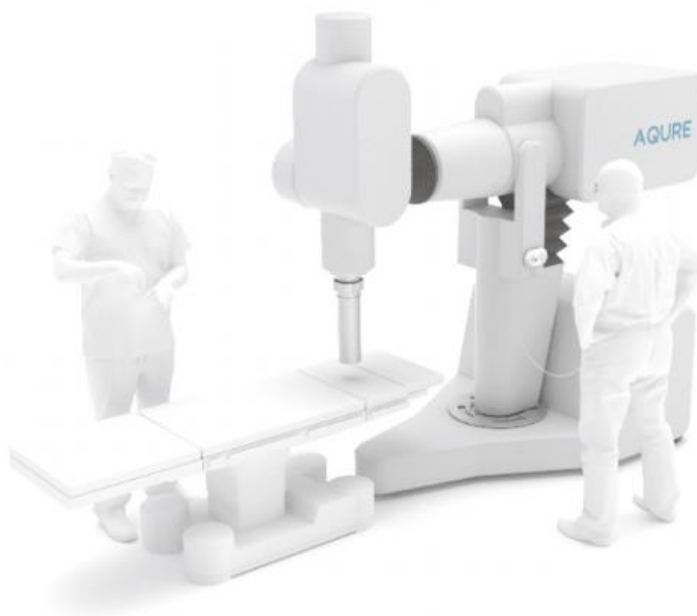


PROJEKT OCHRONY RADIOLOGICZNEJ DLA AKCELERATORA ŚRÓDOPERACYJNEGO AQUIRE

**W SALI OPERACYJNEJ
CENTRALNEGO BLOKU OPERACYJNEGO
WIELKOPOLSKIEGO CENTRUM ONKOLOGII
PRZY UL. GARBARY 15
W POZNANIU**



źródło zdj: <https://www.ncbj.gov.pl/en/aquire>

POZNAŃ, MARZEC 2023r.

SPIS TREŚCI

1. CEL PRACY.....	3
2. LOKALIZACJA.	3
3. PODSTAWA OPRACOWANIA.	3
4. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA.	5
4.1. PARAMETRY TECHNICZNE.	6
4.2. CZAS PRACY AKCELERATORA.	6
5. WENTYLACJA I PRZEPUSTY.....	8
6. INSTALACJA ELEKTRYCZNA I SYSTEM OCHRONY PPOŻ I WOD. KAN.....	8
7. OSŁONY I ZABEZPIECZENIA.....	9
7.1. OSŁONY.	9
7.2. DRZWI.....	9
7.3. SYGNALIZACJA OSTRZEGAWCZA.	9
7.4. ŁĄCZNOŚĆ WIZYJNA I AKUSTYCZNA.	9
8. INFORMACJE DODATKOWE.	10
9. DAWKI GRANICZNE PROMIENIOWANIA.	10
10. METODA OBLICZANIA PARAMETRÓW OSŁON.	11
11. OBLICZENIA GRUBOŚCI OSŁON DLA AKCELERATORA AQUIRE.....	13
12. ZESTAWIENIE WYNIKÓW	21
13. ZAŁĄCZNIKI	22

1. CEL PRACY.

Przedmiotem opracowania jest Projekt Ochrony Radiologicznej w zakresie osłon biologicznych dla Sali operacyjnej, w której ma zostać zainstalowany akcelerator do radioterapii śródoperacyjnej – AQURE. Pomieszczenie poddane obliczeniom zlokalizowana jest Wielkopolskim Centrum Onkologii przy ul. Garbary 15 w Poznaniu. Projekt osłon został wykonany na polecenie Dyrektora WCO w celu weryfikacji osłon w sali operacyjnej, w której ma zostać zainstalowany akcelerator AQURE. Obliczenia dokonano na podstawie danych pomiarowych dozymetrycznych i TVL oraz HVL otrzymanych z Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) zgodnie z przekazany protokołem („Protokół pomiarów promieniowania rozproszonego akceleratora AQURE – metodyka pomiarów” Narodowe Centrum Badań Jądrowych Zakład Aparatury Jądrowej HITEC).

2. LOKALIZACJA.

Pomieszczenie projektowane dla akceleratora AQURE jest salą operacyjną zlokalizowaną na II piętrze Centralnego Bloku Operacyjnego Wielkopolskiego Centrum Onkologii. Bezpośrednio nad salą znajduje się sala operacyjna zlokalizowana na III piętrze a pod bunkrem znajduje się bunkier aparatu HDR Flexitron, magazyn oraz korytarz Zakładu Brachyterapii. Powierzchnia sali wynosi 47,4 m², wysokość sali 4 m do stropu zasadniczego a podwieszanego 3 m. sala operacyjna graniczy bezpośrednio z sterownią aparatu (pomieszczeniem przygotowania pacjenta), pomieszczeniem przygotowania personelu, sąsiednią salą operacyjną, korytarzem brudnym, korytarzem wewnętrznym oraz służą. W niewielkiej odległości znajduje się korytarz bloku operacyjnego. Szczegółowa lokalizacja sali operacyjnej zainstalowanym akceleratorem, osłony biologiczne zostały przedstawione na rzucie i przekroju dotyczących projektu ochrony radiologicznej.

3. PODSTAWA OPRACOWANIA.

Dokumentację Ochrony Radiologicznej opracowano uwzględniając:

- **Ustawę z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe** (Dz. U. 2021 r. poz. 1941).

- **Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 marca 2022 r.** w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2022 r. poz. 967).
- **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).
- **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. z 2021 r. poz.722).
- **Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 marca 2021 r.** w sprawie inspektorów ochrony radiologicznej (Dz.U. 2021 poz. 640).
- **Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 marca 2021 r.** w sprawie stanowiska mającego istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (Dz.U. 2021 poz. 765).
- **Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 maja 2021 r.** w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych (Dz. U. z 2021 r. poz. 1086).
- **Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 14 października 2021 r.** w sprawie minimalnych wymagań dla jednostek ochrony zdrowia prowadzących działalność związaną z narażeniem w celach medycznych, polegającą na udzielaniu świadczeń zdrowotnych z zakresu radioterapii i leczenia za pomocą produktów radiofarmaceutycznych (Dz.U. 2021 poz. 1890).

- **Norma DIN 6847–2:2014–03 Medical electron accelerators** - Part 2: Rules for construction of structural radiation protection (Medizinische Elektronenbeschleuniger - Anlagen).
- **Norma PN 86/ J – 80001** Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i gamma - obliczanie osłon stałych.
- **ICRP Report No.151** Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X - and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities.
- Dokumentacja wewnętrzna Wielkopolskiego Centrum Onkologii dotycząca projektów budowlanych i powykonawczych budynku w którym ma być zainstalowany akcelerator.
- Informacje przekazane przez Zakład Fizyki Medycznej Wielkopolskiego Centrum Onkologii dotyczące określenia obliczonych czasów promieniowania na akceleratorze do radioterapii śródoperacyjnej.
- Instrukcja I-1-11-16 „Postępowanie awaryjne dla akceleratora śródoperacyjnego”
Dokumentacja wewnętrzna Zintegrowanego Systemu Zarządzania Wielkopolskiego Centrum Onkologii.
- **Dokumentacja przekazana przez NCBJ** określająca wyniki pomiarów w obrębie akceleratora wraz z określonymi poprzez pomiary warstwami połówkowymi i dziesięciokrotnego osłabienia dla betonu, stali i ołowiu dla promieniowania pierwotnego i rozproszonego (ubocznego głowicy) – „Protokół pomiarów promieniowania rozproszonego akceleratora Aqure – metodyka pomiarów”
Narodowe Centrum Badań Jądrowych Zakład Aparatury Jądrowej HITEC.

4. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA.

Akcelerator śródoperacyjny AQUIRE to urządzenie do terapii śródoperacyjnej skonstruowane w ramach projektu „Stworzenie w Wielkopolskim Centrum Onkologii w Poznaniu im. M. Curie-Skłodowskiej możliwości realizacji procedury napromieniania

śródooperacyjnego przy użyciu innowacyjnego akceleratora elektronów” przez konsorcjum trzech podmiotów: Centrum Wysokich Technologii w Świerku „HITEC ŚWIERK” Sp. z o.o., Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Wielkopolskie Centrum Onkologii w ramach Programu Regionalnego Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego. Radioterapia śródooperacyjna wiązkami elektronowymi (z ang. Intraoperative Electron Radiation Therapy – IOERT) jest metodą leczenia polegającą na połączeniu zabiegu chirurgii onkologicznej z radioterapią wiązką elektronów o dużej energii i intensywności, podawaną bezpośrednio w otwarte pole operacyjne. Akcelerator jest urządzeniem mobilnym, zbudowany na ruchomej podstawie zapewniającej możliwość przemieszczania głowicy wytwarzającej terapeutyczną wiązkę promieniowania elektronowego. Głowica terapeutyczna może być pochylana w dwóch płaszczyznach a także może być obracana na kolumnie. Z mechanicznego punktu widzenia, akcelerator umożliwia na ustawienie głowicy w określonej pozycji, zawartej w relatywnie dużym obszarze roboczym. Ze względu na mobilność akceleratora do radioterapii śródooperacyjnej jednoznaczne określenie kierunków jego poruszania się jest kluczowe dla prawidłowości realizacji procedury i bezpieczeństwa pacjenta. Należy zwrócić uwagę na ruch końca aplikatora, a więc położenie wyjścia wiązki elektronów. Ruchy akceleratora są ograniczone za pomocą krańcówek.

4.1. PARAMETRY TECHNICZNE.

Podstawowe parametry techniczne urządzenia przedstawiono poniżej:

- Energia promieniowania elektronów – 4, 6, 9, 12 MeV
- Odległość SAD (źródło – izocentrum) – 100 cm
- Pole napromieniania w odległości SAD (prom. X) – max. średnica 10 cm

4.2. CZAS PRACY AKCELERATORA.

Na podstawie informacji przekazanych przez Zakład Fizyki Medycznej WCO do obliczeń przyjęto następujące parametry:

- ilość pacjentów w ciągu tygodnia – 2;
- praca 50 tygodni w ciągu roku kalendarzowego;
- dawka na jednego pacjenta – 10 Gy;

- pomiary dozymetryczne i weryfikacji planów leczenia:
 - codzienne: 72 Gy (odpowiada wartości 7200 MU);
 - kwartalne: 218 Gy (odpowiada wartości 21800 MU);
 - półroczne: 196 Gy (odpowiada wartości 19600 MU);

$$100 \times 72 \text{ Gy} + 4 \times 218 \text{ Gy} + 2 \times 196 \text{ Gy} = 8464 \text{ Gy}$$

Dawka niezbędna do wykonania pomiarów do systemu planowania leczenia (system commissioning): 31000 Gy (3100000 MU). Dane przyjęto na podstawie informacji od producenta systemu do radioterapii śródoperacyjnej akceleratora Mobetron, który był wykorzystywany w istniejącej sali operacyjnej.

Tygodniowe obciążenie robocze dla sterowni jest sumą obciążenia z pomiarów dozymetrycznych i weryfikacji planów leczenia, procedur z pacjentem oraz wykonania pomiarów do systemu planowania leczenia (system commissioning).

Jest to konsekwencja wykonywania wymienionych czynności przez personel Zakładu Fizyki Medycznej.

$$W_{\text{sterownia}} = 8464 \text{ Gy} + 50 \text{ tygodni} \times 2 \text{ pacjentów/tydzień} \times 10 \text{ Gy} + 31000 \text{ Gy} = 40464 \text{ Gy}$$

W trakcie wykonania pomiarów do systemu planowania leczenia (system commissioning) założono że obszar bezpośrednio nad i pod pracownią akceleratorową oraz blok operacyjny jest teren zamkniętym bez możliwości przebywania osób poza operatorami akceleratora.

Tygodniowe obciążenie robocze dla stropów jest sumą obciążenia z pomiarów dozymetrycznych i weryfikacji planów leczenia oraz procedur z pacjentem. Jest to konsekwencja wykonywania wymienionych czynności przez personel Zakładu Fizyki Medycznej oraz faktu przebywania osób na sąsiadujących kondygnacjach niezależnie od prowadzonych procedur w pracowni akceleratorowej.

$$W_{\text{stropy}} = 8464 \text{ Gy} + 50 \text{ tygodni} \times 2 \text{ pacjentów/tydzień} \times 10 \text{ Gy} = 9464 \text{ Gy}$$

Tygodniowe obciążenie dla pozostałych obszarów narażenia na kondygnacji pracowni akceleratorowej jest równe obciążeniu wynikającym z procedur z pacjentem. Jest to konsekwencja wprowadzonej procedury ograniczającej pobyt ludzi na bloku operacyjnym w trakcie prowadzenia pomiarów dozymetrycznych i weryfikacji planów leczenia.

$$W_{\text{blok operacyjny}} = 2 \text{ pacjentów/tydzień} \times 10 \text{ Gy} = 1000 \text{ Gy}$$

5. WENTYLACJA I PRZEPUSTY.

Warunki klimatyczne w sali operacyjnej z zainstalowanym akceleratorem będą zgodne z wymogami producenta aparatu i ogólnymi normami przedmiotowymi obowiązującymi w jednostkach służby zdrowia. Zgodnie z obowiązującymi przepisami w bunkrze akceleratora, którym stanowi sala operacyjna ilość wymian powietrza nie powinna być mniejsza niż 6.

Do przeprowadzenia przewodów do wnętrza kabiny należy wykorzystać przepusty. Ilość przepustów powinna być jak najmniejsza a usytuowanie wlotu przepustu od strony kabiny musi leżeć poza wiązką pierwotną, a po stronie pomieszczeń technicznych leżeć w trudnodostępnym miejscu (na dużej wysokości lub poniżej poziomu podłogi).

6. INSTALACJA ELEKTRYCZNA I SYSTEM OCHRONY PPOŻ I WOD. KAN.

Instalacja elektryczna musi być zgodna z dokumentacją techniczną aparatu a system ochrony ppoż. powinien spełniać warunki klasy D. Standardowy system zabezpieczeń ppoż. i wod. kan. aparatu oraz oznakowanie jest zgodne z Obwieszczeniem Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 marca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2022 r. poz.967).

7. OSŁONY I ZABEZPIECZENIA.

7.1. OSŁONY.

Wszystkie ściany, stropy i drzwi poszczególnych pomieszczeń powinny zapewniać maksymalną osłonność przed promieniowaniem. Obliczenia grubości osłon podano w punkcie 12.

7.2. DRZWI.

Drzwi muszą spełniać warunki osłonności podane w części obliczeniowej. Konstrukcja ich umożliwia otwarcie od zewnątrz i od wewnątrz pomieszczenia do napromieniania, ręcznie i elektrycznie. Drzwi należy zaopatrzyć w wyłącznik awaryjny zapewniający natychmiastowe wyłączenie promieniowania w momencie ich otwarcia. Ponadto, w sali operacyjnej i sterowni będą zainstalowane wyłączniki awaryjne zapewniające natychmiastowe przerwanie pracy akceleratora. Użycie ich uniemożliwia ponowne standardowe załączenie akceleratora.

7.3. SYGNALIZACJA OSTRZEGAWCZA.

Przed wejściem i wewnątrz pomieszczenia terapeutycznego (sali operacyjnej) na wysokości około 2 m należy zainstalować świetlną sygnalizację ostrzegawczą, która musi być zsynchronizowana z akceleratorem (sygnalizacja obecności wiązki promieniowania w bunkrze i w sterowni) zgodnie z Obwieszczeniem Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 marca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2022 r. poz.967).

7.4. ŁĄCZNOŚĆ WIZYJNA I AKUSTYCZNA.

Kontrola pomieszczenia terapeutycznego – sali operacyjnej z zainstalowanym akceleratorem będzie prowadzona przez zastosowanie odpowiednich systemów wizyjnych i fonicznych umożliwiających obserwację pacjenta.

8. INFORMACJE DODATKOWE.

- Należy pamiętać ze jednym z dokumentów dołączonych do wniosku o zezwolenie PAA na stosowanie i uruchamianie aparatu jest dokumentacja techniczna – powykonawcza z prac budowlanych (jeśli wynikają one z projektu osłon).
- Jeśli nastąpi zmiana opcji w zainstalowaniu typu aparatu należy wykonać ponowny projekt ochrony radiologicznej osłon biologicznych na nowy aparat.
- Po zainstalowaniu aparatu – producent aparatu odpowiedzialny jest za zrobienie testów akceptacyjnych i przekazanie ich jednostce organizacyjnej.
- Zgodnie z wymogami prawnymi do obsługi urządzenia są dopuszczone osoby posiadające uprawnienia SA.
- Praca na aparacie jest zgodna z instrukcją obsługi urządzenia, dostarczona przez producenta wraz z aparatem AQUIRE.
- Wszystkie wyłączniki awaryjne, które znajdują się przy urządzeniu, w bunkrze aparatu, sterowni podczas awarii odcinają zasilanie i wyłączają wiązkę promieniowania, umożliwiając zachowanie bezpieczeństwa personelu jak i pacjenta.
- Sala operacyjna z zainstalowanym akceleratorem zaliczona będzie do terenu nadzorowanego.
- Przy wejściu na teren nadzorowany winny znajdować się odpowiednio znaki ostrzegawcze oraz tablice informacyjne.

9. DAWKI GRANICZNE PROMIENIOWANIA.

Zgodnie z Obwieszczeniem Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 marca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2022 r. poz.967)

W przypadku pozostałych pracowni z uwzględnieniem czasu narażenia tych osób, rodzaju prowadzonych prac i rodzaju stosowanych osłon.

0.3 mSv/rok = 6 µSv/tydz

(0.0261 cGy/rok = 0.000522 cGy/tydz)

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi* (Dz.U. 2006 nr 180 poz. 1325).

W pracowni rtg poza gabinetem rtg:

$$\begin{aligned} & \mathbf{3\ mSv/rok = 0.261\ cGy/rok} \\ & \mathbf{(0.00522\ cGy/tydz. = 52.2\ \mu Gy/tydz)} \end{aligned}$$

Prawdopodobieństwo przebywania osób (zgodnie z Polską Normą).

T = 1	dla miejsc stałego przebywania osób,
T = 0.25	dla miejsc czasowego pobytu osób,
T = 0.05	dla miejsc krótkiego przebywania osób

Do obliczeń dla osób zawodowo narażonych przyjęto dawkę 3 mSv/rok. Dla pozostałych pomieszczeń sąsiadujących z bunkrem i dachu przyjęto do obliczeń dawkę 0,3 mSv/rok.

10. METODA OBLICZANIA PARAMETRÓW OSŁON.

Obliczenia wykonano opierając się na danych uzyskanych od producenta akceleratora (protokoły w załączeniu). Obliczenia grubości osłon dla akceleratora AQUIRE wymagają uwzględnienia promieniowania hamowania powstałego w trakcie oddziaływania wiązki elektronowej podczas terapii pacjentów lub fantomem podczas pomiarów. Maksymalne pole wiązki w pierwotnej w izocentrum (w odległości 100 cm od źródła) ma średnicę 10 cm.

Tabele warstw materiału dziesięciokrotnie osłabiające wiązkę.

Wartości liczbowe zostały określone na podstawie przekazanych danych uzyskanych za pomocą pomiarów wykonanych przez NCBJ („Protokół pomiarów promieniowania rozproszonego akceleratora AQUIRE – metodyka pomiarów” Narodowe Centrum Badań Jądrowych Zakład Aparatury Jądrowej HITEC).

$$k_{uboczne} = \frac{W \times P_{uboczne} \times T}{D_{limit} \times \frac{l^2}{l_{ref}^2}}$$

$$k_{pierwotne} = \frac{W \times P_{pierwotne} \times T}{D_{limit} \times \frac{l^2}{l_{ref}^2}}$$

gdzie:

$k_{uboczne}$ – wymagana krotność osłabienia promieniowania ubocznego i rozproszonego,

$k_{pierwotne}$ – wymagana krotność osłabienia promieniowania pierwotnego,

D_{limit} - roczny limit dawki w punkcie

W – roczne obciążenie robocze w izocentrum,

$P_{uboczne}$ – zmierzona dawka od ubocznego i rozproszonego w odległości referencyjnej (300 cm od osi wiązki promieniowania na wysokości 100 cm),

$P_{pierwotne}$ – zmierzona dawka od promieniowania pierwotnego w odległości referencyjnej (100 cm od źródła w osi wiązki),

T - współczynnik prawdopodobieństwo przebywania w punkcie pomiarowym,

L – odległość od izocentrum akceleratora do punktu pomiarowego,

L_{ref} – odległość referencyjna podczas pomiarów producenta,

Tabela 1. Wartości osłabienia dla promieniowania hamowania powstałego w trakcie oddziaływania wiązki elektronów - wiązka pierwotna.

Materiał osłonny Energia wiązki	Beton gęstość 2,0 g/cm ³		Stal gęstość 7,9 g/cm ³		Ołów gęstość 11,3 g/cm ³	
	HVL [mm]	TVL [mm]	HVL [mm]	TVL [mm]	HVL [mm]	TVL [mm]
4 Mev	122	349	35	110	15	56
6 Mev	150	412	42	122	17	58
9 Mev	172	457	48	129	18	60
12 Mev	200	510	54	138	25	66

Tabela 2. Wartości osłabienia dla promieniowania rozproszonego i ubocznego głowicy.

Materiał osłonny Energia wiązki	Beton gęstość 2,0 g/cm ³		Stal gęstość 7,9 g/cm ³		Ołów gęstość 11,3 g/cm ³	
	HVL [mm]	TVL [mm]	HVL [mm]	TVL [mm]	HVL [mm]	TVL [mm]
4 Mev	24	104	-	-	-	-
6 Mev	18	75	-	-	-	-
9 Mev	15	67	-	-	-	-
12 Mev	17	62	-	-	-	-
Średnie	19	77	4	33	1	3

11. OBLICZENIA GRUBOŚCI OSŁON DLA AKCELERATORA AQURE.

W związku z przeprowadzaniem procedury z wykorzystaniem akceleratora do radioterapii śródoperacyjnej określono następujące zasady pracy z aparatem:

- „procedura pacjent” – aparat obsługiwany jest przez fizyków medycznych z Zakładu Fizyki Medycznej WCO, którzy jako jedyni przebywają w chwili emitowania wiązki promieniowania jonizującego w sterowni aparatu, która jest jednocześnie pomieszczeniem przygotowania pacjenta. Pozostała część zespołu – lekarze, pielęgniarki zostaje przekierowana na korytarz bloku operacyjnego. Przed emisją promieniowania jonizującego operator wykonuje zalecenia określone w Instrukcji I-1-11-16 „Postępowanie awaryjne dla akceleratora śródoperacyjnego”. Ma za zadanie sprawdzenie pomieszczeń sąsiadujących z salą operacyjną i zabezpieczenie ich. Fizyk medyczny – operator aparatu zabezpiecza zatem strefę wyłączoną z użytkowania na czas generowania promieniowania zgodnie z pkt. 4 instrukcji oraz powiadamia o konieczności opuszczenia osoby, znajdujące się na wyżej wymienionym terenie. Obowiązuje zakaz przebywania na nich na czas generowania wiązki promieniowania jonizującego. Sąsiednia sala operacyjna oraz sterownia są jedynymi pomieszczeniami, w których w chwili generowania wiązki promieniowania

jonizującego mogą przebywać osoby. Po zakończeniu emisji promieniowania jonizującego, zespół medyczny wraca na salę operacyjną i kontynuuje operację.

- „procedura pomiarów” – wykonywane są tylko i wyłącznie po godzinie 17-tej (poza godzinami rutynowej pracy osób przebywających na bloku operacyjnym). W chwili wykonywania pomiarów na bloku operacyjnym przebywają tylko i wyłącznie operatorzy aparatu (fizycy medyczni/i lub serwisanci akceleratora).

WAŻNE: Ze względu na określone zasady użytkowania akceleratora na sali operacyjnej oraz uwzględnienia racjonalnego podejścia do obciążenia dodatkowego konstrukcji stropu dolnego, w projekcie osłon nie uwzględniono obliczeń dla wszystkich otaczających pomieszczeń. Obliczenia dokonano tylko i wyłącznie dla pomieszczeń, w których przebywają osoby w trakcie realizacji procedur z pacjentem i pomiarów, dla których należy zastosować obliczone osłony. Pozostałe dwie ściany – do korytarza brudnego, śluzy i korytarza wewnętrznego, nie zostały uwzględnione w obliczeniach w związku z brakiem przebywania na nich osób postronnych w trakcie realizowania procedur (z pacjentem i pomiarowych) z wykorzystaniem akceleratora śródoperacyjnego. Zasady te są również zawarte w dokumentacji wewnętrznej Zintegrowanego Systemu Zarządzania Wielkopolskiego Centrum Onkologii w przypadku akceleratora śródoperacyjnego zlokalizowanego w sali operacyjnej Centralnego Bloku Operacyjnego WCO - Instrukcji I-1-11-16 „Postępowanie awaryjne dla akceleratora śródoperacyjnego” (załącznik do projektu osłon).

A – Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE a pomieszczeniem przygotowawczym pacjenta/sterownią akceleratora/drzwi do sterowni

Dociera promieniowanie uboczne głowicy:

W obliczanym miejscu przebywają osoby, dla których dawka roczna wynosi 3 mSv/rok (dawka roczna 3 mSv/rok \rightarrow 0,00522 cGy/tydz). Odległość źródło - izocentrum wynosi 1 m. Minimalna odległość od źródła promieniowania do miejsca osłanianego $l = 4,1$ m. Prawdopodobieństwo przebywania operatora za osłoną $T = 1$.

Dawka określona pomiarami NCBJ przy izocentrum 100 cm dla energii 12 MeV wynosi: 203 μ Gy/kMU co odpowiada dawce 0,203 mSv dla dawki 10 Gy w izocentrum;

$$W_{\text{ster}} = 40464 \text{ Gy}$$

$$D_{\text{limit}} = 3 \text{ mSv (dawka roczna dla osób przebywających za osłoną)}$$

$$k_{\text{uboczne}} = \frac{40464 \text{ Gy} \times \frac{0,203 \text{ mSv}}{10 \text{ Gy}} \times 1}{3 \text{ mSv} \times \frac{l^2}{l_{\text{ref}}^2}} = \frac{821 \text{ mSv}}{3 \text{ mSv} \times \frac{4,1^2}{3^2}} = 147 \text{ krotność}$$

$$n\text{TVL} = \log_{10} [147] = 2,2 \text{ TVL}$$

Korzystając z podanych współczynników osłabienia (tabela 2):

$$2,2 \text{ TVL} \times 3 = 6,6 \text{ mm ołowiu o gęstości } \rho = 11,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$2,2 \text{ TVL} \times 33 = 218 \text{ mm stali o gęstości } \rho = 7,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

WNIOSEK: Wymaganą osłonność przed promieniowaniem ubocznym zapewni osłona o grubości około 6,6 mm ołowiu lub 218 mm stali. **Należy zastosować osłonę co najmniej 7,0 mm ołowiu lub 218 mm stali.** Wysokość osłony minimum 250 cm od wykończonej posadzki. **Należy zastosować drzwi osłonne o grubości co najmniej 7,0 mm ołowiu.**

B – Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQURE a sąsiednią salą operacyjną

Dociera promieniowanie uboczne głowicy:

W obliczanym miejscu przebywają osoby, dla których dawka roczna wynosi 0,3 mSv/rok (dawka roczna 0,3 mSv/rok → 0,000522 cGy/tydz). Odległość źródło - izocentrum wynosi 1 m. Minimalna odległość od źródła promieniowania do miejsca osłanianego $l = 3,1 \text{ m}$. Prawdopodobieństwo przebywania operatora za osłoną $T = 1$. Dawka określona pomiarami NCBJ przy izocentrum 100 cm dla energii 12 MeV wynosi: 203 $\mu\text{Gy/kMU}$ co odpowiada dawce 0,203 mSv dla dawki 10 Gy w izocentrum;

$$W_{\text{blok operacyjny}} = 1000 \text{ Gy}$$

$$D_{\text{limit}} = 0,3 \text{ mSv (dawka roczna dla osób przebywających za osłoną)}$$

$$k_{uboczne} = \frac{1000 \text{ Gy} \times \frac{0,203 \text{ mSv}}{10 \text{ Gy}} \times 1}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{l^2}{l_{ref}^2}} = \frac{20,3 \text{ mSv}}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{3,1^2}{3^2}} = 68 \text{ krotność}$$

$$nTVL = \log_{10} [68] = 1,8 \text{ TVL}$$

Korzystając z podanych współczynników osłabienia (tabela 2):

$$1,8 \text{ TVL} \times 3 = 5,4 \text{ mm ołowiu o gęstości } \rho = 11,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$1,8 \text{ TVL} \times 33 = 59,4 \text{ mm stali o gęstości } \rho = 7,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

WNIOSEK: Wymaganą osłonność przed promieniowaniem ubocznym zapewni osłona o grubości około 5,4 mm ołowiu lub 59,4 mm stali. **Należy zastosować osłonę co najmniej 5,5 mm, proponuje się zastosowanie 6,0 mm lub 59,4 mm stali.** Wysokość osłony minimum 250 cm od wykończonej posadzki.

Na ścianie znajduje się okienko podawcze. W związku z zainstalowanymi drzwiami na ścianie do korytarza brudnego i uzyskaną aktualną informacją podana przez oddziałową CBO okienko nie będzie już wykorzystywane. Należy więc odpowiednio je zabezpieczyć osłoną o grubości minimum 6 mm ołowiu.

C – Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQURE a korytarzem bloku operacyjnego

Dociera promieniowanie uboczne głowicy:

W obliczanym miejscu przebywają osoby, dla których dawka roczna wynosi 0,3 mSv/rok (dawka roczna 0,3 mSv/rok → 0,000522 cGy/tydz). Odległość źródło - izocentrum wynosi 1 m. Minimalna odległość od źródła promieniowania do miejsca osłanianego $l = 7,5 \text{ m}$. Prawdopodobieństwo przebywania operatora za osłoną $T = 0,25$.

Dawka określona pomiarami NCBJ przy izocentrum 100 cm dla energii 12 MeV wynosi: 203 $\mu\text{Gy/kMU}$ co odpowiada dawce 0,203 mSv dla dawki 10 Gy w izocentrum;

$$W_{\text{blok operacyjny}} = 1000 \text{ Gy}$$

$$D_{\text{limit}} = 0,3 \text{ mSv (dawka roczna dla osób przebywających za osłoną)}$$

$$k_{uboczne} = \frac{1000 \text{ Gy} \times \frac{0,203 \text{ mSv}}{10 \text{ Gy}} \times 0,25}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{l^2}{l_{ref}^2}} = \frac{5,1 \text{ mSv}}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{7,5^2}{3^2}} = 3 \text{ krotność}$$

$$nTVL = \log_{10} [3] = 0,5 \text{ TVL}$$

Korzystając z podanych współczynników osłabienia (tabela 2):

$$0,5 \text{ TVL} \times 3 = 1,5 \text{ mm ołowiu o gęstości } \rho = 11,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$0,5 \text{ TVL} \times 33 = 17 \text{ mm stali o gęstości } \rho = 7,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

WNIOSEK: Wymaganą osłonność przed promieniowaniem ubocznym zapewni osłona o grubości około 1,5 mm ołowiu lub 17 mm stali. **Należy zastosować osłonę co najmniej 1,5 mm lub 17 mm stali.** Wysokość osłony minimum 250 cm od wykończonej posadzki. **Należy zastosować drzwi osłonne o grubości co najmniej 1,5 mm ołowiu lub zastosowanie innej osłony stałej z równoważnikiem ołowiu minimum 1,5 mm w obszarze drzwi pomiędzy salą operacyjną a pomieszczeniem przygotowania personelu.**

D – Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQURE a pomieszczeniem przygotowawczym personelu

Dociera promieniowanie uboczne głowicy:

W obliczanym miejscu przebywają osoby, dla których dawka roczna wynosi 0,3 mSv/rok (dawka roczna 0,3 mSv/rok → 0,00522 cGy/tydz). Odległość źródło - izocentrum wynosi 1 m. Minimalna odległość od źródła promieniowania do miejsca osłanianego $l = 5,5 \text{ m}$. Prawdopodobieństwo przebywania operatora za osłoną $T = 0,05$.

Dawka określona pomiarami NCBJ przy izocentrum 100 cm dla energii 12 MeV wynosi: 203 $\mu\text{Gy/kMU}$ co odpowiada dawce 0,203 mSv dla dawki 10 Gy w izocentrum;

$W_{\text{blok operacyjny}} = 1000 \text{ Gy}$

$D_{\text{limit}} = 0,3 \text{ mSv}$ (dawka roczna dla osób przebywających za osłoną)

$$k_{uboczne} = \frac{1000 \text{ Gy} \times \frac{0,203 \text{ mSv}}{10 \text{ Gy}} \times 0,05}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{l^2}{l_{ref}^2}} = \frac{5,1 \text{ mSv}}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{5,5^2}{3^2}} = 1 \text{ krotność}$$

$$nTVL = \log_{10} [1] = 0,0 \text{ TVL}$$

WNIOSEK: Dla nTVL równego 0 nie jest wymagana osłona radiologiczna. W chwili generowania promieniowania jonizującego – procedura „pacjent” i „pomiar” w pomieszczeniu nie przebywają bezpośrednio żadne osoby. Zastosowanie mają ewentualnie osłony z pkt. C obliczonego.

E – Strop górny (sala operacyjna)

Dociera promieniowanie uboczne głowicy:

W obliczanym miejscu przebywają osoby, dla których dawka roczna wynosi 0,3 mSv/rok (dawka roczna 0,3 mSv/rok \rightarrow 0,000522 cGy/tydz). Odległość źródło - izocentrum wynosi 1 m. Minimalna odległość od źródła promieniowania do miejsca osłanianego $l = 3,4$ m. Prawdopodobieństwo przebywania operatora za osłoną $T = 1$. Dawka określona pomiarami NCBJ przy izocentrum 100 cm dla energii 12 MeV wynosi: 35 μ Gy/kMU co odpowiada dawce 0,035 mSv dla dawki 10 Gy w izocentrum;

$$W_{stropy} = 9464 \text{ Gy}$$

$D_{limit} = 0,3 \text{ mSv}$ (dawka roczna dla osób przebywających za osłoną)

$$k_{uboczne} = \frac{9464 \text{ Gy} \times \frac{0,035 \text{ mSv}}{10 \text{ Gy}} \times 1}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{l^2}{l_{ref}^2}} = \frac{33 \text{ mSv}}{0,3 \text{ mSv} \times \frac{3,4^2}{1,95^2}} = 37 \text{ krotność}$$

$$nTVL = \log_{10} [37] = 1,6 \text{ TVL}$$

Korzystając z podanych współczynników osłabienia (tabela 2):

$$1,6 \text{ TVL} \times 62 \text{ mm} = 99,2 \text{ mm betonu o gęstości } \rho = 2,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

WNIOSEK: Wymaganą osłonność przed promieniowaniem ubocznym zapewni osłona o grubości około 99,2 mm betonu o gęstości 2,0 g/cm³. Istniejąca osłona składa się z 160 mm betonu o gęstości 2,3 g/cm³. **Osłona stropu jest wystarczająca.**

Uwaga: Uwzględniając konserwatywne podejście, zasad ochrony radiologicznej i mniej korzystnych warunków dla betonu dla energii 4 MeV, dokonano przeliczenia współczynnika osłabienia dedykowanego zgodnie z tabelą 2:

$$nTVL = \log_{10} [37] = 1,6 \text{ TVL}$$

Korzystając z podanych współczynników osłabienia (tabela 2):

$$1,6 \text{ TVL} \times 104 \text{ mm} = 166,4 \text{ mm betonu o gęstości } \rho = 2,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

WNIOSEK: Wymaganą osłonność przed promieniowaniem ubocznym zapewni osłona o grubości około 166,4 mm betonu o gęstości 2,0 g/cm³. Istniejąca osłona składa się z 160 mm betonu o gęstości 2,3 g/cm³. **Osłona stropu jest wystarczająca.**

F – Strop dolny (bunkier aparatu HDR Flexitron/korytarz/magazyn)

Ważne! Ze względu na bezpieczeństwo i osłonność wymaganą, wszystkie procedury związane z generowaniem wiązki promieniowania jonizującego będą odbywać się w części stropu o grubości 30 cm betonu ciężkiego.

Dociera promieniowanie fotonowe pierwotne:

W obliczanym miejscu przebywają osoby, dla których dawka roczna wynosi 3 mSv/rok (dawka roczna 3 mSv/rok → 0,00522 cGy/tydz). Odległość źródło - izocentrum wynosi 1 m. Minimalna odległość osoby od źródła promieniowania $l = 3,4 \text{ m}$. Prawdopodobieństwo przebywania osób za osłoną $T = 1$.

Dawka określona pomiarami NCBJ przy izocentrum 100 cm dla energii 12 MeV wynosi: 1801 µGy/kMU co odpowiada dawce 1,8 mSv dla dawki 10 Gy w izocentrum;

$$W_{\text{stropu}} = 9464 \text{ Gy}$$

$$D_{\text{limit}} = 3 \text{ mSv (dawka roczna dla osób przebywających za osłoną)}$$

$$k_{\text{pierwotne}} = \frac{9464 \text{ Gy} \times \frac{1,8 \text{ mSv}}{10 \text{ Gy}} \times 1}{3 \text{ mSv} \times \frac{l^2}{l_{\text{ref}}^2}} = \frac{1704 \text{ mSv}}{3 \text{ mSv} \times \frac{3,4^2}{1,0^2}} = 49 \text{ krotność}$$

$$nTVL = \log_{10} [49] = 1,7 \text{ TVL}$$

Korzystając z podanych współczynników osłabienia (tabela 1):

$$1,7 TVL \times 510 mm = 867 mm \text{ betonu o gęstości } \rho = 2,0 \frac{g}{cm^3}$$

Zgodnie z normą DIN dla energii 12 MeV warstwa TVL dla ciężkiego betonu o gęstość 3,2 g/cm³ wynosi 28,1 cm.

$$1,7 TVL \times 281 mm = 478 mm \text{ ciężkiego betonu o gęstości } \rho = 3,2 \frac{g}{cm^3}$$

WNIOSEK: Wymaganą osłonność przed promieniowaniem fotonowym pierwotnym zapewni strop z betonu ciężkiego o gęstości 3,2 g/cm³ o grubości 48 cm lub z betonu o gęstości 2,0 g/cm³ o grubości 87 cm. Istniejący strop w miejscu usytuowania aparatu podczas emisji wiązki w trakcie pomiarów znajduje się nad stropem o grubości 30 cm betonu ciężkiego barytowego o gęstości 3,2 g/cm³ (co jest równe $\approx 1TVL$). Różnica w brakującej osłonie = około 18 cm betonu ciężkiego zostanie uzupełniona poprzez zastosowanie osłony beamstopera.

Brakujące wartości TVL zgodnie z tabelą nr 1:

1,7 TVL – 1 TVL = **0,7 TVL** odpowiada osłonie:

$$0,7 TVL \times 66 mm = 46 mm = 5 cm \text{ ołowiu o gęstości } \rho = 11,3 \frac{g}{cm^3}$$

lub

$$0,7 TVL \times 138 mm = 97 mm = 10 cm \text{ stali o gęstości } \rho = 7,9 \frac{g}{cm^3}$$

Grubości ścian zostały podane przez architekta przygotowującego dokumentację architektoniczną do projektu osłon oraz Kierownika Działu Inwestycji i Remontów Wielkopolskiego Centrum Onkologii.

12. ZESTAWIENIE WYNIKÓW

Tabela. 3. Zestawienie wyników dla przeprowadzonych obliczeń.

MIEJSCE CHRONIONE	OZNACZENIE PUNKTU NA MAPIE	ISTNIEJĄCE OSŁONY RADIOLOGICZNEJ	WYMAGANE DODATKOWE OSŁONY RADIOLOGICZNEJ
Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE a pomieszczeniem przygotowawczym pacjenta/sterownią akceleratora /drzwi do bunkra	A	Zabudowa systemowa sali operacyjnej, bez wartości osłonnych	7 mm ołowiu lub 218 mm stali do wysokości minimum 250 cm oraz drzwi automatyczne z równoważnikiem ołowiu 7 mm
Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE a sąsiednią salą operacyjną	B	Zabudowa systemowa sali operacyjnej, bez wartości osłonnych	6 mm ołowiu lub 59,4 mm stali do wysokości minimum 250 cm
Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE a korytarzem bloku operacyjnego	C	Zabudowa systemowa sali operacyjnej, bez wartości osłonnych	1,5 mm ołowiu lub 17 mm stali do wysokości minimum 250 cm oraz drzwi automatyczne z równoważnikiem ołowiu minimum 1,5 mm lub zastosowanie innej osłony stałej z równoważnikiem ołowiu minimum 1,5 mm Zabezpieczenie należy zamontować w ścianie między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE a korytarzem głównym CBO lub z sąsiadującym pomieszczeniem przygotowawczym personelu - pkt. D.
Ściana między salą operacyjną z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE a pomieszczeniem przygotowawczym personelu	D	Zabudowa systemowa sali operacyjnej, bez wartości osłonnych	Zakaz przebywania osób w trakcie ekspozycji promieniowania w sali operacyjnej z zainstalowanym akceleratorem AQUIRE. Ewentualne osłony mogą być zastosowane względem zabezpieczenia pkt. C.
Strop górny (sala operacyjna)	E	16 cm betonu o gęstości $2,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Nie wymaga dodatkowych osłon.
Strop dolny (bunkier aparatu HDR Flexitron/korytarz/magazyn)	F	Posiada dwie grubości: część stropu wynosi 30 cm betonu ciężkiego barytowego o gęstości $3,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, część stropu wynosi 16 cm betonu o gęstości $2,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Ze względu na bezpieczeństwo i osłonność wymaganą, wszystkie procedury związane z generowaniem wiązki promieniowania jonizującego będą odbywać się w części stropu o grubości 30 cm betonu ciężkiego	Zastosować osłonę - beamstoper o grubości co najmniej 5 cm ołowiu lub co najmniej 10 cm stali.

13. ZAŁĄCZNIKI

- Rzut sali operacyjnej II piętra.
- Przekrój przez salę operacyjną II piętra.
- „Protokół pomiarów promieniowania rozproszonego akceleratora Aqure – metodyka pomiarów” Narodowe Centrum Badań Jądrowych Zakład Aparatury Jądrowej HITEC.
- Instrukcja I-1-11-16 „Postępowanie awaryjne dla akceleratora śródoperacyjnego” Dokumentacja wewnętrzna Zintegrowanego Systemu Zarządzania Wielkopolskiego Centrum Onkologii.