

**Projekt techniczny  
w zakresie ochrony radiologicznej  
bunkra przeznaczonego do instalacji akceleratora  
Clinac 2300 C/D - Silhouette, firmy Varian  
(obliczenia osłon biologicznych)**

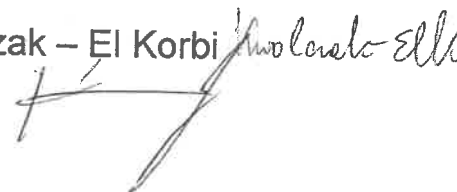
**Beskidzkie Centrum Onkologii  
im. Jana Pawła II  
w Bielsku Białej**

**Bielsko Biała  
ul. Wyzwolenia 18**

Autorzy:

mgr inż. Irena Kwolczak – El Korbi

mgr inż. Jan Kopeć



Warszawa, maj 2011 r.

**SPIS TREŚCI**

	Strona
<b>I. CZĘŚĆ WSTĘPNA</b>	<b>4</b>
A - Przedmiot opracowania	4
B - Podstawa opracowania	5
C - Przepisy prawne	5
D - Zakres opracowania	5
<b>II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA</b>	<b>6</b>
1. Opis lokalizacji Zakładu Teleradioterapii z uwzględnieniem obiektów sąsiednich	6
2. Parametry techniczne aparatu	6
3. Ustawienie aparatu	8
4. Dokumentacja techniczno-ruchowa aparatu przyjętego do obliczeń	8
4.1 Parametry wyjściowe – rodzaje stosowanych terapii	8
4.2 Dane techniczne akceleratora Clinac 2300 C/D - Silhouette	9
4.2.1 Zasilanie elektryczne	9
4.2.2 System chłodzenia aparatu	9
4.2.3 Promieniowanie uboczne (photon leakage radiation)	10
4.2.4 Budowa urządzenia	10
4.2.4.1 Opis działania i układ sterowania	11
4.2.4.2 Uruchomienie i eksploatacja	13
5. Założenia do projektu istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej	13
5.1 Przyjęte do obliczeń dawki promieniowania dla osób przebywających w pobliżu	13
5.2 Ocena zagrożenia pracowników	14
5.3 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu	15
5.4 Parametry eksploatacji	15
5.4.1 Energia i moc dawki	15
5.4.2 Czas pracy urządzenia	16
5.4.3 Współczynniki skierowania wiązki i czasu przebywania	16
5.5 Dawka miejscowa	17
5.6 Kierunki padania promieniowania jonizującego	17
5.7 Materiały stosowane na osłony	17
5.8 Tereny nadzorowane	18

# OCHRONA RADIOLOGICZNA

## Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

6.	Obliczenia	18
6.1	Wzór wyjściowy	18
6.1.1	Ostony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim bezpośrednim	19
6.1.2	Ostony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim ubocznym	19
6.1.3	Ostony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim, jednokrotnie rozproszonym	20
6.1.4	Ostony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim, dwukrotnie rozproszonym	21
6.1.5	Ostony chroniące przed promieniowaniem elektronowym	21
6.2	Obliczenia osłon biologicznych dla komory akceleratora	22
6.2.1	Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń	22
6.2.2	Ogólny układ komory	23
6.2.3	Obliczenia grubości osłon dla wybranych miejsc określonych na rysunkach 1, 2, 3 i 4	23
6.2.4	Wyniki obliczeń osłon biologicznych dla komory akceleratora Clinac 2300 C/D - Silhouette	44
7.	Wymagania branżowe	45
7.1	Opis osłon(ściany, sufit, podłoga, przepusty instalacyjne, drzwi ochronne)	45
7.2	Wentylacja	45
7.3	Opis instalacji wodno-kanalizacyjnej	45
7.4	Opis instalacji elektrycznej	45
7.5	Opis systemu ochrony przeciw - pożarowej	46
7.6	Wyposażenie bunkra dla potrzeb ochrony radiologicznej	47
7.7	Bezpieczna eksploatacja	47
7.8	System sygnalizacyjno - ostrzegawczy	47
8.	Bibliografia	48

### I. CZĘŚĆ WSTĘPNA

#### A - Przedmiot opracowania.

Przedmiotem opracowania jest projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej istniejącego bunkra w Zakładzie Teleradioterapii w Beskidzkim Centrum Onkologii w Bielsku Białej przy ulicy Wyzwolenia 18, pod kątem instalacji wysokoenergetycznego akceleratora elektronów Clinac 2300 C/D - Silhouette firmy Varian o następujących energiach:

- promieniowania X (fotonów) max. 10 MV,
- elektronów max. 22 MeV

i mocach dawek:

- fotonów max. 600 MU/min,
- elektronów max. 1000 MU/min.

Akcelerator zostanie zainstalowany w istniejącej komorze, w której był eksploatowany akcelerator Mevatron, o energii fotonów 10 MeV i mocy dawki 300 MU/min.

Plan kondygnacji parteru Zakładu Teleradioterapii w Beskidzkim Centrum Onkologii w Bielsku Białej, zawierający położenie adaptowanego bunkra przedstawia załącznik nr 1.

Na rysunku tym pokazany jest również przekrój zawierający położenie antresoli na kondygnacji pierwszej i usytuowanie jej w stosunku do istniejących bunkrów, w tym adaptowanego bunkra.

Rzut poziomy adaptowanego bunkra, przedstawiający jego bezpośrednie otoczenie z rozmieszczeniem urządzeń, w rozumieniu punktów istotnych dla ochrony radiologicznej, przedstawiają rysunki nr 1, 3 i 4.

Przekrój bunkra z rozmieszczeniem urządzeń, w rozumieniu punktów istotnych dla ochrony radiologicznej, przedstawia rysunek nr 2.

Celem opracowania jest obliczenie grubości osłon stałych umożliwiających instalację aparatu.

# OCHRONA RADIOLOGICZNA

---

## Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

---

### B - Podstawa opracowania.

Podstawą opracowania są:

- plany architektoniczno-budowlane Zakładu Teleradioterapii Beskidzkiego Centrum Onkologii w Bielsku Białej,
- wytyczne Departamentu Nadzoru Zastosowań Promieniowania Jonizującego PAA,
- założenia do projektu bunkra dla akceleratora Clinac 2300 C/D – Silhouette, opracowane przez firmę Varian – USA.

### C - Przepisy prawne.

- Ustawa Prawo Atomowe z dn. 29 listopada 2000r. – (Dz.U. z 2007r. Nr 42, poz. 276 Dz.U z 2008r Nr 93, poz.583) w wersji ujednoliconej.
- Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 18.01.2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20. poz. 168).
- Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dn. 12 lipca 2006r w sprawie szczegółowych warunków pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, Dz. U. Nr 140. poz. 994.
- Norma PN-86/J-80001 – Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i Gamma, obliczanie osłon stałych.
- Norma DIN-6847 teil 2: Medizinische elektronenbeschleuniger – anlagen strahlenschutzregeln fur die errichtung.

### D - Zakres opracowania.

Zakres opracowania dotyczy, zgodnie z Ustawą Prawo Atomowe z dnia 29.11.2000r. - Dz.U. Nr 31 z 2001r, poz. 18, z późniejszymi zmianami, pomieszczenia, w którym zostanie zainstalowany akcelerator i jest zgodny ze spisem treści opracowania.

## **II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA**

### **1. Opis lokalizacji Zakładu Teleradioterapii z uwzględnieniem obiektów sąsiednich.**

Adaptowany bunkier jest jednym z dwóch bunkrów starej części Zakładu Teleradioterapii w Beskidzkim Centrum Onkologii w Bielsku Białej. W jednym z bunkrów pracuje akcelerator Clinac 2300 C/D Silhouette. Drugi, sąsiedni, będzie adaptowany dla potrzeb objętych niniejszym projektem. Bunkier jest obiektem parterowym, niepodpiwniczonym.

Zgodnie z załącznikiem nr 1, do bunkra przylegają istniejące pomieszczenia Zakładu Teleradioterapii oraz teren zewnętrzny. Nad bunkrem nie znajdują się żadne pomieszczenia.

Do adaptowanego bunkra, na kondygnacji parteru, bezpośrednio przylegają następujące pomieszczenia (rys.nr 1):

- sterownia akceleratora Clinac 2300CD Silhouette,
- bunkier akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette,
- teren zewnętrzny,
- magazyn,
- dach (teren niedostępny).

Za sterownią usytuowane są rozbieralnie, a dalej poczekalnia dla pacjentów. Nad pomieszczeniem poczekalni znajduje się antresola.

### **2. Parametry techniczne aparatu**

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

Instalacja aparatu w bunkrze wymaga rozpatrzenia zagadnień z zakresu:

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

- ochrony radiologicznej,
- geometrii urządzenia i jego elementów składowych,
- stosowanych technik i wymagań jakości w radioterapii,
- konstrukcji bunkra,
- wprowadzenia aparatu do bunkra,
- zasilania,
- wentylacji / klimatyzacji,
- chłodzenia akceleratora,
- możliwości prowadzenia prac serwisowych.

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

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

Akcelerator wysokoenergetyczny Clinac 2300 C/D – Silhouette, firmy Varian, (mocowany w stropie podłogi).

Energia promieniowania X	max. 10 MV
Energia elektronów	do 22 MeV
Odległość SAD (źródło – izocentrum)	100 ±0,2 cm
Kąt kolimatora wstępnego	28°
Moc dawki promieniowania X w odległości SAD	max 6 Gy/min (600MU/min)
Moc dawki promieniowania elektronów w odległości SAD	max 10 Gy/min (1000MU/min)
Pole napromieniania w odległości SAD (promieniowanie X)	max.40 x 40 cm
Pole napromieniania w odległości SAD (prom. elektronowe)	max.25 x 25 cm
Wysokość izocentrum nad poziomem wykończonej podłogi	125 cm
Zakres obrotu ramienia akceleratora	360°
Obrót kolimatora wokół osi wiązki	± 165°
Odległość ściana – izocentrum, mierzona wzdłuż osi akceleratora	295 cm
Przecieki promieniowania	1x10 <sup>-3</sup> dawki w izocentrum
Udział prom. X w wiązce elektronowej	5x10 <sup>-2</sup> dawki w izocentrum

### 3. Ustawienie aparatu

Geometria ustawienia izocentrum, punkty wyjścia wiązki, kierunki padania i kąty rozbieżności wiązki, są przedstawione na rysunkach 1, 2, 3 i 4. W wersji Silhouette, szafa wysokiego napięcia (modulator) znajduje się w bloku napędowym akceleratora.

### 4. Dokumentacja techniczno – ruchowa aparatu przyjętego do obliczeń

#### Wstęp

Akcelerator Clinac 2300 C/D – Silhouette jest stosowany w teleradioterapii i pracuje w technice izocentrycznej, co oznacza, że oś pierwotnej wiązki promieniowania przechodzi zawsze przez izocentrum (przecina się z osią obrotu ramienia), dla każdego kąta położenia ramienia. Punkt wyjścia (rozchodzenia się) wiązki promieniowania zatacza okrąg, w płaszczyźnie przechodzącej przez izocentrum i prostopadłej do osi obrotu, w odległości 100cm od izocentrum.

#### 4.1. Parametry wyjściowe – rodzaje stosowanych terapii

##### *Terapia stacjonarna – fotonowa*

Ramię znajduje się w ustalonej pozycji, określonej w planie leczenia. Położenie źródła promieniowania (punktu wyjścia wiązki) stałe (w zakresie 360°), w płaszczyźnie przechodzącej przez izocentrum i prostopadłej do osi obrotu ramienia.

- |                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| - wiązka wyjściowa         | promieniowanie X |
| - energia                  | max. 10 MV       |
| - moc dawki w izocentrum   | do 600 MU/min    |
| - max. pole napromieniania | 40 cm x 40 cm    |
| - w odległości TAD=100 cm  |                  |

##### *Terapia stacjonarna – elektronowa*

Ramię znajduje się w ustalonej pozycji, określonej w planie leczenia. Położenie źródła promieniowania (punktu wyjścia wiązki) stałe (w zakresie 360°), w płaszczyźnie przechodzącej przez izocentrum i prostopadłej do osi obrotu ramienia.

- |                    |           |
|--------------------|-----------|
| - wiązka wyjściowa | elektrony |
|--------------------|-----------|



# OCHRONA RADIOLOGICZNA

## Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

- |  |                |
|--|----------------|
| - energia elektronów   | max. 22 MeV    |
| - moc dawki w izocentrum   | do 1000 MU/min |
| - max. pole napromieniania w odległości<br>TAD=100cm (przy zastosowaniu aplikatorów) | 25 cm x 25 cm  |

### Terapia kątowa

Ramię obraca się z określoną prędkością. Położenie źródła promieniowania (punktu wyjścia wiązki) zmienia się w zadanym zakresie (określonym w planie leczenia), w płaszczyźnie przechodzącej przez izocentrum i prostopadłej do osi obrotu ramienia.

- |   |                  |
|---|------------------|
| - rodzaj promieniowania   | X, lub elektrony |
| - zakres obrotu ramienia  | 360°             |
| - kątowa intensywność napromieniania<br>dla wiązki fotonowej lub elektronowej | do 16 MU/deg     |

## 4.2 Dane techniczne akceleratora Clinac 2300 C/D – Silhouette

### 4.2.1 Zasilanie elektryczne

Sieć	220V, 3x380V ±5%, 50Hz, kabel pięciodrutowy,
------	---

Obciążenie:	max. 45 kVA – w stanie promieniowania (beam on),
-------------	---

### 4.2.2 System chłodzenia aparatu

Działanie akceleratora związane jest z wydzielaniem się bardzo dużych ilości ciepła. Chłodzenie akceleratora realizowane jest przez podwójny system, który stanowią:

- |                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| ▪ obieg zewnętrzny | układ zamknięty,                    |
| ▪ obieg wewnętrzny | obwód zamknięty z wodą destylowaną. |

Ilość wydzielonego ciepła w urządzeniu, które musi odprowadzić układ chłodzący:

- ok. 3 kW w trybie "standby",
- ok. 12,5 kW w trybie gotowości,
- ok. 25 kW w stanie promieniowania.

Ciepło wydzielane m.in. w strukturze przyśpieszającej, klistronie, zespole dewiacji, odbierane jest przez wewnętrzny (pierwotny), a następnie zewnętrzny obieg chłodzenia.

Pobór wody zależny jest od temperatury wody wejściowej i trybu pracy urządzenia (obciążenia). Przepływ wody wejściowej jest automatycznie kontrolowany po to, by uzyskać właściwą temperaturę w zamkniętym obiegu pierwotnym.

### 4.2.3 Promieniowanie uboczne (photon leakage radiation)

Cała struktura przyśpieszająca wraz z działem elektronowym i targetem są osłonięte, by do minimum zmniejszyć przecieki promieniowania. Dwa kolimatory: pierwotny i ruchomy, składający się z czterech niezależnie napędzanych szczęk, "wycinają" w płaszczyźnie pacjenta określone pole napromieniania.

Przecieki promieniowania w akceleratorze przyjętym do obliczeń są zgodne z wymaganiami norm IEC i wynoszą:

#### Promieniowanie X

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| • Przecieki promieniowania przez szczęki kolimatora ruchomego | 0,5% dawki w osi głównej wiązki |
| • Przecieki promieniowania w płaszczyźnie pacjenta            | 0,1% dawki w osi głównej wiązki |
| • Przecieki promieniowania wzdłuż struktury                   | 0,1% dawki w osi głównej wiązki |
| • Przecieki promieniowania nad głowicą akceleratora           | 0,1% dawki w osi głównej wiązki |

#### Promieniowanie neutronowe

- Ekwiwalent dawki promieniowania neutronowego (w sivertach), nie przekracza 0,2% dawki pochłoniętej promieniowania X (w Gy) w osi głównej wiązki.

### 4.2.4 Budowa urządzenia

#### Opis ogólny

Przyjęty do obliczeń wysokoenergetyczny akcelerator Clinac 2300 C/D – Silhouette, firmy Varian, wymaga następujących pomieszczeń:

- bunkra spełniającego wymagania ochrony radiologicznej,

---

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

---

- sterowni,
- miejsca na rozdzielnię elektryczną,
- pomieszczenia na system chłodzenia ("water chiller").

Jednostka główna (akcelerator) wraz ze stołem terapeutycznym jest instalowana w bunkrze, w ramie zabetonowanej w specjalnie przygotowanej wnęcie w stropie podłogi. Zawiera ramię z głowicą terapeutyczną oraz strukturę nośną (blok napędowy), w której mocowane jest ramię. W głowicy terapeutycznej znajdują się wszystkie podzespoły niezbędne do zdefiniowania i kontroli wiązki promieniowania.

#### 4.2.4.1 Opis działania i układ sterowania

##### Opis działania

Liniowy, wysoko / wieloenergetyczny akcelerator elektronów Clinac 2300 C/D – Silhouette, zasilany jest mocą wysokiej częstotliwości z klistronu, pracującego w paśmie S na częstotliwości około 3GHz. Osiągane zakresy energetyczne wymagają długiej sekcji przyspieszającej, co wpływa na budowę akceleratora i sposób prowadzenia wiązki promieniowania.

Elektrony wytworzone przez działo elektronowe zostają przyspieszone i skolimowane w strukturze akceleracyjnej. Utworzona wiązka jest odchylana w układzie dewiacji, w którym znajduje się szczelina magnetyczna do pomiaru energii. Następnie elektrony uderzają w target, w celu wytworzenia wiązki twardego promieniowania X (fotony). W przypadku promieniowania elektronowego target zostaje pominięty.

Pole wiązki fotonowej jest „wycinane” przez:

- kolimator wstępny,
- kolimatory (szczęki), przesuwające się niezależnie jedna od drugiej. Pozwala to na ruch symetryczny lub asymetryczny w relacji do osi kolimatora i uzyskanie pól kwadratowych lub prostokątnych,
- kolimator wielolistkowy (MLC), pozwalający uzyskać pola nieregularne.

Pole wiązki elektronowej jest formowane przez aplikatory elektronów.

Poniżej kolimatora wstępnego znajdują się zespoły filtrów:

- spłaszczających, w celu otrzymania płaskiej wiązki fotonowej,
- rozpraszających, gwarantujących pełną homogeniczność elektronowej wiązki terapeutycznej.

---

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

---

Dalej wiązka przechodzi przez dwie komory jonizacyjne, które monitorują dawkę. Monitorowanie polega na mierzeniu symetrii i jednorodności wiązki poprzez dwa niezależne kanały pomiarowe. One też w sposób automatyczny centrują wiązkę i kontrolują wielkość dawki.

#### **Układ sterowania**

##### *Pomieszczenie terapeutyczne*

Z punktu widzenia sterowania znajdują się w nim:

- **Ręczna kaseeta sterująca**  
Zmienne ruchy akceleratora i stołu terapeutycznego są sterowane z lekkiej kasety sterowniczej. Jest wyposażona w klawiaturę numeryczną i klawisze pozycjonujące. Posiada przyciski uaktywniające lub przerywające zadany ruch urządzenia.
- **Panele sterujące stołu**  
Pulpity sterownicze umieszczone po obu bokach stołu terapeutycznego zawierają przyciski, posiadające w wielu przypadkach identyczne zadania co przyciski na kasecie. Każdy z pulpity posiada przycisk awaryjnego wyłączenia (emergency off) pozwalający wyłączyć urządzenie w razie zagrożenia.
- **Monitor kontrolny**  
Monitor kontrolny wyświetla żądane parametry terapii.

##### *Pomieszczenie sterowni*

Znajduje się w niej pulpit sterowniczy, który służy do kontrolowania oraz nastawiania warunków napromieniania. Tworzą go:

- Szafka elektroniczna pulpitu – komputer sterujący ze specjalnym oprogramowaniem, sterujący urządzeniem.
- Klawiatura zadaniowa – specjalna klawiatura na której znajdują się przyciski sterujące wiązką i pracą urządzenia.
- Monitor pulpitu – wyświetla odpowiedni typ ekranu dla poszczególnych trybów pracy:
  - klinicznego,
  - fizyki,
  - serwisowego.
- Komputer i monitor systemu MLC (kolimatora wielolistkowego),
- Komputer i monitor systemu portal vision,

- Komputer i monitor systemu zarządzania radioterapią.

#### 4.2.4.2 Uruchomienie i eksploatacja

Uruchomienia i przekazania urządzenia do eksploatacji dokonuje specjalistyczny serwis producenta.

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

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

Napromienianie pacjenta może prowadzić tylko uprawniony operator, zgodnie z instrukcją obsługi urządzenia dostarczoną przez producenta i quality assurance opracowanym przez szpital.

Bezpieczniki i obwody wyłączników chronią wszystkie istotne elementy urządzeń. Każdy nieprzewidziany incydent powoduje zatrzymanie terapii. Uruchomienie terapii następuje dopiero po usunięciu błędu lub uszkodzenia.

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

## 5. Założenia do projektu istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej

### 5.1 Przyjęte do obliczeń dawki promieniowania dla osób przebywających w pobliżu

W celu określenia wielkości osłon stałych planowanej rozbudowy, chroniących:

- osoby pracujące w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące (sterownia akceleratora, sąsiedni bunkier akceleratora, magazyn Zakładu Teleradioterapii);

---

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

---

- pracowników szpitala, którzy nie podlegają narażeniom zawodowym, a przebywają w sąsiedztwie źródła promieniowania podczas pracy (hall);
- osoby z populacji przebywające sporadycznie w pobliżu pracowni, z małym prawdopodobieństwem równoczesnego dłuższego przebywania i promieniowania akceleratora (teren zewnętrzny);
- pacjenci (osoby z populacji) przebywający przez okres leczenia w pobliżu pracowni,

zostały przyjęte, do obliczeń dla celów budowlanych, następujące dawki graniczne, wyrażone jako dawki skuteczne (efektywne) na podstawie:

- Ustawa Prawo Atomowe z dn. 29 listopada 2000r. – (Dz.U. z 2007r. Nr 42, poz. 276 Dz.U z 2008r Nr 93, poz.583) w wersji ujednoliconej..
- Rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów z dnia 18.01.2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20. poz. 168).
- Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dn. 12 lipca 2006r w sprawie szczegółowych warunków pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, Dz. U. Nr 140. poz. 994.

a) dawka graniczna dla osób narażonych zawodowo: 6 mSv/rok,  
co oznacza: 0,12 mSv/tydz.

b) dawka graniczna dla pracowników szpitala (osób nie narażonych zawodowo):  
co oznacza: 0,3 mSv/rok,  
0,006 mSv /tydz.

c) dawka graniczna dla pacjentów i osób im towarzyszących (osób nie narażonych zawodowo):  
co oznacza: 0,3 mSv/rok,  
0,006 mSv /tydz.

Uwaga: 1 tydzień pracy dla osób nie narażonych zawodowo = 40 h,  
1 tydzień pracy dla osób narażonych zawodowo = 25 h.

### 5.2 Ocena zagrożenia pracowników

Zgodnie z Ustawą Prawo Atomowe z dn. 29.11.2000r. - Dz.U. Nr 31 z 2001r, poz. 18, z późniejszymi zmianami, art. 9 i 12, pracownicy Zakładu Teleradioterapii są zakwalifikowani do kategorii B, co oznacza, że mogą być narażeni na dawkę skuteczną powyżej 1mSv/rok, a których ogranicznik dawki (limit użytkowy dawki) nie

przekroczy 6mSv/rok.

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

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

- zrównanie dawki miejscowej z dawką pochłoniętą przez organizm dla miejsc długotrwałego przebywania,
- zrównanie dawki miejscowej dla miejsca przebywania z wartością maksymalną za osłoną,
- zryczałtowanie współczynników przebywania i kierunku,
- przyjęcie do obliczeń maksymalnych parametrów trybu pracy (energia, moc dawki, wielkość pola),
- pełne obciążenie robocze dla niekorzystnych kombinacji różnych sposobów pracy,
- rezerwy w obliczeniach przy uwzględnieniu różnych komponentów promieniowania,
- działanie ekranizujące pacjenta, które nie jest uwzględniane.

Przeprowadzone obliczenia nie wymagają konieczności zmiany kategorii narażenia pracowników.

### 5.3 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu

Opis lokalizacji ścian został przedstawiony w rozdziale 1, a pomieszczenia i tereny przyległe do nich przedstawione są na rysunku nr 1 i 2.

Punkty istotne dla ochrony radiologicznej zostaną przeliczone w:

- o sterowni akceleratora – osoby narażone zawodowo;
- o bunkrze sąsiadującym z akceleratorem – osoby narażone zawodowo;
- o magazynie – osoby narażone zawodowo;
- o rozbieralni – osoby nienarażone zawodowo
- o poczekalni – osoby nienarażone zawodowo;
- o na zewnątrz – osoby nienarażone zawodowo;
- o na dachu – osoby nienarażone zawodowo;
- o antresoli – osoby narażone zawodowo.

### 5.4 Parametry eksploatacji

#### 5.4.1 Energia i moc dawki

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

Energia promieniowania X (max.)	: 10 MV
Moc dawki w odległości SSD	: max. 6 Gy/min
Zakres wykorzystania mocy dawki	: 6 Gy/min – 25%
	: 3 Gy/min – 75%
Energia promieniowania e <sup>-</sup> (max.)	: 18 MeV
Moc dawki w odległości SSD (max.)	: 10 Gy/min

Do obliczeń przyjęto energię promieniowania X 10MV i moc dawki 6 Gy/min.

#### 5.4.2 Czas pracy urządzenia

Dla akceleratora Clinac 2300 C/D – Silhouette przyjęto:

- czas ekspozycji 0,6 min
- ilość ekspozycji na zmianę 70
- ilość dni w tygodniu (praca jednozmianowa) 5

Czas  $t_0$  (pracy z wiązką) dla energii promieniowania X 15MV i mocy dawki 6 Gy/min  
 $t_0 = 0,6 \times 70 \times 5 = 210 \text{ min/tydz.} \approx 3,5 \text{ h/tydz.}$

Ze względu na pomiary dozymetryczne i prace serwisowe, przyjmuje się  
 $t_0 = 4,5 \text{ h/tydz}$

Czas pracy  $t_0$  (emisji promieniowania) akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette wynosi, w odniesieniu do osób narażonych zawodowo, 4,5h/tydz. (podczas 25godz. tygodnia pracy – jednej zmiany).  
Czas pracy  $t_0$  (emisji promieniowania) akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette wynosi, w odniesieniu do osób nie narażonych zawodowo,  $1,5 \times 4,5\text{h/tydz.} = 6,75\text{h/tydz}$  (podczas – 40godz. tygodnia pracy).

#### 5.4.3 Współczynniki skierowania wiązki i czasu przebywania

Wartości współczynników skierowania wiązki U i czasu przebywania T przyjęte do obliczeń zostały określone zgodnie z PN-86/J-80001.

Dla celów obliczeniowych (określenia grubości osłony) współczynnik przebywania T uwzględnia oczekiwaną (zgodnie z PN-86/J-80001) długość czasu przebywania osób w obszarze, który ma być chroniony, niezależnie od rzeczywistego (krótszego) czasu przebywania.

Współczynnik skierowania wiązki U uwzględnia oczekiwane kierunki, które mogą



leżeć w obrębie wiązki promieniowania użytecznego dla przewidywanego trybu pracy, w odniesieniu do mierzonej osłony.

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

Dla celów obliczeniowych (określenia grubości osłony) współczynnik skierowania promieniowania użytecznego przyjęto:

- w kierunku podłogi  $U=1$ ;
- na ściany boczne, gdzie przewidziane jest regularne padanie wiązki promieniowania  $U=0,25$  i  $U=0,5$  (pesymizując);
- w kierunku sufitu  $U=0,25$ ;
- w kierunkach pozostałych, gdzie wiązka promieniowania stanowi co najwyżej 10%  $U=0,1$

### 5.5 Dawka miejscowa

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

### 5.6 Kierunki padania promieniowania jonizującego

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

### 5.7 Materiały stosowane na osłony

Do obliczeń osłonności przyjęto następujące materiały osłonowe oraz współczynniki osłabienia (uwzględniając energię), zgodnie z DIN 6847/2:

Promieniowanie X o energii 10 MV:

- |                  |   |
|------------------|---|
| - beton barytowy | $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t_{1/10} = 26,6 \text{ cm}$ |
| - beton zwykły   | $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t_{1/10} = 38,9 \text{ cm}$ |

## Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

- stal	$\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 10,5 \text{ cm}$
- ołów	$\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 5,6 \text{ cm}$
- parafina / polietylen	$Z_g = \text{TVL} = t \ 1/10 = 8 \text{ cm}$

### 5.8 Tereny nadzorowane

Terenami nadzorowanymi będą: pomieszczenie bunkra oraz sterownia.

## 6. Obliczenia

### 6.1 Wzór wyjściowy

Ponieważ polskie normy nie obejmują swym zakresem akceleratorów, posłużono się normą DIN 6847/1990r część 2 (Medizinische Elektronenbeschleuniger - Anlagen) stosując jednak nomenklaturę i oznaczenia PN-J.

Dla obliczenia grubości osłon stałych przed promieniowaniem przyjęto wzór:

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

gdzie:

- $S_i$  - wymagana grubość osłony mierzona prostopadle do powierzchni osłony [cm],
- $Z_i$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania zależna od energii promieniowania i materiału osłony [cm],
- $W_A$  - wydajność źródła w odległości  $l_0=1\text{m}$  określona przez producenta [mGy/h],
- $T$  - współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłoniętym miejscu,
- $U$  - współczynnik określający prawdopodobieństwo skierowania użytecznej wiązki promieniowania w kierunku obliczanej osłony,
- $t_0$  - maksymalny czas pracy źródła promieniowania w ciągu tygodnia w [h/tydz.], przy czym:

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

gdzie:

- $t_{ei}$  - czas 1 ekspozycji,
- $i$  - ilość ekspozycji w czasie jednej zmiany (dnia),
- $i_d$  - ilość zmian (dni pracy) w tygodniu,

$K_i$  - współczynnik redukcji dawki promieniowania zależny od rodzaju promieniowania,

$q_i$  - współczynnik określający jakość napromieniania,

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

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

### 6.1.1 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim bezpośrednim

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

$Z_r$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego.

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

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

gdzie:

$A_0 = 1$  m

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

### 6.1.2 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim ubocznym

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

- $Z_r$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego.
- $K_0$  - współczynnik redukcji dla promieniowania ubocznego oblicza się wg następującego wzoru:

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

gdzie:

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

$D_r^*$  - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania użytecznego.

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

#### 6.1.3 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim jednokrotnie rozproszonym

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

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

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

gdzie:

$F_n$  - największy przekrój wiązki promieniowania użytecznego w odległości wzorcowej  $A_0 = 1$  m od źródła promieniowania.

$A_s$  - odległość między miejscem, które ma być chronione, a miejscem padania wiązki promieniowania użytecznego.

$k = 1$  - dla pracy z promieniowaniem rentgenowskim.

### 6.1.4 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim, dwukrotnie rozproszonym

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

$Z_s$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego dwukrotnie rozproszonego

$K_t$  - współczynnik redukcji promieniowania rentgenowskiego, dwukrotnie rozproszonego, oblicza się wg następującego wzoru.

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

gdzie:

$D_0^*$  - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania ubocznego w miejscu padania promieniowania jednokrotnie rozproszonego.

$D_r^*$  - maksymalna moc dawki rentgenowskiego promieniowania użytecznego.

$F_t$  - przekrój miejsca padania promieniowania jednokrotnie rozproszonego, które patrząc w kierunku miejsca osłanianego, nie jest ekranowane przez inne osłony.

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

### 6.1.5 Osłony chroniące przed promieniowaniem elektronowym

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

$Z_r$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia promieniowania rentgenowskiego,

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

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

gdzie:

$D_e^*$  - maksymalna moc dawki elektronowego promieniowania użytecznego.

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

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

$A_0 = 1 \text{ m}$

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

## 6.2 Obliczenia osłon biologicznych dla komory akceleratora

### 6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń

Bunkier zostanie przeliczony dla akceleratora Clinac 2300 C/D – Silhouette, firmy Varian. Grubość ścian zostanie określona dla ustawienia izocentrum zgodnie z rysunkami nr 2 i 3 i z uwzględnieniem parametrów podanych poniżej.

Rodzaj promieniowania	promieniowanie X, elektrony
Energia promieniowania X	max. 10 MV
Energia elektronów	max. 22 MeV
Target dla konwersji e/x	wolfram
Odległość SAD	100 cm
Moc dawki w odległości SAD	

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

---

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

---

- dla promieniowania X	1000÷6000 mGy/min
- dla elektronów	1000÷10000 mGy/min
Wysokość izocentrum nad podłogą	125 cm
Pole napromieniania w odległości SAD dla fotonów	max. 40x40 cm
dla elektronów	max. 25x25 cm
Średnica źródła promieniowania	2 mm

Zespół kolimatora zapewnia emisję wiązki promieniowania w kształcie stożka o kącie wierzchołkowym 28°.

Zespół osłon stałych akceleratora zapewnia zgodność promieniowania ubocznego z normami IEC.

#### 6.2.2 Ogólny układ komory

Komora dla akceleratora przedstawiona jest na rys.1 i 2.

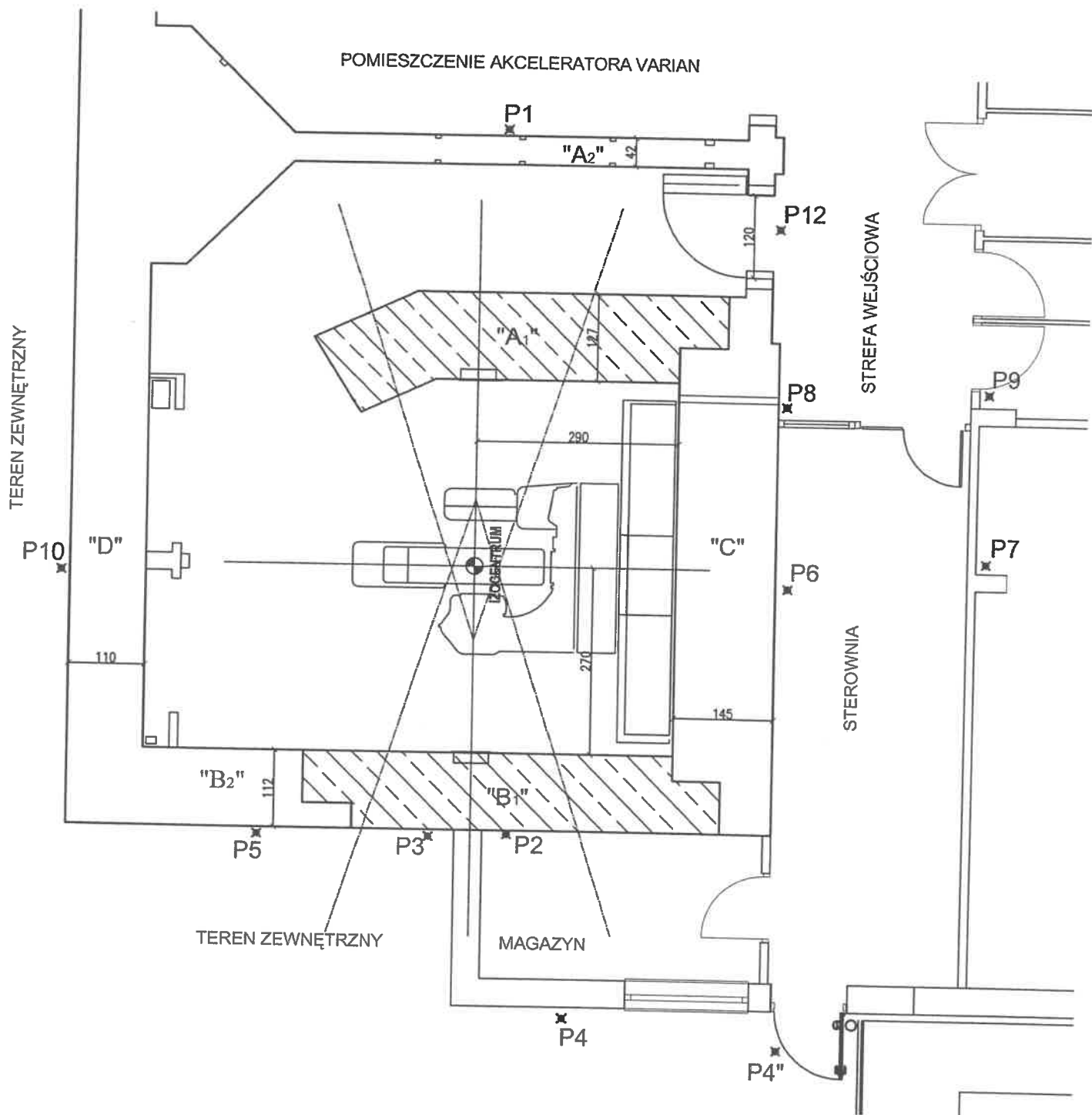
Materiały stosowane na osłony przedstawiono w rozdziale 5.7.

Położenie izocentrum, padanie wiązki promieniowania generowanej przez akcelerator Clinac 2300 C/D – Silhouette oraz punkty przyjęte do obliczeń przedstawiono na rys. nr 1, 2, 3, 4.

Aparat jest mocowany do konstrukcji wsporczej, zabetonowanej w stropie podłogi. Oś obrotu akceleratora znajduje się na wysokości 125 cm od podłogi komory. Źródło promieniowania znajduje się w głowicy, w odległości 100 cm od osi obrotu akceleratora.

Rozwiązanie Silhouette pozwala skrócić odległość instalacyjną od tylnej ściany bunkra do izocentrum (300 cm), przez co promieniowanie pierwotne nie powinno „wyjść” ze ściany labiryntu. W związku z powyższym na drzwi nie pada promieniowanie pierwotne jednokrotnie rozproszone, a jedynie uboczne i pierwotne dwukrotnie rozproszone.

Przy przyjętym ustawieniu i konstrukcji akceleratora, wiązka promieniowania pierwotnego może padać na podłogę, ścianę boczną komory, ścianę labiryntu oraz strop, w pasie jaki daje stożek o kącie rozwarcia 28°. Korytarz labiryntu chroni przed rozproszonym promieniowaniem X.



Rysunek 1 - Rzut bunkra



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

#### 6.2.3. Obliczenia grubości osłon w miejscach określonych na rys. 1, 2, 3 i 4

*Pkt. P1 Pomieszczenie akceleratora Varian - promieniowanie*

*pierwotne (rys. 1)*

ściana „A<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$

ściana „A<sub>2</sub>” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 26,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

stosunek odległości odniesienia do odległości między

miejscem chronionym, a źródłem promieniowania

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

$$A_n = 7,4 \text{ m}$$

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{7,4^2}}{0,12} = 127 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A<sub>1</sub>” wynosi:  $s_{A1} = 127 \text{ cm}$  betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$  a ściany „A<sub>2</sub>” wynosi:  $s_{A2} = 42 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$  co jest równoważne  $28,7 \text{ cm}$  betonu barytowego.

Łączna zastępcza grubość ścian „A<sub>1</sub>” i „A<sub>2</sub>” wynosi  $155,7 \text{ cm}$  betonu barytowego i spełnia warunek osłonności.

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

*Pkt. P2 Pomieszczenie magazynowe - promieniowanie pierwotne* (rys. 1)

ściana „B<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 26,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,2$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 4,8 \text{ m}$$

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 0,25 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{4,8^2}}{0,12} = 122 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B<sub>1</sub>” wynosi:  $s_{B1} = 112 \text{ cm}$  betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje:**

- 10 cm betonu barytowego lub 4 cm Fe.

Proponuje się dosłonić ścianę „B<sub>1</sub>” warstwą żelaza o grubości 4 cm.

*Pkt. P3 Na zewnątrz - promieniowanie pierwotne* (rys. 1)

ściana „B<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 26,6 \text{ cm}$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,05$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 1,5 \times 4,5 = 6,75 \text{ h/tydz.}$$

zwiększony czas pracy z promieniowaniem,  
z uwagi na dwuzmianową pracę akceleratora.

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 4,8 \text{ m}$$

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 0,05 \times 0,25 \times 6,75 \times 1 \times \frac{1}{4,8^2}}{0,006} = 142 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B1” wynosi:  $s_{B1} = 112 \text{ cm}$  betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje:**

- 30 cm betonu barytowego lub 12 cm Fe

Proponuje się dosłonić ścianę „B1” warstwą żelaza o grubości 4 cm i warstwą betonu zwykłego ( $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ ) o grubości 30 cm.

*Pkt. P4 Na zewnątrz - promieniowanie pierwotne (rys. 1)*  
ściana „B1” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 26,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,05$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 1,5 \times 4,5 = 6,75 \text{ h/tydz.}$$

zwiększony czas pracy z promieniowaniem,  
z uwagi na dwuzmianową pracę akceleratora.

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 0,05 \times 0,25 \times 6,75 \times 1 \times \frac{1}{7,5^2}}{0,006} = 132 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B1” wynosi:  $s_{B1} = 112 \text{ cm}$  betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje:**

- 20 cm betonu barytowego lub 8 cm Fe

Proponuje się dosłonić ścianę „B1” warstwą żelaza o grubości 4 cm w bunkrze i warstwą żelaza o grubości 4 cm w magazynie.

*Pkt. P4' Na drodze - promieniowanie pierwotne (rys. 1)*  
ściana „B1” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 26,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,25$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 1,5 \times 4,5 = 6,75 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

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

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$A_n = 50 \text{ m}$$

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 0,25 \times 0,25 \times 6,75 \times 1 \times \frac{1}{50^2}}{0,006} = 107 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B<sub>1</sub>” wynosi:  $s_{B1} = 112 \text{ cm}$  betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściana „B<sub>1</sub>” spełnia warunek osłonności.**

*Pkt. P4” Komunikacja - promieniowanie uboczne* (rys. 1).  
ściana „B<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 26,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,25$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 9 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2} \quad \text{- stosunek maksymalnej mocy dawki promieniowania ubocznego do maksymalnej mocy dawki promieniowania użytecznego}$$

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

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

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 0,25 \times 1 \times 6,75 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{8,2^2}}{0,006} = 85 \text{ cm}$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

Grubość istniejącej ściany „B<sub>1</sub>” wynosi:  $s_{B1} = 112$  cm betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2$  g/cm<sup>3</sup>.

**Ściana „B<sub>1</sub>” spełnia warunek osłonności.**

*Pkt. P5 Na zewnątrz - promieniowanie uboczne (rys. 1).  
ściana „B<sub>2</sub>” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3$  g/cm<sup>3</sup>*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 9 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2} \quad \text{- stosunek maksymalnej mocy dawki promieniowania ubocznego do maksymalnej mocy dawki promieniowania użytecznego}$$

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

$$A_n = 5,1 \text{ m}$$

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

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 6,75 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,1^2}}{0,006} = 124 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B<sub>2</sub>” wynosi:  $s_{B2} = 112$  cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3$  g/cm<sup>3</sup>.

**Brakuje:**

**- 12 cm betonu zwykłego lub 3,2 cm Fe**

**Proponuje się dosłonić ścianę „B<sub>2</sub>” warstwą żelaza o grubości 4 cm.**

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

*Pkt. P6 Sterownia - promieniowanie uboczne* (rys. 1).  
ściana „C” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,4^2}}{0,12} = 111 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C” wynosi:  $s_c = 145 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściana „C” spełnia warunek osłoności.**

*Pkt. P7 Poczekalnia - komunikacja – promieniowanie uboczne*

(rys. 1).  
ściana „C” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,25$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz}$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 7,3 \text{ m}$$

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

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 0,25 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7,3^2}}{0,006} = 121 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C” wynosi:  $s_c = 145 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściana „C” spełnia warunek osłonności.**

*Pkt. P8 Strefa wejściowa – promieniowanie uboczne (rys.1).*  
ściana „C” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

*Obliczenia dla personelu*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz}$$

$$q = 1$$

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

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

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

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



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5^2}}{0,12} = 106 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C” wynosi:  $s_c = 145$  cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściana „C” spełnia warunek osłonności.**

#### Obliczenia dla pacjentów

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz}$$

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5^2}}{0,006} = 118 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C” wynosi:  $s_c = 145$  cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściana „C” spełnia warunek osłonności.**

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

*Pkt. P9 Przebieralnia – promieniowanie uboczne* (rys. 1).  
ściana „C” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz}$$

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 7,8 \text{ m}$$

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

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7,8^2}}{0,006} = 103 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C” wynosi:  $s_c = 145 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściana „C” spełnia warunek osłonności.**

*Pkt. P10 Teren na zewnątrz komory – promieniowanie uboczne* (rys. 1).  
ściana „D” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

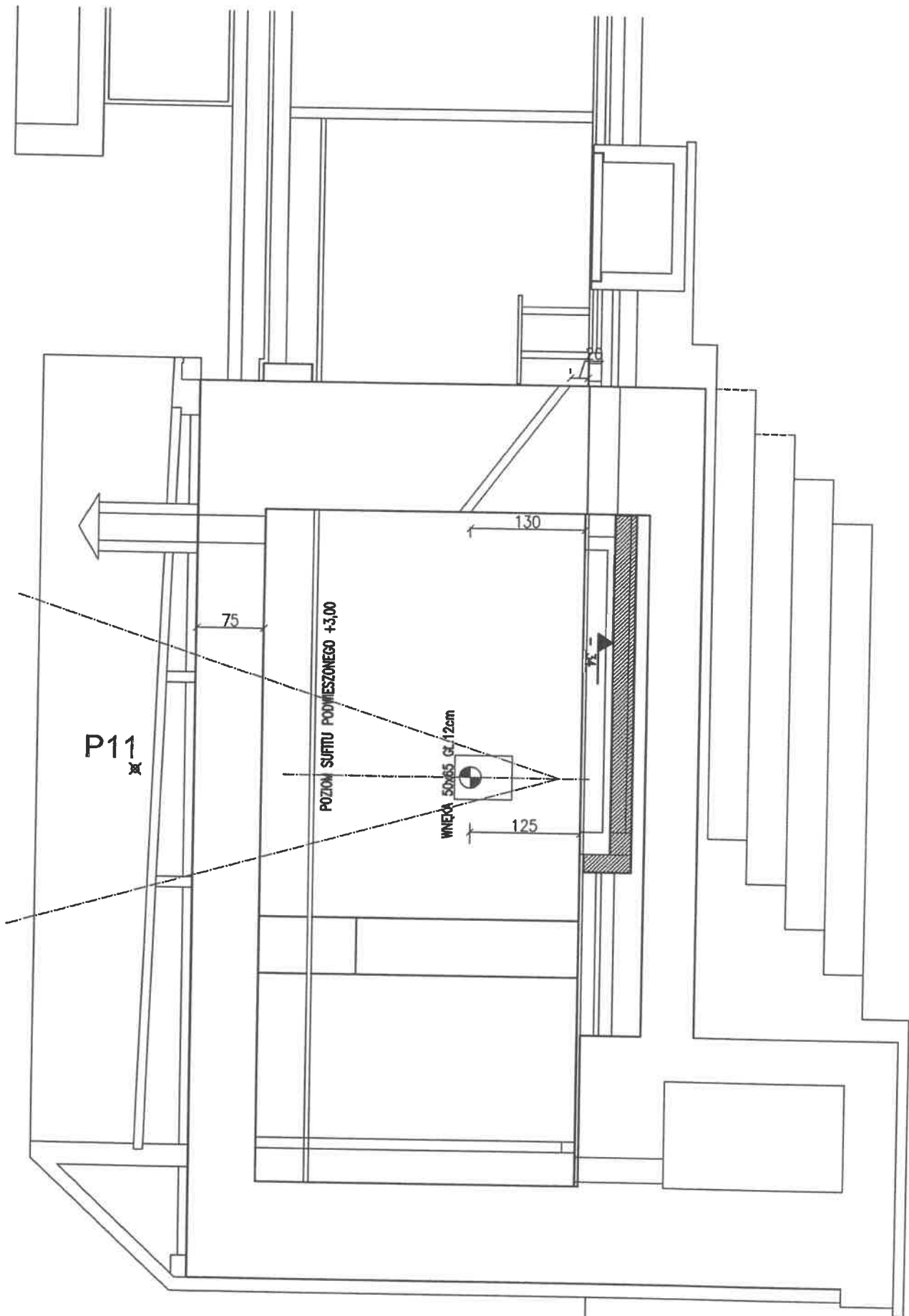
Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$



Rysunek 2 - Przekrój

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$t_0 = 6,75 \text{ h/tydz}$$

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 5,8 \text{ m}$$

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

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 6,75 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,8^2}}{0,006} = 120 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „D” wynosi:  $s_D = 110 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje:**

- 10 cm betonu zwykłego lub 2,7 cm Fe

Proponuje się dosłonić ścianę „D” warstwą żelaza o grubości 3 cm.

*Pkt. P11 Na dachu - promieniowanie pierwotne (rys.2)*  
strop „S” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_r = 38,9 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,05$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 6,75 \text{ h/tydz.}$$

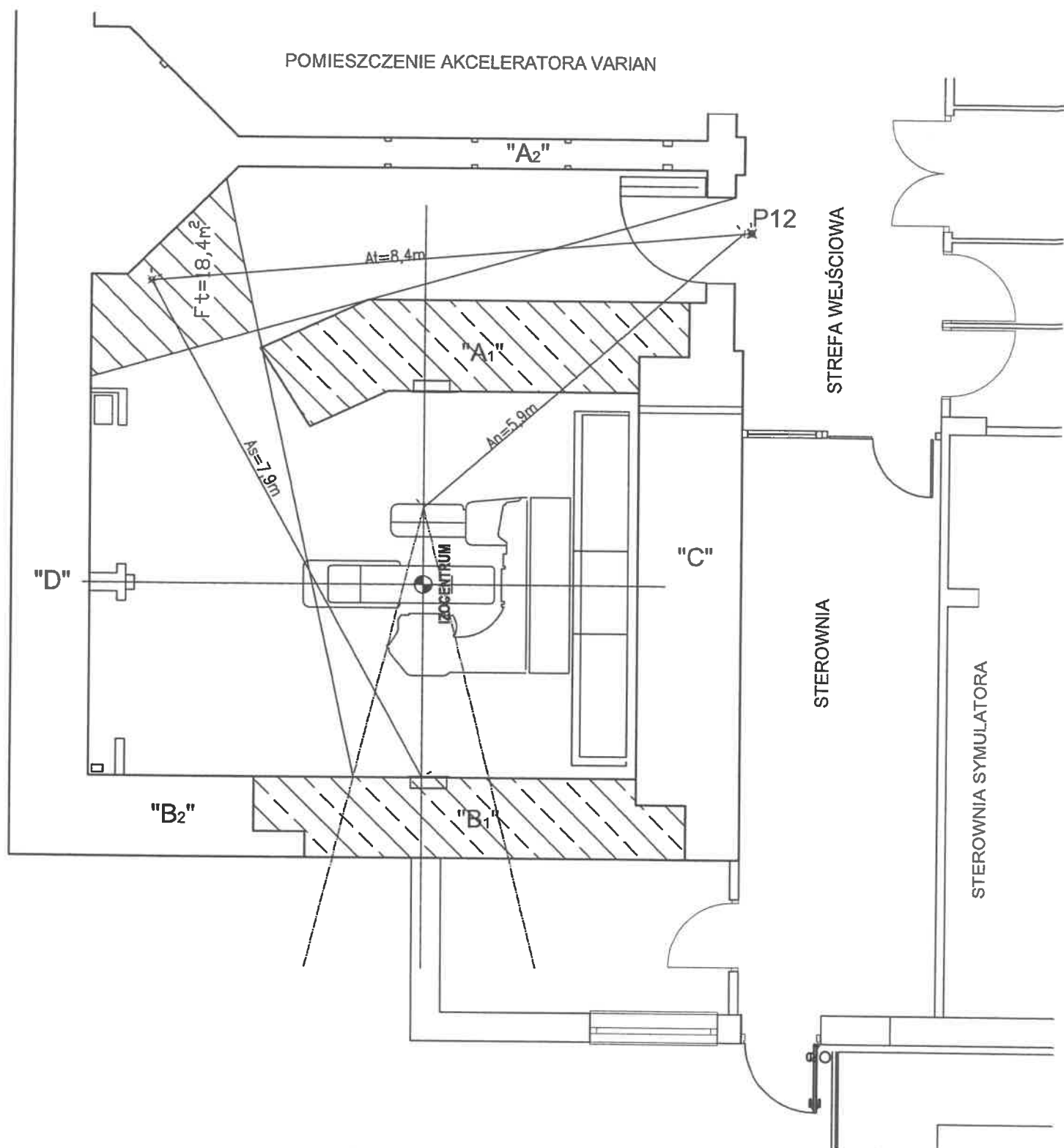
$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 4,5 \text{ m}$$

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



Rysunek 3 - Rzut bunkra

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$S = 38,9 \times \lg \frac{360000 \times 0,05 \times 0,25 \times 6,75 \times 1 \times \frac{1}{4,5^2}}{0,006} = 210 \text{ cm}$$

Grubość istniejącego stropu „S” wynosi:  $s_s = 75 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

**Brakuje:**

- 135 cm betonu zwykłego lub 36 cm Fe

Proponuje się dosłonić strop warstwą betonu zwykłego o grubości 50 cm lub warstwą żelaza o grubości 15 cm.

Dach należy traktować jako teren zamknięty i niedostępny w czasie pracy akceleratora, oznakowany.

*Pkt. P12 Za drzwiami - promieniowanie uboczne (rys.3).*

ściana „A<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$   
drzwi z warstwą ołowiu o gęstości  $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$

*Obliczenia dla personelu*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$Z_{r1} = 26,6 \text{ cm}$  (beton barytowy)

$Z_{r2} = 5,6 \text{ cm}$  wg rys. 1, Norma DIN 6847 cz.2 dla ołowiu o gęstości  $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$

$W = 360000 \text{ mGy/h}$

$T = 1$

$U = 0,25$

$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$

$q = 1$

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

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 5,6 \text{ m}$

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

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Beskidzkie Centrum Onkologii**

43-300 Bielsko Biała ul. Wyzwolenia 18

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,6^2}}{0,12} = 54 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A<sub>1</sub>” wynosi: s<sub>A1</sub> = 127 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm<sup>3</sup>.

**Ściana „A<sub>1</sub>” spełni warunek osłonności.**

**Policzona grubość ściany z betonu barytowego jest mniejsza od istniejącej ale aby zabezpieczyć personel przed dawką od promieniowania rozproszonego proponuje się zastosować drzwi z wkładką ołowianą o grubości g<sub>Pb</sub> = 2 cm**

#### Obliczenia dla pacjentów

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_{r1} = 26,6 \text{ cm}$$

$$Z_{r2} = 5,6 \text{ cm}$$

$$W = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 5,6 \text{ m}$$

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

$$S = 26,6 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,6^2}}{0,006} = 62 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A<sub>1</sub>” wynosi:  $s_{A1} = 127$  cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3$  g/cm<sup>3</sup>.

**Ściana „A<sub>1</sub>” spełni warunek osłoności.**

**Policzona grubość ściany z betonu barytowego jest mniejsza od istniejącej ale aby zabezpieczyć personel przed dawką od promieniowania rozproszonego proponuje się zastosować drzwi z wkładką ołowianą o grubości  $g_{Pb} = 2$  cm**

*Pkt. P12 Za drzwiami - sprawdzenie na promieniowanie uboczne i promieniowanie pierwotne dwukrotnie rozproszone (wiązka skierowana na ścianę)* (rys.3).

ściana „A<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2$  g/cm<sup>3</sup>  
drzwi z warstwą ołowiu o gęstości  $\rho = 11,3$  g/cm<sup>3</sup>

*Obliczenia dla personelu*

*Dawka od promieniowania ubocznego.*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$Z_{r1} = 26,6$  cm

$Z_{r2} = 5,6$  cm

$W_A = 360000$  mGy/h

$T = 1$

$U = 0,25$

$t_0 = 4,5$  h/tydz.

$q = 1$

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

$A_0 = 1$  m

$A_n = 5,6$  m

$s_{bb} = 127$  cm

$s_{Pb} = 2$  cm



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$D'_1 = \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,6^2}}{10^{\left(\frac{127}{26,6} + \frac{2}{5,6}\right)}} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ mSv / tydz.}$$

*Dawka od promieniowania pierwotnego dwukrotnie rozproszonego przy skierowaniu wiązki na ścianę.*

Dane do obliczeń

$$Z_{s1} = 16,1 \text{ cm}$$

$$Z_{s2} = 1,5 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

$$K_t = \left( 10^{-2} \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_s^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{F_t}{A_t^2}$$

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

$$A_s = 7,9 \text{ m}$$

$$F_t = 18,4 \text{ m}^2$$

$$A_t = 8,4 \text{ m}$$

$$s_{pb} = 2 \text{ cm}$$

$$D'_2 = \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times \left( 10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{7,9^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{18,4}{8,4^2}}{10^{\frac{2}{1,5}}} = 5,7 \times 10^{-3} \text{ mSv / tydz.}$$

Limit użytkowy dawki

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

$$D'_1 + D'_2 = 0,1 \times 10^{-3} + 5,7 \times 10^{-3} = 5,8 \times 10^{-3} \text{ mSv/tydz.}$$

$$D'_1 + D'_2 < D$$

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Beskidzkie Centrum Onkologii**

43-300 Bielsko Biała ul. Wyzwolenia 18

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

*Obliczenia dla pacjentów*

*Dawka od promieniowania ubocznego.*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_{r1} = 26,6 \text{ cm}$$

$$Z_{r2} = 5,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 5,6 \text{ m}$$

$$s_{bb} = 127 \text{ cm}$$

$$s_{Pb} = 2 \text{ cm}$$

$$D'_1 = \frac{360000 \times 0,1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,6^2}}{10^{\left(\frac{127}{26,6} + \frac{2}{5,6}\right)}} = 0,1 \times 10^{-4} \text{ mSv / tydz.}$$

*Dawka od promieniowania pierwotnego dwukrotnie rozproszonego przy skierowaniu wiązki na ścianę.*

Dane do obliczeń

$$Z_{s1} = 16,1 \text{ cm}$$

$$Z_{s2} = 1,5 \text{ cm}$$

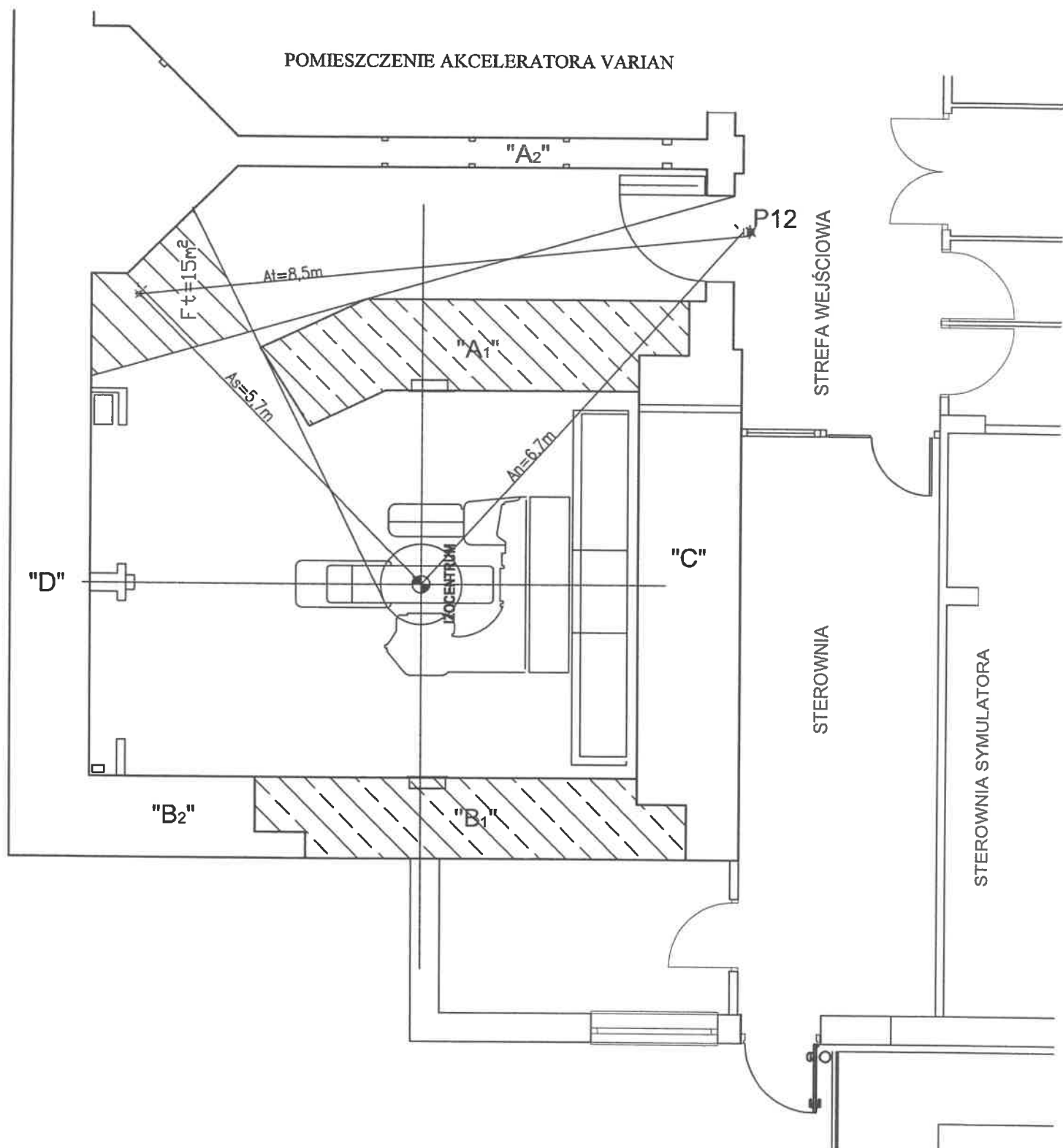
$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 0,25$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$



Rysunek 4 - Rzut bunkra

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$K_t = \left( 10^{-2} \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_s^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{F_t}{A_t^2}$$

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

$$A_s = 7,9 \text{ m}$$

$$F_t = 18,4 \text{ m}^2$$

$$A_t = 8,4 \text{ m}$$

$$s_{Pb} = 2 \text{ cm}$$

$$D'_2 = \frac{360000 \times 0,1 \times 0,25 \times 4,5 \times \left( 10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{7,9^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{18,4}{8,4^2}}{10^{\frac{2}{1,5}}} = 0,57 \times 10^{-3} \text{ mSv / tydz.}$$

Limit użytkowy dawki

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

$$D'_1 + D'_2 = 0,01 \times 10^{-3} + 0,57 \times 10^{-3} = 0,58 \times 10^{-3} \text{ mSv/tydz.}$$

$$D'_1 + D'_2 < D$$

*Pkt. P12 Za drzwiami - sprawdzenie na promieniowanie uboczne i promieniowanie pierwotne dwukrotnie rozproszone (wiązka skierowana na podłogę)*

(rys.4).

ściana „A<sub>1</sub>” z betonu barytowego o gęstości  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$   
drzwi z warstwą ołowiu o gęstości  $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$

*Obliczenia dla personelu*

*Dawka od promieniowania ubocznego.*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$$Z_{r1} = 26,6 \text{ cm}$$

$$Z_{r2} = 5,6 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 6,7 \text{ m}$$

$$s_{bb} = 127 \text{ cm}$$

$$s_{Pb} = 2 \text{ cm}$$

$$D'_1 = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,7^2}}{10^{\left(\frac{127}{26,6} + \frac{2}{5,6}\right)}} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mSv / tydz.}$$

*Dawka od promieniowania pierwotnego dwukrotnie rozproszonego przy skierowaniu wiązki na podłogę.*

Dane do obliczeń

$$Z_{s1} = 16,1 \text{ cm}$$

$$Z_{s2} = 1,5 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

$$K_t = \left( 10^{-2} \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_s^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{F_t}{A_t^2}$$

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

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

$$F_t = 15 \text{ m}^2$$

$$A_t = 8,5 \text{ m}$$

$$s_{Pb} = 2 \text{ cm}$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

$$D'_2 = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times \left( 10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,7^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{15}{8,5^2}}{10^{\frac{2}{1,5}}} = 20,4 \times 10^{-3} \text{ mSv / tydz.}$$

Limit użytkowy dawki

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

$D'_1 + D'_2 = 0,0003 + 0,0204 = 0,0207 \text{ mSv/tydz.}$

$D'_1 + D'_2 < D$

*Obliczenia dla pacjentów*

*Dawka od promieniowania ubocznego.*

Dane do obliczeń dla akceleratora o energii fotonów 10 MV i mocy dawki 6 Gy/min:

$Z_{r1} = 26,6 \text{ cm}$

$Z_{r2} = 5,6 \text{ cm}$

$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$

$T = 0,1$

$U = 1$

$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$

$q = 1$

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

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n = 6,7 \text{ m}$

$s_{bb} = 127 \text{ cm}$

$s_{pb} = 2 \text{ cm}$

$$D'_1 = \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,7^2}}{10^{\left( \frac{127}{26,6} + \frac{2}{5,6} \right)}} = 0,3 \times 10^{-4} \text{ mSv / tydz.}$$

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Beskidzkie Centrum Onkologii**

43-300 Bielsko Biała ul. Wyzwolenia 18

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### Akcelerator Clinac 2300 C/D - Silhouette

*Dawka od promieniowania pierwotnego dwukrotnie rozproszonego przy skierowaniu wiązki na podłogę.*

Dane do obliczeń

$$Z_{s1} = 16,1 \text{ cm}$$

$$Z_{s2} = 1,5 \text{ cm}$$

$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 0,1$$

$$U = 1$$

$$t_0 = 4,5 \text{ h/tydz.}$$

$$q = 1$$

$$K_t = \left( 10^{-2} \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_s^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{F_t}{A_t^2}$$

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

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

$$F_t = 15 \text{ m}^2$$

$$A_t = 8,5 \text{ m}$$

$$s_{Pb} = 2 \text{ cm}$$

$$D'_2 = \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 4,5 \times \left( 10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,7^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{15}{8,5^2}}{10^{\frac{2}{1,5}}} = 2,04 \times 10^{-3} \text{ mSv / tydz.}$$

Limit użytkowy dawki

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

$$D'_1 + D'_2 = 0,00003 + 0,0204 = 0,0207 \text{ mSv/tydz.}$$

$$D'_1 + D'_2 < D$$

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Beskidzkie Centrum Onkologii  
43-300 Bielsko Biała ul. Wyzwolenia 18

### **7.6 Wyposażenie bunkra dla potrzeb ochrony radiologicznej**

W sterowni bunkra powinny znajdować się:

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

### **7.7 Bezpieczna eksploatacja**

Tylko odpowiednio przeszkolony przez producenta personel może obsługiwać urządzenie, zgodnie z instrukcją obsługi.

### **7.8 System sygnalizacyjno-ostrzegawczy**

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

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

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

Wymagane jest:

- \* zainstalowanie nad drzwiami świecącej sygnalizacji w czasie pracy urządzenia,
- \* umieszczenie na drzwiach wejściowych znaku koniczynki.

Przy drzwiach wejściowych od strony sterowni i w dwóch punktach wewnątrz bunkra powinna zostać zainstalowana ostrzegawcza sygnalizacja świetlna, widoczna z każdego miejsca: Na zewnątrz kolor żółty sygnalizuje włączenie promieniowania, pomarańczowy stan gotowości a kolor zielony stan stand by (braku promieniowania). Wewnątrz bunkra stan gotowości i włączenia promieniowania powinny być



sygnałizowane kolorem czerwonym (wskazującym na konieczność natychmiastowego opuszczenia pomieszczenia przez wszystkie osoby – z wyjątkiem pacjenta).

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

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

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

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

### 8. Bibliografia

- 1) Swanson W.P. Radiological safety aspects of the operation of electron linear accelerators IAEA-Vienna, 1979.
- 2) DIN-6847 teil 2 Medizinische elektronenbeschleuniger-anlagen strahlenschutzregeln fur die errichtung.
- 3) Gostkowska B. Wielkości, jednostki i obliczenia stosowane w ochronie radiologicznej CLOR 1991.
- 4) Hrynkiewicz A. Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego – PAA, Instytut Fizyki Jądrowej, Warszawa – Kraków, 1993r.
- 5) Nelson W.R., La Riviere P. Primary and leakage radiation calculations at 6, 10 and 25MeV – Health Physics Vol 47 No 6, 1984.