



# Dokumentacja techniczna z zakresu ochrony radiologicznej

Zakład Radioterapii Pracownia TrueBeam I

---

Inwestor:

Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej MSWiA  
Z Warmińsko – Mazurskim Centrum Onkologii w Olsztynie,  
Al. Wojska Polskiego 37, 10-228 Olsztyn.

---

Opracował:

mgr 

mgr fizyki [REDACTED]

IOR-3 nr IOR/131/2015, IOR-R nr 243R/2019

wrzesień 2023

**Spis treści**

1.	Spis części rysunkowej.....	5
2.	Przedmiot opracowania .....	6
3.	Dokumenty będące podstawą opracowania .....	6
4.	Lokalizacja .....	7
5.	Obliczenie osłon.....	8
5.1	Informacja o źródłach promieniowania jonizującego .....	8
5.2	Informacja o projektowanych osłonach stałych .....	9
5.3	Założenia przyjęte dla pracowni akceleratorowej.....	11
5.4	Tygodniowe obciążenia robocze .....	12
5.5	Oslony przed promieniowaniem fotonowym .....	14
5.6	Oslony przed promieniowaniem elektronowym.....	16
5.7	Oslony przed promieniowaniem neutronowym .....	16
6.	Punkty obliczeniowe. ....	17
6.1	P12 Sterownia .....	17
6.2	P1 Pomieszczenie techniczne.....	18
6.3	P2: Teren zewnętrzny.....	19
6.4	P3: Teren zewnętrzny.....	20
6.5	P4: Teren zewnętrzny.....	21
6.6	P5: Teren zewnętrzny.....	22
6.7	P5': Teren zewnętrzny.....	23
6.8	P6, P8: Teren zewnętrzny .....	24
6.9	P7: Teren zewnętrzny.....	25
6.10	P9: Pracownia akceleratorowa .....	18
6.11	P10: Pracownia akceleratorowa .....	27
6.12	P11: Pracownia akceleratorowa .....	28
6.13	C1: Dach.....	29
6.14	C2: Dach.....	29
6.15	C3: Dach.....	30
6.16	L1: Dach .....	31
6.17	L2: Budynek sąsiadujący .....	32
6.18	L3: Budynek sąsiadujący- pokój lekarzy.....	33
6.19	L4: Budynek sąsiadujący- pokój lekarzy.....	35
7.	Punkt DW przy drzwiach do pracowni akceleratorowej .....	36
7.1	Metodyka obliczenia grubości i składu osłony drzwi labiryntowych.....	36
7.1	Równoważnik dawki fotonów $H_{LS}$ w drzwiach labiryntu, pochodzącej od pierwszego rozproszenia promieniowania ubocznego z głowicy na ścianie G i padającego na drzwi: .....	36

7.3	Równoważnik dawki fotonów $H_{WT}$ w drzwiach labiryntu.....	40
7.5	Równoważnik dawki fotonów, powstających w zjawisku wychwytu neutronów z emisją gamma.....	45
7.6	Równoważnik dawki promieniowania neutronowego.....	47
7.7	Sprawdzenie skuteczności osłony drzwi.....	48
8.	Zestawienie skuteczności osłon.....	50
9.	Wytyczne branżowe.....	51
10.	Wnioski.....	51

**1. Spis części rysunkowej**

Nr rysunku	Tytuł	Skala
<b>01</b>	Sytuacja	N/D
<b>02</b>	Sytuacja	N/D
<b>03</b>	Rzut zakładu	1:100
<b>04</b>	Rzut zakładu - stan sprzed inwestycji	1:100
<b>05</b>	Rzut elewacji C1 i D1	1:50
<b>06</b>	Rzut pracowni	1:50
<b>07</b>	Punkty pomiarowe – rzut	1:100
<b>08</b>	Punkty pomiarowe – przekrój A-A	1:50
<b>09</b>	Punkty pomiarowe – przekrój B-B	1:50
<b>10</b>	Drzwi – pomiar nr 1	1:50
<b>11</b>	Drzwi – pomiar nr 2	1:50
<b>12</b>	Drzwi – elementy sterujące	1:50
<b>13</b>	Drzwi - elementy sterujące - detale	1:25

## 2. Przedmiot opracowania

---

Niniejsze opracowanie ma na celu weryfikację istniejących osłon radiologicznych oraz zaprojektowanych drzwi radiologicznych pod kątem spełnienia wymagań dla nowo instalowanego aparatu TrueBeam firmy Varian w Zakładzie Radioterapii SPZOZ MSWiA w Warmińsko- Mazurskim Centrum Onkologii w Olsztynie. Projekt zakłada, że nowo instalowany akcelerator liniowy zostanie zlokalizowany z uwzględnieniem lokalizacji poprzedniego izocentrum oraz że w ramach prac adaptacyjnych zostaną wymienione drzwi radiologiczne do pracowni akceleratorowej.

Osłony radiologiczne składają się ze ścian i stropu pomieszczenia terapeutycznego oraz z drzwi osłonowych prowadzących do pomieszczenia. Osłony radiologiczne muszą spełniać następujące wymagania:

- ☒ pochłanianie promieniowania X, wiązki 6 MV, 10 MV i 15 MV,
- ☒ pochłanianie promieniowania elektronowego o energiach 9 MeV, 12 MeV, 16 MeV, 20 MeV,
- ☒ zapewnienie nieprzekroczenia limitów otrzymanych dawek promieniowania jonizującego na zewnątrz pomieszczenia terapeutycznego, zgodnie z obowiązującymi przepisami ochrony radiologicznej, uwzględniając przyszłe wykorzystanie akceleratora terapeutycznego.

Zgodnie z Ustawą Prawo Atomowe, Kierownik Jednostki Organizacyjnej, w tym przypadku Dyrektor SPZOZ MSWiA z Warmińsko- Mazurskim Centrum Onkologii w Olsztynie jest odpowiedzialny za sprawdzenie zaproponowanych parametrów, aby zapewnić ich prawidłowe użycie. Parametry, takie jak wielkość ekspozycji, tygodniowe obciążenie robocze, itd. zostały opracowane na podstawie zaleceń z raportu NCRP 151 oraz standardowych warunków ekspozycji, uwzględniając specyfikację pracy Zakładu Radioterapii. Jednostka organizacyjna powinna zweryfikować parametry zastosowane do obliczeń osłon przed promieniowaniem jonizującym, ich zgodność z regulacjami prawnymi oraz swoimi zaleceniami. Jednostka organizacyjna odpowiedzialna jest za zapewnienie, że użyte parametry zostały przeanalizowane i zaakceptowane przez wszystkie strony.

Projektant niniejszego opracowania zakłada, że w przypadku braku pisemnych uwag dostarczonych w przeciągu 30 dni od opracowania niniejszego projektu osłon radiologicznych, przedstawiciele jednostki organizacyjnej zaakceptowali projekt i użyte parametry.

Jeżeli w trakcie eksploatacji tygodniowe obciążenie robocze, odległości, współczynnik przebywania użyte w niniejszym projekcie ulegną zmianie i wpłyną negatywnie na poziom ochrony radiologicznej, należy ponownie zweryfikować osłonowość pracowni, celem potwierdzenia skuteczności osłon radiologicznych.

## 3. Dokumenty będące podstawą opracowania

---

- 1) Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej dnia 11 maja 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo atomowe (Dz.U. 2023 poz. 1173).
- 2) Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi (Dz. U. nr 180 poz. 1325).
- 3) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2006 r. Nr 140, poz. 994 wraz z późniejszymi zmianami Dz.U. 2020 poz. 2300).
- 4) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 marca 2021 r. w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie wymaga zezwolenia, zgłoszenia albo powiadomienia, oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia albo powiadomienia (Dz.U. 2021 poz. 796).
- 5) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 sierpnia 2021 r. 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. 2021 poz. 1667).

- 6) Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 21 marca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych (Dz.U. 2022 poz. 722).
- 7) Polska Norma PN-86/J-80001. Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i gamma. Obliczanie osłon stałych.
- 8) NCRP Report No. 151, Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage. X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities (2005).
- 9) P.H. McGinley, Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities, 2nd Edition, Medical Physics Publishing (2002).
- 10) Shielding Design Methods for Linear Accelerators. Melissa Martin, AAPM 51st Annual Meeting.
- 11) Maglieri, R.; Liang, L.; Evans, M.; Lincea, A.; Dubeau, J.; Witharana, S.; DeBlois, F.; Seuntjens, J.; Kildea, J. SU-F-BRE-11: Neutron Measurements Around the Varian TrueBeam Linac. Med. Phys. 2014, 41, p.393.
- 12) Radiation Protection in The Design Of Radiotherapy Facilities, Safety Reports Series No. 47, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006.
- 13) Referencyjny Podręcznik Projektanta, Edycja Trubeam /VitalBeam, DOK Nr: DDR-HT-V, P/N: 100060817-12, TOM 15, Nr 4; 1 lipca 2015 r.
- 14) Norma DIN 6847-2: Medical electron accelerators, v. 2014-03.
- 15) IEC 60601-2-1 Medical electrical equipment - Part 2-1: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electron accelerators in the range 1 MeV to 50 MeV.
- 16) Materiały informacyjne prof. dr hab. Natalii Golnik, dr Piotra Tulika, dr Jakuba Ośko, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej.
- 17) Informacje uzyskane od Użytkownika. Planowane Procedury Radiologiczne w pracowni akceleratorowej.
- 18) Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej bunkra przeznaczonego do instalacji akceleratora TrueBeam, firmy Varian (sprawdzenie grubości osłon). Warszawa, listopad 2012 r. mgr inż. Irena Kwolczak-El Korbi, mgr inż. Jan Kopeć.

#### 4. Lokalizacja

---

Obiekty SPZOZ MSWiA z Warmińsko- Mazurskim Centrum Onkologii w Olsztynie stanowią zwartą zabudowę położoną w środku miasta. Pracownia akceleratorowa znajduje się na parterze pawilonu Zakładu Radioterapii. Pawilon jest budynkiem parterowym przylegającym do kompleksu budynków szpitala. Pomieszczenie pod pracownią akceleratorową jest na stałe zamknięte z kontrolowanym dostępem (znajdują się w nim kanały wentylacyjne i okablowanie akceleratora). Jakiegokolwiek prace konserwacyjne pomieszczeniu pod pracownią muszą być uzgadniane z Kierownikiem Zakładu Radioterapii oraz Inspektorem Ochrony Radiologicznej.

Bunkier akceleratora jest częściowo zagłębiony w ziemi. Bezpośrednio z pracownią akceleratora sąsiaduje: sterownia akceleratora, pomieszczenie techniczne, teren zewnętrzny oraz sąsiadująca pracownia akceleratorowa).

Obszar sterowni i pracowni akceleratorowej został sklasyfikowany jako teren nadzorowany - mogą na nim przebywać pracownicy zakwalifikowani do pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące oraz inne osoby, w tym pacjenci, w sposób nadzorowany przez personel pracowni.

Dach nad pracownią akceleratorową należy traktować jako teren zamknięty i niedostępny w czasie pracy akceleratora. Jakiegokolwiek prace konserwacyjne w wymienionych wyżej obszarach ograniczonego dostępu muszą być uzgadniane z Kierownikiem Zakładu Radioterapii oraz Inspektorem Ochrony Radiologicznej.

## 5. Obliczenie osłon

---

### 5.1 Informacja o źródłach promieniowania jonizującego

---

#### Promieniowanie fotonowe

- ☒ wiązka o potencjale przyspieszającym promieniowania: 6 MV, 10 MV, 15 MV,
- ☒ dla wiązki 6 MV, 15 MV z filtrem spłaszczającym (FF) maksymalna moc dawki 600 MU/min,
- ☒ dla wiązki 6 MV, 10 MV bez filtra spłaszczającego (FFF) maksymalna moc dawki 1400 MU/min dla 6 MV i moc dawki 2400 MU/min dla 10 MV,
- ☒ transmisja przez szczęki kolimatora - 0,5%,
- ☒ 28-stopniowy stożek wiązki promieniowania pierwotnego od źródła w gantry,
- ☒ (pomiar w odległości 100 cm od izocentrum),
- ☒ maksymalna wielkość pola napromieniania o wymiarze 40 cm x 40 cm = 1600 cm<sup>2</sup>,
- ☒ w odległości 100 cm od źródła,
- ☒ osłony wiązki pierwotnej mają uwzględniać 360-stopniowy obrót gantry,
- ☒ promieniowanie uboczne: (zgodnie z wymaganiami normy IEC[16]) dawka pochłonięta promieniowania X zmierzona w dowolnym miejscu w płaszczyźnie pacjenta, poza maksimum wiązki użytecznej nie powinna przekraczać 0,1% dawki pochłoniętej w izocentrum.

Izocentrum - punkt w trójwymiarowej przestrzeni, wokół którego obracają się gantry, kolimator i obrotowa płyta stołu.

#### Dodatkowy system obrazowania rentgenowskiego dla techniki IGRT

Akcelerator zostanie wyposażony w dodatkowy zintegrowany system obrazowania rentgenowskiego wraz z opcją CBCT oraz opcją fluoroskopii. System IGRT oparty jest na technologii wiązki kilowoltowej, uzyskującej obrazy w osi prostopadłej w stosunku do megawoltowej wiązki terapeutycznej. System umożliwia sprawdzenie i ewentualną weryfikację przestrzennej pozycji chorego oraz objętości napromienianej bezpośrednio przed dostarczeniem frakcyjnej dawki terapeutycznej.

System obrazowania należy traktować jako opcjonalne wyposażenie akceleratora, a nie oddzielne samodzielne źródło promieniowania jonizującego. Oddziaływanie systemu obrazowania kilowoltowego na osoby mogące przebywać w pomieszczeniach sąsiadujących jest nieistotne z uwagi na ochronę radiologiczną (pomijalnie małe).



## 5.2 Informacja o projektowanych osłonach stałych

### Materiały

Na podstawie istniejącej dokumentacji przyjęto grubości i rodzaj materiałów użytych jako osłony radiologiczne dla pracowni akceleratorowej. Części ścian bunkra oraz stropu stanowiące osłony przed promieniowaniem pierwotnym wykonane z ciężkiego betonu o gęstości wynoszącej 3,2 g/cm<sup>3</sup>; w dalszej części opracowania materiał ten będzie nazywany barytobetonem. Pozostałe części ścian i stropu sufitowego, płytę fundamentową oraz ścianę labiryntu wykonano przy użyciu betonu zwykłego o gęstości wynoszącej 2,3 g/cm<sup>3</sup>; w dalszej części opracowania będzie on nazywany betonem.

### Dane TVL

Grubość warstw dziesięciokrotnego osłabienia (Tenth Value Layer - TVL) dla zastosowanych materiałów osłonowych wyznaczono w odniesieniu do grubości warstwy dziesięciokrotnego osłabienia (TVL) dla betonu o gęstości 2,355 g/cm<sup>3</sup>. Grubość TVL dla betonu 2,355 g/cm<sup>3</sup> przyjęto zgodnie z dokumentacją producenta akceleratora firmy Varian [20].

Wartości TVL dla wiązki pierwotnej promieniowania fotonowego dla osłon wykonanych z betonu ciężkiego o gęstości 3,2 g/cm<sup>3</sup> przyjęto dane z wykresu nr 3 na stronie 19 normy DIN 6847-2 [14].

Wartości TVL dla promieniowania fotonowego ubocznego dla osłon wykonanych z betonu zwykłego oraz betonu ciężkiego przyjęto dane podane przez producenta akceleratora dla gęstości 2,355 g/cm<sup>3</sup> i przeliczono wartości, odpowiednio, do gęstości 2,3 g/cm<sup>3</sup> oraz gęstości 3,2 g/cm<sup>3</sup>. Wartości TVL dla promieniowania neutronowego i promieniowania fotonowego przedstawiono w tabeli nr 2-4.

Wielkości TVL dla promieniowania neutronowego i promieniowania fotonowego przedstawiono w tabeli nr 2-4.

PKT	Pomieszczenie	Osłona	Odległość
<b>P12</b>	Sterownia	Osłona I 110 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	6,9 m
<b>P1</b>	Pomieszczenie techniczne	Osłona I 110 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	6,8 m
<b>P2</b>	Teren zewnętrzny	Osłona II 142 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	6,0 m
<b>P3</b>	Teren zewnętrzny	Osłona III 130 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	7,0 m
<b>P4</b>	Teren zewnętrzny	Osłona IV 160 cm barytobeton 3,2 g/cm <sup>3</sup>	7,1 m
<b>P5</b>	Teren zewnętrzny	Osłona V 125 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	7,0 m
<b>P5'</b>	Teren zewnętrzny	Osłona VI 112 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	7,3 m

PKT	Pomieszczenie	Ośłona	Odległość
P6	Teren zewnętrzny	Ośłona VII 109 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	7,0 m
P7	Teren zewnętrzny	Ośłona VII 109 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	6,1 m
P8	Teren zewnętrzny	Ośłona VII 109 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	7,0 m
P9	Pracownia akceleratorowa	Ośłona VIII 120 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup> 80 cm barytobetonu 3,2 g/cm <sup>3</sup>	8,9 m
P10	Pracownia akceleratorowa	Ośłona IX 230 cm barytobetonu 3,2 g/cm <sup>3</sup>	9,0 m
P11	Pracownia akceleratorowa	Ośłona X 130 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup> 90 cm barytobetonu 3,2 g/cm <sup>3</sup>	8,5 m
C1	Dach	Ośłona XI 150 cm barytobetonu 3,0 g/cm <sup>3</sup>	4,9 m
C2	Dach	Ośłona XI 150 cm barytobetonu 3,0 g/cm <sup>3</sup>	5,5 m
C3	Dach	Ośłona XI 150 cm barytobetonu 3,0 g/cm <sup>3</sup>	6,5 m
L1	Dach	Ośłona XIII 150 cm barytobetonu 3,0 g/cm <sup>3</sup>	4,5 m
L2	Budynek sąsiadujący	Ośłona XIV 132 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup>	11,4 m
L3	Budynek sąsiadujący	Ośłona XV 91 cm betonu 2,3 g/cm <sup>3</sup> 29 cm barytobetonu 3.2 g/cm <sup>3</sup>	9.1 m
L4	Budynek sąsiadujący	Ośłona XVI 122 cm barytobetonu 3.2 g/cm <sup>3</sup>	7.3 m

Tabela nr 1 – Zestawienie osłon dla pracowni akceleratorowej TrueBeam.

TVL	Material	beton 2,355 g/cm <sup>3</sup>	beton 2.3 g/cm <sup>3</sup>	ciężki beton 3,2 g/cm <sup>3</sup>
		cm	cm	cm
15 MV		43,2	44.2	29,0
10 MV		38,9	39,8	27,5
6 MV		34,3	35.1	23,4

Tabela nr 2 – zestawienie grubości warstw dziesięciokrotnego osłabienia (TVL) dla promieniowania fotonowego - wiązka pierwotna.

TVL	Materiał	beton 2,355 g/cm <sup>3</sup>	beton 2,3 g/cm <sup>3</sup>	ciężki beton 3,2 g/cm <sup>3</sup>
		cm	cm	cm
15 MV		33	33,8	24,2
10 MV		30,5	31,2	22,4
6 MV		27,9	28,6	20,6

Tabela nr 3 – zestawienie grubości warstw dziesięciokrotnego osłabienia (TVL) dla promieniowania fotonowego ubocznego/rozproszonego.

TVL	Materiał	beton 2,355 g/cm <sup>3</sup>	beton 2,0 g/cm <sup>3</sup>	ciężki beton 3,0 g/cm <sup>3</sup>
		cm	cm	cm
	Neutrony generowane w głowicy akceleratora wysokoenergetycznego (przeciek neutronów)	25	25	25

Tabela nr 4 – zestawienie grubości warstw dziesięciokrotnego osłabienia (TVL) dla promieniowania neutronowego.

Wartość TVL dla promieniowania neutronowego generowanego w głowicy akceleratora wysokoenergetycznego (przeciek neutronów) jest taka sama dla betonu zwykłego i betonu ciężkiego, ponieważ zawartość wodoru w tych materiałach jest taka sama – tabela B.3 NCRP 151 [9].

### 5.3 Założenia przyjęte dla pracowni akceleratorowej

#### Odległości, punkty obliczeniowe.

Wielkości osłon radiologicznych określa się stosując zbiór punktów pomiarowych (oznaczenia P1-P12, L1-L3, C1-C3). Obliczenia zakładają, że wszystkie punkty pomiarowe są w odległości 30 cm od powierzchni osłon radiologicznych. Odległości dla wiązki głównej ( $d_{pri}$ ) liczone są od źródła (głowicy aparatu) do punktu pomiarowego. Odległość  $d_{pri}$  uwzględnia odległość 1 metra od źródła promieniowania do izocentrum aparatu. Dla promieniowania ubocznego ( $d_{sec}$ ) odległości zostały określone jako odległość od izocentrum do punktu pomiarowego. Przyjęte odległości i wielkości osłon radiologicznych są dostępne na rysunkach znajdujących się na końcu projektu.

#### Metodologia.

Obliczenia osłon zostały wykonane zgodnie z metodologią opisaną w raporcie NCRP nr 151 [9]. Jeżeli tygodniowe obciążenie robocze, odległości czy współczynniki przebywania użyte w niniejszym projekcie nie będą odpowiadały wartościom po wykonaniu inwestycji, projekt musi zostać przeliczony ponownie.

### **Czas pracy akceleratora (obciążenie robocze) i dopuszczalne dawki.**

Obciążenie robocze dla wiązki głównej (W) jest to tygodniowa dawka pochłonięta w odległości 1 metra od źródła promieniowania. Jest ono obliczane na podstawie przewidywanej tygodniowej liczby pacjentów i dawki podanej na obszar leczony w ciele pacjenta. Obciążenie dla promieniowania ubocznego ( $W_L$ ) jest obliczane na podstawie tygodniowej liczby pacjentów, dawki podanej pacjentowi w procedurach realizowanych w danym ośrodku oraz współczynnika modulacji. Współczynnik modulacji uwzględnia różne poziomy powstawania promieniowania ubocznego, w zależności od typu procedury (3D conformal, IMRT, SBRS). Neutronowe obciążenie robocze ( $W_N$ ) jest obliczane na podstawie obciążenia roboczego dla wiązki głównej oraz współczynnika udziału promieniowania neutronowego w wiązce użytecznej. Współczynnik ten podany jest w dokumentacji dostawcy akceleratora oraz w tabelach zbiorczych w materiałach źródłowych. Wszystkie obciążenia są obliczane na podstawie danych dostarczonych przez klienta i zostały przedstawione w rozdziale „Obliczenia”.

Zastosowane w projekcie ograniczniki równoważnika dawki zostały określone w oparciu o minimalne wymagania. W ogólnodostępnych miejscach określonych jako strefa niekontrolowana zastosowano ogranicznik równoważnika dawki 6  $\mu$ Sv / tydzień, co odpowiada wartości 0,3 mSv w przeciągu roku.

Na wszystkich obszarach należących do terenu nadzorowanego zastosowano limit 60  $\mu$ Sv / tydzień, co odpowiada wartości 3 mSv w przeciągu roku.

#### **5.4 Tygodniowe obciążenia robocze.**

##### **1. Rodzaj i liczba procedur**

<b>WYKONYWANE PROCEDURY MEDYCZNE</b>	<b>15 MV liczba procedur na dzień</b>	<b>10 MV liczba procedur na dzień</b>	<b>6 MV liczba procedur na dzień</b>
3DCRT	1	1	6
IMRT/VMAT	-		14
SBRT/SRS	-	-	3

##### **2. Dawki w izocentrum:**

200 cGy/pacjent dla radioterapii konwencjonalnej i 3DCRT, 250 cGy/pacjent dla IMRT/VMAT, radioterapia stereotaktyczna i radiochirurgia 1200 cGy/pacjent.

##### **3. Obciążenie tygodniowe pacjenci - wiązka pierwotna.**

Na podstawie danych podanych w punktach 1 i 2 obliczamy obciążenie tygodniowe dla osłon znajdujących się w zasięgu wiązki głównej – promieniowanie pierwotne.

15 MV

$$W = 10 \text{ Gy/tydz. w odległości 1 m} = (1 \times 2 \text{ Gy}) \times 5 \text{ dni/tydz}$$

10 MV

$$W = 10 \text{ Gy/tydz. w odległości 1 m} = (1 \times 2 \text{ Gy}) \times 5 \text{ dni/tydz}$$

6 MV

$$W = 415 \text{ Gy/tydz. w odległości 1 m} = (6 \times 2\text{Gy} + 14 \times 2,5 \text{ Gy} + 3 \times 12 \text{ Gy}) \times 5 \text{ dni/tydz}$$

#### 4. Obciążenie tygodniowe - promieniowanie uboczne.

Tygodniowe obciążenie robocze  $W_L$  dla promieniowania ubocznego fotonowego, powstającego w głowicy, jest iloczynem tygodniowego obciążenia wiązką fotonową  $W$  i współczynnika modulacji dla poszczególnych procedur. Wartość ta jest stosowana do obliczeń równoważnika dawki i mocy dawki promieniowania neutronowego oraz promieniowania gamma, powstającego w wyniku zjawiska wychwytu neutronu.

Współczynnik modulacji:

- IMRT / VMAT = 5
- SRS/SBRT = 5.

15 MV

$$W_L = 10 \text{ Gy/tydz. w odl. 1 m} = (1 \times 2 \text{ Gy}) \times 5 \text{ dni/tydz.}$$

Tygodniowe obciążenie dla promieniowania ubocznego bez osłony głowicy  $W_L = 10 \text{ Gy}$

Tygodniowe obciążenie dla promieniowania ubocznego z osłoną głowicy

$$W_L \times 0.001 = 10 \text{ Gy} \times 0.001 = 0,01 \text{ Gy}$$

10 MV

$$W_L = 10 \text{ Gy/tydz. w odl. 1 m} = (1 \times 2 \text{ Gy}) \times 5 \text{ dni/tydz.}$$

Tygodniowe obciążenie dla promieniowania ubocznego bez osłony głowicy  $W_L = 10 \text{ Gy}$

Tygodniowe obciążenie dla promieniowania ubocznego z osłoną głowicy

$$W_L \times 0.001 = 10 \text{ Gy} \times 0,001 = 0,01 \text{ Gy}$$

6 MV

$$W_L = 1835 \text{ Gy/tydz. w odl. 1 m} = (6 \times 2 \text{ Gy} + 14 \times 2,5 \text{ Gy} \times 5 + 3 \times 12 \text{ Gy} \times 5) \times 5 \text{ dni/tydz.}$$

Tygodniowe obciążenie dla promieniowania ubocznego bez osłony głowicy  $W_L = 1835 \text{ Gy}$

Tygodniowe obciążenie dla promieniowania ubocznego z osłoną głowicy

$$W_L \times 0.001 = 1835 \text{ Gy} \times 0,001 = 1.835 \text{ Gy}$$

#### 5. Obciążenie tygodniowe i tygodniowy równoważnik dawki dla promieniowania neutronowego (neutrony generowane w głowicy podczas emisji wiązki fotonów 15 MV);

Obciążenie robocze dla promieniowania neutronowego ubocznego jest iloczynem tygodniowego obciążenia wiązką fotonową  $W$  i współczynnika modulacji dla poszczególnych procedur. Równoważnik dawki, pochodzący od przecieków neutronów, wg danych podawanych dla akceleratorów firmy Varian dla wiązki fotonowej 15 MV, wynosi:

$$H_o = 7 \times 10^{-4} \text{ Sv/Gy w odległości 1 m od tarczy};$$

Stąd tygodniowy równoważnik dawki dla przecieków neutronów w odległości 1 m od tarczy, wg [11], wyniesie:

$$W_N = W_L \times 0,0007 \text{ Sv/Gy} = 10 \text{ Gy} \times 0,0007 \text{ Sv/Gy} \approx 0,007 \text{ Gy/tydz. w odl. 1 m}$$

## 5.5 Osłony przed promieniowaniem fotonowym

Sprawdzenie skuteczności istniejących osłon wykonano przez obliczenie tygodniowego równoważnika dawki dla poszczególnych punktów pomiarowych na podstawie dokumentacji dostarczonej przez użytkownika. Dodatkowo, w celu potwierdzenia danych na temat materiałów i grubości osłon, wykonano dla tych punktów pomiary mocy dawki z użyciem wiązki o potencjale przyspieszającym 15 MV.

Tygodniowy równoważnik dawki dla wiązki pierwotnej

$$H_{pri} = \frac{WUT}{d_{pri}^2} \times 10^{-nTVL_{pri}} \quad (1)$$

Tygodniowy równoważnik dawki promieniowania wtórnego (ubocznego i rozproszonego w ciele pacjenta), wzór uproszczony

$$H_{sec} = \left[ \frac{W_L L_f T}{d_{sec}^2} + \frac{\alpha W T F}{(d_{sca})^2 (d_{sec})^2 400 \text{ cm}^2} \right] \times 10^{-nTVL_{sec}} \quad (2)$$

- ☒ n = liczba TVL,
- ☒ W = fotonowe tygodniowe obciążenie robocze (cGy/tydz.),
- ☒  $W_L$  = fotonowe uboczne tygodniowe obciążenie robocze (cGy/ tydz.),
- ☒  $W_U$  = fotonowe uboczne tygodniowe obciążenie robocze z uwzględnieniem jego osłabiania w głowicy akceleratora (cGy/ tydz.),
- ☒ U = współczynnik skierowania wiązki,
- ☒ MDR – liczba jednostek monitorowych na minutę (MU/min.),
- ☒  $L_f = 0,001$ , współczynnik osłabiania dla promieniowania ubocznego fotonowego w głowicy, wg IEC [16],
- ☒ P [IDR] = moc dawki [instantaneous dose rate] ( $\mu\text{Sv/ godz.}$ ),
- ☒ T = współczynnik przebywania,
- ☒  $d_{pri}$  = odległość od źródła promieniowania do punktu obliczeniowego(m),
- ☒  $d_{sec}$  = odległość od izocentrum do punktu obliczeniowego (m),
- ☒  $d_{sca}$  = odległość od źródła promieniowania do pacjenta (m),
- ☒ F = wymiar pola promieniowania ( $\text{cm}^2$ ) =  $(40 \times 40)\text{cm}^2 = 1600 \text{ cm}^2$ ,
- ☒  $\alpha$  = współczynnik rozpraszania,
- ☒ S = grubość osłony (cm),
- ☒  $TVL_{pri}$  = grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia dla wiązki pierwotnej (cm),
- ☒  $TVL_{sec}$  = grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia dla promieniowania ubocznego/rozproszonego (cm),
- ☒  $\theta$  = kąt nachylenia,
- ☒  $400 \text{ cm}^2$  – znormalizowany wymiar pola zgodnie z normą NCRP 151 [9],

**Uwaga 1:** Wszystkie odległości „d” w obliczeniach są odniesione do odległości referencyjnej, równej 1 m, tzn. zamiast „d” formalnie powinno być „(d/do)”. Według konwencji stosowanej w podręcznikach NCRP 151 [9] (uproszczenie istotne przy większej liczbie odległości występujących we wzorze) odległość referencyjna jest pomijana, z dodaniem niniejszego wyjaśnienia.

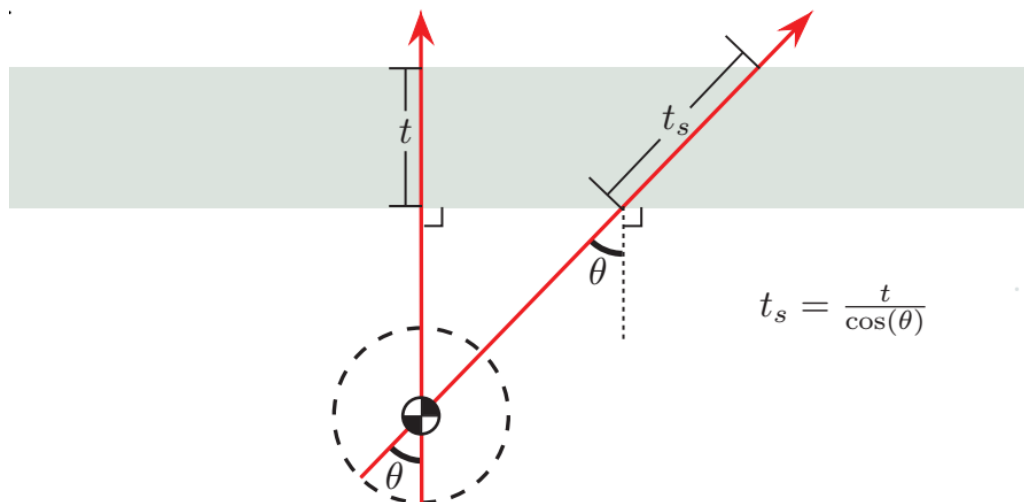
**Uwaga 2:** Wzór "2" jest wzorem uproszczonym, gdzie liczba  $TVL_{sec}$  oznacza liczbę TVL dla promieniowania wtórnego, czyli ubocznego i rozproszonego. Wartości TVL dla promieniowania rozproszonego w ciele pacjenta ( $TVL_{ps}$ ) oraz promieniowania ubocznego ( $TVL_{leak}$ ) dla danego kierunku różnią się między sobą - patrz tabele B.5a i B7 w NCRP-151 [8].

Dla kątów rozproszenia od ciała pacjenta równych lub mniejszych od 20 stopni  $TVL_{ps} \geq TVL_{leak}$  natomiast dla kątów większych od 20 stopni ta relacja jest odwrotna:  $TVL_{ps} < TVL_{leak}$ . Założenie  $TVL_{ps} = TVL_{leak} = TVL_{sec}$  dla kątów rozproszenia większych od 20 stopni jest konserwatywnym podejściem, zawyżając wyniki obliczeń tygodniowego równoważnika dawki.

Dla kątów mniejszych lub równych 20 stopni należy stosować wzór dokładny, gdzie udziały promieniowania ubocznego oraz rozproszonego są rozdzielone. Dla każdego z udziałów przyjmowana jest odrębna liczba TVL, a w udziale dotyczącym promieniowania rozproszonego od pacjenta stosowany jest współczynnik skierowania wiązki  $U=0,25$ . Problem ten jest dokładnie omówiony w podręczniku NCRP-151.

W niniejszym opracowaniu punkty pomiarowe obliczane są dla kątów rozproszenia od pacjenta zawsze większych od 20 stopni, zatem użycie konserwatywnej, uproszczonej formuły jest uzasadnione i zapewnia dodatkowy margines bezpieczeństwa. W obliczeniach równoważników dawki promieniowania ubocznego i rozproszonego użyto dla obu tych samej wartości TVL, podanych w tabeli 3.

**Uwaga 3:** W niniejszym opracowaniu w obliczaniu skuteczności osłon uwzględniono kąt padania promieniowania na osłonę wg konwencji jak na rysunku poniżej.



- ☒  $\theta$  = kąt nachylenia,
- ☒  $t$  = grubość osłony (cm),
- ☒  $t_s$  = grubość osłony (cm) przy uwzględnieniu kąta nachylenia.

## 5.6 Osłony 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.

W przypadku stosowania wiązki elektronów do terapii powierzchniowej z użyciem wysokoenergetycznego akceleratora elektronów można wykazać, że udział promieniowania hamowania wytworzonego w czasie tej części procedur jest pomijalny w obliczaniu osłon przed promieniowaniem fotonowym w porównaniu z udziałem wiązek fotonowych wysokich energii. Takie podejście, czyli pominięcie obciążenia od terapii elektronowych, przedstawione jest w opracowaniu NCRP 151 na str. 9 [9].

## 5.7 Osłony przed promieniowaniem neutronowym

---

W podręczniku IAEA Safety Report Series nr 47 [13] podano, powołując się na szereg publikacji w tym zakresie, że dla akceleratorów liniowych o energiach od 10 MeV do 25 MeV średnia energia neutronów bezpośrednio wychodzących z głowicy (przebieg neutronów) zasadniczo nie przekracza wartości 1 MeV, a średnia energia neutronów rozpraszanych przez materiały wewnątrz pomieszczenia terapii jest rzędu 0,24 MeV. W oparciu o metody opisane w cytowanych publikacjach wyznaczono wartość średniej energii neutronów (z wyłączeniem neutronów termicznych) na poziomie 0,34 MeV. Neutrony prędkie są skutecznie pochłaniane przez materiały o dużej zawartości wodoru. Beton ma stosunkowo wysoką zawartość wodoru (wagowa zawartość wody wynosi ok. 4 – 5%) i TVL dla fotonów o energii 0,34 MeV wynosi ok. 210 mm (dla obliczenia krotności osłon przyjęto bardziej konserwatywną wartość 250 mm, wg NCRP 151, str. 30 [9]).

Jest to mniej więcej połowa wartości TVL dla wiązki pierwotnej fotonów o energii 15 MeV, wynoszącej ok. 509 mm dla betonu o gęstości  $2,0 \text{ g/cm}^3$ ; jest ona również mniejsza od wartości TVL promieniowania wtórnego (ubocznego i rozproszonego) wynoszącej ok. 338 mm dla takiego samego betonu.

Zatem, jeśli osłona jest wystarczająca dla wiązki fotonowej o danej energii, jest również wystarczająca dla neutronów generowanych w otoczeniu akceleratora wytwarzającego wiązkę X o takiej energii.

Obciążenie robocze, pochodzące od promieniowania neutronowego, jest pomijalnie małe w porównaniu z obciążeniem pochodzącym od wiązki fotonowej (patrz część 5.5 opracowania), zatem udział promieniowania neutronowego jest pomijany w obliczeniach osłon ścian, sufitu oraz podłogi. Ma on znaczenie tylko w obliczeniach osłony drzwi do bunkra z labiryntem ze względu na inne warunki docierania promieniowania neutronowego do drzwi.



## 6. Punkty obliczeniowe.

### 6.1 P12 Sterownia

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce stałego przebywania osób pracujących w narażeniu na promieniowanie.

$W_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{L15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{L10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{6MV} = 415 \text{ Gy}$ ,  $W_{L6MV} = 1835 \text{ Gy}$ .

$d_{\text{sec}} = 6,9 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 1$ ,  $P = 60 \text{ } \mu\text{Sv/tydz.}$   $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $60^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $60^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,000547$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,000746$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,000824$ ;

#### Istniejące osłony:

Oslona składa się z 1100 mm betonu;

1100 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1100 mm / (338 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 3,76 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ☒ 1100 mm / (312 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,07 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ☒ 1100 mm / (286 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,44 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,76. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 4,07

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 4,44

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R \text{ 15 MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{3,76} \times (6,9)^2} + \frac{0,000547 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,76} \times (6,9)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 3,7 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 8,0 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 11,7 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,1 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R \text{ 10 MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{4,07} \times (6,9)^2} + \frac{0,000746 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,07} \times (6,9)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 1,78 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 5,3 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 7,1 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,07 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R \text{ 6 MV}} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{4,44} \times (6,9)^2} + \frac{0,000824 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,44} \times (6,9)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 1,4 \times 10^{-6} \text{ Gy} + 1,0 \times 10^{-6} \text{ Gy} = 2,4 \times 10^{-6} \text{ Gy} = 2,4 \text{ } \mu\text{Sv}$$

#### Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:

$H_{U+R} = H_{U+R \text{ 15MV}} + H_{U+R \text{ 10MV}} + H_{U+R \text{ 6MV}} = 0,1 \text{ } \mu\text{Sv} + 0,07 \text{ } \mu\text{Sv} + 2,4 \text{ } \mu\text{Sv} \approx 2,6 \text{ } \mu\text{Sv} < 6 \text{ } \mu\text{Sv}$

**Oslony są wystarczające**

## 6.2 P1 Pomieszczenie techniczne

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy.

$d_{\text{sec}} = 6,8 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \text{ } \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $90^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $90^\circ$ :  $\alpha_{15\text{MV}} = 0,000261$ ;  $\alpha_{10\text{MV}} = 0,000381$ ,  $\alpha_{6\text{MV}} = 0,000426$ ;

### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1100 mm betonu;

1100 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1100 mm /338 mm = 3,25 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ☒ 1100 mm/312 mm = 3,52 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ☒ 1100 mm /286 mm = 3,85 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,25. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 3,52.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 3,85.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R \text{ 15 MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,25} \times (6,8)^2} + \frac{0,000261 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,25} \times (6,8)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = 0,6 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 0,6 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 1,2 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,01 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R \text{ 10 MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,52} \times (6,8)^2} + \frac{0,000381 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,52} \times (6,8)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = 0,3 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 0,5 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 0,8 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,08 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R \text{ 6 MV}} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,85} \times (6,8)^2} + \frac{0,000426 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,85} \times (6,8)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = 2,8 \times 10^{-7} \text{ Gy} + 1,1 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 3,9 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 0,39 \text{ } \mu\text{Sv}$$

### Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:

$$H_{U+R} = H_{U+R \text{ 15MV}} + H_{U+R \text{ 10MV}} + H_{U+R \text{ 6MV}} = 0,48 \text{ } \mu\text{Sv} < 6 \text{ } \mu\text{Sv}$$

**Osłony są wystarczające**

**6.3 P2: Teren zewnętrzny**

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{\text{sec}} = 6 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $60^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $60^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,000547$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,000746$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,000824$ ;

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 1420 mm betonu;

1420 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1420 mm / (338 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,85 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ☒ 1420 mm / (312 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 5,26 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ☒ 1420 mm / (286 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 5,73 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 4,85. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 5,26.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 5,73.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R \ 15 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,85} \times (6)^2} + \frac{0,000547 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,85} \times (6)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$\approx 2 \times 10^{-10} \text{ Gy} + 4 \times 10^{-10} \text{ Gy} = 6 \times 10^{-10} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R \ 10 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{5,26} \times (6)^2} + \frac{0,000746 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,26} \times (6)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$\approx 1 \times 10^{-10} \text{ Gy} + 2 \times 10^{-10} \text{ Gy} = 3 \times 10^{-10} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R \ 6 \text{ MV}} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{5,73} \times (6)^2} + \frac{0,000824 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,73} \times (6)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$\approx 0,5 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 0,4 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 0,9 \times 10^{-8} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:**

$H_{U+R} = H_{U+R \ 15MV} + H_{U+R \ 10MV} + H_{U+R \ 6MV} < 0,03 \mu\text{Sv} \ll 6 \mu\text{Sv}$

**Osłony są wystarczające**

#### 6.4 P3: Teren zewnętrzny

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

$W_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $WL_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $WL_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{6MV} = 415 \text{ Gy}$ ,

$WL_{6MV} = 1835 \text{ Gy}$

$d_{\text{sec}} = 7 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $30^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $30^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,00277$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,00318$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,00277$ ;

#### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1300 mm betonu;

1300 mm betonu zapewnia:

- ☒  $1300 \text{ mm} / (338 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,44 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ☒  $1300 \text{ mm} / (312 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,81 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ☒  $1300 \text{ mm} / (286 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 5,25 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 4,44. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 4,81

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 5,25.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R \ 15 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,44} \times (7)^2} + \frac{0,00277 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,44} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = \\ \approx 3,7 \times 10^{-10} \text{ Gy} + 41,1 \times 10^{-10} \text{ Gy} = 44,7 \times 10^{-10} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R \ 10 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,81} \times (7)^2} + \frac{0,00318 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,81} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = \\ \approx 1,6 \times 10^{-10} \text{ Gy} + 20,1 \times 10^{-10} \text{ Gy} = 21,7 \times 10^{-10} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R \ 6 \text{ MV}} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{5,25} \times (7)^2} + \frac{0,00277 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,25} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = \\ \approx 1,1 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 2,6 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 3,7 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,04 \mu\text{Sv}$$

#### Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:

$H_{U+R} = H_{U+R \ 15MV} + H_{U+R \ 10MV} + H_{U+R \ 6MV} \approx 0,04 \mu\text{Sv} \ll 6 \mu\text{Sv}$

**Osłony są wystarczające**

**6.5 P4: Teren zewnętrzny**

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar w zasięgu wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

$W_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{6MV} = 415 \text{ Gy}$ ,  $d_{\text{prim}} = 7,1 \text{ m}$ ,  $U = 0,25$ ,  $T = 0,05$ ,

$P = 6 \text{ } \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 1600 mm barytobetonu;

1600 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 1600 mm /290 mm = 5,52 TVL dla promieniowania fotonowego 15 MV;
- ☒ 1600 mm/275 mm = 5,82 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 1600 mm/234 mm = 6,84 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 5,52. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 5,82

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 6,84.

Tygodniowa dawka od promieniowania wiązki głównej dla 15 MV:

$$H_{P \ 15 \ MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 0,25 \times 0,05}{10^{5,52} \times (7,1)^2} = 7,5 \times 10^{-9} \text{ Gy} < 0,01 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania wiązki głównej dla 10 MV:

$$H_{P \ 10 \ MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 0,25 \times 0,05}{10^{5,82} \times (7,1)^2} = 3,8 \times 10^{-9} \text{ Gy} < 0,01 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania wiązki głównej dla 6 MV:

$$H_{P \ 6 \ MV} = \frac{415 \text{ Gy} \times 0,25 \times 0,05}{10^{6,84} \times (7,1)^2} = 14,9 \times 10^{-9} \text{ Gy} = 0,02 \text{ } \mu\text{Sv}$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:**

$H_P = H_{P \ 15MV} + H_{P \ 10MV} + H_{P \ 6MV} < 0,03 \text{ } \mu\text{Sv} \ll 6 \text{ } \mu\text{Sv}$

**Osłony są wystarczające**

## 6.6 P5: Teren zewnętrzny

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

$W_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $WL_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $WL_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{6MV} = 415 \text{ Gy}$ ,

$WL_{6MV} = 1835 \text{ Gy}$

$d_{\text{sec}} = 7,0 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $30^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $30^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,00277$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,00318$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,00277$ ;

### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1250 mm betonu;

1250 mm betonu zapewnia:

- ⊗  $1250 \text{ mm} / (338 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,27 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ⊗  $1250 \text{ mm} / (312 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,63 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ⊗  $1250 \text{ mm} / (286 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 5,05 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 4,27. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 4,63

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 5,05

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R \ 15 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,27} \times (7)^2} + \frac{0,00277 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,27} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$
$$= 5,5 \times 10^{-10} \text{ Gy} + 0,6 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 0,7 \times 10^{-8} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R \ 10 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,63} \times (7)^2} + \frac{0,00318 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,63} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$
$$= 0,2 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 3,1 \times 10^{-9} \text{ Gy} = 3,3 \times 10^{-9} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R \ 6 \text{ MV}} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{5,05} \times (7)^2} + \frac{0,00277 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,05} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$
$$= 0,2 \times 10^{-7} \text{ Gy} + 0,4 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 0,6 \times 10^{-7} \text{ Gy} \approx 0,06 \mu\text{Sv}$$

### Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:

$H_{U+R} = H_{U+R \ 15MV} + H_{U+R \ 10MV} + H_{U+R \ 6MV} < 0,08 \mu\text{Sv} \ll 6 \mu\text{Sv}$

**Osłony są wystarczające**

**6.7 P5': Teren zewnętrzny**

( $\theta = 18^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{sec} = 7,3$  m,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $45^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $45^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,00105$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,00135$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,00139$ ;

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 1120 mm betonu;

1120 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1120 mm / (338 mm x  $\cos(18^\circ)$ ) = 3,48 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ☒ 1120 mm / (312 mm x  $\cos(18^\circ)$ ) = 3,77 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ☒ 1120 mm / (286 mm x  $\cos(18^\circ)$ ) = 4,12 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,48. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 3,77

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 4,12

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R 15 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,48} \times (7,3)^2} + \frac{0,00105 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,48} \times (7,3)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 0,3 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 1,3 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 1,6 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,02 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R 10 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,77} \times (7,3)^2} + \frac{0,00135 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,77} \times (7,3)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 0,2 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 0,9 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 1,1 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R 6 MV} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,12} \times (7,3)^2} + \frac{0,00139 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,12} \times (7,3)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 13,1 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 16,4 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 29,5 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,3 \mu\text{Sv}$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:**

$H_{U+R} = H_{U+R 15MV} + H_{U+R 10MV} + H_{U+R 6MV} \approx 0,3 \mu\text{Sv} \ll 6 \mu\text{Sv}$

**Osłony są wystarczające**

## 6.8 P6, P8: Teren zewnętrzny

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{sec} = 7,0$  m,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv}/\text{tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $60^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $60^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,000547$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,000746$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,000824$ ;

### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1090 mm betonu;

1090 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1090 mm / (338 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 3,72 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 15 MV;
- ☒ 1090 mm / (312 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,03 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 10 MV;
- ☒ 1090 mm / (286 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,40 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego, wiązka 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,72. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 3,99.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 4,44.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R 15 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,72} \times (7)^2} + \frac{0,000547 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,72} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 2 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 4 \times 10^{-9} \text{ Gy} = 6 \times 10^{-9} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R 10 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,03} \times (7)^2} + \frac{0,000746 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,03} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 0,1 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 2,8 \times 10^{-9} \text{ Gy} = 2,9 \times 10^{-9} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R 6 MV} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{4,4} \times (7)^2} + \frac{0,000824 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,4} \times (7)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 0,7 \times 10^{-7} \text{ Gy} + 0,6 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 1,3 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 0,13 \mu\text{Sv}$$

### Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:

$$H_{U+R} = H_{U+R 15MV} + H_{U+R 10MV} + H_{U+R 6MV} \approx 0,13 \mu\text{Sv} \ll 6 \mu\text{Sv}$$

**Obciążenia, warunki przebywania, odległości oraz osłony są takie same dla punktu P6 i P8.**

**Osłony są wystarczające**



**6.9 P7: Teren zewnętrzny**

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce krótkiego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{sec} = 6,1$  m,  $U = 1$ ,  $T = 0,05$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz.}$   $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $90^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $90^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,000261$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,000381$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,000426$ ;

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 1090 mm betonu;

1090 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1090 mm /338 mm = 3,22 TVL dla promieniowania fotonowego 15 MV;
- ☒ 1090 mm/312 mm = 3,49 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;
- ☒ 1090 mm /286 mm = 3,81 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,22. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 3,49.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 3,81.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R 15 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,22} \times (6,1)^2} + \frac{0,000261 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,22} \times (6,1)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 0,8 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 0,8 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 1,6 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,02 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R 10 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,49} \times (6,1)^2} + \frac{0,000381 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,49} \times (6,1)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 0,4 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 0,7 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 1,1 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R 6 MV} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,05}{10^{3,81} \times (6,1)^2} + \frac{0,000426 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,05 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,81} \times (6,1)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 3,8 \times 10^{-7} \text{ Gy} + 1,5 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 5,3 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 0,53 \mu\text{Sv}$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:**

$$H_{U+R} = H_{U+R 15MV} + H_{U+R 10MV} + H_{U+R 6MV} \approx 0,6 \mu\text{Sv} < 6 \mu\text{Sv}$$

**Osłony są wystarczające**

## 6.10 P9: Pracownia akceleratorowa

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce czasowego przebywania osób pracujących w narażeniu na promieniowanie.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{\text{sec}} = 8,9 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 0,5$ ,  $P = 60 \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $30^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $30^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,00277$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,00318$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,00277$ ;

### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1200 mm betonu oraz 800 mm barytobetonu;

1200 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1200 mm / (338 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,10 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒ 1200 mm / (312 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,44 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 10 MV;
- ☒ 1200 mm / (286 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,84 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 6 MV;

800 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 800 mm / (242 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 3,82 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒ 800 mm / (224 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,12 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 10 MV;
- ☒ 800 mm / (206 mm x  $\cos(30^\circ)$ ) = 4,48 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 7,92. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 8,56

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 9,32.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R 15 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,5}{10^{7,92} \times (8,9)^2} + \frac{0,00277 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,5 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{7,92} \times (8,9)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx \\ \approx 9,2 \times 10^{-12} \text{ Gy} \ll 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R 10 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,5}{10^{8,56} \times (8,9)^2} + \frac{0,00318 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 0,5 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{8,56} \times (8,9)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx 2,4 \times 10^{-12} \\ \ll 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R 6 MV} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 0,5}{10^{9,32} \times (8,9)^2} + \frac{0,00277 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 0,5 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{9,32} \times (8,9)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = \\ = 1,9 \times 10^{-11} \ll 0,01 \mu\text{Sv}$$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki jest znacznie mniejszy od  $0,01 \mu\text{Sv}$ , osłony są wystarczające.

**6.11 P10: Pracownia akceleratorowa**

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar w zasięgu wiązki głównej);

Opis: Miejsce czasowego przebywania osób pracujących w narażeniu na promieniowanie jonizujące.

$W_{15MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{10MV} = 10 \text{ Gy}$ ,  $W_{6MV} = 415 \text{ Gy}$ ,  $d_{\text{prim}} = 9,0 \text{ m}$ ,  $U = 0,25$ ,  $T = 0,5$ ,

$P = 60 \text{ } \mu\text{Sv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 2300 mm (900 mm + 1400 mm) barytobetonu;

2300 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 2300 mm /290 mm = 7,93 TVL dla promieniowania fotonowego 15 MV;
- ☒ 2300 mm/275 mm = 8,36 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 2300 mm/234 mm = 9,83 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 7,93. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 8,36

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 9,83.

Tygodniowa dawka od promieniowania wiązki głównej dla 15 MV:

$$H_{P \ 15 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 0,25 \times 0,5}{10^{7,93} \times (9,0)^2} = 1,81 \times 10^{-10} \text{ Gy} < 0,01 \text{ } \mu\text{Sv} \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania wiązki głównej dla 10 MV:

$$H_{P \ 10 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 0,25 \times 0,5}{10^{8,36} \times (9,0)^2} = 6,7 \times 10^{-11} \text{ Gy} < 0,001 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania wiązki głównej dla 6 MV:

$$H_{P \ 6 \text{ MV}} = \frac{415 \text{ Gy} \times 0,25 \times 0,5}{10^{9,83} \times (9,0)^2} = 9 \times 10^{-11} \text{ Gy} < 0,001 \text{ } \mu\text{Sv}$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki jest mniejszy od 0,01  $\mu\text{Sv}$ , osłony są wystarczające.**

## 6.12 P11: Pracownia akceleratorowa

---

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce stałego przebywania osób pracujących w narażeniu na promieniowanie.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{\text{sec}} = 8,5 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $T = 0,5$ ,  $P = 60 \text{ } \mu\text{Sv/tydz.}$   $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta =  $30^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $30^\circ$ :  $\alpha_{15\text{MV}} = 0,00277$ ;  $\alpha_{10\text{MV}} = 0,00318$ ,  $\alpha_{6\text{MV}} = 0,00277$ ;

### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1200 mm betonu oraz 900 mm barytobetonu;

1200 mm betonu zapewnia:

- ☒  $1200 \text{ mm} / (338 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,10 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒  $1200 \text{ mm} / (312 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,44 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 10 MV;
- ☒  $1200 \text{ mm} / (286 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,84 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 6 MV;

900 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒  $900 \text{ mm} / (242 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,29 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒  $900 \text{ mm} / (224 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 4,64 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 10 MV;
- ☒  $900 \text{ mm} / (206 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 5,04 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 8,39. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 9,08

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 9,88.

**Osłony dla punktu P11 są jeszcze bardziej skuteczne niż dla punktu P9, Całkowity równoważnik dawki w tygodniu jest więc znacznie mniejszy od  $0,01 \text{ } \mu\text{Sv}$ , osłony są wystarczające.**

### 6.13 C1: Dach

---

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar w zasięgu wiązki głównej);

Opis: Obszar niedostępny w czasie emisji promieniowania przez akcelerator.

Zakaz wejścia na dach podczas pracy akceleratorów.

$D_{pri} = 4,9$  m,  $U = 0,25$ ,

#### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1500 mm barytobetonu.

1500 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 1500 mm /290 mm = 5,17 TVL dla promieniowania fotonowego 15 MV;
- ☒ 1500 mm /275 mm = 5,45 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 1500 mm /234 mm = 6,41 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Moc dawki w punkcie C1 podczas emisji wiązki 15 MV:

$$\frac{360 \text{ Gy/godz.}}{10^{5,17} \times (4,9)^2} = 101 \text{ } \mu\text{Sv/godz.}$$

Dach jest objęty zakazem dostępu.

### 6.14 C2: Dach

---

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar w zasięgu wiązki głównej);

Opis: Obszar niedostępny w czasie emisji promieniowania przez akcelerator.

Zakaz wejścia na dach podczas pracy akceleratorów.

$D_{pri} = 5,5$  m,  $U = 0,25$ ,

#### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1500 mm barytobetonu.

1500 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 1500 mm /290 mm  $\times \cos(30^\circ) = 5,97$  TVL dla promieniowania fotonowego 15 MV;
- ☒ 1500 mm /275 mm  $\times \cos(30^\circ) = 6,30$  TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 1500 mm /234 mm  $\times \cos(30^\circ) = 7,40$  TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV

Moc dawki w punkcie C2 podczas emisji wiązki 15 MV:

$$\frac{360 \text{ Gy/godz.}}{10^{5,97} \times (5,5)^2} = 12,7 \text{ } \mu\text{Sv/godz.}$$

Dach jest objęty zakazem dostępu.

### 6.15 C3: Dach

---

( $\theta = 45^\circ$  nachylenie, obszar w zasięgu wiązki głównej);

Opis: Obszar niedostępny w czasie emisji promieniowania przez akcelerator.

Zakaz wejścia na dach podczas pracy akceleratorów.

$D_{pri} = 6,5 \text{ m}$ ,  $U = 0,25$ ,

#### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1500 mm barytobetonu.

1500 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒  $1500 \text{ mm} / 290 \text{ mm} \times \cos(45^\circ) = 7,32 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego 15 MV;
- ☒  $1500 \text{ mm} / 275 \text{ mm} \times \cos(45^\circ) = 7,71 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒  $1500 \text{ mm} / 234 \text{ mm} \times \cos(45^\circ) = 9,07 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego 6 MV

Moc dawki w punkcie C3 podczas emisji wiązki 15 MV:

$$\frac{360 \text{ Gy/godz.}}{10^{7,32} \times (6,5)^2} = 0,4 \mu\text{Sv/godz.}$$

Dach jest objęty zakazem dostępu.

### 6.16 L1: Dach

---

( $\theta = 30^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Obszar niedostępny w czasie emisji promieniowania przez akcelerator.

Zakaz wejścia na dach podczas pracy akceleratorów.

$d_{\text{sec}} = 4,5 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

Kat rozproszenia od pacjenta:  $30^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $30^\circ$ :  $\alpha_{15\text{MV}} = 0,00277$ ;  $\alpha_{10\text{MV}} = 0,00318$ ,  $\alpha_{6\text{MV}} = 0,00277$ ;

#### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1500 mm barytobetonu;

1500 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒  $1500 \text{ mm} / (242 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 5,12 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒  $1500 \text{ mm} / (224 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 7,73 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒  $1500 \text{ mm} / (206 \text{ mm} \times \cos(30^\circ)) = 8,41 \text{ TVL}$  dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 5,12 Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 7,73.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 8,41

Moc dawki w punkcie L1 podczas emisji wiązki 15 MV będzie na poziomie  $0,1 \mu\text{Sv/h}$ .

Dach jest objęty zakazem dostępu.

## 6.17 L2: Budynek sąsiadujący

( $\theta = 34^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce stałego przebywania osób z ogółu ludności

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{\text{sec}} = 11,4 \text{ m}$ ,  $U = 1$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz}$ ,  $T = 1$ .

Kąt rozproszenia od ciała pacjenta:  $30^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $30^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,00277$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,00318$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,00277$

### Istniejące osłony:

Osłona składa się z 1320 mm betonu wartość ta została zmierzona bezpośrednio na rysunku, jest to najmniej korzystny przypadek dla padania promieniowania ubocznego w tym kierunku

1320 mm betonu zapewnia:

- ☒ 1320 mm /338 mm = 3,90 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒ 1320 mm /312 mm = 4,23 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 1320 mm /286 mm = 4,62 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,90. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 4,23.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 4,62.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R \ 15 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{3,9} \times (11,4)^2} + \frac{0,00277 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,9} \times (11,4)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx$$

$$\approx 9,6 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 1,1 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 1,2 \times 10^{-7} \text{ Gy} \approx 0,12 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R \ 10 \text{ MV}} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{4,23} \times (11,4)^2} + \frac{0,00318 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,23} \times (11,4)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$\approx 4,5 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 5,8 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 6,2 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,06 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R \ 6 \text{ MV}} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{4,62} \times (11,4)^2} + \frac{0,00277 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,62} \times (11,4)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx$$

$$\approx 3,4 \times 10^{-7} \text{ Gy} + 8,6 \times 10^{-7} \text{ Gy} = 1,2 \times 10^{-6} \text{ Gy} = 1,2 \mu\text{Sv}$$

### Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:

$H_{U+R} = H_{U+R \ 15MV} + H_{U+R \ 10MV} + H_{U+R \ 6MV} = 0,12 \mu\text{Sv} + 0,06 \mu\text{Sv} + 1,2 \mu\text{Sv} = 1,4 \mu\text{Sv} < 6 \mu\text{Sv}$

### Osłony są wystarczające



**6.18 L3: Budynek sąsiadujący- pokój lekarzy**

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce stałego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{sec} = 9,1$  m,  $U=1$ ,  $T = 1$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv}/\text{tydz.} = 0,0006 \text{ cSv}/\text{tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

Kat rozproszenia od pacjenta:  $45^\circ$ ;

Współczynnik rozpraszania w ciele pacjenta dla kąta  $45^\circ$ :

$\alpha_{15MV} = 0,001$  (ekstrapolacja pomiędzy wartościami dla 10 MV i 18 MV, podanymi w NCRP-151, tabela B.4)

$\alpha_{10MV} = 0,00135$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,00139$ ;

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 913 mm betonu oraz 293 mm barytobetonu; wartości te są mierzone bezpośrednio na rysunku, jest to najmniej korzystny przypadek dla padania promieniowania ubocznego w tym kierunku

913 mm betonu zapewnia:

- ☒ 913 mm /338 mm = 2,70 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒ 913 mm /312 mm = 2,93 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 913 mm /286 mm = 3,19 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

293 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 293 mm /242 mm = 1,21 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒ 293 mm /224 mm = 1,31 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 293 mm /206 mm = 1,42 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,91. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 4,24.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 4,61.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R 15 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1}{10^{3,91} \times (9,1)^2} + \frac{0,001 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{3,91} \times (9,1)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx \\ \approx 1,5 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 5,9 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 7,4 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,07 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R 10 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1}{10^{4,24} \times (9,1)^2} + \frac{0,00135 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{4,24} \times (9,1)^2 \times 400 \text{ cm}^2} = \\ = 7 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 3,8 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 4,5 \times 10^{-8} \text{ Gy} \approx 0,05 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R\ 6\ MV} = \frac{1835\ Gy \times 10^{-3} \times 1 \times 1}{10^{4,61} \times (9,1)^2} + \frac{0,00139 \times 415\ Gy \times 1 \times 1 \times 1600\ cm^2}{10^{4,61} \times (9,1)^2 \times 400\ cm^2} \approx$$
$$\approx 5,4 \times 10^{-7}\ Gy + 6,84 \times 10^{-7}\ Gy = 12,24 \times 10^{-7}\ Gy = 1,22\ \mu Sv$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:**

$$H_{U+R} = H_{U+R\ 15MV} + H_{U+R\ 10MV} + H_{U+R\ 6MV} = 0,07\ \mu Sv + 0,05\ \mu Sv + 1,22\ \mu Sv = 1,34\ \mu Sv < 6\ \mu Sv$$

**Ośłony są wystarczające**

**6.19 L4: Budynek sąsiadujący- pokój lekarzy**

( $\theta = 0^\circ$  nachylenie, obszar poza zasięgiem wiązki głównej);

Opis: Miejsce stałego przebywania osób z ogółu ludności.

W15MV = 10 Gy, WL15MV = 10 Gy, W10MV = 10 Gy, WL10MV = 10 Gy, W6MV = 415 Gy,

WL6MV = 1835 Gy

$d_{sec} = 7,3$  m,  $U=1$ ,  $T = 1$ ,  $P = 6 \mu\text{Sv/tydz.} = 0,0006 \text{ cSv/tydz.}$ ,  $L_f = 10^{-3}$ ,

kąt rozproszenia od ciała pacjenta:  $60^\circ$ ,

Współczynnik rozpraszania dla kąta  $60^\circ$ :  $\alpha_{15MV} = 0,000547$ ;  $\alpha_{10MV} = 0,000746$ ,  $\alpha_{6MV} = 0,000824$

**Istniejące osłony:**

Osłona składa się z 1220 mm barytobetonu; wartość ta została zmierzona bezpośrednio na rysunku, jest to najmniej korzystny przypadek dla padania promieniowania ubocznego w tym kierunku

1220 mm barytobetonu zapewnia:

- ☒ 1220 mm /242 mm = 5,04 TVL dla promieniowania fotonowego wtórnego 15 MV;
- ☒ 1220 mm /224 mm = 5,44 TVL dla promieniowania fotonowego 10 MV;
- ☒ 1220 mm /206 mm = 5,92 TVL dla promieniowania fotonowego 6 MV;

Całkowita liczba TVL dla fotonów 15 MV = 3,61. Całkowita liczba TVL dla fotonów 10 MV = 3,91.

Całkowita liczba TVL dla fotonów 6 MV = 4,27.

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 15 MV:

$$H_{U+R 15 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{5,04} \times (7,3)^2} + \frac{0,001 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,04} \times (7,3)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx$$

$$\approx 1,7 \times 10^{-9} \text{ Gy} + 3,7 \times 10^{-9} \text{ Gy} = 5,4 \times 10^{-9} \text{ Gy} \ll 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 10 MV:

$$H_{U+R 10 MV} = \frac{10 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{3,915,44} \times (7,3)^2} + \frac{0,00135 \times 10 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,44} \times (7,3)^2 \times 400 \text{ cm}^2} =$$

$$= 6,7 \times 10^{-10} \text{ Gy} + 2 \times 10^{-9} \text{ Gy} = 2,7 \times 10^{-9} \text{ Gy} \ll 0,01 \mu\text{Sv}$$

Tygodniowa dawka od promieniowania ubocznego i rozproszonego dla wiązki 6 MV:

$$H_{U+R 6 MV} = \frac{1835 \text{ Gy} \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1}{10^{5,92} \times (7,3)^2} + \frac{0,00139 \times 415 \text{ Gy} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1600 \text{ cm}^2}{10^{5,92} \times (7,3)^2 \times 400 \text{ cm}^2} \approx$$

$$\approx 4,1 \times 10^{-8} \text{ Gy} + 3,12 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 7,2 \times 10^{-8} \text{ Gy} = 0,07 \mu\text{Sv}$$

**Całkowity tygodniowy równoważnik dawki:**

$H_{U+R} = H_{U+R 15MV} + H_{U+R 10MV} + H_{U+R 6MV} = 0,07 \mu\text{Sv} < 6 \mu\text{Sv}$

**Osłony są wystarczające**

## 7. Punkt DW przy drzwiach do pracowni akceleratorowej

---

### 7.1 Metodyka obliczenia grubości i składu osłony drzwi labiryntowych

---

Konstrukcja labiryntu ma na celu zmniejszenie dawki przy wejściu do pomieszczenia terapii tak, aby drzwi osłonowe były możliwie lekkie. Jest to szczególnie istotne w akceleratorach emitujących wiązki fotonowe o energiach powyżej 10 MeV, ze względu na powstawanie neutronów i ich oddziaływanie z materiałami w pomieszczeniu, w szczególności generacja fotonów w zjawisku wychwytu gamma podczas oddziaływania neutronów z materiałem drzwi i ścianami labiryntu.

Metodyka obliczeń całkowitego równoważnika dawki w drzwiach do labiryntu pracowni akceleratorowej medycznego podana jest w dwóch zasadniczych opracowaniach, tzn., NCRP 151 oraz IAEA Safety Reports Series No 47.

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki w punkcie DW jest obliczony wg metodyki podanej w opracowaniu NCRP 151, rozdział 2.4.

Tygodniowe obciążenie dla wiązki pierwotnej ( $W$ ), dla promieniowania ubocznego bez osłony głowicy ( $W_L$ ) oraz dla promieniowania ubocznego z osłoną głowicy ( $W_U = W_L \times 0,001$ )

15 MV:

$W = 10$  Gy, tygodniowe obciążenie dla wiązki pierwotnej,

$W_L = 10$  Gy

$W_U = 0,01$  Gy

10 MV:

$W = 10$  Gy, tygodniowe obciążenie dla wiązki pierwotnej,

$W_L = 10$  Gy

$W_U = 0,01$  Gy

6 MV:

$W = 415$  Gy, tygodniowe obciążenie dla wiązki pierwotnej,

$W_L = 1835$  Gy

$W_U = 1,835$  Gy

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki w punkcie DW ma następujące składowe:

#### 7.1 Równoważnik dawki fotonów $H_{LS}$ w drzwiach labiryntu, pochodzącej od pierwszego rozproszenia promieniowania ubocznego z głowicy na ścianie G i padającego na drzwi:

---

$$H_{LS} = \frac{W_u \cdot U_G \cdot \alpha_1 \cdot A_1}{(d_{sec} \cdot d_{zz})^2} \quad (9)$$

Moc dawki:

$$DR_{LS} = \frac{DR_{uo} \cdot \alpha_1 \cdot A_1}{(d_{sec} \cdot d_{zz})^2} \quad (10)$$

Gdzie:

$W_U$  - tygodniowe obciążenie robocze dla promieniowania ubocznego;  
 $U_G = 0,25$ , współczynnik skierowania wiązki na ścianę najbliższą względem labiryntu;  
 $\alpha_1$  - współczynnik odbicia dla rozpraszania promieniowania ubocznego na powierzchni  $A_1$ ,  
 $A_1$  - powierzchnia ściany naprzeciw drzwi widziana od skraju drzwi,  
 $d_{sec}$  - odległość od izocentrum do środka powierzchni  $A_1$ , odległość ta jest mierzona od izocentrum, ponieważ reprezentuje ono uśrednione położenie głowy;  
 $d_{zz}$  - odległość od powierzchni  $A_1$  do punktu DW,  
 $DR_{uo}$  - moc dawki promieniowania ubocznego w odległości 1 m od tarczy.

Parametry wspólne dla wiązek 15 MV, 10 MV i 6 MV:

$A_1 = 2,6 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} \approx 10 \text{ m}^2$ , powierzchnia ściany naprzeciw drzwi widziana od skraju drzwi,  
wysokość labiryntu 3,8 m,  
 $d_{sec} = 6,5 \text{ m}$ , odległość od izocentrum do środka powierzchni  $A_1$ , odległość ta jest mierzona od izocentrum, ponieważ reprezentuje ono uśrednione położenie głowy;  
 $d_{zz} = 9,3 \text{ m}$ , odległość od powierzchni  $A_1$  do punktu DW,  
 $DR_{uo} = 0,36 \text{ Gy/h}$ ,

Parametry odrębne:

15 MV:

$W_U = 0,01 \text{ Gy}$

$\alpha_1 = 4,7 \times 10^{-3}$ , średni kąt padania  $45^\circ$ , kąt odbicia bliski  $0^\circ$ , wg NCRP 151, tab. B.8b, dla wiązki 15 MV z aproksymacją pomiędzy podanymi w tej tabeli wartościami dla 10 MV i 18 MV;

10 MV:

$W_U = 0,01 \text{ Gy}$

$\alpha_1 = 5,1 \times 10^{-3}$ , średni kąt padania  $45^\circ$ , kąt odbicia bliski  $0^\circ$ , wg NCRP 151, tab. B.8b, dla wiązki 10 MV;

6 MV:

$W_U = 1,835 \text{ Gy}$

$\alpha_1 = 6,4 \times 10^{-3}$ , średni kąt padania  $45^\circ$ , kąt odbicia bliski  $0^\circ$ , wg NCRP 151, tab. B.8b, dla wiązki 6 MV;

Po podstawieniu powyższych wartości do wzoru otrzymujemy:

15 MV:

$$H_{LS} = \frac{0,01 \cdot 0,25 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(6,5 \cdot 9,3)^2} = 3,0 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/tydz.}$$

Ten udział w całkowitym tygodniowym równoważniku dawki jest do pominięcia.

$$DR_{LS} = \frac{0,36 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(6,5 \cdot 9,3)^2} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz.}$$

10 MV:

$$H_{LS} = \frac{0,01 \cdot 0,25 \cdot 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(6,5 \cdot 9,3)^2} = 3,5 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/tydz.}$$

Ten udział w całkowitym tygodniowym równoważniku dawki jest do pominięcia.

$$DR_{LS} = \frac{0,36 \cdot 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(6,5 \cdot 9,3)^2} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz.}$$

6 MV:

$$H_{LS} = \frac{1,835 \cdot 0,25 \cdot 6,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(6,5 \cdot 9,3)^2} = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz.}$$

$$DR_{LS} = \frac{0,36 \cdot 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(6,5 \cdot 9,3)^2} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz.}$$

## 7.2 Równoważnik dawki fotonów $H_{PS}$ w drzwiach labiryntu, pochodzącej od rozproszenia wiązki pierwotnej w ciele pacjenta:

$$H_{ps} = \frac{\alpha(\theta) \cdot W \cdot U_G \cdot \left(\frac{F}{400}\right) \cdot \alpha_1 \cdot A_1}{(d_{sca} \cdot d_{sec} \cdot d_{zz})^2} \quad (11)$$

Moc dawki:

$$DR_{ps} = \frac{\alpha(\theta) \cdot DR_0 \cdot \left(\frac{F}{400}\right) \cdot \alpha_1 \cdot A_1}{(d_{sca} \cdot d_{sec} \cdot d_{zz})^2} \quad (12)$$

Gdzie:

$W$  - tygodniowe obciążenie akceleratora dla wiązki pierwotnej,

$U_G = 0,25$ , współczynnik skierowania wiązki na ścianę najbliższą względem labiryntu;

$\alpha(\theta)$  - współczynnik rozpraszania od pacjenta w kierunku powierzchni  $A_1$ ;

$F = 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2$ , maksymalne pole wiązki pierwotnej w ciele pacjenta;

$A_1$  - powierzchnia ściany naprzeciw labiryntu, widziana od drzwi labiryntu,

$\alpha_1$  - współczynnik odbicia dla rozpraszania promieniowania na powierzchni  $A_1$  kierunku drzwi;

$d_{sca}$  - odległość od tarczy do pacjenta w izocentrum,

$d_{sec}$  - odległość od pacjenta w izocentrum do powierzchni  $A_1$ ,

$d_{zz}$  - odległość od środka powierzchni  $A_1$  do punktu DW.

$DR_0$  - moc dawki w wiążce pierwotnej w odległości 1 m od tarczy.

Parametry wspólne dla wiązek 15 MV, 10 MV i 6 MV:

$A_1 \approx 10 \text{ m}^2$ , powierzchnia ściany naprzeciw drzwi widziana od skraju drzwi;

$\alpha_1 = 22 \times 10^{-3}$ , średni kąt padania  $45^\circ$ , kąt odbicia bliski  $0^\circ$ , wg NCRP 151, tab. B.8b, dla energii promieniowania rozproszonego od pacjenta bliskiej 0,5 MeV dla wiązek, 15 MV, 10 MV i 6 MV;

$d_{\text{sca}} = 1 \text{ m}$ ,

$d_{\text{sec}} = 6,5 \text{ m}$ , odległość od izocentrum do środka powierzchni  $A_1$ , odległość ta jest mierzona od izocentrum, ponieważ reprezentuje ono uśrednione położenie głowy;

$d_{\text{zz}} = 9,3 \text{ m}$ , odległość od powierzchni  $A_1$  do punktu DW,

$DR_0 = 360 \text{ Gy/h}$ ,

Parametry odrębne:

15 MV:

$W = 10 \text{ Gy}$ ;

$\alpha(\theta) = 8,64 \times 10^{-4}$ , średnia wartość kąta rozproszenia  $\theta = 45^\circ$ , dla wiązki 15 MV, wg NCRP 151, tab.B.4,

10 MV:

$W = 10 \text{ Gy}$ ;

$\alpha(\theta) = 1,35 \times 10^{-3}$ , średnia wartość kąta rozproszenia  $\theta = 45^\circ$ , dla wiązki 10 MV, wg NCRP 151, tab.B.4,

6 MV:

$W = 1,835 \text{ Gy}$ ;

$\alpha(\theta) = 1,39 \times 10^{-3}$ , średnia wartość kąta rozproszenia  $\theta = 60^\circ$ , dla wiązki 6 MV, wg NCRP 151, tab.B.4,

Po podstawieniu powyższych wartości do wzoru otrzymujemy:

15 MV:

$$H_{ps} = \frac{8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 0,25 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(1 \cdot 6,5 \cdot 9,3)^2} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz}$$

$$DR_{ps} = \frac{8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(1 \cdot 6,5 \cdot 9,3)^2} = 74,9 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz}$$

10 MV:

$$H_{ps} = \frac{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 0,25 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(1 \cdot 6,5 \cdot 9,3)^2} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz}$$

$$DR_{ps} = \frac{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 360 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(1 \cdot 6,5 \cdot 9,3)^2} = 117 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/tydz}$$

6 MV:

$$H_{ps} = \frac{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 415 \cdot 0,25 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(1 \cdot 6,5 \cdot 9,3)^2} = 33,7 \cdot 10^{-6} Sv/tydz$$

$$DR_{ps} = \frac{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 360 \cdot 4 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{(1 \cdot 6,5 \cdot 9,3)^2} = 117 \cdot 10^{-6} Sv/tydz$$

### 7.3 Równoważnik dawki fotonów $H_{WT}$ w drzwiach labiryntu

Ponieważ rozpraszanie wiązki pierwotnej na zewnętrznej ścianie labiryntu ma miejsce tylko w czasie wyprowadzenia wiązki pierwotnej w tym kierunku, tygodniowy równoważnik dawki obliczamy wstawiając tygodniowe obciążenie w wiązce głównej, pomnożone przez współczynnik skierowania wiązki w tę stronę,  $U=0,25$ , ale będzie ono bezpośrednio dodane do całkowitej dawki w tygodniu w drzwiach do bunkra, bez wstawiania do wzoru McGinley'a.

$$H_{WT} = \frac{W \cdot 0,25 \cdot B_w \cdot \alpha_w \cdot A_w \cdot f}{(d_{wT} \cdot d_w)^2}$$

Moc dawki:

$$DR_{WT} = \frac{DR_0 \cdot B_w \cdot \alpha_w \cdot A_w}{(d_{wT} \cdot d_w)^2}$$

Parametry wspólne dla wiązek 15 MV, 10 MV i 6 MV:

$A_w = 3,6 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} = 13,7 \text{ m}^2$ , powierzchnia ściany zewnętrznej labiryntu, na którą pada wiązka pierwotna (wysokość labiryntu 3,8 m);

$d_{wT} = 6,9 \text{ m}$ , odległość od tarczy do środka powierzchni  $A_w$ ;

$d_w = 4,9 \text{ m}$ , odległość od środka powierzchni  $A_w$  do punktu DW;

$DR_0 = 360 \text{ Gy/h}$ ,

$d_{ww} = 90 \text{ cm}$ , grubość ściany z barytobetonu  $3,2 \text{ g/cm}^3$  na drodze wiązki pierwotnej do powierzchni  $A_w$ .

Parametry odrębne:

15 MV:

$W = 10 \text{ Gy}$ ;

$\alpha_w \approx 1,75 \times 10^{-3}$  współczynnik odbicia dla rozpraszania wiązki głównej o energii 15 MeV na powierzchni  $A_w$ , kąt padania  $0^\circ$ , kąt odbicia  $75^\circ$ , wg NCRP 151, tabela 8a;

$f = 0,33$ , współczynnik transmisji promieniowania wiązki pierwotnej 15 MV w ciele pacjenta, wg IAEA Safety Reports no 47, tabela 8,

$B_w = 10^{-n_{TVL}} = 10^{-90/29} = 7,9 \times 10^{-4}$ , współczynnik transmisji ściany labiryntu na drodze wiązki pierwotnej 15 MV do powierzchni  $A_w$ ,  $TVL_{15} = 29 \text{ cm}$  dla barytobetonu  $3,2 \text{ g/cm}^3$ .



10 MV:

$W = 10 \text{ Gy}$ ;

$\alpha(\theta) = 2,1 \times 10^{-3}$ , współczynnik odbicia dla rozpraszania wiązki głównej o energii 10 MeV na powierzchni  $A_W$ , kąt padania  $0^\circ$ , kąt odbicia  $75^\circ$ , wg NCRP 151, tabela 8a;

$f = 0,28$ , współczynnik transmisji promieniowania wiązki pierwotnej 10 MV w ciele pacjenta, wg IAEA Safety Reports no 47, tabela 8,

$B_W = 10^{-n_{TVL}} = 10^{-90/27,5} = 5,3 \times 10^{-4}$ , współczynnik transmisji ściany labiryntu na drodze wiązki pierwotnej 10 MV do powierzchni  $A_W$ ,  $TVL_{10} = 27,5 \text{ cm}$  dla barytobetonu  $3,2 \text{ g/cm}^3$ .

6 MV:

$W = 1,835 \text{ Gy}$ ;

$\alpha(\theta) = 2,7 \times 10^{-3}$ , współczynnik odbicia dla rozpraszania wiązki głównej o energii 6 MeV na powierzchni  $A_W$ , kąt padania  $0^\circ$ , kąt odbicia  $75^\circ$ , wg NCRP 151, tabela 8a;

$f = 0,23$ , współczynnik transmisji promieniowania wiązki pierwotnej 6 MV w ciele pacjenta, wg IAEA Safety Reports no 47, tabela 8,

$B_W = 10^{-n_{TVL}} = 10^{-90/23,4} = 1,4 \times 10^{-4}$ , współczynnik transmisji ściany labiryntu na drodze wiązki pierwotnej 6 MV do powierzchni  $A_W$ ,  $TVL_6 = 23,4 \text{ cm}$  dla barytobetonu  $3,2 \text{ g/cm}^3$ .

Po podstawieniu powyższych wartości do wzoru otrzymujemy:

15 MV:

$$H_{WT} = \frac{10 \text{ Gy} \cdot 0,25 \cdot 7,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \cdot 0,33}{(6,9 \cdot 4,9)^2} = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ Gy} = 0,01 \mu\text{Sv}$$

Ten udział w całkowitym tygodniowym równoważniku dawki jest do pominięcia.

$$\begin{aligned} DR_{WT} &= \frac{360 \text{ Gy/h} \cdot 7,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \cdot 0,33}{(6,9 \cdot 3,2)^2} = 4,2 \cdot \frac{10^{-6} \text{ Gy}}{h} \\ &= 1,8 \mu\text{Sv/h} \end{aligned}$$

10 MV:

$$H_{WT} = \frac{10 \text{ Gy} \cdot 0,25 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \cdot 0,33}{(6,9 \cdot 4,9)^2} = 0,11 \cdot 10^{-9} \text{ Gy} < 0,01 \mu\text{Sv}$$

Ten udział w całkowitym tygodniowym równoważniku dawki jest do pominięcia.

$$\begin{aligned} DR_{WT} &= \frac{360 \text{ Gy/h} \cdot 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \cdot 0,28}{(6,9 \cdot 3,2)^2} = 3,15 \cdot \frac{10^{-6} \text{ Gy}}{h} \\ &= 1,2 \mu\text{Sv/h} \end{aligned}$$

6 MV:

$$H_{WT} = \frac{10 \text{ Gy} \cdot 0,25 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \cdot 0,23}{(6,9 \cdot 4,9)^2} = 0,002 \cdot 10^{-6} \text{ Gy} = 0,4 \mu\text{Sv}$$

$$DR_{WT} = \frac{360 \text{ Gy/h} \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \cdot 0,23}{(6,9 \cdot 3,2)^2} = 87,9 \cdot \frac{10^{-6} \text{ Gy}}{h} \\ = 0,3 \mu\text{Sv/h}$$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki od promieniowania fotonowego rozproszonego dla skierowania ramienia w stronę ściany najbliższej labiryntu wynosi:

$$H_G = H_{LS} + H_{PS} + H_{WT}$$

15 MV:

$$H_{G15} = (0,5 + 0,4) \mu\text{Sv/tydzień} = 0,9 \mu\text{Sv/tydzień}$$

10 MV:

$$H_{G10} = 0,8 \mu\text{Sv/tydzień}$$

6 MV:

$$H_{G6} = (8,0 + 34,7 + 0,4) \mu\text{Sv/tydzień} = 43,1 \mu\text{Sv/tydzień}$$

$$\text{Suma dla wszystkich wiązek: } H_G = (0,9 + 0,8 + 43,1) \mu\text{Sv/tydzień} = 44,8 \mu\text{Sv/tydzień}$$

Sumaryczna wartość równoważnika dawki w drzwiach bunkra dla skierowania wiązki we wszystkich kierunkach dla promieniowania rozproszonego dla wszystkich wiązek obliczana jest wg wzoru McGinley'a (NCRP 151):

$$H_{Tot} = 2,64 \times H_G$$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki fotonów ze zjawisk rozpraszania, docierających do punktu DW, bez osłony:

$$H_{Tot} = 2,64 \times 44,8 \mu\text{Sv/tydzień} \approx 118,3 \mu\text{Sv}$$

Moc dawki od promieniowania fotonowego rozproszonego dla skierowania wiązki 15 MV w stronę najbliższej labiryntu, bez osłony, wynosi:

$$DR_{G15} = DR_{LS15} + DR_{PS15} + DR_{WT15}$$

$$DR_{G15} = (4,6 + 18,7 + 1,8) \mu\text{Sv/tydzień} = 25,1 \mu\text{Sv/h}$$

#### 7.4 Równoważnik dawki fotonów $H_{LT}$ promieniowania ubocznego padającego na drzwi po przejściu przez ścianę labiryntu

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki dla promieniowania ubocznego padającego na drzwi po przejściu przez ścianę labiryntu obliczamy osobno, ponieważ promieniowanie to ma znacznie większą energię niż promieniowanie rozproszone. Nie stosujemy to wzoru McGinley'a, ponieważ przyjmujemy średnią odległość głowy od punktu DW jako odległość od izocentrum:

$$H_{LT} = \frac{W_U \cdot B}{(d_L)^2}$$

Moc dawki:

$$DR_{LT} = \frac{DR_{u0} \cdot B}{(d_L)^2}$$

Gdzie:

$W_U$  - tygodniowe obciążenie robocze dla promieniowania ubocznego;

$B = 10^{-d/TVL}$  - współczynnik transmisji ściany labiryntu na drodze promieniowania ubocznego do punktu DW;

TVL – warstwa dziesięciokrotnego osłabiania w ścianie labiryntu dla promieniowania ubocznego z głowy;

$d$  – grubość wewnętrznej ściany labiryntu na drodze promieniowania ubocznego do punktu DW;

$d_L$  - odległość od izocentrum do punktu DW;

$DR_{u0}$  - moc dawki promieniowania ubocznego w odległości 1 m od tarczy.

Wartości wspólne dla obu wiązek:

$d = 140$  cm;

$d_L = 7,2$  m;

Wartości odrębne:

15 MV:

$W_U = 0,01$  Gy

TVL = 33,8 cm – warstwa dziesięciokrotnego osłabiania w betonie o gęstości 2,3 g/cm<sup>3</sup> dla promieniowania ubocznego z głowy podczas emisji wiązki 15 MV; wg tabeli 3 w części 5.2;

$B_{15} = 10^{-140/33,8} = 0,000072$ ;

$DR_{u0} = 0,36$  Gy/h,

10 MV:

$W_U = 0,01$  Gy;

TVL = 31,2 cm – warstwa dziesięciokrotnego osłabiania w betonie o gęstości 2,3 g/cm<sup>3</sup> dla promieniowania ubocznego z głowy podczas emisji wiązki 10 MV; wg tabeli 3 w części 5.2;

$B_{15} = 10^{-140/31,2} = 0,000033$

$DR_{u0} = 0,36$  Gy/h,

6 MV:

$W_U = 1,835$  Gy;

TVL = 28,6 cm – warstwa dziesięciokrotnego osłabiania w betonie o gęstości 2,3 g/cm<sup>3</sup> dla promieniowania ubocznego z głowy podczas emisji wiązki 6 MV; wg tabeli 3 w części 5.2;

$B_{15} = 10^{-140/28,6} = 0,000013$

$DR_{u0} = 0,36$  Gy/h,

Po podstawieniu powyższych wartości do wzoru otrzymujemy:

15 MV:

$$H_{LT} = \frac{0,01 \cdot 0,000072}{(6)^2} = 2,0 \cdot 10^{-8} Sv/tydz$$

Ten udział w całkowitym równoważniku dawki jest do pominięcia.

$$DR_{LT} = \frac{0,36 \cdot 0,000072}{(6)^2} = 0,72 \cdot 10^{-6} Sv/tydz$$

10 MV:

$$H_{LT} = \frac{0,01 \cdot 0,000033}{(7,2)^2} = 6,3 \cdot 10^{-9} Sv/tydz$$

Ten udział w całkowitym równoważniku dawki jest do pominięcia.

$$DR_{LT} = \frac{0,36 \cdot 0,000033}{(7,2)^2} = 0,2 \cdot 10^{-6} Sv/tydz$$

6 MV:

$$H_{LT} = \frac{1,835 \cdot 0,000013}{(7,2)^2} = 0,5 \cdot 10^{-6} Sv/tydz$$

$$DR_{LT} = \frac{0,36 \cdot 0,000013}{(7,2)^2} = 8,8 \cdot 10^{-8} Sv/tydz$$

Ten udział w całkowitej mocy dawki jest do pominięcia.

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki promieniowania ubocznego z głowicy, padającego przez ścianę labiryntu na punkt DW bez osłony drzwi dla wszystkich energii wynosi ok. 0,5  $\mu$ Sv.

Maksymalna moc dawki promieniowania ubocznego z głowicy, padającego przez ścianę labiryntu na punkt DW bez osłony drzwi wynosi ok. 0,5  $\mu$ Sv/h podczas emisji wiązki 15 MV.

### 7.5 Równoważnik dawki fotonów, powstających w zjawisku wychwytu neutronów z emisją gamma.

Źródłem neutronów jest głowica akceleratora. Ze względu na obroty ramienia w czasie terapii przyjmuje się, że uśrednionym położeniem głowicy jest izocentrum.

Równoważnik dawki fotonów gamma na jednostkę dawki fotonów wiązki pierwotnej podanej na izocentrum oblicza się wg wzoru:

$$h_{\varphi} = K \cdot \varphi_A \cdot 10^{-d_2 \cdot TVD}$$

Po podstawieniu wartości sugerowanych w NCRP 151, str. 41 na podstawie danych empirycznych dla akceleratorów wysokoenergetycznych, emitujących wiązkę fotonów 15 MV:

$K = 6,9 \times 10^{-16} \text{ Sv} \times \text{m}^2$ ,  $TVD = 3,9 \text{ m}$ , otrzymujemy:

$$h_{\varphi} = 6,9 \cdot 10^{-16} \cdot \varphi_A \cdot 10^{-d_2 \cdot 3,9}$$

gdzie  $\varphi_A$  jest fluencją neutronów ( $\text{m}^{-2}$ ), docierających do punktu A, wg rysunku, na 1 Gy dawki pochłoniętej fotonów w izocentrum, a  $d_2$  odległością od punktu A do drzwi bunkra, w [m].

Na wartość fluencji neutronów w punkcie A składają się następujące przyczynki:

$$\varphi_D = \frac{\beta \cdot Q_N}{4\pi \cdot d_1^2} \quad \text{- fluencja neutronów prędkich (padających bezpośrednio)}$$

$$\varphi_{sc} = \frac{\beta \cdot 5,4 \cdot Q_N}{2\pi S} \quad \text{- fluencja neutronów rozproszonych}$$

$$\varphi_{th} = \frac{1,3 \cdot Q_N}{2\pi S} \quad \text{- fluencja neutronów termicznych, gdzie:}$$

$d_1$  – odległość od źródła neutronów do punktu A, w [m].

$Q_N$  – wydajność źródła neutronów jako liczba neutronów emitowanych przez osłonę głowicy akceleratora na jednostkę dawki fotonów podanych na izocentrum.

$S$  – powierzchnia ścian, sufitu i podłogi pomieszczenia terapii z wyłączeniem labiryntu [ $\text{m}^2$ ].

Łącząc te trzy składowe otrzymujemy całkowitą fluencję neutronów w punkcie A na jednostkę dawki fotonów w izocentrum:

$$\varphi_A = \varphi_D + \varphi_{sc} + \varphi_{th}$$

Uwaga: Współczynnik  $\beta$  ma wartość 1 w przypadku osłony głowicy wykonanej z ołowiu, a wartość 0,85 w przypadku osłony z wolframu (NCRP 151 str. 42). Należy podkreślić, że wzory podane w tej metodyce zostały uzyskane drogą empiryczną (McCall et al. 1999). Aktualne wartości fluencji neutronów wokół głowicy są mierzone i publikowane dla różnych typów akceleratorów, aczkolwiek prawie zawsze z opóźnieniem względem zmian konstrukcyjnych.

Producent akceleratorów nie podaje materiału osłony głowicy. Przy założeniu wartości  $\beta = 0,85$  dla głowicy z osłoną wolframową i podstawieniu poszczególnych składowych fluencji neutronów, otrzymujemy:

$$\varphi_A = \frac{Q_N}{2\pi} \left( \frac{0,85}{2d_1^2} + \frac{0,85 \cdot 5,4}{S} + \frac{1,3}{S} \right) = \frac{Q_N}{2\pi} \left( \frac{0,85}{2d_1^2} + \frac{5,89}{S} \right)$$

Gdzie w obliczanym przypadku:

$d_1 = 6,8$  m, odległość od źródła neutronów do punktu A,

$Q_N = 5,9 \times 10^{11}$ , wydajność źródła neutronów jako liczba neutronów emitowanych przez osłonę głowicy akceleratora firmy Varian (wiązka 15 MV) na jednostkę dawki fotonów podanych na izocentrum, wg [11].

$S \approx 239,5$  m<sup>2</sup>, powierzchnia ścian, sufitu i podłogi pomieszczenia terapii z wyłączeniem labiryntu.

Wartość fluencji neutronów w punkcie A wyniesie:

$$\varphi_A = \frac{Q_N}{2\pi} \left( \frac{0,85}{2d_1^2} + \frac{5,89}{S} \right) = \frac{7,6 \cdot 10^{11}}{6,28} \left( \frac{0,85}{2 \cdot (6,8)^2} + \frac{5,89}{239,5} \right) = 3,17 \times 10^9 \text{ (neutronów/m}^2\text{)}$$

Kolejno obliczamy równoważnik dawki fotonów gamma w jednostkach Sv na 1 Gy dawki pochłoniętej fotonów wiązki pierwotnej w izocentrum wg wzoru (19), podstawiając obliczoną wartość fluencji w punkcie A oraz wartość odległości  $d_2 = 9$  m:

$$h_\varphi = 6,9 \times 10^{-16} \times 3,17 \times 10^9 \times 10^{-9/3,9} = 4,15 \times 10^{-8} \text{ (Sv/Gy)} = 0,04 \text{ } \mu\text{Sv/Gy}$$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki fotonów, powstający w wyniku zjawiska wychwytu neutronu z emisją gamma obliczany jest wg wzoru:

$$H_{cg} = h_\varphi \times W_L \quad (21)$$

gdzie  $W_L$  jest tygodniowym obciążeniem roboczym dla promieniowania wtórnego podczas emisji wiązki 15 MV dla przyjętych współczynników modulacji:

$$W_L = 10 \text{ Gy}$$

$$H_{cg} = 0,04 \text{ } \mu\text{Sv/Gy} \times 10 \text{ Gy} = 0,4 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Moc dawki promieniowania gamma z wychwytu:

$$H^*_{cg} = 360 \text{ Gy/h} \times 0,04 \text{ } \mu\text{Sv/Gy} = 14,4 \text{ } \mu\text{Sv/h}$$

## 7.6 Równoważnik dawki promieniowania neutronowego

Wartość równoważnika dawki promieniowania neutronowego obliczamy na podstawie wzoru, podanego w NCRP 151 na str. 46 (zmodyfikowana metoda Kersey'a):

$$H_{n,D} = 2,4 \cdot 10^{-15} \cdot \varphi_A \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1,64 \cdot 10^{-\frac{d_2}{1,9}} + 10^{-\frac{d_2}{TVD}}]$$

Oprócz danych, podanych dla obliczeń w części „e” powyżej, w tych obliczeniach trzeba uwzględnić:

- powierzchnię przekroju wewnętrznego wejścia do labiryntu oraz powierzchnię przekroju labiryntu:

$$S_0 = 2,2 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} = 8,36 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 1,8 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} = 6,84 \text{ m}^2$$

- odległość dziesięciokrotnego osłabiania dawki neutronów wzdłuż labiryntu wg wzoru, podanego w NCRP 151, str. 46:

$$TVD = 2,06 \times (S_1)^{1/2} = 5,39$$

Po podstawieniu powyższych danych do wzoru (22) otrzymujemy:

$$H_{n,D} = 2,4 \cdot 10^{-15} \cdot 3,17 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{\frac{8,36}{6,84}} \cdot [1,64 \cdot 10^{-\frac{9}{1,9}} + 10^{-\frac{9}{5,39}}]$$

$$H_{n,D} = 1,58 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Sv}}{\text{Gy}} = 0,16 \mu\text{Sv}/\text{Gy}$$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki promieniowania neutronowego w drzwiach bunkra:

$$H_n = H_{n,D} \times W_L = 0,16 \mu\text{Sv}/\text{Gy} \times 10 \text{ Gy}/\text{tydzień} = 1,6 \mu\text{Sv}$$

Moc dawki promieniowania neutronowego:

$$H^*n = 360 \text{ Gy}/\text{h} \times 0,16 \mu\text{Sv}/\text{Gy} = 57,6 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

## 7.7 Sprawdzenie skuteczności osłony drzwi

Ze względu na fakt, że ani w Polskiej Normie PN-86/J-80001, ani w opracowaniu IAEA Safety Report no 47 nie ma podanego współczynnika przebywania dla lokalizacji przy drzwiach do bunkra, natomiast w opracowaniu NCRP-151 [9] ten współczynnik jest podany i wynosi  $1/8 = 0,125$ .

Promieniowanie fotonowe rozproszone na ścianach labiryntu i w ciele pacjenta oraz promieniowanie fotonowe uboczne, przechodzące przez wewnętrzną ścianę labiryntu.

Energia składników promieniowania rozproszonego docierającego do drzwi jest rzędu 0,2 MeV dla wiązek 6 i 10 MV, rzędu 0,3 MeV dla wiązki 15 MV. Konserwatywnie przyjmijmy średnią 0,3 MeV, choć udział wiązki 15 MV jest niewielki w tygodniowym obciążeniu.

Osłona przed promieniowaniem fotonowym w zaprojektowanych drzwiach składa się z modułów o wysokiej gęstości o łącznej grubości 25,4 cm oraz blachy stalowej o łącznej grubości 1,6 cm. Moduły zostały opisane jako  $V\ 4.8\ \text{g/cm}^3$ .

$TVL_{V4.8\ \text{g/cm}^3} \approx 6,8\ \text{cm}$  (na podstawie danych dla osłabiania promieniowania Ir-192 o energii 0,37 MeV w przykładowym materiale modułów V-300),  $TVL_{\text{stal}} \approx 4\ \text{cm}$

Współczynnik osłabiania  $B_{V4.8\ \text{g/cm}^3} = 10^{-25,4/7} = 2,3 \times 10^{-4}$

Współczynnik osłabiania  $B_{\text{stal}} = 10^{-1,6/4} = 0,45$

Łączny współczynnik osłabiania  $B_w \approx 10^{-4}$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki fotonów ze zjawisk rozpraszania, docierających do punktu DW, bez osłony wynosi ok. 118,3  $\mu\text{Sv}$

$118,3\ \mu\text{Sv} \times 10^{-4} = 0,01\ \mu\text{Sv}$

Moc dawki od promieniowania fotonowego rozproszonego dla skierowania wiązki 15 MV w stronę najbliższej labiryntu, bez osłony, wynosi ok. 25,1  $\mu\text{Sv/h}$ .

$25,1\ \mu\text{Sv/h} \times 10^{-4} = 0,003\ \mu\text{Sv/h}$

Te udziały w całkowitym równoważniku dawki oraz mocy dawki za osłoną drzwi można pominąć.

Tygodniowy równoważnik dawki oraz moc dawki promieniowania fotonowego ubocznego przechodzącego przez wewnętrzną ścianę labiryntu są bardzo małe nawet bez osłony drzwi, te udziały za osłoną drzwi można również pominąć.

Oba udziały są praktycznie do pominięcia.

### Wychwył neutronu z emisją gamma, dotyczy tylko pracy z wiązką 15 MV.

Średnia energia fotonów pochodzących z wychwyłu neutronów z emisją gamma wynosi ok. 3,6 MeV, ale dla bardzo krótkiego labiryntu może sięgać nawet wartości 10 MeV. Zarówno w opracowaniu NCRP 151 jak i IAEA Safety Standards 47 [13] potwierdzony jest fakt, że dla bunkrów akceleratorów wysokoenergetycznych z labiryntem dłuższym niż 5 m, energia ta jest znacznie niższa od średniej.

Labirynt w sprawdzanym bunkrze ma ok. 9 m długości, zatem energia kwantów gamma jest na pewno poniżej średniej. Obliczamy tygodniowy równoważnik dawki i moc dawki dla energii ok. 3 MeV. W tabelach TVL dla przykładowych modułów o wysokiej gęstości najbliższe podane wartości dotyczą szerokiej wiązki Co-60 oraz promieniowania ubocznego z głowicy akceleratora pracującego z wiązką 6 MV. Wynoszą one odpowiednio 9,9 cm oraz 13,4 cm.



Przyjmując średnią ważoną TVL= 12 cm, otrzymujemy dla osłony modułowe o gęstości co najmniej 4.8 g/cm<sup>3</sup> o grubości 25,4 cm, otrzymujemy:  
25,4 cm : 12 cm ≈ 2 TVL

Tygodniowy równoważnik dawki bez osłony dla promieniowania gamma z wychwytu neutronu wynosi 0,4 μSv, moc dawki ok.14,4 μSv/h. Za osłoną drzwi otrzymujemy:

$$0,4 \mu\text{Sv/tydzień} \times 10^{-2} = 0,04 \mu\text{Sv/tydzień}$$

Ten udział jest praktycznie do pominięcia.

Moc dawki:  $14,4 \mu\text{Sv/h} \times 10^{-2} = 0,14 \mu\text{Sv/h}$

### Promieniowanie neutronowe

Średnia energia neutronów docierających do drzwi bunkra wynosi ok. 100 keV. Dla osłon modułowych o gęstości co najmniej 4.8 g/cm<sup>3</sup> warstwa TVL dla promieniowania neutronowego wynosi 16,5 cm.

Dla osłony o grubości 25,4 cm, otrzymujemy:

$$25,4 \text{ cm} : 16,5 \text{ cm} \approx 2 \text{ TVL}$$

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki promieniowania neutronowego w drzwiach bunkra bez osłony wynosi ok.1,6 μSv, moc dawki ok.58 μSv/h.

Za osłoną drzwi otrzymujemy:

Tygodniowy równoważnik dawki:

$$H_n = 1,6 \mu\text{Sv} \times 10^{-2} = 0.016 \mu\text{Sv}$$

Ten udział jest praktycznie do pominięcia.

Moc dawki:

$$H^*n = 57,6 \mu\text{Sv/h} \times 10^{-2} = 0,6 \mu\text{Sv/h}$$

### 7.3 Podsumowanie

Całkowity tygodniowy równoważnik dawki dla wszystkich rodzajów promieniowania i współczynnika przebywania T = 1 jest mniejszy niż 0,01 μSv.

Tylko udział pracy z wiązką 15 MV wnosi do mocy dawki wartości rzędu 0,1 μSv/h dla fotonów oraz 0,6 μSv/h dla promieniowania neutronowego.

**Wniosek: Zaprojektowana osłona osób jest wystarczająca dla przebywania osób z dowolnej kategorii narażenia i pełnego czasu pracy.**

## 8. Zestawienie skuteczności osłon

Zestawienie wartości tygodniowego równoważnika dawki dla poszczególnych punktów kontrolnych dla założonych tygodniowych obciążeń w porównaniu z założonym limitem dawki w tabeli nr 5 poniżej.

PKT	Pomieszczenie	Współczynnik przebywania	Obliczony równoważnik dawki [ $\mu\text{Sv}/\text{tydzień}$ ]	Założony ogranicznik równoważnika dawki [ $\mu\text{Sv}/\text{tydzień}$ ]
P12	Sterownia	1	2,6	60
P1	Pomieszczenie techniczne	0,05	0,48	6
P2	Teren zewnętrzny	0,05	< 0,03	6
P3	Teren zewnętrzny	0,05	0,04	6
P4	Teren zewnętrzny	0,05	< 0,03	6
P5	Teren zewnętrzny	0,05	< 0,08	6
P5'	Teren zewnętrzny	0,05	0,3	6
P6	Teren zewnętrzny	0,05	0,13	6
P7	Teren zewnętrzny	0,05	0,6	6
P8	Teren zewnętrzny	0,05	0,13	6
P9	Pracownia akceleratorowa	0,5	< 0,01	60
P10	Pracownia akceleratorowa	0,5	< 0,01	60
P11	Pracownia akceleratorowa	0,5	< 0,01	60
DW	Drzwi do bunkra	0,125	< 0,01	60
C1, C2, C3, L1	Dach	Zakaz wstępu na dach w czasie pracy akceleratora		
L2	Budynek sąsiadujący	1	1,4	6
L3	Budynek sąsiadujący	1	1,33	6
L4	Budynek sąsiadujący	1	0,07	6

Tabela nr 5 – Zestawienie skuteczności osłon dla pracowni akceleratorowej TrueBeam.

**Wniosek:** Liczba pacjentów i założone tygodniowe obciążenia mogą być zwiększone dla istniejących osłon z zachowaniem istniejących limitów tygodniowego równoważnika dawki.

## 9. Wytyczne branżowe

---

### Wentylacja.

Warunki środowiskowe w pracowni akceleratorowej muszą być zgodne z wymogami stawianymi przez producenta i ogólnymi normami przedmiotowymi obowiązującymi w jednostkach służby zdrowia. Zgodnie z obowiązującymi przepisami w zakresie ochrony radiologicznej wydajność systemu wentylacyjnego musi zapewniać w kabinie naświetlań nie mniej niż 6 wymian powietrza na godzinę, chyba że producent zainstalowanego źródła promieniowania jonizującego wymaga częstszej wymiany powietrza.

### Instalacja wodno– kanalizacyjna.

System instalacji wodno-kanalizacyjnej związany z niezbędnym chłodzeniem akceleratora musi być zgodny z wymaganiami producenta.

### Instalacja elektryczna i system przeciwpożarowy.

Instalacja elektryczna zgodna z dokumentacją techniczną akceleratora. Aparat będzie zasilany osobnymi kablami z rozdzielni n.n. Oświetlenie w bunkrze będzie wyposażone w systemy:

- ☒ oświetlenia głównego,
- ☒ oświetlenia dodatkowego o regulowanym natężeniu (zamiennie z głównym),
- ☒ oświetlenie awaryjne (ewakuacyjne),
- ☒ system ochrony ppoż. na zasadach ogólnych obowiązujących w jednostkach służby zdrowia.

### Systemy zabezpieczeń i sygnalizacji.

Oslonowe drzwi wejściowe do pomieszczenia terapeutycznego posiadają wyłącznik krańcowy całkowitego zamknięcia drzwi, blokujący uruchomienie wysokiego napięcia akceleratora, warunkującego emisję wiązki akceleratora, co jest równoznaczne z przerwaniem emisji w momencie otworzenia drzwi.

Pomieszczenie terapeutyczne i przylegająca do niego sterownia są wyposażone w system sygnalizacji świetlnej, wyłączniki awaryjne (EMERGENCY OFF), system obserwacji TV oraz system interfonii pomieszczenie terapeutyczne - sterownia.

Nad drzwiami od strony sterowni jest zainstalowana ostrzegawcza sygnalizacja świetlna:

- ☒ sygnalizująca stan emisji wiązki akceleratora,
- ☒ informującą o uruchomieniu ekspozycji z lampy rentgenowskiej.

W pomieszczeniu terapeutycznym na ścianach zainstalowane są wyłączniki awaryjne (EMERGENCY OFF), służące do awaryjnego wyłączenia napięcia zasilającego akcelerator i stół terapeutyczny.

W pomieszczeniu terapeutycznym na ścianie labiryntu zlokalizowany jest przycisk umożliwiający otwarcie drzwi osłonowych od środka oraz dodatkowy wyłącznik awaryjny drzwi.

Oznakowanie pracowni akceleratorowej winno być zgodne z obowiązującymi przepisami.

Zakład Radioterapii musi dysponować sprawną aparaturą kontrolną i dozymetryczną, która umożliwia wykonanie pomiarów promieniowania jonizującego.

## 10. Wnioski

---

Na podstawie obliczeń wykonanych dla pracowni akceleratorowych, wykazano spełnienie wymagań osłonności przez wykonane przegrody budowlane pracowni oraz spełnienie wymagań przez drzwi osłonowe, które zostały zaprojektowane w wejściu do pomieszczenia terapeutycznego.