

**PROJEKT TECHNICZNY
W ZAKRESIE OCHRONY RADIOLOGICZNEJ**

obliczenia grubości osłon stałych

**pomieszczenia przeznaczonego do instalacji
aparatu HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems
oraz tomografu komputerowego SOMATOM Definition AS
firmy Siemens**

**Pracownia Brachyterapii
Beskidzkie Centrum Onkologii –
Szpital Miejski im. Jana Pawła II**

**43 – 300 BIELSKO - BIAŁA
ul. Wyzwolenia 18**

**Autor projektu:
mgr Paulina Leszczyńska**

Bielsko – Biała, luty 2020r.

Spis treści

1. CZĘŚĆ WSTĘPNA	3
1.1. Dokumentacja stanowiąca podstawę niniejszego opracowania	4
1.2. Opis lokalizacji aparatu HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems i tomografu komputerowego - symulatora SOMATOM Definition AS firmy Siemens oraz ocena narażenia na promieniowanie jonizujące osób przebywających w pobliżu	5
1.3. Technologia pracy oraz charakterystyka stosowanych urządzeń	8
A. Charakterystyka urządzenia HDR	8
B. Charakterystyka tomografu komputerowego – symulatora	10
1.4. Założenia istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej	12
A. Współczynnik określający prawdopodobieństwo skierowania użytecznej wiązki promieniowania w kierunku obliczanej osłony U	12
B. Współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłanianym miejscu T	12
C. Czas (t) narażenia na promieniowanie w ciągu tygodnia	13
D. Grubości istniejących osłon oraz stosowane materiały	14
2. CZĘŚĆ OBLICZENIOWA	15
2.1. Osłony chroniące przed wiązką promieniowania gamma	15
2.2. Osłony chroniące przed wiązką promieniowania X	18
2.3. Sumaryczna tygodniowa dawka promieniowania	19
2.4. Obliczenia dla tomografu komputerowego	21
2.5. Obliczenia dla urządzenia HDR	24
2.6. Zestawienie dawek promieniowania jonizującego	27
2.7. Zestawienie grubości osłon przed promieniowaniem jonizującym – podsumowanie	29
3. WYMAGANIA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ	31
3.1. Wymagania pracowni izotopowej klasy Z oraz pracowni rentgenowskiej	31
3.2. Wentylacja	32
3.3. Wyposażenie pracowni dla potrzeb ochrony radiologicznej	32
3.4. Bezpieczna praca ze źródłami promieniowania	32
3.5. Wymagania dla źródeł wysokoaktywnych	33
3.6. Dokumentacja	34

1. CZĘŚĆ WSTĘPNA

W związku z modernizacją Pracowni Brachyterapii mieszczącej się w Zakładzie Radioterapii Beskidzkiego Centrum Onkologii – Szpitala Miejskiego im. Jana Pawła II w Bielsku – Białej planowana jest instalacja tomografu komputerowego SOMATOM Definition AS firmy Siemens w pomieszczeniu bunkra urządzenia HDR. Tomograf komputerowy wykorzystywany będzie jako symulator do planowania procedur brachyterapii. Symulator CT zainstalowany zostanie w pomieszczeniu bunkra, w którym pracuje aparat HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems oraz symulator Acuity firmy Varian Medical Systems. W pomieszczeniu bunkra docelowo znajdować się będzie aparat HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems oraz tomograf komputerowy SOMATOM Definition AS firmy Siemens, a dotychczas wykorzystywany symulator Acuity firmy Varian Medical Systems zostanie zdemonstrowany. Przedmiotem niniejszego projektu jest przeliczenie grubości osłon biologicznych bunkra mieszczącego się w Pracowni Brachyterapii dla wykorzystania nowo instalowanych urządzeń (HDR + CT) celem zapewnienia warunków bezpiecznej pracy zgodnie z zasadami i przepisami ochrony radiologicznej.

Zakres opracowania obejmuje obliczenia osłon stałych bunkra Pracowni Brachyterapii z uwzględnieniem pomieszczeń przyległych: sterowni akceleratora do radioterapii, sterowni HDR/CT, pomieszczenia przygotowania pacjenta, poczekalni, przebieralni, terenu zewnętrznego oraz dachu. Pomieszczenie bunkra znajduje się na parterze budynku. Pod bunkrem nie ma żadnych pomieszczeń.

Załączniki stanowiące integralną całość projektu:

- Rysunek 1 – „Rzut pomieszczenia HDR/CT”
- Rysunek 2 – „Oznaczenie ścian oraz punktów obliczeniowych”
- Rysunek 3 – „Rzut pomieszczenia HDR/CT - wymiary”
- Rysunek 4 – „Rzut pomieszczenia HDR/CT - strop”

Rysunki wykonano na podstawie projektu Dunicz M. Siemens Healthcare. Oznaczenia na rysunkach zostały zachowane takie jak w starym projekcie z 2010r. „Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej bunkra HDR przeznaczonego do instalacji symulatora Acuity firmy Varian (obliczenia osłon biologicznych)” wraz z aneksem „Aneks do projektu technicznego w zakresie ochrony radiologicznej pomieszczenia przeznaczonego do instalacji aparatu HDR” autorstwa mgr inż. Ireny Kwolecak – El Korbi oraz mgr Jana Kopeć.

1.1. Dokumentacja stanowiąca podstawę niniejszego opracowania

Dokumenty wykorzystywane podczas obliczania grubości osłon biologicznych:

- A. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe. Dz.U. 2001 nr 3 poz. 18 wraz z późniejszymi zmianami (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 1792).
- B. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. Dz.U. 2005 nr 20 poz. 168.
- C. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego. Dz.U. 2006 nr 140 poz. 994.
- D. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007 r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych. Dz.U. 2007 nr 131 poz. 910.
- E. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2015 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. 2015 poz. 1355.
- F. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 września 2016r. w sprawie stanowiska mającego istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz inspektorów ochrony radiologicznej. Dz.U. 2016 poz. 1513.
- G. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej wraz z późniejszymi zmianami (tekst jednolity Dz.U. 2017 poz. 884).
- H. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań dla zakładów opieki zdrowotnej ubiegających się o wydanie zgody na prowadzenie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące w celach medycznych, polegającej na udzielaniu świadczeń zdrowotnych z zakresu radioterapii onkologicznej wraz z późniejszymi zmianami (tekst jednolity Dz.U. 2013 poz. 874).
- I. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi. Dz.U. 2006 nr 180 poz. 1325.
- J. Norma PN-86/J-80001 Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i gamma - obliczanie osłon stałych.
- K. Planowanie leczenia i dozymetria w radioterapii J. Malicki, K. Ślosarek.
- L. Radionuclide Information Booklet. Canadian Nuclear Safety Commission, 2018.
- M. Ochrona radiologiczna. Wielkości, jednostki i obliczenia. B. Gostkowska CLOR Warszawa 2005.
- N. Designers' Desk Reference. Brachytherapy HDR Afterloader GammaMed Edition. Varian Medical Systems.
- O. SOMATOM Definition AS Siemens. Arkusz danych dla konfiguracji AS (syngo CT VA48A).

1.2. Opis lokalizacji aparatu HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems i tomografu komputerowego - symulatora SOMATOM Definition AS firmy Siemens oraz ocena narażenia na promieniowanie jonizujące osób przebywających w pobliżu

Bunkier, w którym zostaną zainstalowane aparat HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems i tomograf komputerowy - symulator SOMATOM Definition AS firmy Siemens mieści się w Pracowni Brachyterapii – parter Zakładu Radioterapii Beskidzkiego Centrum Onkologii przy ul. Wyzwolenia 18, 43 – 300 Bielsko Biała (Rysunki 1,2,3,4).

Pracownia Brachyterapii zlokalizowana na parterze sąsiaduje z pomieszczeniami: sterownia akceleratora do radioterapii, sterownia HDR/CT, pomieszczenie przygotowania pacjenta, poczekalnia, przebieralnia, teren zewnętrzny (trakt dla pieszych) oraz dach. W odległości ok. 50m od bunkra nie ma zabudowań mieszkalnych.

Zgodnie z Ustawą z dnia 29 listopada 2000 r. *Prawo atomowe* tekst jednolity (Dz.U. 2019 poz. 1792) pracownicy Pracowni Brachyterapii zakwalifikowani są do kategorii B narażenia na promieniowanie jonizujące. Ocena narażenia pracowników prowadzona jest na podstawie dozymetrii indywidualnej (kwartalny odczyt dozymetrów przez akredytowane laboratorium).

Teren pracowni izotopowej klasy Z oraz pracownia rentgenowska zostaną oznaczone jako tereny nadzorowane zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2007r. w sprawie podstawowych wymagań dotyczących terenów kontrolowanych i nadzorowanych. Dz.U. 2007 nr 131 poz. 910.

Poniższa tabela opisuje pomieszczenia sąsiadujące z bunkrem, w którym zainstalowane zostaną: urządzenie HDR oraz tomograf komputerowy. Określono limit użytkowy dla pracowników narażonych zawodowo na promieniowanie jonizujące - 6 mSv/rok, dla pozostałych osób (pracowników nienarażonych, osób z ogółu ludności) - 0,3 mSv/rok.

W przypadku pracowni rentgenowskiej (tomograf komputerowy), w celu obliczenia grubości osłon przed promieniowaniem dla lampy rentgenowskiej przyjęto do obliczeń: 6mSv/ rok dla osób przebywających w gabinecie rentgenowskim, 3mSv/rok dla pomieszczeń pracowni rentgenowskiej poza gabinetem rentgenowskim oraz 0,5 mSv/rok dla pomieszczeń poza pracownią rentgenowską oraz dla osób z ogółu ludności przebywających w sąsiedztwie.

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

Tabela 1. Opis pomieszczeń Pracowni Brachyterapii oraz pomieszczeń sąsiadujących z Pracownią wraz z określeniem limitu użytkowego dawki.

Opis pomieszczenia	Kategoria narażenia na promieniowanie jonizujące	Limit użytkowy [mSv/tydz.]	Oznaczenia punktów obliczeniowych (Rysunek 2)
DLA APARATU HDR			
sterownia akceleratora	B	0,12 mSv/ tydz.	punkt: P1 ściana: A
teren zewnętrzny	brak	0,006 mSv/ tydz.	punkt: P2 ściana: B
sterownia HDR/CT	B	0,12 mSv/ tydz.	punkt: P3 ściana: C
poczekalnia	brak	0,006 mSv/ tydz.	punkt: P4 ściana: C
przebieralnia	brak	0,006 mSv/ tydz.	punkt: P5 ściana: C
pomieszczenie przygotowania pacjenta	B	0,12 mSv/ tydz.	punkt: P6 ściana: C
teren zewnętrzny – trakt dla pieszych (schody)	brak	0,006 mSv/ tydz.	punkt: P7 ściana: D
strop – dach niedostępny	brak	0,006 mSv/ tydz.	punkt: P8 ściana: E
pomieszczenie przygotowania pacjenta	B	0,12 mSv/ tydz.	punkt: P9 drzwi

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

Opis pomieszczenia	Kategoria narażenia na promieniowanie jonizujące	Limit użytkowy [mSv/tydz.]	Oznaczenia punktów obliczeniowych (Rysunek 2)
DLA TOMOGRAFU KOMPUTEROWEGO			
sterownia akceleratora	B	0,06 mSv/ tydz.	punkt: P1 ściana: A
teren zewnętrzny	brak	0,01 mSv/ tydz.	punkt: P2 ściana: B
sterownia HDR/CT	B	0,06 mSv/ tydz.	punkt: P3 ściana: C
poczekalnia	brak	0,01 mSv/ tydz.	punkt: P4 ściana: C
przebieralnia	brak	0,01 mSv/ tydz.	punkt: P5 ściana: C
pomieszczenie przygotowania pacjenta	B	0,06 mSv/ tydz.	punkt: P6 ściana: C
teren zewnętrzny	brak	0,01 mSv/ tydz.	punkt: P7 ściana: D
strop – dach niedostępny	brak	0,01 mSv/ tydz.	punkt: P8 ściana: E
pomieszczenie przygotowania pacjenta	B	0,06 mSv/ tydz.	punkt: P9 drzwi

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

Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej – obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego

Przedstawione w powyższej tabeli dawki przyjęte zostały do obliczeń osłon biologicznych dla celów budowlanych na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego Dz.U. 2005 nr 20 poz. 168, Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi Dz.U. 2006 nr 180 poz. 1325 oraz Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego Dz.U. 2006 nr 140 poz. 994.

1.3. Technologia pracy oraz charakterystyka stosowanych urządzeń

Brachyterapia jest jedną z podstawowych metod radioterapii, w której do leczenia chorych wykorzystuje się źródła promieniotwórcze umieszczane w bezpośredniej bliskości guza nowotworowego. Ze względu na pozycję źródeł promieniotwórczych względem guza nowotworowego wyróżnia się brachyterapię śródtkankową (źródła aplikowane w guzie) i kontaktową (umieszczane w bezpośrednim sąsiedztwie guza – brachyterapia dojamowa, śródprzewodowa, donaczyniowa).

A. Charakterystyka urządzenia HDR

Zasada działania aparatów do leczenia za pomocą brachyterapii wysoką mocą dawki (HDR, *high dose rate*), z wykorzystaniem zdalnego ładowania źródła promieniotwórczego (*remote afterloading*), polega na wprowadzeniu do światła aplikatora pojedynczej kapsuły. Zawiera ona materiał promieniotwórczy, a jej wprowadzenie następuje dzięki elastycznej linie stalowej. Źródło promieniotwórcze przesuwa się wzdłuż światła aplikatora i zatrzymuje się w dowolnym jego punkcie na zaplanowany czas.

Czas realizacji pojedynczej frakcji wynosi od kilku do kilkudziesięciu minut i zależy od zaplanowanej dawki, układu aplikatorów i aktualnej aktywności źródła.

Źródło promieniotwórcze umieszczone jest w sejfie wykonanym w taki sposób, aby zapewnić pełną ochronę radiologiczną. Sejf ma postać jednolitego wolframowego bloku o odpowiednich wymiarach.

Aparaty są wyposażone w detektory promieniowania, które pozwalają na niezależne śledzenie obecności źródła promieniotwórczego w sejfie lub poza nim. Detektory sterują także systemem lamp ostrzegawczych, informujących o obecności promieniowania jonizującego w pomieszczeniu terapeutycznym.

W Pracowni Brachyterapii Beskidzkiego Centrum Onkologii stosowane są źródła wysokoaktywne izotopu ^{192}Ir o max. aktywności 481 GBq.

Tabela 2. Izotopy promieniotwórcze stosowane w brachyterapii HDR.

Izotop	Rodzaj emitowanego promieniowania	Energia	Okres półrozpadu	Postać źródła
^{192}Ir	γ, β^-	$E_{\text{sr}} = 0,397 \text{ MeV}$	73,83 dni	źródło zamknięte – metalowa kapsuła (platyna)

Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej – obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego

Urządzenie HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems

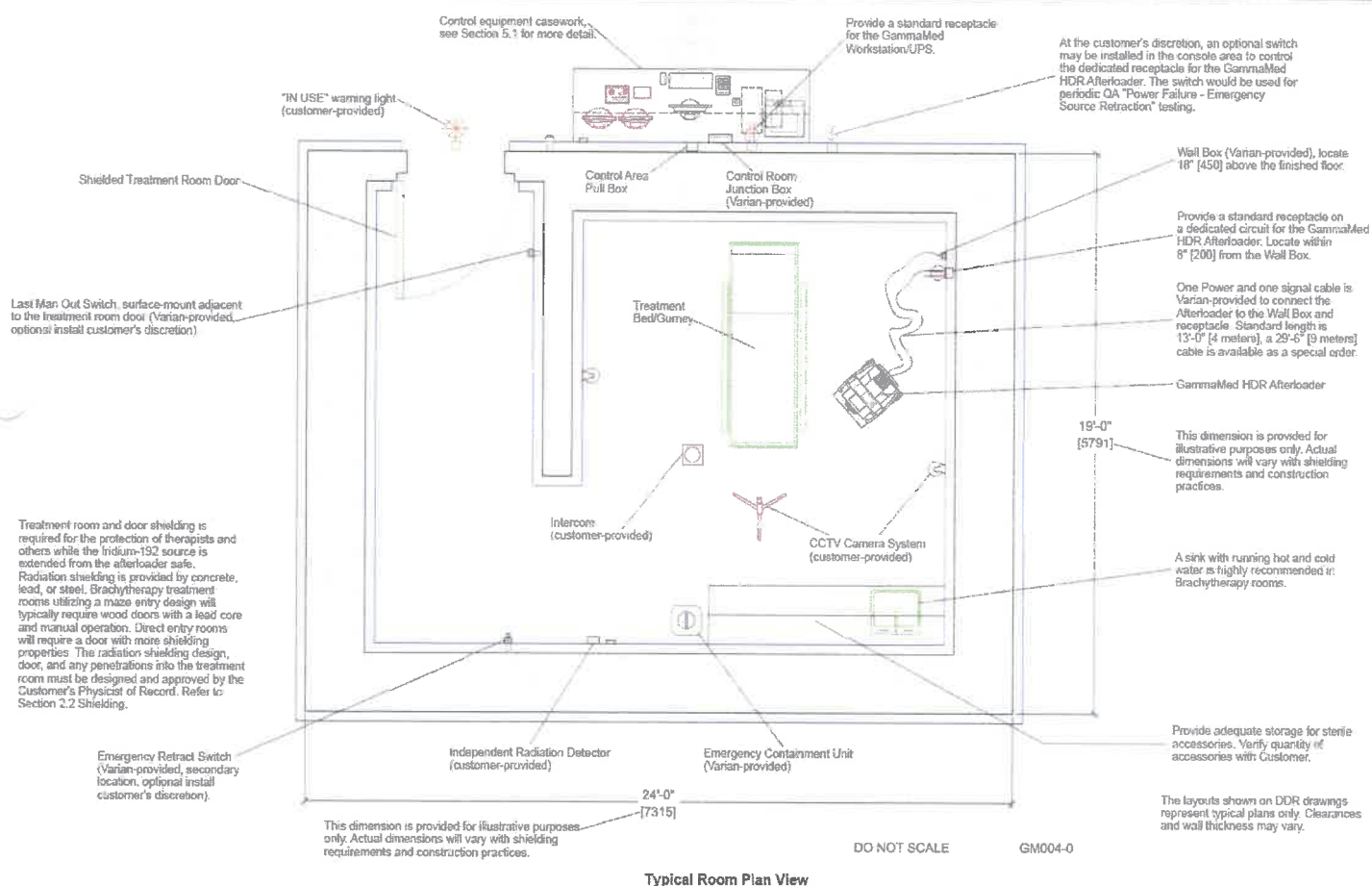
Ostonność:

- materiał sejf: wolfram
- max. aktywność przechowywanego źródła: 555 GBq (15Ci)
- moc dawki w odległości 1m od urządzenia nie przekracza 3 $\mu\text{Gy/h}$ dla max. aktywności źródła
- osłony przed promieniowaniem odpowiadają wymaganiom International Electrotechnical Commission (ICE-60601-2-17) i zaleceniom ICRP

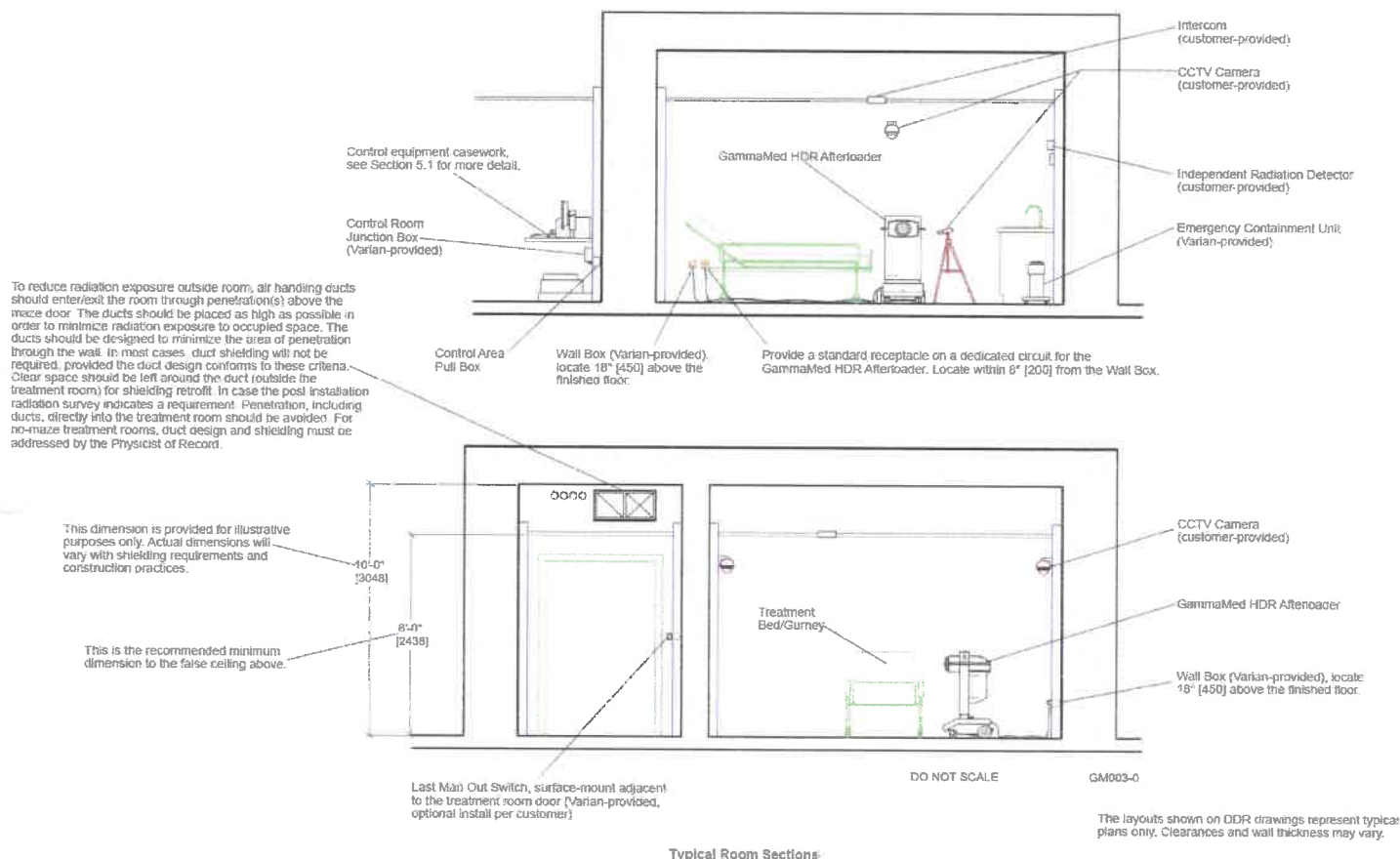
Charakterystyka źródła promieniotwórczego stosowanego w urządzeniu HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems

- pastylki ^{192}Ir o wymiarach: średnica – 0,6 mm; długość aktywna – 3,5 mm
- wymiary kapsuły: średnica – 0,9 mm; długość – 4,52 mm

GammaMed General System Overview



Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej – obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego



B. Charakterystyka tomografu komputerowego – symulatora

Zastosowanie tomografu komputerowego jako symulatora rentgenowskiego w brachyterapii umożliwia rekonstrukcję położenia aplikatorów oraz planowanie rozkładów dawek.

Aplikacje w brachyterapii opierają się na zdefiniowanej objętości tarczowej związanej z guzem nowotworowym oraz relacji z otaczającymi narządami. Badania tomograficzne kluczowe są w procesie planowania do wyznaczenia objętości guza oraz narządów krytycznych.

Tomografia komputerowa w brachyterapii umożliwia rekonstrukcję geometrii aplikacji, czyli wzajemnego położenia objętości istotnych z punktu widzenia planowania leczenia i układu aplikatorów, co jest ważne dla poprawności uzyskiwanych rozkładów dawek. Możliwość precyzyjnej i jednoznacznej lokalizacji radiologicznej aplikatorów warunkuje uzyskanie wiarygodnych rozkładów dawek na tle zobrazowanych struktur anatomicznych. Zbiór obrazów zawierających trójwymiarową rekonstrukcję

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

napromienianych objętości, położenia narządów krytycznych i położenia przewodnic stanowi zestaw danych wejściowych, które umożliwiają przygotowanie planu leczenia zapewniającego poprawne z punktu widzenia klinicznego rozkłady dawek w napromienianej objętości i poza nią.

Tomograf komputerowy SOMATOM Definition AS firmy Siemens jest urządzeniem wytwarzającym promieniowanie jonizujące, stosowanym w Beskidzkim Centrum Onkologii do brachyterapii: symulacji i planowania leczenia.

Dane techniczne tomografu komputerowego

- Lampa rentgenowska:	0 MHU STRATON
- zakres prądu lampy:	20 – 666 mA
- napięcie lampy:	70, 80, 100, 120, 140 kV
- rozmiar ogniska lampy:	0,9 x 1,1 mm
- filtracja lampy:	6,8 mm Al
- kolimator:	0,5 mm Al, 0,3 mm Ti (2,0 mm Al)
- max. moc generatora:	80 kW
- max. liczba warstw/obrót:	64 (warstw z akwizycji), 192 (warstw z rekonstrukcji)
- liczba rzędów detektora:	32
- liczba kanałów elektronicznych detektora:	64
- liczba elementów detektora:	23 552
- całkowita liczba kanałów na warstwę:	1472
- liczba projekcji:	do 4608/360°
- gantry apertura:	80 cm
- pole skanowania:	5 – 50 cm
- czas obrotu:	0,33; 0,5; 1,0 sek.

Uruchomienie i eksploatacja

- instalacji, uruchomienia i przekazania do eksploatacji urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące dokonuje specjalistyczny serwis posiadający stosowne uprawnienia,
- obsługę urządzeń z wykorzystaniem promieniowania jonizującego może prowadzić osoba posiadająca stosowne kwalifikacje i wiedzę oraz została przeszkolona w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, użytkowanie sprzętu odbywa się zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia dostarczoną przez producenta,
- wyłączniki awaryjne tomografu komputerowego będą znajdowały się w sterowni oraz w gabinecie rentgenowskim - ich zadaniem jest odcięcie zasilania i wyłączenie wiązki promieniowania w chwili awarii lub niebezpieczeństwa,
- bezpieczniki i obwody wyłączników chronią wszystkie istotne elementy urządzenia. W przypadku nieprzewidzianych incydentów następuje przerwanie generowania promieniowania jonizującego, wznowienie nastąpi po usunięciu błędu lub uszkodzenia powstałego wskutek awarii.

1.4. Założenia istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej

A. Współczynnik określający prawdopodobieństwo skierowania użytecznej wiązki promieniowania w kierunku obliczanej osłony U

Wartości współczynnika U należy przyjmować – zależnie od sposobu użytkowania źródła i miejsca skierowania wiązki promieniowania:

- **U = 1** - dla podłóg, ścian sufitów, jeżeli przewiduje się ich napromieniowanie wiązką główną przy pracach rutynowych,
- **U = 0,25** - dla ścian nie napromieniowanych wiązką główną przy pracach rutynowych,
- **U = 0,05** - dla sufitów nie napromieniowanych wiązką główną przy pracach rutynowych.

Na potrzeby niniejszego projektu przyjmuje się dla źródeł promieniotwórczych, w każdym przypadku $U = 1$.

B. Współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłanianym miejscu T

Współczynnik T uwzględnia długość czasu przebywania osób w obszarze, który ma być chroniony, niezależnie od rzeczywistego (krótszego) czasu przebywania. Dla celów obliczenia grubości osłon biologicznych przyjęto:

- **T = 1** - dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie jonizujące, w pomieszczeniach: pomieszczenie przygotowania pacjenta, sterowania akceleratora, sterownia HDR/CT
- **T = 0,25** - dla osób zawodowo nie narażonych na promieniowanie jonizujące oraz osób z ogółu ludności w pomieszczeniach: poczekalnia, przebieralnia
- **T = 0,05** - dla osób zawodowo nie narażonych na promieniowanie jonizujące oraz osób z ogółu ludności w miejscach: teren zewnętrzny – chodnik, strop – dach

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

C. Czas (t) narażenia na promieniowanie w ciągu tygodnia

Czas narażenia na promieniowanie w ciągu tygodnia oblicza się ze wzoru (1):

$$t = T \cdot U \cdot t_0$$

gdzie:

- T – współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłanianym miejscu,
- U – współczynnik określający prawdopodobieństwo skierowania użytecznej wiązki promieniowania w kierunku obliczonej osłony,
- t_0 – maksymalny czas pracy źródła promieniowania w ciągu tygodnia na jednej zmianie, s, min lub h.

DLA URZĄDZENIA HDR

t_0 wynika z tygodniowego obciążenia roboczego aparatu HDR. Oszacowano, że maksymalny czas pracy źródła promieniowania w ciągu tygodnia na jednej zmianie będzie wynosił $t_0 = 10$ h.

Założono, że dziennie na jednej zmianie wykonywanych będzie średnio 12 terapii (głównie brachyterapia skóry oraz aplikacje ginekologiczne), a czas jednego zabiegu będzie wynosił przeciętnie 10 minut (czas przebywania źródła ^{192}Ir poza sejfem).

DLA TOMOGRAFU KOMPUTEROWEGO – SYMULATORA

t_0 wynika z tygodniowego obciążenia roboczego tomografu komputerowego. Oszacowano, że maksymalny czas pracy źródła promieniowania w ciągu tygodnia na jednej zmianie będzie wynosił $t_0 = 2,5$ h.

Założono, że dziennie na jednej zmianie wykonywanych będzie średnio 15 badań, a czas jednego badania będzie wynosił przeciętnie 2 minuty (czas pracy lampy rtg). Ponadto założono bardzo pesymistycznie, że powyższe badania wykonywane będą przy maksymalnych parametrach tomografu (przy max. napięciu $U = 140$ kV i max. natężeniu prądu anodowego lampy $I = 666$ mA).

Założenia przyjęte do obliczeń:

- | | |
|---|----------------------------------|
| - maksymalny tygodniowy czas pracy lampy: | $t_0 = 2,5$ h / tydzień / zmianę |
| - napięcie na lampie rtg: | $U = 140$ kV |
| - natężenie prądu lampy rtg: | $I = 666$ mA |

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

D. Grubości istniejących osłon oraz stosowane materiały

Zostały przyjęte następujące materiały osłonne o gęstościach:

- cegła pełna	$\rho = 1,9 \text{ g/cm}^3$
- beton zwykły	$\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$
- beton barytowy	$\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$
- ołów	$\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$

Istniejące osłony przed promieniowaniem jonizującym (oznaczenia ścian pracowni izotopowej klasy Z (lub pracowni rentgenowskiej) zgodnie z Rysunkiem 2) wraz z materiałami, z których zostały wykonane przedstawiono w poniższej tabeli. Zakłada się, że podczas wcześniejszych prac budowlanych osłony wykonano zgodnie z projektem z 2010r. „Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej bunkra HDR przeznaczonego do instalacji symulatora Acuity firmy Varian (obliczenia osłon biologicznych)” wraz z aneksem „Aneks do projektu technicznego w zakresie ochrony radiologicznej pomieszczenia przeznaczonego do instalacji aparatu HDR autorstwa mgr inż. Ireny Kwolczak – El Korbi oraz mgr Jana Kopeć.

Tabela 3. Grubości istniejących osłon przed promieniowaniem jonizującym.

Istniejąca osłona przed promieniowaniem (Rysunek 2)	Grubość i materiał istniejącej osłony przed promieniowaniem
Ściana A	60 cm beton $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$
Ściana B	60 cm beton $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$
Ściana C	60 cm beton $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$
Ściana D	60 cm beton $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$
Ściana E	60 cm beton $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$
Drzwi	1,0 cm ołów $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$
Strop	60 cm beton $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

2. CZĘŚĆ OBLICZENIOWA

W celu obliczenia grubości osłon przed promieniowaniem jonizującym wykorzystano poniższe wzory oraz obowiązujące zalecenia i przepisy prawne.

2.1. Osłony chroniące przed wiązką promieniowania gamma

W celu obliczenia krotności k osłabienia przez osłonę promieniowania pochodzącego ze źródła zbliżonego do punkтового i padającego bezpośrednio na osłonę wykorzystano wzór (1):

$$k = \frac{\Gamma_r \cdot A \cdot t}{D \cdot l^2} \cdot y$$

gdzie:

Γ_r - równoważna wartość stałej ekspozycyjnej [$\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$]

A - aktywność źródła [GBq]

D - dopuszczalna dawka tygodniowa (limit użytkowy dawki) [$\text{mGy}/\text{tydz.}$]

l - najmniejsza odległość źródła promieniowania od miejsca osłanianego w ustalonych warunkach pracy [m]

y - współczynnik osłabienia w ośrodku; osłabienie promieniowania w ośrodku znajdującym się pomiędzy źródłem promieniowania a miejscem osłanianym; we wszystkich przypadkach niniejszego opracowania $y=1$

t - narażenie na promieniowanie w ciągu tygodnia [h] - czas narażenia osób przebywających za osłoną zgodnie ze wzorem (2):

$$t = T \cdot U \cdot t_0$$

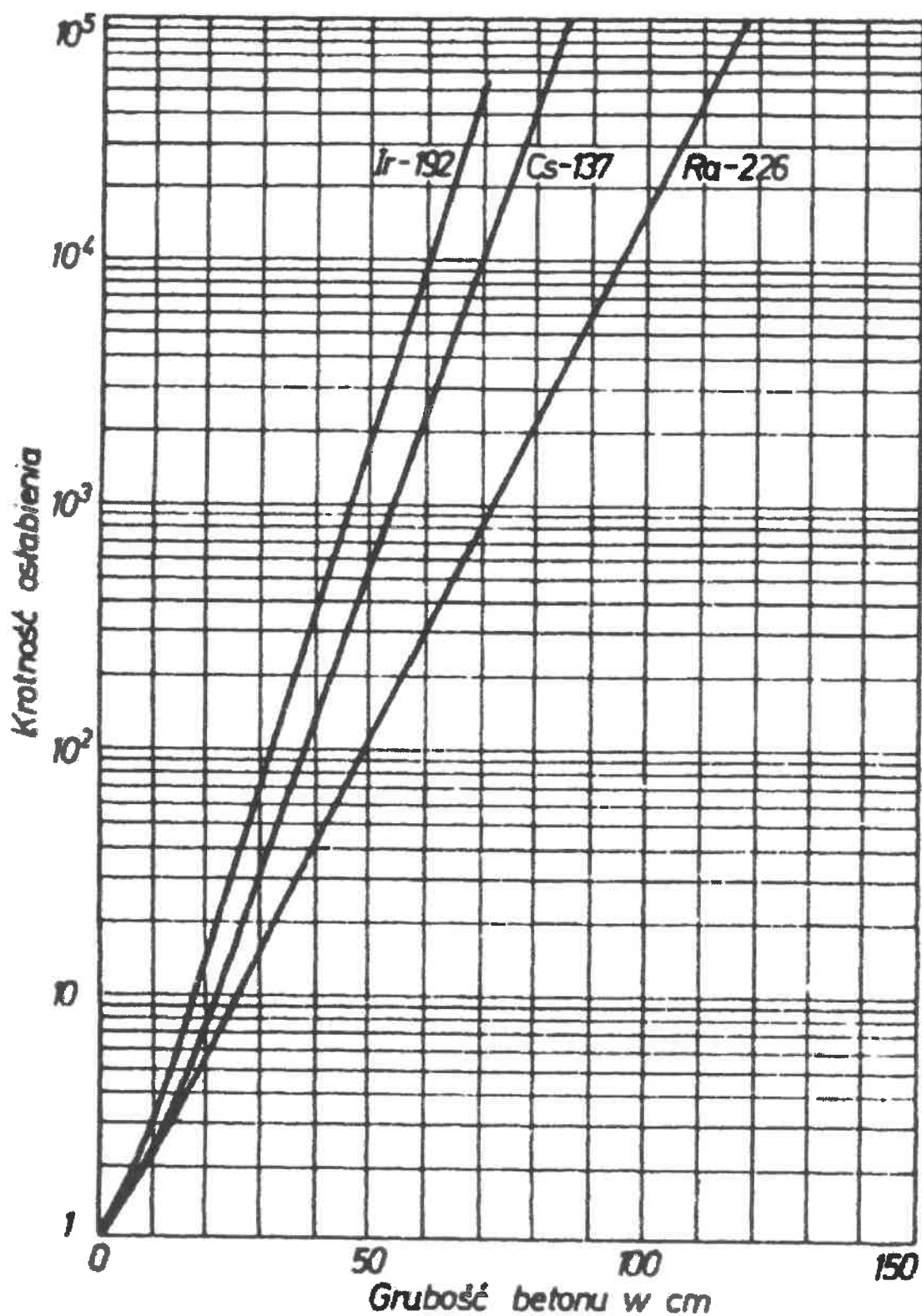
gdzie:

t_0 – maksymalny czas pracy źródła promieniowania ciągu tygodnia na jednej zmianie [h]

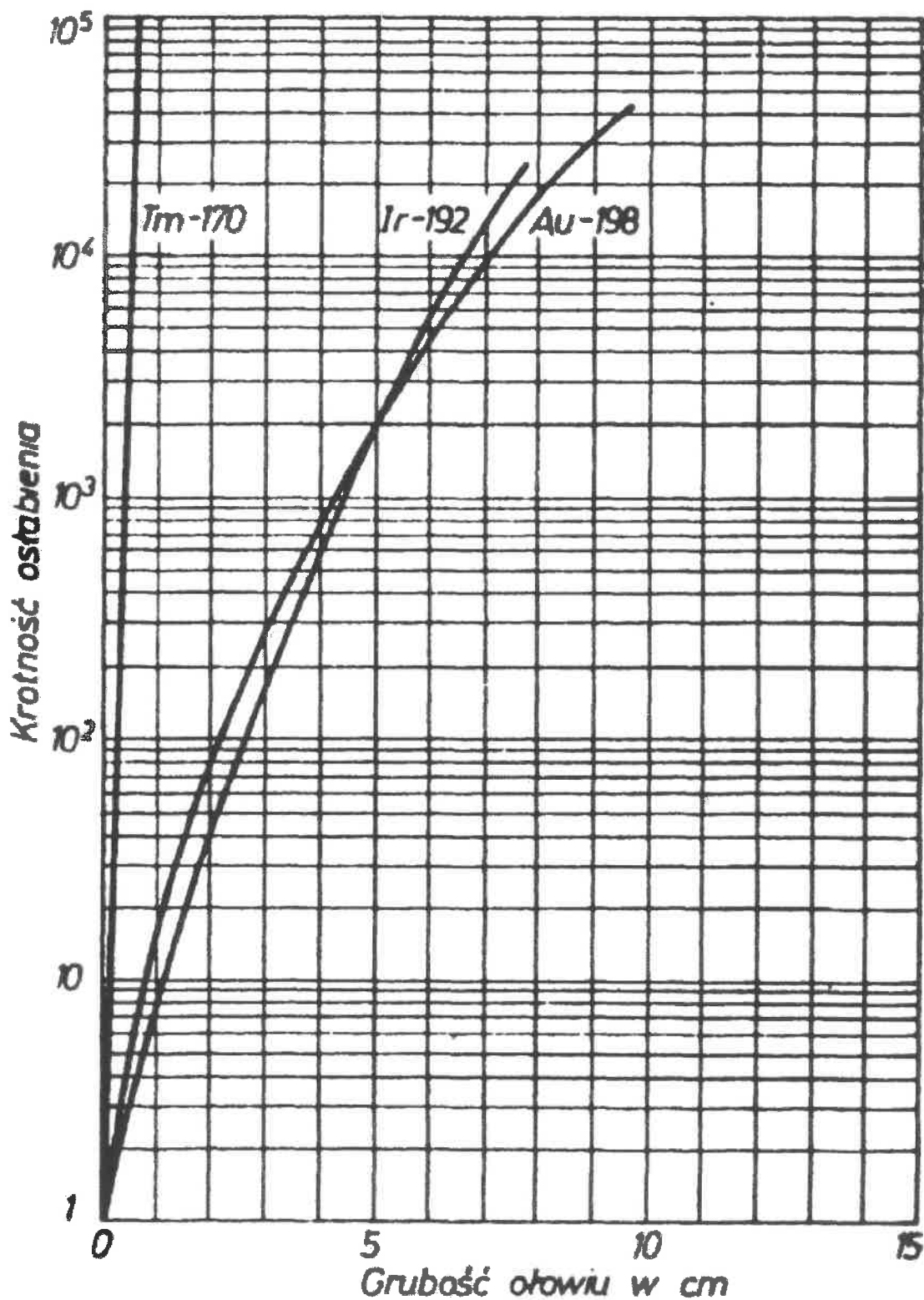
T - współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłoniętym miejscu

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

Wykres 1. Zależność krotności osłabienia promieniowania gamma od grubości warstwy betonu $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$.



Wykres 2. Zależność krotności osłabienia promieniowania gamma od grubości warstwy ołowiu $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$.



Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej – obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego

Na podstawie obliczonej krotności osłabienia promieniowania jonizującego oraz z wykorzystaniem informacji dotyczących rodzaju i energii emitowanego promieniowania określono wymaganą grubość osłony (Wykres 1, Wykres 2).

2.2. Osłony chroniące przed wiązką promieniowania X

Obliczenia krotności osłabienia (k) promieniowania pierwotnego pominięto, ponieważ budowa urządzenia uniemożliwia wyprowadzenie wiązki pierwotnej poza obudowę gantry. Wiązka pierwotna skolimowana jest w taki sposób, że obejmuje jedynie wbudowany w gantry układ detektorów.

W celu obliczenia grubości osłon przed promieniowaniem X pochodzącym z tomografu komputerowego SOMATOM Definition AS firmy Siemens, ze względu na konstrukcję aparatu, rozważano osłony przed promieniowaniem rozproszonym przez wodę lub tkankę.

Zredukowaną moc dawki C_1 obliczono ze wzoru (3):

$$C_1 = \frac{D \cdot l^2}{t \cdot I}$$

gdzie:

C_1 - zredukowana moc dawki [$\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1}$]

D - dopuszczalna dawka tygodniowa (limit użytkowy dawki) [$\text{mGy}/\text{tydz.}$]

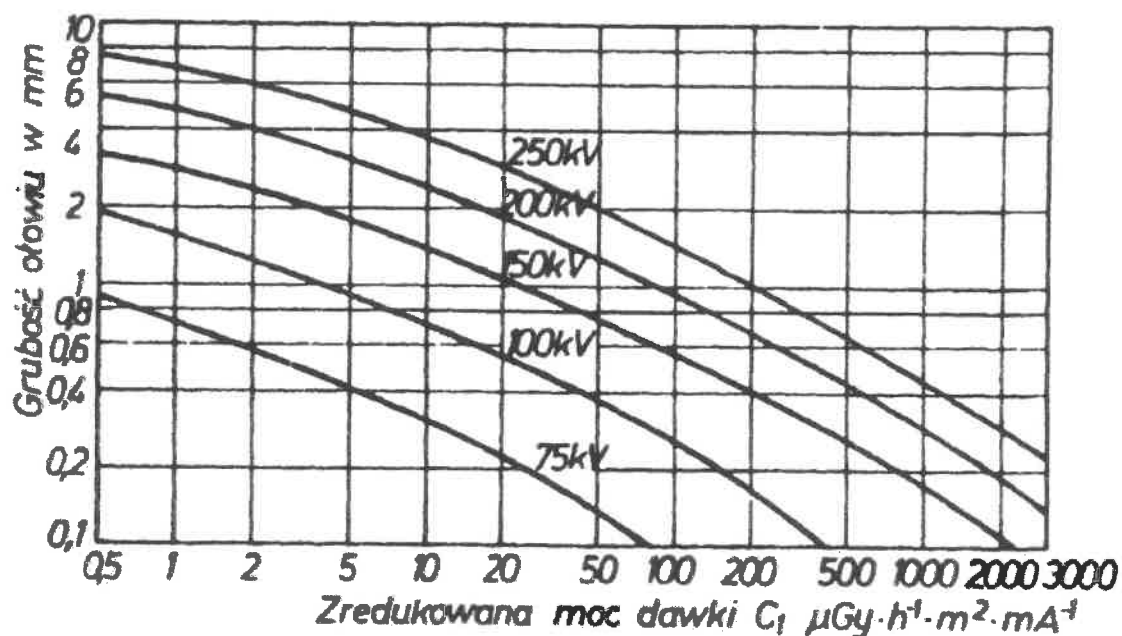
l - najmniejsza odległość przedmiotu rozpraszającego promieniowanie od miejsca osłanianego w ustalonych warunkach pracy [m]

t - czas narażenia na promieniowanie rozproszone w ciągu tygodnia [h] - czas narażenia osób przebywających za osłoną zgodnie ze wzorem (2)

I - nominalne natężenie prądu anodowego lampy rentgenowskiej [mA]

Dla obliczonej zredukowanej mocy dawki C_1 wyznaczono grubość osłony ołowianej odpowiadającej maksymalnemu stosowanemu napięciu na lampie (Wykres 3).

Wykres 3. Zależność grubości warstwy ołowiu od zredukowanej mocy dawki promieniowania X rozproszonego przez wodę lub tkankę $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$



2.3. Sumaryczna tygodniowa dawka promieniowania.

- 1) Tygodniową dawkę promieniowania jonizującego gamma dla jednego źródła D_n w [mGy] obliczono ze wzoru (4):

$$D_n = \frac{\Gamma_r \cdot A \cdot t}{k \cdot l^2}$$

gdzie:

Γ_r - równoważna wartość stałej ekspozycyjnej [$\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$]

A - aktywność źródła [GBq]

k - krotność osłabienia promieniowania jonizującego dla projektowanej grubości osłony

l - najmniejsza odległość źródła promieniowania od miejsca osłanianego w ustalonych warunkach pracy [m]

t - narażenie na promieniowanie w ciągu tygodnia [h] - czas narażenia osób przebywających za osłoną, wyznaczony zgodnie ze wzorem (2)

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

- 2) Tygodniową dawkę promieniowania jonizującego D_t w [mGy] pochodzącą z lampy rentgenowskiej tomografu komputerowego obliczono ze wzoru (5):

$$D_t = \frac{C_1 \cdot t \cdot I}{l^2}$$

gdzie:

C_1 - zredukowana moc dawki promieniowania, przy założeniu projektowanej grubości osłony, równoważnej odpowiedniej grubości ołowiu dla promieniowania X przy maksymalnym napięciu na lampie rentgenowskiej

l - najmniejsza odległość przedmiotu rozpraszającego promieniowanie od miejsca osłanianego w ustalonych warunkach pracy [m]

t - czas narażenia na promieniowanie rozproszone w ciągu tygodnia [h] - czas narażenia osób przebywających za osłoną zgodnie ze wzorem (2)

I - nominalne natężenie prądu anodowego lampy rentgenowskiej [mA]

- 3) Sumaryczną tygodniową dawkę promieniowania D_s w [mGy] za osłoną o założonej grubości, pochodzącą ze źródła promieniowania gamma D_n oraz tomografu komputerowego D_t obliczono według wzoru (6):

$$D_s = D_n + D_t$$

Dawka D_s w [mGy] jest sumaryczną wartością dla wszystkich rozpatrywanych źródeł promieniowania – źródło promieniotwórcze (HDR – ^{192}Ir) oraz urządzenie wytwarzające promieniowanie jonizujące (CT symulator – lampa rentgenowska).

2.4. Obliczenia dla tomografu komputerowego

Założenia przyjęte do obliczeń:

Założenia ochrony radiologicznej zostały omówione w rozdziale 1.4. niniejszego projektu.

❖ Założenia przyjęte do obliczeń dla lampy rtg tomografu komputerowego SOMATOM Definition AS firmy Siemens:

- $U = 140 \text{ kV}$
- $I = 666 \text{ mA}$
- $t_0 = 2,5 \text{ h / tydzień / zmianę [15 pacjentów dziennie – 2 min. /badanie]}$

❖ Powierzchnia poszczególnych pomieszczeń wchodzących w skład pracowni rentgenowskiej:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| ▪ gabinet pracowni HDR/CT | 32,85 m ² (wysokość 3,0 m) |
| ▪ sterownia HDR/CT | 12,8 m ² |

Na podstawie obliczonego współczynnika zredukowanej mocy dawki C_1 określono wymagane grubości warstwy ołowiu $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$ (oraz odpowiadające im grubości warstwy betonu dla $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$) osłon przed promieniowaniem dla napięcia na lampie rtg 140 kV (Wykres 3).

Wyniki oraz wartości przyjęte do obliczeń przedstawiono w Tabeli 4.

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

Tabela 4. Obliczenia promieniowania rozproszonego - zredukowana moc dawki C_1 .

Wzory i oznaczenia	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	sterownia akceleratora	teren zewnętrzny	sterownia HDR / CT	poczekalnia	przebiegarnia	pomieszczenie przygotowania pacjenta	teren zewnętrzny	strop - dach teren niedostępny	drzwi do bunkra pomieszczenie przygotowania pacjenta
	ściana A	ściana B	ściana C	ściana C	ściana C	ściana C	ściana D	ściana E	drzwi
T	1	0,05	1	0,25	0,25	1	0,05	0,05	1
U	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t_0 [h]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$t = T \cdot U \cdot t_0$	2,50	0,13	2,50	0,63	0,63	2,50	0,13	2,50	2,50
y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I [mA]	666	666	666	666	666	666	666	666	666
D [mSv / tydz.]	0,06	0,01	0,06	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,06
D [mGy / tydz.]	0,05	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05
I [m]	2,95	2,10	3,55	6,85	5,40	3,80	5,50	2,40	5,00
$C_1 = \frac{D}{t} \cdot \frac{I^2}{I}$	0,3	0,5	0,4	1,0	0,6	0,5	3,2	0,6	0,8
ołów - 11,3 g/cm ³ [mm]	3,30	3,20	3,25	2,74	3,11	3,20	1,84	3,11	2,92
beton 2,3 g/cm ³ [mm]	230	226	227	204	222	226	145	222	-

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

Tabela 5. Zestawienie osłon przed promieniowaniem dla tomografu komputerowego SOMATOM Definition AS firmy Siemens.

Oznaczenie ściany/punktu Rysunek 2	Istniejąca grubość osłony	Wymagana grubość osłony
ściana A punkt P1	60 cm beton 2,3 g/cm ³	23,0 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana B punkt P2	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,6 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P3	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,7 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P4	60 cm beton 2,3 g/cm ³	20,4 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P5	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,2 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P6	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,6 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana D punkt P7	60 cm beton 2,3 g/cm ³	14,5 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana E punkt P8	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,2 cm beton 2,3 g/cm ³
drzwi punkt P9	1,0 cm ołów 11,3 g/cm ³	0,3 cm ołów 11,3 g/cm ³

❖ Z obliczeń (Tabela 4) wynika, że dla tomografu komputerowego – symulatora grubości istniejących ścian oraz drzwi są wystarczające.

2.5. Obliczenia dla urządzenia HDR

Założenia przyjęte do obliczeń:

Założenia ochrony radiologicznej zostały omówione w rozdziale 1.4. niniejszego projektu.

❖ Założenia przyjęte do obliczeń dla urządzenia HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems:

- aktywność stosowanego źródła promieniotwórczego $^{192}\text{Ir} = 481\text{GBq}$
/na podstawie zezwolenia Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki
wydanego dla Beskidzkiego Centrum Onkologii w Bielsku – Białej/
- $\Gamma_r = 0,109 \text{ mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$ dla ^{192}Ir
- $E_0 = 0,6 \text{ MeV}$
- $t_0 = 10 \text{ h}$ [12 pacjentów dziennie, średnio po 10 min. na terapię]

❖ Powierzchnia poszczególnych pomieszczeń wchodzących w skład pracowni izotopowej klasy Z:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| ▪ gabinet pracowni HDR/CT | 32,85 m ² (wysokość 3,0 m) |
| ▪ sterownia HDR/CT | 12,8 m ² |

Na podstawie obliczonej krotności k osłabienia promieniowania gamma dla ^{192}Ir wyznaczono wymaganą grubość osłony przed promieniowaniem jonizującym (Wykres 1, Wykres 2).

Wyniki oraz wartości przyjęte do obliczeń przedstawiono w Tabeli 6.

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

Tabela 6. Obliczenia grubości osłon przed promieniowaniem gamma dla ^{192}Ir .

Wzory i oznaczenia	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	sterownia akceleratora	teren zewnętrzny	sterownia HDR / CT	poczekalnia	przebiegarnia	pomieszczenie przygotowania pacjenta	teren zewnętrzny	strop - dach teren niedostępny	drzwi do bunkra pomieszczenie przygotowania pacjenta
	ściana A	ściana B	ściana C	ściana C	ściana C	ściana C	ściana D	ściana E	drzwi
T	1	0,05	1	0,25	0,25	1	0,05	0,05	1
U	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t_0 [h]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$t = T \cdot U \cdot t_0$	10,0	0,5	10,0	2,5	2,5	10,0	0,5	0,5	10,0
A [GBq]	481	481	481	481	481	481	481	481	481
D [mSv / tydz.]	0,12	0,006	0,12	0,006	0,006	0,12	0,006	0,006	0,12
D [mGy / tydz.]	0,104	0,005	0,104	0,005	0,005	0,104	0,005	0,005	0,104
l [m]	4,30	2,60	2,10	6,90	6,30	3,55	4,15	2,40	3,30
$k = \frac{\Gamma_r \cdot A \cdot t}{D \cdot l^2} \cdot Y$	271,6	742,9	1138,8	527,4	632,6	398,5	291,6	871,9	461,2
ołów - 11,3 g/cm ³ [cm]	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0
beton 2,3 g/cm ³ [cm]	39	45	53	43	44	40	39	46	-

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

**Tabela 7. Zestawienie osłon przed promieniowaniem dla urządzenia HDR
GammaMed firmy Varian Medical Systems.**

Oznaczenie ściany/punktu Rysunek 2	Istniejąca grubość osłony	Wymagana grubość osłony
ściana A punkt P1	60 cm beton 2,3 g/cm ³	39 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana B punkt P2	60 cm beton 2,3 g/cm ³	45 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P3	60 cm beton 2,3 g/cm ³	53 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P4	60 cm beton 2,3 g/cm ³	43 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P5	60 cm beton 2,3 g/cm ³	44 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P6	60 cm beton 2,3 g/cm ³	40 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana D punkt P7	60 cm beton 2,3 g/cm ³	39 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana E punkt P8	60 cm beton 2,3 g/cm ³	46 cm beton 2,3 g/cm ³
drzwi punkt P9	1,0 cm ołów 11,3 g/cm ³	4,0 cm ołów 11,3 g/cm ³

- ❖ Z obliczeń (Tabela 6) wynika, że dla urządzenia HDR grubości istniejących ścian są wystarczające.
- ❖ Drzwi o grubości 1,0 cm ołowiu i gęstości 11,3 g/cm³ są zbyt cienkie. Na podstawie obliczeń drzwi powinny mieć grubość co najmniej 4,0 cm, jednak zaleca się zastosowanie drzwi z wkładką ołowianą o grubości 5,0 cm ołowiu i gęstości 11,3 g/cm³.

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

2.6. Zestawienie dawek promieniowania jonizującego

W celu obliczenia dawek promieniowania jonizującego wykorzystano wzory 4 – 6. Obliczono dawki dla istniejących osłon. Przyjęto krotność osłabienia promieniowania jonizującego dla źródła promieniotwórczego ^{192}Ir :

- ❖ $k = 9$ dla 1,0 cm ołowiu o gęstości $11,3 \text{ g/cm}^3$ (Wykres 2)
- ❖ $k = 10000$ dla 60 cm betonu o gęstości $2,3 \text{ g/cm}^3$ (Wykres 1)

W przypadku tomografu komputerowego wyznaczono współczynnik C_1 dla istniejących ścian (60cm betonu o gęstości $2,3 \text{ g/cm}^3$) oraz drzwi (1,0 cm ołowiu o gęstości $11,3 \text{ g/cm}^3$).

Tabela 8. Zestawienie dawek promieniowania jonizującego dla istniejących osłon.

Oznaczenie ściany/punktu Rysunek 2	Istniejąca grubość osłony	Dawka dla ^{192}Ir [mGy/tydz.]	Dawka dla CT [mGy/tydz.]	SUMA DAWEK [mGy/tydz.]	Użytkowy limit dawki [mGy/tydz.]	Przekroczenie dawki [TAK/NIE]
ściana A punkt P1	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0028	0,0096	0,0124	0,104	NIE
ściana B punkt P2	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0004	0,0009	0,0013	0,005	NIE
ściana C punkt P3	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0119	0,0066	0,0185	0,104	NIE
ściana C punkt P4	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0003	0,0004	0,0007	0,005	NIE
ściana C punkt P5	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0003	0,0007	0,0010	0,005	NIE
ściana C punkt P6	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0042	0,0058	0,0099	0,104	NIE
ściana D punkt P7	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0002	0,0001	0,0003	0,005	NIE
ściana E punkt P8	60 cm beton $2,3 \text{ g/cm}^3$	0,0005	0,0007	0,0012	0,005	NIE
drzwi punkt P9	1,0 cm ołów $11,3 \text{ g/cm}^3$	5,3494	0,0067	5,3560	0,104	TAK

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

- ❖ Obliczenia dawek promieniowania potwierdzają skuteczność istniejących ścian jako osłon przed promieniowaniem jonizującym pochodzącym zarówno z tomografu komputerowego - symulatora, jak i urządzenia HDR.
- ❖ Dla drzwi o grubości 1,0 cm ołowiu o gęstości 11,3 g/cm³ dawka promieniowania jest przekroczona, co potwierdziły obliczenia grubości osłon (p. 2.5 – Tabela 6 oraz Tabela 7).
- ❖ W przypadku drzwi o grubości 5,0 cm ołowiu i gęstości 11,3 g/cm³ krotność osłabienia promieniowania gamma pochodzącego ze źródła promieniotwórczego ¹⁹²Ir wzrasta do wartości k = 1100 (Wykres 2). Dawka w punkcie P9 przedstawia się wtedy następująco:

Tabela 9. Dawka promieniowania jonizującego dla drzwi o grubości 5,0 cm ołowiu o gęstości 11,3 g/cm³.

Oznaczenie ściany/punktu Rysunek 2	Istniejąca grubość osłony	Dawka dla ¹⁹² Ir [mGy/tydz.]	Dawka dla CT [mGy/tydz.]	SUMA DAWEK [mGy/tydz.]	Użytkowy limit dawki [mGy/tydz.]	Przekroczenie dawki [TAK/NIE]
drzwi punkt P9	5,0 cm ołów 11,3 g/cm ³	0,0444	0,0007	0,0438	0,104	NIE

- ❖ Aby spełnione były warunki ochrony radiologicznej należy zamontować drzwi do bunkra z wkładką ołowianą o grubości 5,0 cm ołowiu i gęstości 11,3 g/cm³.

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

**2.7. Zestawienie grubości osłon przed promieniowaniem jonizującym –
podsumowanie**

**Tabela 10. Zestawienie grubości osłon przed promieniowaniem jonizującym dla
tomografu komputerowego - symulatora oraz urządzenia HDR.**

Oznaczenie ściany/punktu Rysunek 2	Istniejąca grubość osłony	Wymagana grubość osłony dla CT	Wymagana grubość osłony dla HDR
ściana A punkt P1	60 cm beton 2,3 g/cm ³	23,0 cm beton 2,3 g/cm ³	39 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana B punkt P2	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,6 cm beton 2,3 g/cm ³	45 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P3	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,7 cm beton 2,3 g/cm ³	53 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P4	60 cm beton 2,3 g/cm ³	20,4 cm beton 2,3 g/cm ³	43 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P5	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,2 cm beton 2,3 g/cm ³	44 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana C punkt P6	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,6 cm beton 2,3 g/cm ³	40 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana D punkt P7	60 cm beton 2,3 g/cm ³	14,5 cm beton 2,3 g/cm ³	39 cm beton 2,3 g/cm ³
ściana E punkt P8	60 cm beton 2,3 g/cm ³	22,2 cm beton 2,3 g/cm ³	46 cm beton 2,3 g/cm ³
drzwi punkt P9	1,0 cm ołów 11,3 g/cm³	0,3 cm ołów 11,3 g/cm³	4,0 cm ołów 11,3 g/cm³

PODSUMOWANIE:

- ❖ Za założenia do obliczeń ochronności osłon, przyjęte współczynniki, czasy pracy, limity użytkowe dawek, aktywności izotopów, technologię pracy itp. zawarte w niniejszym opracowaniu odpowiada kierownik jednostki organizacyjnej Beskidzkiego Centrum Onkologii – Szpitala Miejskiego im. Jana Pawła II w Bielsku – Białej.
- ❖ Obliczenia grubości osłon oraz dawek promieniowania (Tabela 8) potwierdzają skuteczność istniejących ścian jako osłon przed promieniowaniem jonizującym pochodzącym zarówno z tomografu komputerowego SOMATOM Definition AS firmy Siemens, jak i urządzenia HDR GammaMed firmy Varian Medical Systems.
- ❖ Punkty P4 oraz P5 znajdują się za ścianą C o grubości 60 cm oraz odpowiednio za ścianą o grubości 12 cm (P4) oraz 25 cm (P5), co dodatkowo obniża dawkę promieniowania w tych punktach. Dodatkowe ściany te nie zostały uwzględnione w obliczeniach.
- ❖ W ścianie C o grubości 60 cm betonu o gęstości $2,3 \text{ g/cm}^3$ znajduje się wybranie pod centrator. Ściana w miejscu centratora ma grubość 52 cm. Po zdemontowaniu symulatora Acuity firmy Varian Medical Systems należy uzupełnić ubytek w ścianie C.
- ❖ Istniejące drzwi 1,0 cm ołowiu o gęstości $11,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ nie stanowią wystarczającej ochrony przed promieniowaniem jonizującym.

Aby spełnione zostały warunki ochrony radiologicznej:

**Drzwi do bunkra powinny być wykonane z 5,0 cm
wkładką ołowiu o gęstości $11,3 \text{ [g/cm}^3\text{]}$**

3. WYMAGANIA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

Pracownia Brachyterapii musi spełniać wymagania określone przez ustawę z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 1792) oraz akty wykonawcze, a w szczególności Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz.U. 2006 nr 140 poz. 994).

3.1. Wymagania pracowni izotopowej klasy Z oraz pracowni rentgenowskiej

Pracownie izotopowe lokalizuje się w pomieszczeniach zabezpieczonych przed zalaniem wodą w budynkach zaliczonych co najmniej do klasy D odporności pożarowej, przy czym pomieszczenia, w których są przechowywane źródła promieniotwórcze, lokalizuje się w budynkach zaliczonych co najmniej do klasy B odporności pożarowej.

W przypadku pracowni izotopowej klasy Z oraz pracowni rentgenowskiej

- 1) powierzchnia pomieszczenia, w którym są prowadzone prace ze źródłami promieniotwórczymi, nie może być mniejsza niż 10 m², przy czym w pracowni klasy Z przeznaczonej do celów medycznych powierzchnia pomieszczenia terapeutycznego nie może być mniejsza niż 20 m²,
- 2) wielkość wolnej powierzchni w pomieszczeniach przeznaczonych do prac ze źródłami promieniotwórczymi nie może być mniejsza niż 5 m² na jednego pracownika wykonującego pracę w pracowni,
- 3) powierzchnia pomieszczenia pracowni rentgenowskiej, w którym jest zainstalowany aparat rentgenowski o energii promieniowania do 300 keV, nie może być, mniejsza 10 m², chyba że w zezwoleniu określono inaczej,
- 4) wejście do pracowni wyposaża się w sygnalizację świetlną informującą o włączeniu zasilania aparatu wysokim napięciem lub umieszczeniu źródła promieniotwórczego w pozycji roboczej,
- 5) geometria ustawienia osłon stałych wyklucza możliwość padania pierwotnej wiązki promieniowania jonizującego na drzwi do pomieszczenia do napromieniania,
- 6) konstrukcja drzwi umożliwia ich otwarcie od wewnątrz i od zewnątrz pomieszczenia do napromieniania,
- 7) zapewnia się łączność głosową i wizualną między sterownią a pomieszczeniem terapeutycznym,

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

- 8) stosuje się system uniemożliwiający włączenie zasilania aparatu rentgenowskiego wysokim napięciem przy otwartych drzwiach do napromieniania,
- 9) w pracowniach klasy Z stosuje się system powodujący umieszczenie źródeł w pozycji ochronnej, przy otwieraniu drzwi do pomieszczenia do napromieniania.

3.2. Wentylacja

W pracowni izotopowej klasy Z oraz pracowni rentgenowskiej zapewnia się:

w pomieszczeniach terapeutycznych wentylację mechaniczną nawiewno – wyciągową zapewniającą co najmniej 6 – krotną wymianę powietrza na godzinę, chyba że producent zainstalowanego źródła promieniowania jonizującego wymaga częstszej wymiany powietrza.

3.3. Wyposażenie pracowni dla potrzeb ochrony radiologicznej

- sprzęt dozymetryczny dostosowany do używanych źródeł promieniowania jonizującego,
- stałe lub ruchome osłony przed promieniowaniem jonizującym,
- pojemnik do awaryjnego przechowywania źródła.

3.4. Bezpieczna praca ze źródłami promieniowania

Bezpieczeństwo pracy ze źródłami promieniowania jonizującego wymaga przestrzegania zasady ograniczenia narażenia przez skracanie czasu narażenia, zwiększanie odległości od źródła promieniowania jonizującego, ograniczanie pola tego promieniowania poprzez:

- 1) stosowanie wyposażenia i sprzętu zgodnie z ich przeznaczeniem oraz zaleceniami producenta,
- 2) stosowanie środków ochrony indywidualnej,
- 3) dopuszczanie do pracy na poszczególnych stanowiskach pracy osób przeszkolonych i posiadających uprawnienia wymagane do pracy na tych stanowiskach,

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej -
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

- 4) stałą kontrolę stosowanych procedur oraz bieżącą kontrolę i konserwację eksploatowanych urządzeń,
- 5) osoby biorące udział w pracach prowadzonych w pracowni wyposaża się w:
 - a. środki ochrony indywidualnej właściwie dla prowadzonych prac,
 - b. akustyczne indywidualne sygnalizatory promieniowania jonizującego — w przypadku szczególnym, gdy prace prowadzone w pracowni mogą spowodować przekroczenie limitu użytkowego dawki (ogranicznika dawki) ustalonego w zezwoleniu.

3.5. Wymagania dla źródeł wysokoaktywnych

- 1) Praca ze źródłami wysokoaktywnymi wymaga zezwolenia Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.
- 2) Warunkiem wydania zezwolenia na wykonywanie działalności ze źródłem wysokoaktywnym jest zawarcie przez jednostkę organizacyjną składającą wniosek o wydanie zezwolenia:
 - a. umowy z wytwórcą lub dostawcą źródła wysokoaktywnego zawierającej zobowiązanie wytwórcy lub dostawcy do odbioru źródła po zakończeniu działalności z nim i zapewnienia dalszego postępowania z tym źródłem oraz regulującej sposób zabezpieczenia finansowego kosztów odbioru źródła i postępowania ze źródłem albo
 - b. umowy z państwowym przedsiębiorstwem użyteczności publicznej – Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych zawierającej zobowiązanie tego przedsiębiorstwa do odbioru źródła po zakończeniu działalności z nim i zapewnienia dalszego postępowania z tym źródłem oraz regulującej sposób zabezpieczenia finansowego kosztów odbioru źródła i postępowania ze źródłem.
- 3) Kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność ze źródłem wysokoaktywnym ma obowiązek:
 - a. sprawić, żeby do źródła został dołączony dokument zawierający numer identyfikacyjny źródła, wskazujący, że zostało ono oznaczone w sposób określony w przepisach prawnych oraz potwierdzający czytelność tego oznaczenia,
 - b. przed przekazaniem źródła innej jednostce organizacyjnej sprawdzić, czy posiada ona zezwolenie Prezesa Agencji na działalność z tym źródłem,
 - c. niezwłocznie zawiadomić Prezesa Agencji o kradzieży lub utracie źródła, a także o korzystaniu z niego przez osobę nieuprawnioną,
 - d. po zakończeniu działalności ze źródłem niezwłocznie przekazać źródło:

**Projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej –
obliczenia grubości osłon stałych – aparatu HDR oraz tomografu komputerowego**

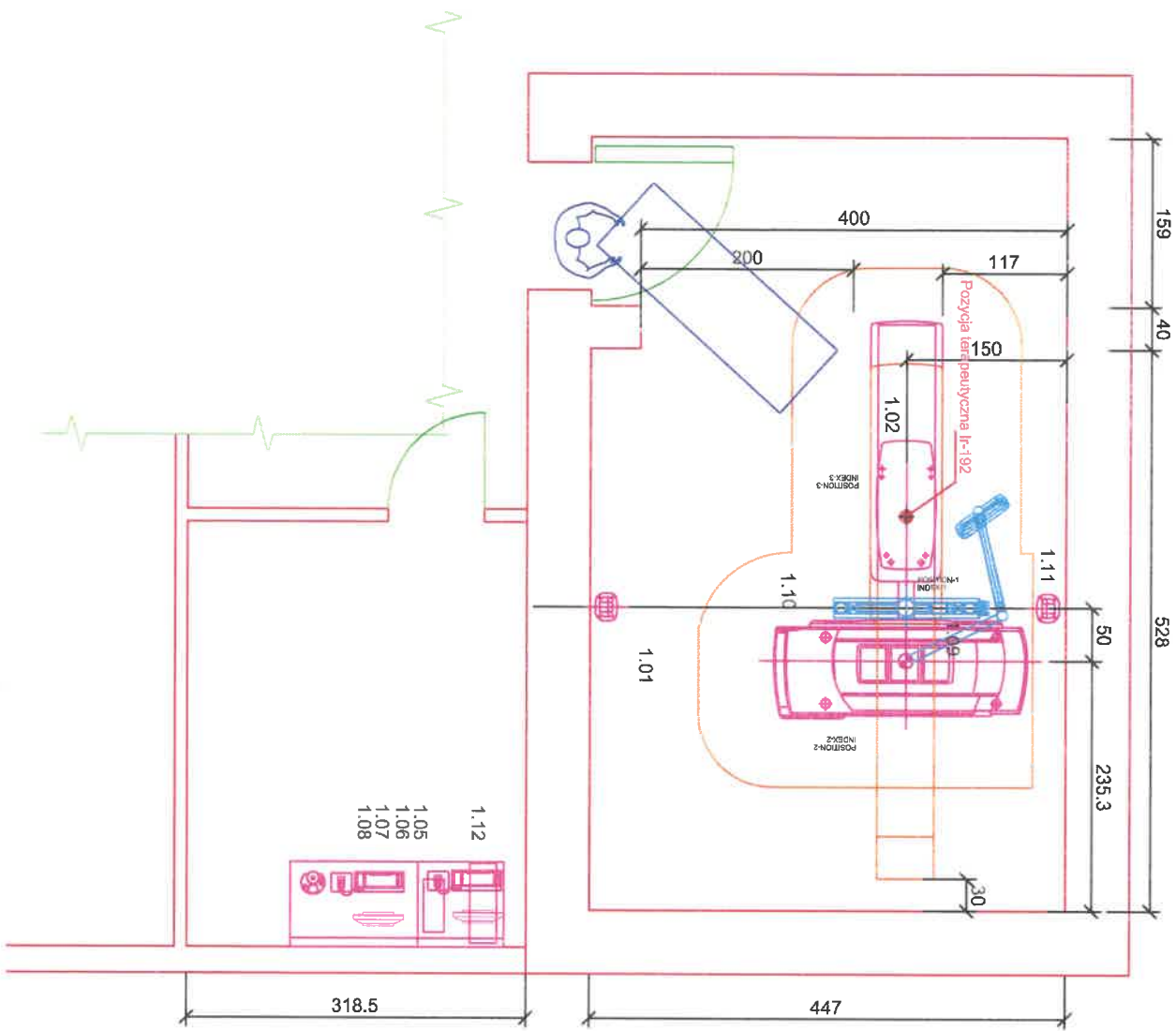
- i. jednostce organizacyjnej posiadającej zezwolenie na wykonywanie działalności z takim źródłem,
- ii. Zakładowi Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych,
- iii. jednostce organizacyjnej, która źródło dostarczyła albo udostępniła.

3.6. Dokumentacja

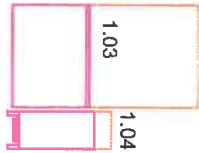
Dokumentacja Pracowni Brachyterapii powinna zawierać:

- 1) zezwolenie,
- 2) regulamin pracy, o którym mowa w Kodeksie pracy,
- 3) instrukcje pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, ustalające szczegółowe postępowanie w zakresie ochrony radiologicznej dla każdego rodzaju wykonywanych prac,
- 4) zakładowy plan postępowania awaryjnego,
- 5) rejestr wyników pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy,
- 6) wykaz pracowników wykonujących pracę w pracowni, z podziałem na kategorie A i B,
- 7) opisy techniczne i instrukcje aparatów rentgenowskich lub urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze,
- 8) instrukcje obsługi i świadectwa wzorcowania sprzętu dozymetrycznego,
- 9) ewidencję źródeł promieniotwórczych,
- 11) rejestr dawek indywidualnych promieniowania jonizującego otrzymanych przez pracowników.

Rys. 1. Rzut pomieszczenia HDR / CT

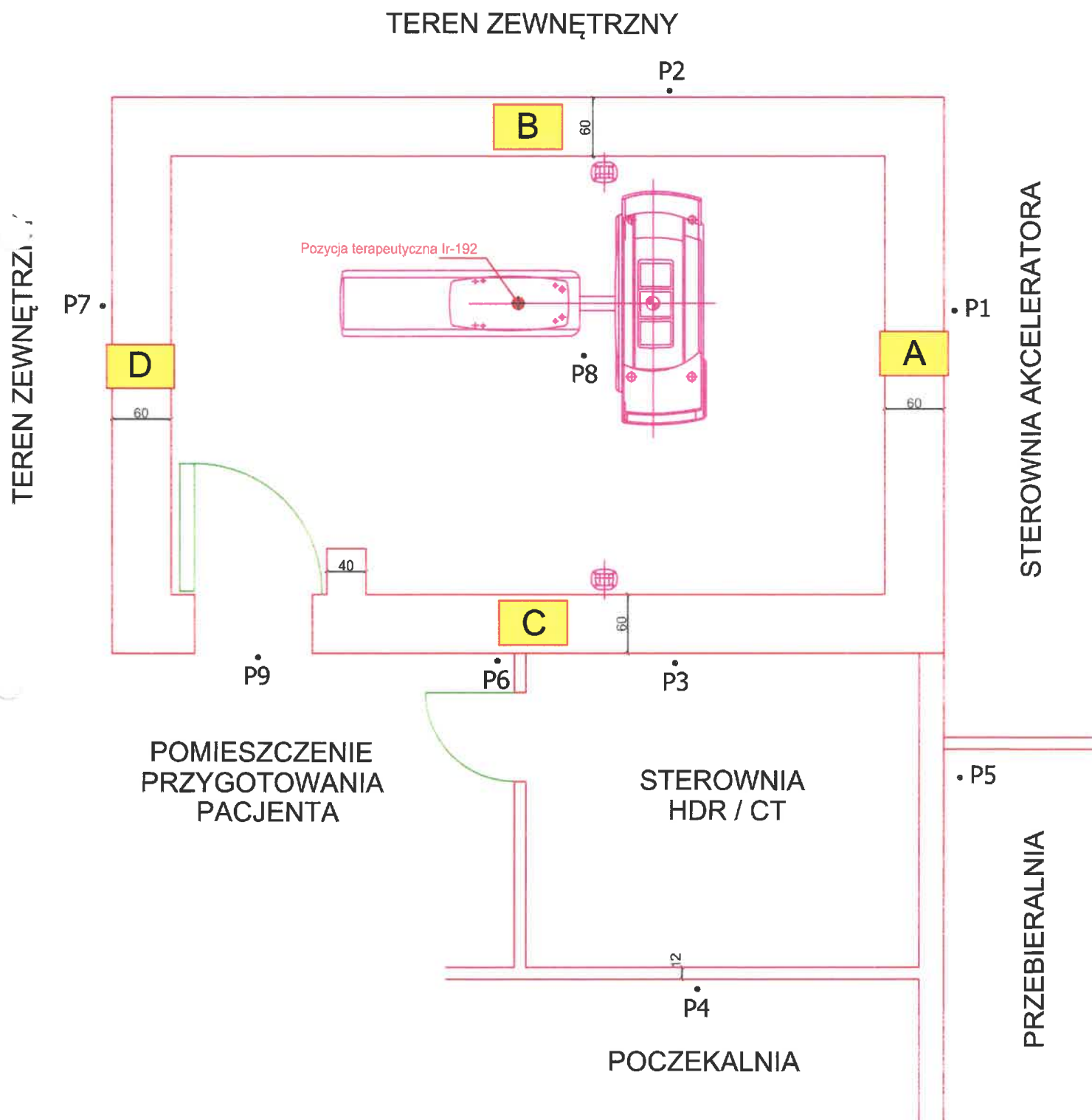


oznaczenia	
	wymagana przestrzeń serwisowa urządzeń
	zakres ruchu aparatu i stołu pacjenta
	urządzenia montowane na podłożu
	urządzenia montowane na suficie

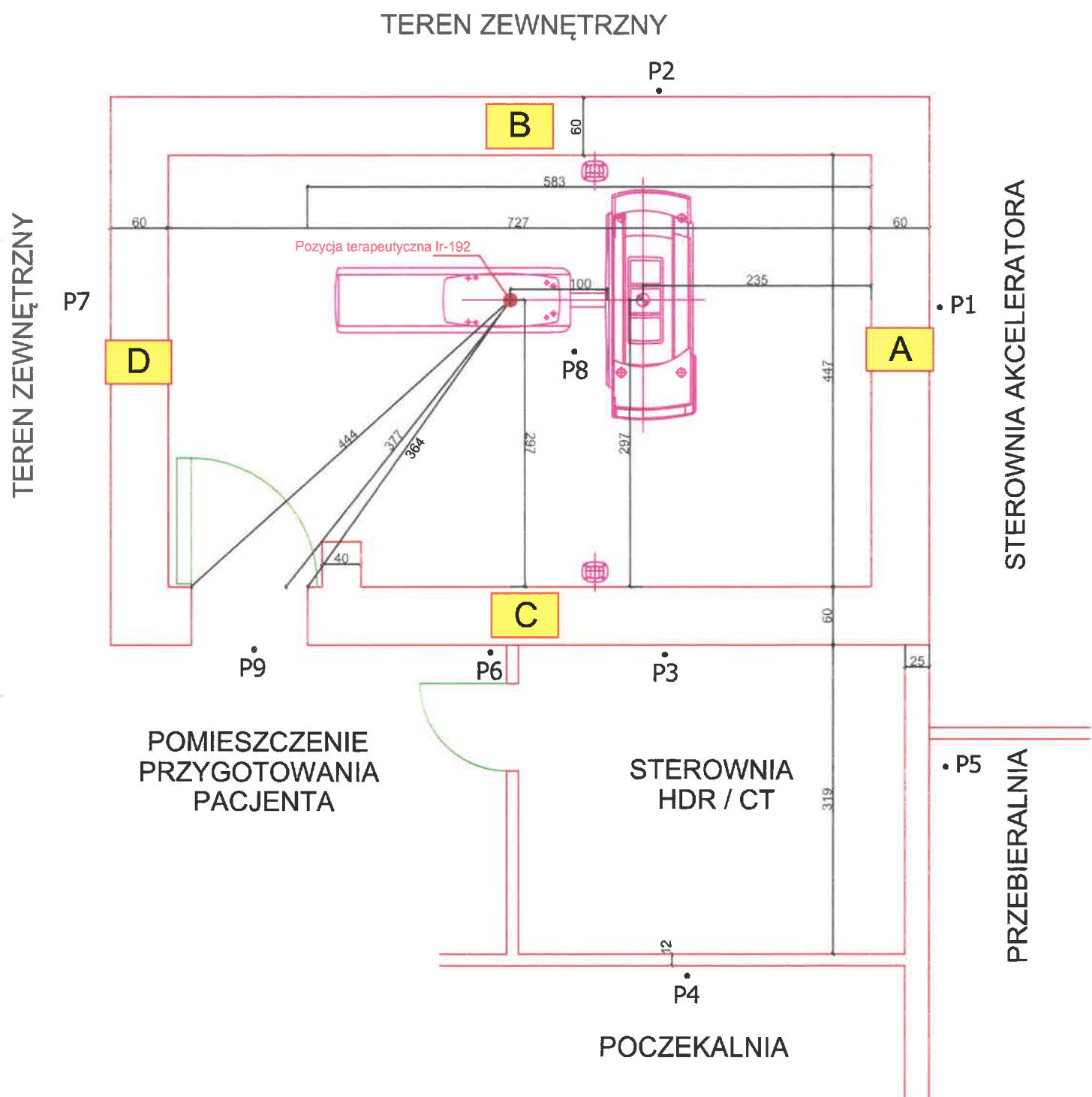


SOMATOM Definition AS - Legenda			
Pos.	opis	kg	W
1.01	Gantry (chłodzenie powietrzem)	2200	13000
1.02	Stół pacjenta	500	
1.03	Szafka PDC	623	2000
1.04	IRS Tower PC	57	1500
1.05	Konsola kontrolna	10	100
1.06	ICS Tower PC (Syngo Aquilions Workplace)	30	500
1.07	Stół konsoli kontrolnej	34	
1.08	Kontener dla ICS Tower PC	25	
1.09	Monitor sufitowy	126	75
1.10	Laser sufitowy		
1.11	Laser ścienny		
1.12	Stacja robocza dla systemu laser6w.		

Rys. 2. Oznaczenie ścian oraz punktów obliczeniowych



Rys. 3. Rzut pomieszczenia HDR / CT - wymiary



Rys. 4. Rzut pomieszczenia HDR / CT - strop

