oznacza: | 0,12 mSv/tydz. |
| | |
| b) dawka graniczna dla pracowników szpitala (osób nie narażonych zawodowo): | 0,3 mSv/rok, |
| co oznacza: | 0,006 mSv/tydz. |
| c) dawka skuteczna (efektywna) dla ludności – osób z populacji przebywających w budynku: | 0,3 mSv/rok, |
| co oznacza: | 0,006 mSv/tydz. |

Uwaga: 1 tydzień pracy dla osób narażonych i nienarażonych zawodowo = 40 h

5.2 Ocena zagrożenia pracowników

Zakres opracowania dotyczy, zgodnie z Ustawą Prawo Atomowe z dnia 29.11.2000r. (Dz. U. z 2014 r. poz. 1512, wersja ujednolicona) pracowników, którzy będą zakwalifikowani do kategorii B, co oznacza, że mogą być narażeni na dawkę skuteczną powyżej 1mSv/rok, a których ogranicznik dawki (limit użytkowy dawki) nie przekroczy 6mSv/rok.

Ocena narażenia pracowników będzie prowadzona na podstawie kontrolnych pomiarów dawek indywidualnych.

Zgodnie z metodyką obliczeń normy DIN, zastosowaną w niniejszym projekcie, parametry osłon przed promieniowaniem jonizującym zawierają znaczny margines bezpieczeństwa poprzez:

- zrównanie dawki miejscowej z dawką pochłoniętą przez organizm dla miejsc długotrwałego przebywania,
- zrównanie dawki miejscowej dla miejsca przebywania z wartością maksymalną za osłoną,
- zryczałtowanie współczynników przebywania i kierunku,
- przyjęcie do obliczeń maksymalnych parametrów trybu pracy (energia, moc dawki, wielkość pola),
- pełne obciążenie robocze dla niekorzystnych kombinacji różnych sposobów pracy.

5.3 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu

Opis lokalizacji pomieszczeń i ich otoczenia został przedstawiony w rozdziale 1. Punkty istotne dla ochrony radiologicznej zostaną przeliczone na kondygnacji parteru:

- teren zewnętrzny – osoby nienarażone zawodowo;
- pomieszczenie techniczne akceleratora 0.25 – osoby narażone zawodowo;
- sterownia akceleratora, pomieszczenie 0.20 – osoby narażone zawodowo;
- pomieszczenie weryfikacji i akceptacji planów leczenia 0.17 – osoby nienarażone zawodowo;
- poczekalnia, pomieszczenie 0.16 – osoby nienarażone zawodowo;
- komunikacja, pomieszczenie 0.13 – osoby nienarażone zawodowo;
- przebieralnie pacjentów, pomieszczenia 0.18 i 0.19 – osoby nienarażone zawodowo;
- pomieszczenie socjalne, 0.24 – osoby nienarażone zawodowo.

5.4 Parametry eksploatacji

5.4.1 Energia i moc dawki

Energia promieniowania X	: 15 MV
Moc dawki w odległości SAD (prom. X)	: 1000÷6000 mGy/min
Moc dawki w odległości SAD (prom. X)	tryb FFF energia 6 MV – 1400 MU/min
	tryb FFF energia 10 MV – 2400 MU/min

5.4.2 Obciążenie

Dane podane przez Użytkownika dotyczące tygodniowego obciążenia roboczego akceleratora z punktu widzenia ochrony radiologicznej – Załącznik nr 2 :

Dane dla dwóch zmian

Dla promieniowania z filtrem

- maksymalna liczba frakcji podawanych napromienianym pacjentom, w ciągu tygodnia - 150 frakcji/tydz
- maksymalna dawka frakcyjna podawana pacjentowi podczas jednej sesji napromieniania - 3 Gy/frakcję
- procentowy udział technik IMRT - 0%

Dla promieniowania bez filtra

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

- maksymalna liczba frakcji podawanych napromienianym pacjentom, w ciągu tygodnia - 100 frakcji/tydz
- maksymalna dawka frakcyjna podawana pacjentowi podczas jednej sesji napromieniania - 10 Gy/frakcję
- procentowy udział technik IMRT - 100%

Tygodniowy czas pracy na dwie zmiany - 15 godz.

Tygodniowy czas pracy na jedną zmianę - 7,5 godz.

5.4.3 Współczynniki skierowania wiązki i czasu przebywania

Wartości współczynników skierowania wiązki U i czasu przebywania T przyjęte do obliczeń zostały określone zgodnie z DIN 6847-2:2014-03.

Dla celów obliczeniowych (określenia grubości osłony) współczynnik przebywania T uwzględnia oczekiwaną długość czasu przebywania osób w obszarze, który ma być chroniony, niezależnie od rzeczywistego (krótszego) czasu przebywania.

Współczynnik skierowania wiązki U uwzględnia oczekiwane kierunki, które mogą leżeć w obrębie wiązki promieniowania użytecznego dla przewidywanego trybu pracy, w odniesieniu do mierzonej osłony.

Dla celów obliczeniowych (określenia grubości osłony) współczynnik przebywania osób narażonych zawodowo wynosi $T=1$ i uwzględnia to, że osoby te mogą być narażone na promieniowanie podczas godzin pracy w różnych miejscach przebywania.

5.5 Dawka miejscowa

Dawki miejscowe wynikające z obliczeń dotyczą maksymalnych mocy dawek generowanych przez aparat (nie uwzględniają rzeczywistych, wykorzystywanych mocy dawek).

5.6 Kierunki padania promieniowania jonizującego

Kierunki padania i kąty rozbieżności wiązki, a także geometria mechaniczna są szczegółowo przedstawione na rysunkach, przy obliczaniu osłonności każdego z pomieszczeń oraz w danych technicznych.

5.7 Materiały stosowane na osłony

Do obliczeń osłonności przyjęto następujące materiały osłonowe (uwzględniając energię), zgodnie z DIN 6847-2:2014-03:

Dla energii 15 MV

Ściany, sufit, podłoga:

- beton $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$, $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 43,2 \text{ cm}$
- beton ciężki $\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$, $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 26,7 \text{ cm}$
pesymizując przyjęto $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Drzwi:

- ołów $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$, $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 5,6 \text{ cm}$
- polietylen z domieszką 5% boru $Z_g = \text{TVL} = t \ 1/10 = 8,5 \text{ cm}$ dla promieniowania neutronowego bezpośredniego – wg:
P.H. McGinley – Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities

Dla energii 10 MV

Ściany, sufit, podłoga:

- beton $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$, $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 36,9 \text{ cm}$
- beton ciężki $\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$, $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 25,2 \text{ cm}$
pesymizując przyjęto $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

5.8 Tereny nadzorowane

Terenami nadzorowanymi będą: pomieszczenie bunkra oraz sterownia.

6. Obliczenia

6.1 Wzory stosowane do obliczeń

Wzór wyjściowy

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

Ponieważ polska norma nie obejmuje swym zakresem akceleratorów, posłużono się normą DIN 6847-2:2014-03 - Medical electron accelerators - Part 2: Rules for construction of structural radiation protection.

Dla obliczenia grubości osłon stałych przed promieniowaniem przyjęto wzór:

$$S_i = Z_i \times \lg \frac{W_A \times T \times U \times t_0 \times q \times K_i}{D} \quad \dots(1)$$

gdzie:

S_i - wymagana grubość osłony mierzona prostopadle do powierzchni osłony [cm],

Z_i - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania zależna od energii promieniowania i materiału osłony [cm],

W_A - wydajność źródła w odległości $l_0=1m$ określona przez producenta [mGy/h],

T - współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłoniętym miejscu,

U - współczynnik określający prawdopodobieństwo skierowania użytecznej wiązki promieniowania w kierunku obliczanej osłony,

t_0 - maksymalny czas pracy źródła promieniowania w ciągu tygodnia w [h/tydz.], przy czym:

$$t_0 = t_{ei} \times i \times i_d \quad \dots(2)$$

gdzie:

t_{ei} - czas 1 ekspozycji,

i - ilość ekspozycji w czasie jednej zmiany (dnia),

i_d - ilość zmian (dni pracy) w tygodniu,

K_i - współczynnik redukcji dawki promieniowania zależny od rodzaju promieniowania,

q_i - współczynnik określający jakość promieniowania,

D - graniczna dawka tygodniowa (limit użytkowy dawki) [mSv/tydz.].

Grubość osłon oblicza się zakładając, że w miejscu osłanianym oddziałuje każdy rodzaj promieniowania w warunkach pełnego obciążenia roboczego W_A .

Oslony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim bezpośrednim

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

Do obliczania grubości osłon przed promieniowaniem rentgenowskim S_r należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

Z_r - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego.

K_r - współczynnik redukcji promieniowania rentgenowskiego oblicza się wg następującego wzoru:

$$K_r = \frac{A_0^2}{A_n^2} \quad \dots(3)$$

gdzie:

$A_0 = 1 \text{ m}$

A_n - odległość między źródłem promieniowania, a miejscem, które ma być chronione.

Oslony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim ubocznym

Do obliczania grubości osłon przed promieniowaniem ubocznym S_0 należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

Z_r - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego.

K_0 - współczynnik redukcji dla promieniowania ubocznego oblicza się wg następującego wzoru:

$$K_0 = \frac{D_0^*}{D_r^*} \quad \dots(4)$$

gdzie:

D_0^* - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania ubocznego w miejscu, które ma być chronione.

D_r^* - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania użytecznego.

Wartości K_0 podawane są przez producenta i odnoszą się do odległości wzorcowej $A_0 = 1 \text{ m}$ od źródła promieniowania.

Oslony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim jednokrotnie rozproszonym

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora – założenia do projektu

Do obliczania grubości osłon S_s przed promieniowaniem rentgenowskim, jednokrotnie rozproszonym, należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

- Z_s - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego, jednokrotnie rozproszonego.
- K_s - współczynnik redukcji promieniowania rentgenowskiego, jednokrotnie rozproszonego, oblicza się wg następującego wzoru:

$$K_s = 10^{-2} \times k \times \frac{F_n}{A_s^2} \quad \dots(5)$$

gdzie:

- F_n - największy przekrój wiązki promieniowania użytecznego w odległości wzorcowej $A_0 = 1$ m od źródła promieniowania.
- A_s - odległość między miejscem, które ma być chronione, a miejscem padania wiązki promieniowania użytecznego.
- $k = 1$ - dla pracy z promieniowaniem rentgenowskim.

Oslony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim, dwukrotnie rozproszonym

Do obliczania grubości osłon S_t przed promieniowaniem rentgenowskim, dwukrotnie rozproszonym, należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

- Z_s - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego dwukrotnie rozproszonego
- K_t - współczynnik redukcji promieniowania rentgenowskiego, dwukrotnie rozproszonego, oblicza się wg następującego wzoru.

$$K_t = \left(10^{-2} \times \frac{D_0^*}{D_r^*} \times \frac{A_0^2}{A_s^2} + 10^{-6} \right) \frac{F_t}{A_t^2} \quad \dots(6)$$

gdzie:

- D_0^* - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania ubocznego w miejscu padania promieniowania jednokrotnie rozproszonego.
- D_r^* - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania użytecznego.
- F_t - przekrój miejsca padania promieniowania jednokrotnie rozproszonego, które patrząc w kierunku miejsca osłanianego, nie jest ekranowane przez

inne osłony.

A_t - odległość między miejscem, które ma być chronione, a środkiem powierzchni F_t

Osłony chroniące przed promieniowaniem elektronowym

Ponieważ grubość osłony przed rentgenowskim promieniowaniem hamowania, wytworzonym przez użyteczne promieniowanie elektronowe jest w każdym przypadku większa od zasięgu elektronów, nie są wymagane specjalne osłony przed pierwotnym promieniowaniem elektronowym. Do obliczania grubości osłon S_b przed rentgenowskim promieniowaniem hamowania, w kierunku padania użytecznego promieniowania elektronowego, należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

Z_r - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego,

K_b - współczynnik redukcji dla rentgenowskiego promieniowania hamowania, w kierunku padania promieniowania użytecznego oblicza się wg następującego wzoru:

$$K_b = \frac{(D_{re}^* + k_e \times D_e^*) \times A_0^2}{D^* \times A_n^2} \quad \dots(7)$$

gdzie:

D_e^* - maksymalna moc dawki elektronowego promieniowania użytecznego.

D_{re}^* - podana przez producenta, maksymalna moc dawki udziału promieniowania rentgenowskiego, w wiązce elektronowego promieniowania użytecznego.

k_e - współczynnik służący do obliczeń osłon przed rentgenowskim promieniowaniem hamowania wytworzonym poza źródłem promieniowania.

$A_0 = 1 \text{ m}$

A_n - odległość między źródłem promieniowania, a miejscem, które ma być chronione.

Osłony chroniące przed promieniowaniem neutronowym

Do obliczania grubości osłon S_a przed promieniowaniem neutronowym, należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

Z_d - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia bezpośredniego promieniowania neutronowego.

K_d - współczynnik redukcji dla bezpośredniego promieniowania neutronowego, oblicza się wg następującego wzoru:

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_d} \quad \dots(8)$$

gdzie:

D_n^* / D_r^* - stosunek mocy dawki promieniowania neutronowego do mocy dawki rentgenowskiego promieniowania użytecznego.

$A_0 = 1 \text{ m}$

A_d - odległość między czynnym źródłem neutronów, a miejscem, które ma być chronione.

$q = 10$

Oslony chroniące przed rozproszonym promieniowaniem neutronowym

Do obliczania grubości osłon S_g przed rozproszonym promieniowaniem neutronowym, należy stosować wzory (1 i 2), przy czym:

Z_g - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia rozproszonego promieniowania neutronowego.

K_g - współczynnik redukcji dla rozproszonego promieniowania neutronowego, oblicza się wg następującego wzoru:

$$K_g = 0,1 \times \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_g} \times \frac{b}{l} \quad \dots(9)$$

gdzie:

D_n^* / D_r^* - stosunek mocy dawki promieniowania neutronowego do mocy dawki rentgenowskiego promieniowania użytecznego.

$A_0 = 1 \text{ m}$

A_g - suma odcinków drogi, którą co najmniej musi przebyć wiązka promieniowania neutronowego aby dotrzeć do miejsca osłanianego, bez przenikania przez osłony zabezpieczające przed bezpośrednim promieniowaniem neutronowym

b/l - stosunek szerokości do długości labiryntu

$q = 10$

6.2 Obliczenia sprawdzające osłon biologicznych dla komory akceleratora – rys. 1, 2, 3, 4, 5

6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń

Rodzaj promieniowania	: X,
Energia promieniowania X	: 15 MV
Odległość SSD	: 100 cm
Moc dawki w odległości SSD	: 6000 mGy/min
Moc dawki w odległości SAD (prom. X)	tryb FFF energia 10 MV – 2400 MU/min
Wysokość izocentrum nad podłogą	: 130 cm
Pole naświetlań w odległości SSD	: 40x40 cm

Zespół kolimatora zapewnia emisję wiązki promieniowania w kształcie stożka o kącie wierzchołkowym 34°.

6.2.2 Ogólny układ komory

Komora dla akceleratora przedstawiona jest na rysunku 1.

Materiały stosowane na osłony przedstawiono w rozdziale 5.7.

Położenie izocentrum, padanie wiązki promieniowania generowanej przez akcelerator wysokoenergetyczny oraz punkty przyjęte do obliczeń przedstawiono na rys. nr 2, 3, 4 i 5.

Izocentrum (także pozioma oś obrotu akceleratora) znajduje się na wysokości 130 cm od podłogi komory, w odległości od 294 do 370 cm od tylnej ściany bunkra. Źródło promieniowania znajduje się w głowicy w odległości 100 cm od osi obrotu akceleratora i w czasie obrotu ramienia zatacza okrąg w płaszczyźnie pionowej odległej o 294 do 370 cm od tylnej ściany osłonnej.

Taki sposób mocowania akceleratora powoduje, że wiązka promieniowania pierwotnego może padać na: ścianę pomieszczenia technicznego, ścianę pomieszczenia weryfikacji i akceptacji planów leczenia, strop sufitu i podłogę, w pasie jaki daje stożek o kącie rozwarcia 34°. Drzwi osłonowe chronią przed ubocznym i rozproszonym promieniowaniem X oraz bezpośrednim i rozproszonym promieniowaniem neutronowym.

6.2.3 Założenia przyjęte do obliczeń na podstawie danych użytkownika i normy DIN 6847-2:2014

Norma DIN 6847-2:20014 zaleca, aby stosować do obliczeń wartość obciążenia roboczego W_A równą 1000 Gy/tydz. dla promieniowania pierwotnego. Ze względu na zwiększony udział procedur IMRT (intensity modulated radiation therapy) obciążenie robocze dla promieniowania X ubocznego i rozproszonego, a także pierwotnego i rozproszonego promieniowania neutronowego powinno być powiększone o współczynnik IMRT $\alpha = 2,5$ raza.

Na podstawie danych użytkownika – pkt. 5.4.2 i przyjmując średni współczynnik IMRT = 3 przewidywane obciążenie robocze wynosi:

Obciążenie robocze dla promieniowania pierwotnego na jedną zmianę:

$$W_A = 150 \text{ frakcji/tydz} \times 3 \text{ Gy} / 2 + 100 \text{ frakcji/tydz} \times 10 \text{ Gy} / 2 = 225 + 500 = 725 \text{ Gy/tydz.}$$

Przyjmując uśredniony współczynnik IMRT = 3, obciążenie robocze dla promieniowania ubocznego na jedną zmianę wynosi:

$$W_A = 150 \text{ frakcji/tydz} \times 3 \text{ Gy} / 2 + 100 \text{ frakcji/tydz} \times 10 \text{ Gy} / 2 \times 3 = 225 + 1500 = 1725 \text{ Gy/tydz.}$$

Dla akceleratora o parametrach wiązki podanych powyżej przyjęto, biorąc pod uwagę pomiary dozymetryczne i prace serwisowe, obciążenie dla promieniowania pierwotnego $W_A = 1000$ Gy na tydzień i $W_A = 2500$ Gy/tydzień dla promieniowania ubocznego. Obciążenia te są zgodne z DIN 6847-2:2014-03.

Wykonano również obliczenia sprawdzające dla trybu bez filtra wyrównującego (FFF) przyjmując energię promieniowania X = 10 MV, moc dawki 2400 MU/min i obciążenie zgodnie z zaleceniami producentów akceleratorów:

- $W_A = 2000$ Gy/tydz. dla promieniowania pierwotnego,
- $W_A = 2800$ Gy/tydz. dla promieniowania ubocznego.

Czas pracy dla jednej zmiany przyjęto 7,5 godziny.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Pkt. P1 Pomieszczenie techniczne - sprawdzenie na promieniowanie pierwotne (rys.2)

ściana „A₁” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 26,7 \text{ cm}$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03 dla
dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 1000000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 0,1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_R = \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

stosunek odległości odniesienia do odległości między
miejscem chronionym, a źródłem promieniowania

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 7 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S = 26,7 \times \lg \frac{1000000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times \frac{1}{7^2}}{0,006} = 147,7 \text{ cm}$$

Ściana A₁ o grubości 170 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

Przeliczenie sprawdzające dla trybu bez filtra (FFF)

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MeV:

$Z_{rbz} = 25,2 \text{ cm}$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 2000000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 0,1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_R = \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

stosunek odległości odniesienia do odległości między

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

miejszem chronionym, a źródłem promieniowania

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 7 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S = 25,2 \times \lg \frac{2000000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times \frac{1}{7^2}}{0,006} = 147 \text{ cm}$$

Ściana A₁ o grubości 170 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P1' Teren zewnętrzny - sprawdzenie na promieniowanie pierwotne (rys.2)

ściana „A₁” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03

dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 1000000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,25$$

$$U = 0,5$$

$$q = 1$$

$$K_R = \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

stosunek odległości odniesienia do odległości między miejscem chronionym, a źródłem promieniowania

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 10 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S = 26,7 \times \lg \frac{1000000 \times 0,25 \times 0,5 \times 1 \times \frac{1}{10^2}}{0,006} = 142 \text{ cm}$$

Przeliczenie sprawdzające dla trybu bez filtra (FFF)

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MeV:

$$Z_{rbz} = 25,2 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03 dla ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2000000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,25$$

$$U = 0,5$$

$$q = 1$$

$$K_R = \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

stosunek odległości odniesienia do odległości między miejscem chronionym, a źródłem promieniowania

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 10 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S = 25,2 \times \lg \frac{2000000 \times 0,25 \times 0,5 \times 1 \times \frac{1}{10^2}}{0,006} = 141,6 \text{ cm}$$

Ściana A₁ o grubości 170 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P2 Pomieszczenie techniczne - sprawdzenie na promieniowanie uboczne (rys.2)

ściana „A₂” z betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 43,2 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03 dla dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 7 \text{ m}$$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S_1 = 43,2 \times \lg \frac{2500000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7^2}}{0,006} = 126,6 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednio

Dane do obliczeń

$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$

$Z_{D2} = 16 \text{ cm}$ - wartości Z_D wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonu i betonu ciężkiego

$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$

$T = 0,1$

$U = 1$

$q = 10$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4}$ wg danych producenta

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 7 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 0,1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{7}}{0,006} - 1 \right) = 71,2 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 126,6 - 71,2 = 55,4 \text{ cm}$ jest większe od 1TVL (43,2) wymagana grubość osłony $S = 126,6 \text{ cm}$.

W dalszej części opracowania obliczenia sprawdzające dla promieniowania neutronowego dla betonu zwykłego pominięto.

Ściana A_2 o grubości 140 cm z betonu o gęstości min. $2,35 \text{ g/cm}^3$ spełni wymagania osłonności.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Przeliczenie sprawdzające dla trybu bez filtra (FFF)

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MeV:

$$Z_{rbz} = 39,6 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2800000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 7 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S = 39,6 \times \lg \frac{2800000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7^2}}{0,006} = 118 \text{ cm}$$

Ściana A_2 o grubości 140 cm z betonu o gęstości min. $2,35 \text{ g/cm}^3$ spełni wymagania osłonności.

Ponieważ wymagane grubości ścian chroniących przed promieniowaniem pierwotnym i ubocznym dla trybu bez filtra wyrównujące są mniejsze (energia 10 MV) niż dla trybu z filtrem (energia 15 MV), obliczenia sprawdzające dla trybu FFF w dalszej części opracowania pominięto.

Pkt. P3 Sterownia - sprawdzenie na promieniowanie uboczne (rys.2)

ściana „B” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 1$$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 5,7 \text{ m}$$

$$D = 0,12 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,7^2}}{0,12} = 74,95 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$$

$$Z_{D2} = 16 \text{ cm} \quad - \text{ wartości } Z_D \text{ wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonu i betonu ciężkiego}$$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$q = 10$$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 5,7 \text{ m}$$

$$D = 0,12 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{5,7}}{0,12} - 1 \right) = 67,8 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 74,9 - 67,8 = 7,1 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 74,9 + 0,3 \text{TVL} = 74,9 + 0,3 \times 26,7 = 82,9 \text{ cm}$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Ściana „B” o grubości 100 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P4 Pomieszczenie socjalne - sprawdzenie na promieniowanie uboczne (rys.2)
ściana „B” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 26,7 \text{ cm}$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_b^2}{A_n^2}$$

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 9,2 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{9,2^2}}{0,006} = 98,6 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$

$Z_{D2} = 16 \text{ cm}$ - wartości Z_D wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonu i betonu ciężkiego

$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$

$T = 1$

$U = 1$

$q = 10$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 9,2 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{9,2}}{0,006} - 1 \right) = 85,3 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 98,6 - 85,3 = 13,3 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 98,6 + 0,3 \text{TVL} = 98,6 + 0,3 \times 26,7 = 106,6 \text{ cm}$

**Grubość ściany „B” w kierunku padania promieniowania wynosi 120 cm,
Ściana „B” o grubości 100 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. $3,7 \text{ g/cm}^3$
spełni wymagania osłonności.**

*Pkt. P5 Przebiegarnia - sprawdzenie na promieniowanie uboczne
(rys.2)*

ściana „B” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$A_n = 9,8 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{9,8^2}}{0,006} = 70,4 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$$

$$Z_{D2} = 16 \text{ cm} \quad - \text{ wartości } Z_D \text{ wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonu i betonu ciężkiego}$$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$q = 10$$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 9,8 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 0,1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{9,8}}{0,006} - 1 \right) = 68,9 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 70,4 - 68,9 = 1,5 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 70,4 + 0,3\text{TVL} = 70,4 + 0,3 \times 26,7 = 78,4 \text{ cm}$

Ściana „B” o grubości 100 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Pkt. P6 Pokój do pracy - sprawdzenie na promieniowanie uboczne
(rys.2)

ściana „B” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 26,7 \text{ cm}$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 15,5 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{15,5^2}}{0,006} = 86,5 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$

$Z_{D2} = 16 \text{ cm}$ - wartości Z_D wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonów

$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$

$T = 1$

$U = 1$

$q = 10$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4}$ wg danych producenta

$A_0 = 1 \text{ m}$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$A_n = 15,5 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{15,5}}{0,006} - 1 \right) = 81,7 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 86,5 - 81,7 = 4,8 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 86,5 + 0,3\text{TVL} = 86,5 + 0,3 \times 26,7 = 94,5 \text{ cm}$

Ściana „B” o grubości 100 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. $3,7 \text{ g/cm}^3$ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P7 Poczekalnia - sprawdzenie na promieniowanie uboczne
(rys.2)

ściana „B” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_b^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 8,2 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{8,2^2}}{0,006} = 74,6 \text{ cm}$$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$$

$$Z_{D2} = 16 \text{ cm} \quad - \text{ wartości } Z_D \text{ wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonów}$$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$q = 10$$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 8,2 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{8,2}}{0,006} - 1 \right) = 70,1 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 74,6 - 70,1 = 4,5 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 74,6 + 0,3\text{TVL} = 74,6 + 0,3 \times 26,7 = 82,6 \text{ cm}$

Ściana „B” o grubości 100 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P8 Pokój weryfikacji i akceptacji planów leczenia - sprawdzenie na promieniowanie pierwotne (rys.2)

ściana „C₁” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03

Rozbudowa Kliniki Radioterapii Świętokrzyskiego Centrum Onkologii

ul. Artwińskiego 3 (dz. nr 931/10, obręb 0015)

25-734 Kielce

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 1000000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 1$$

$$U = 0,3$$

$$q = 1$$

$$K_R = \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

stosunek odległości odniesienia do odległości między miejscem chronionym, a źródłem promieniowania

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 7,1 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S = 26,7 \times \lg \frac{1000000 \times 1 \times 0,3 \times 1 \times \frac{1}{7,1^2}}{0,006} = 160,3 \text{ cm}$$

Ściana „C₁” o grubości 175 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P9 Pokój weryfikacji i akceptacji planów leczenia - sprawdzenie na promieniowanie uboczne (rys.2)

ściana „C₂” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03

dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 7,2 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7,2^2}}{0,006} = 104,3 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$$

$$Z_{D2} = 16 \text{ cm} \quad - \text{ wartości } Z_D \text{ wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonów}$$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$q = 10$$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 7,2 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{7,2}}{0,006} - 1 \right) = 87,2 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 104,3 - 87,2 = 24,1 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 104,3 + 0,3 \text{TVL} = 104,3 + 0,3 \times 26,7 = 112,3 \text{ cm}$

Ściana „C2” o grubości 145 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ spełni wymagania osłonności.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Pkt. P10 Teren zewnętrzny - sprawdzenie na promieniowanie uboczne (rys.2)

ściana „D” z betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 43,2 \text{ cm}$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 0,1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_b^2}{A_n^2}$$

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 4,6 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S = 43,2 \times \lg \frac{2500000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,6^2}}{0,006} = 142,3 \text{ cm}$$

Ściana „D” o grubości 145 cm z betonu o gęstości min. $2,35 \text{ g/cm}^3$ spełni wymagania osłonności.

Pkt. P11 Na dachu - sprawdzenie na promieniowanie pierwotne (rys.3 i 4)

strop „E1” z betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,5 \text{ g/cm}^3$

strop „F” z betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 26,7 \text{ cm}$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu ciężkiego o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 1000000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 0,1$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_R = \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

stosunek odległości odniesienia do odległości między miejscem chronionym, a źródłem promieniowania

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 5,5 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S = 26,7 \times \lg \frac{1000000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times \frac{1}{5,5^2}}{0,006} = 153,3 \text{ cm}$$

Strop „E₁” o grubości 150 cm z betonu ciężkiego o gęstości min. 3,7 g/cm³ i strop „F” o grubości 30 cm z betonu zwykłego (co odpowiada 18,5 cm betonu ciężkiego) spełnią wymagania osłonności.

Pkt. 12 Na dachu - sprawdzenie na promieniowanie uboczne

(rys.4)

strop „E₂” z betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

strop „F” z betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 43,2 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 2,35 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 6,4 \text{ m}$$

$$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$S = 43,2 \times \lg \frac{2500000 \times 0,1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,4^2}}{0,006} = 129,9 \text{ cm}$$

Strop „E2” o grubości 130 cm i strop „F” o grubości 30 cm z betonu o gęstości min. 2,35 g/cm³ spełnią wymagania osłonności.

Pkt. P13 Za drzwiami - sprawdzenie na promieniowanie uboczne
(rys.2 i 5)

warstwa ołowiu o gęstości $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$
warstwa polietylenu z 5% domieszką boru

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 5,6 \text{ cm}$

dla ołowiu o gęstości $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 6,2 \text{ m}$

$D = 0,12/2 = 0,06 \text{ mSv/tydz.}$

uwzględnienie dawki od neutronów

$$S_{pb} = 5,6 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,2^2}}{0,06} = 17 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$Z_D = 8,5 \text{ cm}$ – dla polietylenu z 5% domieszką boru wg P.H. McGinley – Shielding
Techniques for Radiation Oncology Facilities

$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$

$T = 1$

$U = 1$

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$q = 10$$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n}{D_r} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 6,2 \text{ m}$$

$$D = 0,12/2 = 0,06 \text{ mSv/tydz. - uwzględnienie dawki od fotonów}$$

$$S_{Pol} = 8,5 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{6,2}}{0,06} \right) = 33,5 \text{ cm}$$

Drzwi osłownowe z warstwą ołowiu o grubości 17 cm (2 x 8,5 cm zgodnie z rys. 3) i warstwą polietylenu o grubości 33,5 cm z 5% domieszką boru spełnią wymagania osłonności.

Sprawdzenie ościeżnicy – zgodnie z rysunkiem nr 5

Pkt. P13' Drzwi - sprawdzenie ościeżnicy

(rys.5)

warstwa ołowiu o gęstości $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$
warstwa polietylenu z 5% domieszką boru

Poza obrysem płata drzwi

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$$Z_r = 26,7 \text{ cm}$$

wg rys. 3, Norma DIN 6847/2:2014-03
dla betonu o gęstości $\rho = 3,7 \text{ g/cm}^3$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

Rozbudowa Kliniki Radioterapii Świętokrzyskiego Centrum Onkologii

ul. Artwińskiego 3 (dz. nr 931/10, obręb 0015)

25-734 Kielce

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

$$A_n = 6,2 \text{ m}$$

$$D = 0,12 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_1 = 26,7 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,2^2}}{0,12} = 73 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

Dane do obliczeń

$$Z_{D1} = 25 \text{ cm}$$

$$Z_{D2} = 16 \text{ cm} \quad - \text{ wartości } Z_D \text{ wg DIN 6847-2:2014-03, dla promieniowania neutronowego, dla betonów}$$

$$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$q = 10$$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ wg danych producenta}$$

$$A_0 = 1 \text{ m}$$

$$A_n = 6,2 \text{ m}$$

$$D = 0,12 \text{ mSv/tydz.}$$

$$S_2 = 25 + 16 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{6,2^2}}{0,12} - 1 \right) = 67,2 \text{ cm}$$

Ponieważ $S_1 - S_2 = 73 - 67,2 = 5,8 \text{ cm}$ jest mniejsze od 1TVL (26,7) wymagana grubość osłony $S = 73 + 0,3\text{TVL} = 73 + 0,3 \times 26,7 = 81 \text{ cm}$

Szerokość ściany „B” w kierunku padania promieniowania wynosi 87 cm – w obszarze poza obrysem płyta drzwi ściana spełni wymagania osłonność.

Poza warstwą ołowiu w drzwiach od strony źródła promieniowania

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Sumaryczna grubość ołowiu w drzwiach – 8,5 cm i w ościeżnicy 9,5 cm (w kierunku padania promieniowania) wynosi 19,5 cm.

Ościeżnica z wypełnieniem ołowiem zgodnie z rys. 5 spełni wymagania osłoności

Poza warstwą polietylenu w drzwiach

Szerokość ściany „B” w kierunku padania promieniowania wynosi 73 cm co odpowiada 25 cm polietylenu z 5% domieszką boru.

Ościeżnica z wypełnieniem polietylenem o grubości 10 cm – w obszarze poza warstwą polietylenu w drzwiach spełni wymagania osłoności.

Pkt. P14 Poczekalnia – przez drzwi - sprawdzenie na promieniowanie uboczne

(rys.2)

warstwa ołowiu o gęstości $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$
warstwa polietylenu z 5% domieszką boru

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 15 MV:

$Z_r = 5,6 \text{ cm}$

dla ołowiu o gęstości $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$

$W_A = 2500000 \text{ mGy/tydz}$

$T = 0,1$

$U = 1$

$q = 1$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_b^2}{A_n^2}$$

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 10,2 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S_{pb} = 5,6 \times \lg \frac{2500000 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{10,2^2}}{0,006} = 14,6 \text{ cm}$$

Sprawdzenie na promieniowanie neutronowe bezpośrednie

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Dane do obliczeń

$Z_D = 8,5 \text{ cm}$ – dla polietylenu z 5% domieszką boru wg P.H. McGinley – Shielding
Techniques for Radiation Oncology Facilities

$W_A = 2500000 \text{ mGy/h}$

$T = 1$

$U = 1$

$q = 10$

$$K_d = \frac{D_n^*}{D_r^*} \times \frac{A_0}{A_n}$$

$\frac{D_n}{D_r} = 1,3 \times 10^{-4}$ wg danych producenta

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 10,2 \text{ m}$

$D = 0,006 \text{ mSv/tydz.}$

$$S_{Pol} = 8,5 \times \left(\lg \frac{2,5 \times 10^6 \times 0,1 \times 1 \times 10 \times 1,3 \times 10^{-4} \times \frac{1}{10,2}}{0,006} \right) = 31,7 \text{ cm}$$

Drzwi osłownowe z warstwą ołowiu o grubości 17 cm (2 x 8,5 cm zgodnie z rys. 5) i warstwą polietylenu o grubości 35 cm z 5% domieszką boru spełnią wymagania osłonności.

6.2.4 Wyniki obliczeń osłon biologicznych dla komory akceleratora

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

Sprawdzone grubości ścian i drzwi osłonowych przedstawiono w tabeli 1.
Tabela 1.

Punkty obliczeniowe	Oznaczenia ścian	Obliczona grubość osłony	Grubość projektowanej osłony	Rodzaj materiału beton $\rho = \text{min. } 2,35 \text{ g/cm}^3$ beton ciężki $\rho = \text{min. } 3,7 \text{ g/cm}^3$ ołów $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$ parafina
wg rys.	wg rys.	w cm	w cm	
P1,P1'	„A1”	147,7	170	beton ciężki
P2	„A2”	126,6	140	beton
P3	„B”	82,9	100	beton ciężki
P4	„B”	106,6	100 (120)	beton ciężki
P5	„B”	78,4	100	beton ciężki
P6	„B”	94,5	100	beton ciężki
P7	„B”	82,67	100	beton ciężki
P8	„C1”	160,3	175	beton ciężki
P9	„C2”	112,3	145	beton ciężki
P10	„D”	163	145	beton

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Bunkier akceleratora 15 MV

P11	„E ₁ ” , „F”	153,3	150 +18,5 (30)	beton ciężki
P12	„E ₂ ” , „F”	129,9	130 +30	beton
P13, P13'	drzwi	17 cm Pb + 33,5 cm polietylenu z 5% boru	2 x 8,5cm Pb plus 35 cm polietylenu z 5% boru	Ołów + polietylen
P14	drzwi	14,6 cm Pb + 31,7 cm polietylenu z 5% boru	2 x 8,5cm Pb plus 35 cm polietylenu z 5% boru	Ołów + polietylen

7. Wymagania branżowe

7.1 Opis osłon (ściany, sufit, drzwi ochronne, przepusty instalacyjne)

Grubość barier pierwotnych i wtórnych wynika z obliczeń poszczególnych, charakterystycznych punktów, które są przedstawione na rysunkach w części obliczeniowej. Na końcu obliczeń każdego bunkra znajduje się zbiorcze zestawienie grubości ścian oraz rodzaj materiału, z którego są wykonane.

Drzwi wejściowe (osłonne) do bunkra powinny zawierać:

- 2 x 8,5 cm ołowiu i 35cm polietylenu z 5% boru, zgodnie z rys. 5
- Ościeżnica z wypełnieniem ołowiem i polietylenem z 5% boru, zgodnie z rys. 5

Przepusty wentylacji nawiewno-wyciągowej, przepusty instalacji wodnej, przepusty instalacji elektrycznej i kontrolno-sterującej nie powinny naruszać barier osłonnych: pierwotnych i wtórnych w bunkrze.

Centratory laserowe służące do pozycjonowania pacjenta przed napromienianiem powinny być zainstalowane na zewnętrznej powierzchni osłony z betonu. W przypadku instalacji centratotorów we wnęce należy je dosłonić odpowiednią warstwą stali lub ołowiu.

7.2 Wentylacja

System wentylacji musi być zdolny do zapewnienia odpowiedniej ilości wymian powietrza związanej z pracą akceleratora wysokoenergetycznego.

Ilość wymian wymagana przez przepisy: min. 6 wymian/godz.

System musi zapewnić odpowiednią temperaturę oraz wilgotność powietrza w bunkrze. Należy uwzględnić wydatki ciepła z urządzeń

7.3 Opis instalacji wodno - kanalizacyjnej

Akcelerator powinien zostać wyposażony w system zamkniętego zewnętrznego obiegu chłodzenia, tj. „water chiller”.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Wymagania branżowe

Bunkier powinien zostać wyposażony w wodę miejską (tzw. otwarty obieg chłodzenia) dla chłodzenia akceleratora w przypadku awarii zamkniętego obiegu chłodzenia.

W bunkrze należy zainstalować umywalkę.

7.4 Opis instalacji elektrycznej

Instalacja elektryczna powinna być zgodna z dokumentacją techniczną instalowanych urządzeń.

Oświetlenie w bunkrze powinno być wyposażone w systemy:

- oświetlenie główne,
- oświetlenie dodatkowe o regulowanym natężeniu (zamienne z głównym),
- oświetlenie awaryjne (ewakuacyjne).

Zasilanie akceleratora systemem linii pięcioprzewodowej (R, S, T, O, ziemia).

7.5 Opis systemu ochrony przeciw - pożarowej

Bunkier, w którym zostanie zainstalowany akcelerator wykonany będzie z betonu. Drzwi prowadzące do bunkra będą wykonane ze stali z dodatkową osłoną z ołowiu i polietylenu.

Sposób wykonania i dobór materiałów są podyktowane ochroną przed promieniowaniem jonizującym, a nie z racji występującego zagrożenia ogniowego.

7.6 Wyposażenie bunkra dla potrzeb ochrony radiologicznej

W sterowni bunkra powinny znajdować się:

- komplet oprzyrządowania będący wyposażeniem aparatu,
- instrukcja obsługi w języku polskim,
- instrukcja awaryjna,
- instrukcja pracy,
- dokumentacja urządzenia,
- ewidencja osób przeszkolonych do obsługi akceleratora.

7.7 Bezpieczna eksploatacja

Akcelerator może obsługiwać tylko odpowiednio przeszkolony przez producenta personel posiadający uprawnienia typu S – A, zgodnie z instrukcją obsługi.

7.8 System sygnalizacyjno-ostrzegawczy

Pomieszczenie terapeutyczne (bunkier) powinno zostać wyposażone, w system sygnalizacji świetlnej, wyłączniki awaryjne (EMERGENCY OFF), podwójny system obserwacji TV, system interfoni bunker - sterownia, zgodnie z założeniami producenta aparatu i użytkownika.

Oślonne drzwi wejściowe do pomieszczenia terapeutycznego (bunkra) powinny posiadać podwójny wyłącznik krańcowy całkowitego zamknięcia drzwi, blokujący uruchomienie wysokiego napięcia akceleratora (łańcuch zabezpieczeń w.n.), a więc uruchomienie wiązki promieniowania jonizującego. Oznacza to również przerwanie działania wiązki w momencie otwarcia drzwi podczas terapii.

Nad drzwiami powinien być zainstalowany system sygnalizacyjno-ostrzegawczy, zabraniający wstępu podczas działania wiązki.

Wymagane jest:

- * zainstalowanie nad drzwiami świecącej sygnalizacji w czasie pracy urządzenia,
- * umieszczenie na drzwiach wejściowych oznaczenia pracownia akceleratorowa.

Przy drzwiach wejściowych od strony sterowni i w dwóch punktach wewnątrz bunkra powinna zostać zainstalowana ostrzegawcza sygnalizacja świetlna, widoczna z każdego miejsca: Na zewnątrz kolor żółty sygnalizuje włączenie promieniowania, pomarańczowy stan gotowości a kolor zielony stan stand by (braku promieniowania). Wewnątrz bunkra stan gotowości i włączenia promieniowania powinny być sygnalizowane kolorem czerwonym (wskazującym na konieczność natychmiastowego opuszczenia pomieszczenia przez wszystkie osoby – z wyjątkiem pacjenta).

W bunkrze powinny zostać zainstalowane wyłączniki awaryjne (EMERGENCY OFF). Umieszczone na ścianach w bunkrze, w dostępnym miejscu w pobliżu sygnalizacji świetlnej, służą do awaryjnego zatrzymania aparatu – wyłączenia napięcia zasilającego akcelerator i stół terapeutyczny.

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Wymagania branżowe

Wyłączniki są koloru czerwonego: przycisk wystający, grzybkowy. Odblokowanie wyłącznika może nastąpić tylko ręcznie przez osoby uprawnione, po uprzednim sprawdzeniu i usunięciu stanu zagrożenia (przyczyny wyłączenia awaryjnego).

Bunkier powinien zostać wyposażony w system interfonii / interwizji. Tor telewizji służy operatorowi do obserwacji pacjenta i ruchu personelu. Składa się on z jednej / dwóch sztuk kamer video oraz jednego / dwóch monitorów. Kamery umiejscowione są w bunkrze w taki sposób, aby chory (jego głowa) był widoczny przy każdym położeniu głowicy akceleratora. Jedna kamera może zapewniać zbliżenie na pacjenta położonego na stole terapeutycznym, a druga może obejmować plan ogólny wraz z pacjentem (dopuszcza się zastosowanie jednej kamery).

Interfonia z mikrofonem kierunkowym służy do komunikowania się z pacjentem oraz reagowania operatora na każdy nieprawidłowy dźwięk dochodzący z bunkra w trakcie napromieniania.