

Clinac 2300-4

**PROJEKT TECHNICZNY  
W ZAKRESIE OCHRONY RADIOLOGICZNEJ  
adaptacji bunkra po akceleratorze Co – line pod  
kątem instalacji wysokoenergetycznego akceleratora  
Clinac 2300 C/D - Silhouette  
(obliczenia osłon biologicznych)**

**Regionalny Ośrodek Onkologiczny  
przy Wojewódzkim Szpitalu im. Kopernika**

**Łódź  
ul. Paderewskiego 4**

Autorzy:  
mgr inż. Irena Kwolczak – El Korb  
mgr inż. Jan Kopeć

*Kwolczak - El Korb*



Warszawa, czerwiec 2010 r.

### SPIS TREŚCI

Strona

#### I. CZĘŚĆ WSTĘPNA

A - Przedmiot opracowania	4
B - Podstawa opracowania	5
C - Przepisy prawne	5

#### II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA

1. Opis lokalizacji bunkra z uwzględnieniem obiektów sąsiednich	5
2. Parametry techniczne aparatu	6
3. Ustawienie aparatu	7
4. Dokumentacja techniczno-ruchowa aparatu przyjętego do obliczeń	7
4.1 Parametry wyjściowe – rodzaje stosowanych terapii	8
4.2 Dane techniczne akceleratora Clinac 2300 C/D Silhouette	8
4.2.1 Zasilanie elektryczne	8
4.2.2 System chłodzenia aparatu	9
4.2.3 Promieniowanie uboczne (photon leakage radiation)	9
4.2.4 Budowa urządzenia	10
4.2.5 Uruchomienie i eksploatacja	11
5. Założenia do projektu istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej	12
5.1 Przyjęte do obliczeń dawki promieniowania dla osób przebywających w pobliżu	12
5.2 Ocena zagrożenia pracowników	13
5.3 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu	14
5.4 Parametry eksploatacji	14
5.4.1 Energia i moc dawki	14
5.4.2 Czas pracy urządzenia	14
5.4.3 Współczynniki skierowania wiązki i czasu przebywania	15
5.5 Dawka miejscowa	16
5.6 Kierunki padania promieniowania jonizującego	16
5.7 Materiały stosowane na osłony	16
5.8 Tereny nadzorowane	16

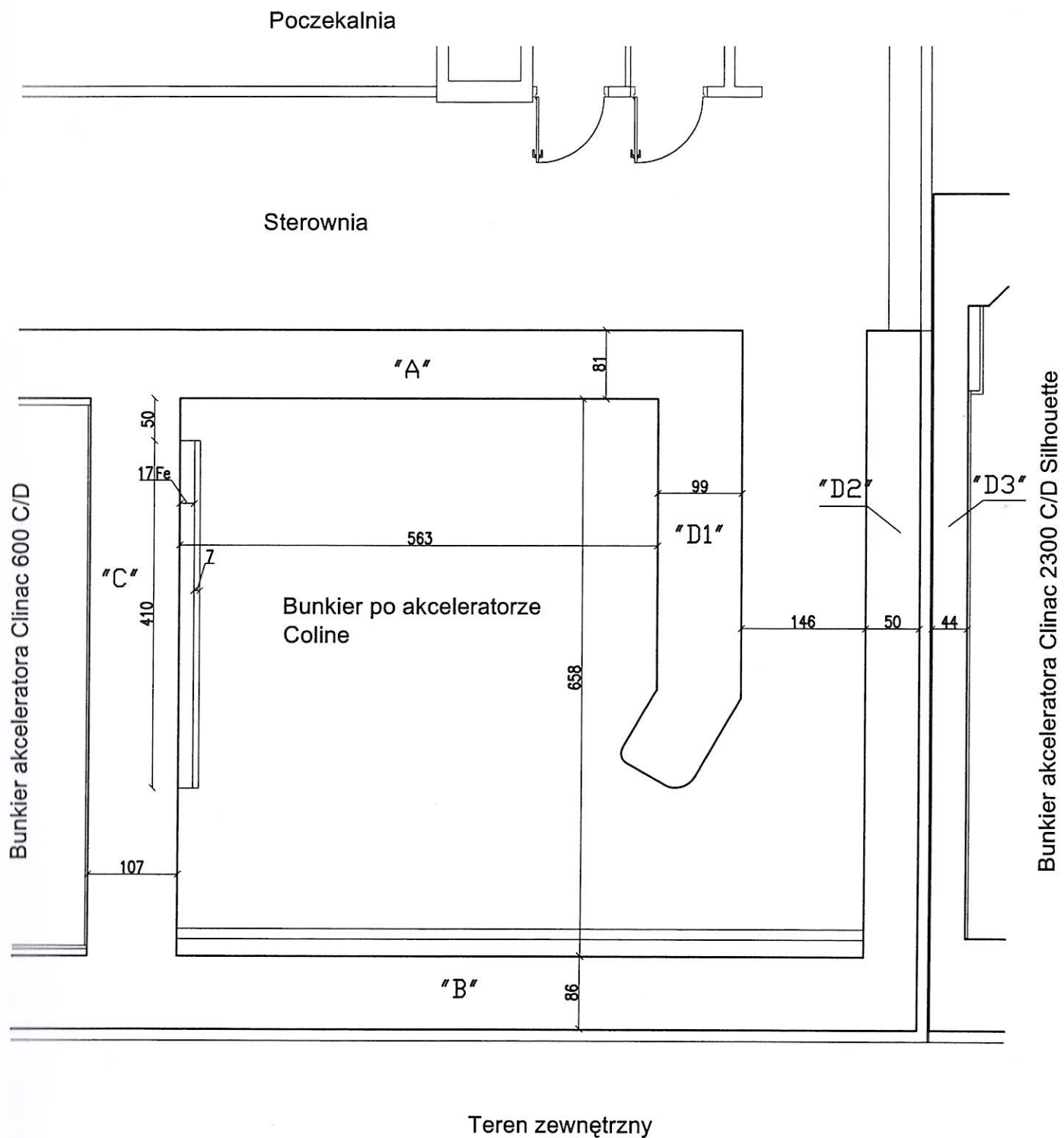
# OCHRONA RADIOLOGICZNA

---

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

6. Obliczenia	17
6.1 Wzór wyjściowy	17
6.1.1 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim bezpośrednim	18
6.1.2 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim ubocznym	18
6.1.3 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim jednokrotnie rozproszonym	19
6.1.4 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim dwukrotnie rozproszonym	19
6.1.5 Osłony chroniące przed promieniowaniem elektronowym	20
6.1.6 Osłony chroniące przed promieniowaniem neutronowym	21
6.1.7 Osłony chroniące przed rozproszonym promieniowaniem neutronowym	21
6.2 Obliczenia osłon biologicznych komory dla akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette	21
6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń	22
6.2.2 Ogólny układ komory	23
6.2.3 Obliczenia grubości osłon w miejscach określonych na rys. 2, 3, 4 i 5	23
6.2.4 Przeliczenie osłonności wybranych punktów na promieniowanie neutronowe	40
6.3 Wyniki obliczeń osłon biologicznych	42
7. Wymagania branżowe	43
7.1 Opis osłon (ściany, sufit, podłoga, przepusty instalacyjne, drzwi ochronne)	43
7.2 Wentylacja	44
7.3 Opis instalacji wodno-kanalizacyjnej	44
7.4 Opis instalacji elektrycznej	44
7.5 Opis systemu ochrony przeciw - pożarowej	45
7.6 Wyposażenie bunkra dla potrzeb ochrony radiologicznej	45
7.7 Bezpieczna eksploatacja	45
7.8 System sygnalizacyjno - ostrzegawczy	45
8. Bibliografia	47



Rysunek 1 - Rzut pomieszczeń



### I. CZĘŚĆ WSTĘPNA

#### A - Przedmiot opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej adaptacji bunkra w Zakładzie Teleradioterapii w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym im. Kopernika w Łodzi, przy ulicy Paderewskiego 4. Adaptacja zostanie zaprojektowana pod kątem instalacji wysokoenergetycznego akceleratora liniowego Clinac 2300C/D Silhouette, firmy Varian, o następujących parametrach:

- promieniowania X (fotonów) 15 MV,
- elektronów max. 22 MeV
- i mocach dawek:
- fotonów max. 600 MU/min,
- elektronów max. 1000 MU/min.

Akcelerator zostanie zainstalowany w adaptowanej do tego celu komorze, w której zainstalowany był niskoenergetyczny akcelerator Co-line, o energii fotonów 4MeV i mocy dawki 200 MU/min.

Rzut poziomy adaptowanego bunkra, przedstawiający jego bezpośrednie otoczenie przedstawia rysunek nr 1.

Rzut poziomy adaptowanego bunkra z rozmieszczeniem urządzenia, w rozumieniu punktów istotnych dla ochrony radiologicznej, przedstawia rys. nr2.

Obliczenia zostaną przeprowadzone dla akceleratora wysokoenergetycznego o:  
energii promieniowania X max. 15 MV  
i mocy dawki promieniowania X max. 6 Gy/min (600 MU/min).

Celem opracowania jest obliczenie grubości osłon stałych umożliwiających instalację akceleratora Clinac 2300 C/D i jego eksploatację z energią fotonów 15MV i mocą dawki 600MU/min. oraz wszystkich energiach elektronowych.

Obliczenia bunkra zostaną wykonane, z uwzględnieniem następujących parametrów:

- granicznych energii fotonów: tj. promieniowania X,
- maksymalnych mocy dawek, dla granicznych energii promieniowania X,
- przecieków promieniowania podanych przez producenta,
- największego przekroju wiązki promieniowania,

---

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

- położenia izocentrum (punkt przecięcia się osi obrotu ramienia z osią wiązki promieniowania) w stosunku do ścian i stropów.

### B - Podstawa opracowania

Podstawą opracowania są:

- Plany architektoniczno-budowlane Zakładu Teleradioterapii i adaptowanego bunkra.
- Wymagania instalacyjne dla akceleratora Clinac 2300 C/D Silhouette, firmy Varian.
- Wizja lokalna.

### C - Przepisy prawne

- Ustawa Prawo Atomowe z dn. 29 listopada 2000r. – (Dz.U. z 2004r. Nr 161, poz. 1689 i Nr 173, poz.1808, z 2005r. Nr 163, poz. 1362 oraz z 2006r. Nr 52, poz 78, Nr 104, poz 08 i Nr 133, poz. 935) 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.
- 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.

## II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA

### 1. Opis lokalizacji bunkra z uwzględnieniem obiektów sąsiednich

Bunkier, adaptowany dla celów instalacji nowego akceleratora, zaprojektowany i wykonany został dla bomby kobaltowej. Mieści się w budynku parterowym, podpiwniczonym w obszarze sterowni. Przestrzeń pod bunkrem nie jest podpiwniczona.

Do omawianego bunkra przylegają bezpośrednio:



---

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

- bunkier z zainstalowanym akceleratorem Clinac 2300 C/D Silhouette (komora po akceleratorze Neptun o energii 9MV, dosłonięta do energii 15MV);
- bunkier z zainstalowanym akceleratorem Clinac 600 C/D (komora po bombie kobaltowej, dosłonięta do energii 6MV);
- sterownia;
- teren zewnętrzny.

Do sterowni przylegają rozbieralnie dla pacjentów, za którymi znajduje się poczekalnia.

W poszczególnych miejscach przebywają:

- sterownia – osoby narażone zawodowo;
- bunkry – osoby narażone zawodowo;
- rozbieralnie dla pacjentów – osoby z populacji (nie narażone zawodowo), krótki okres przebywania;
- poczekalnia – osoby z populacji (nie narażone zawodowo), krótki okres przebywania.
- na zewnątrz – osoby z populacji (nie narażone zawodowo);

## 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:

- 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.

# OCHRONA RADIOLOGICZNA

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

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. 15 MV
Energia elektronów	do 22 MeV
Odległość SAD (źródło – izocentrum)	100 ±0,2 cm
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	max.129,5 cm
Zakres obrotu ramienia akceleratora	360°
Odległość ściana za akceleratorem – izocentrum, (mierzona wzdłuż osi akceleratora)	300 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 i 3.

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.

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika

Łódź ul. Paderewskiego 4



# OCHRONA RADIOLOGICZNA

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

### 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. 15 MV       |
| - moc dawki w izocentrum                           | do 600 MU/min    |
| - max. pole napromieniania w odległości TAD=100 cm | 40 cm x 40 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      |
| - energia elektronów                                                              | do max. 22 MeV |
| - moc dawki w izocentrum                                                          | do 1000 MU/min |
| - max. pole napromieniania w odległości 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            |
| - zakres obrotu ramienia             | 360°         |
| - kątowa intensywność napromieniania | do 16 MU/deg |

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

#### 4.2.1 Zasilanie elektryczne

Sieć 220V, 3×380V ±5%, 50Hz, kabel pięciożyłowy,  
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 przyspieszającej, 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 przyspieszająca 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 siverdach), 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,
- 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.

#### Opis działania

Wysokoenergetyczny, liniowy akcelerator elektronów Clinac 2300 C/D Silhouette, wytwarzający wiązkę promieniowania X o energii 15MV, jest zasilany mocą wysokiej częstotliwości z klistronu, pracującego w paśmie S na częstotliwości około 3 GHz. Osiągane zakresy energetyczne wymagają długiej sekcji przyspieszającej, co wpływa na budowę akceleratora i sposób prowadzenia wiązki promieniowania.

Elektrony wytworzone przez działło 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.

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 pulpitów 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.

#### 4.2.5 Uruchomienie i eksploatacja

Uruchomienia i przekazania urządzenia do eksploatacji dokonuje specjalistyczny serwis producenta.



---

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

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 wyłącznie, może być przyczyną słabych osiągnięć aparatu oraz pociągać za sobą szkody w sprzęcie, poważne obrażenia, a nawet śmierć osób obsługujących lub pacjenta.

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

Włączniki awaryjne znajdujące się przy urządzeniu, w pomieszczeniu terapeutycznym oraz w sterowni, w chwil awarii lub niebezpieczeństwa odcinają zasilanie i wyłączają wiązkę promieniowania, gwarantując bezpieczeństwo pacjenta i obsługi.

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**

Ściany istniejącego bunkra, z lat 80-tych ubiegłego wieku, wykonane są z betonu zwykłego, nierównomiernie zagęszczonego.

W celu określenia wielkości osłon stałych, chroniących:

- osoby pracujące w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące (sterownia, sąsiednie bunkry);
- pracowników szpitala, którzy nie podlegają narażeniom zawodowym, a przebywają w sąsiedztwie źródła promieniowania podczas pracy;
- osoby z populacji przebywające sporadycznie w pobliżu pracowni, z małym prawdopodobieństwem równoczesnego dłuższego przebywania i promieniowania akceleratora (teren zewnętrzny, poczekalnia, przebieralnie pacjentów);

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

---

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

- Ustawa Prawo Atomowe z dn. 29 listopada 2000r. – (Dz.U. z 2004r. Nr 161, poz. 1689 i Nr 173, poz. 1808, z 2005r. Nr 163, poz. 1362 oraz z 2006r. Nr 52, poz 78, Nr 104, poz 08 i Nr 133, poz. 935) 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.
- Rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów z dnia 18.01.2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. Nr 20. poz. 168).

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

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

c) dawka skuteczna (efektywna) dla pacjentów (osób nienarażonych zawodowo):  
0,3 mSv/rok,  
co oznacza: 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, 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



---

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

- 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 został przedstawiony w rozdziale 1, a pomieszczenia i tereny przyległe do nich przedstawione są na rys. nr 1.

Punkty istotne dla ochrony radiologicznej zostaną przeliczone w:

- o bunkrze akceleratora Clinac 2300 C/D Silhouette – osoby narażone zawodowo;
- o bunkrze bomby akceleratora Clinac 600 C/D – osoby narażone zawodowo;
- o sterowni – osoby narażone zawodowo;
- o rozbieralni pacjentów – osoby nienarażone zawodowo;
- o poczekalni – osoby nienarażone zawodowo;
- o na dachu – osoby nienarażone zawodowo;
- o na zewnątrz – osoby nienarażone zawodowo;
- o budynku szpitala – pacjenci, osoby nienarażone zawodowo.

### 5.4 Parametry eksploatacji

#### 5.4.1 Energia i moc dawki

Energia promieniowania X (max.)	: 15 MV
Moc dawki w odległości SSD	: 1000÷6000mGy/min
Zakres wykorzystania mocy dawki	: 6000mGy/min – 25%
	: 3000mGy/min – 75%
Energia promieniowania e <sup>-</sup> (max.)	: 22 MeV
Moc dawki w odległości SSD (max.)	: 10000mGy/min

Do obliczeń przyjęto energię promieniowania X 10MV i moc dawki 6000mGy/min.

#### 5.4.2 Czas pracy urządzenia

Dla akceleratora Clinac 2300 C/D – Silhouette przyjęto:

---

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

- 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 nienarażonych zawodowo,  $1,5 \times 4,5\text{h/tydz.} = 6,75\text{h/tydz}$  (podczas – 40godz. tygodnia pracy).

Czas pracy  $t_0$  (emisji promieniowania) akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette, wynosi w odniesieniu do pacjentów przebywających w budynku szpitala 9h/tydz.

### 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  $U=0,5$ ;
- w kierunku sufitu  $U=0,05$ ;
- 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

Z uwagi na słabą jakość betonów, z których wykonane są bunkry Zakładu Teleradioterapii, wykonano pomiary dozymetryczne, na podstawie których oceniono przybliżoną gęstość betonu zwykłego, z których wykonane są ściany i które przyjęto do obliczeń osłonności:

- beton zwykły, żwirowy  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ ,

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

Promieniowanie X o energii 15 MV:

- |                         |                                                                                |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| - beton zwykły, żwirowy | $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 47 \text{ cm}$    |
| - beton zwykły, żwirowy | $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 42,9 \text{ cm}$  |
| - stal                  | $\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$ , $Z_r = \text{TVL} = t \ 1/10 = 10,7 \text{ cm}$ |
| - 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  $l_0=1m$  określona przez producenta [mGy/h],

$T$  - współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłoniętym miejscu,

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

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

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

gdzie:

$t_{ei}$  - czas 1 ekspozycji,

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

$i_d$  - ilość zmian (dni pracy) w tygodniu,

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

$q_i$  - współczynnik określający jakość napromieniania,

$D$  - graniczna dawka tygodniowa [mSv/tydz.].

---

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

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:

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_n$  - 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  $A_0 = 1 \text{ m}$  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.



## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

- $D_r^*$  - 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.

### 6.1.6 Osłony chroniące przed promieniowaniem neutronowym

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

$Z_d$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia bezpośredniego promieniowania neutronowego.

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

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

gdzie:

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

$A_0 = 1 \text{ m}$

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

$q = 25 \text{ wg PN i } 10 \text{ wg DIN}$

### 6.1.7 Osłony chroniące przed rozproszonym promieniowaniem neutronowym

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

$Z_g$  - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia rozproszonego promieniowania neutronowego.

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

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

gdzie:

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

$A_0 = 1 \text{ m}$



## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

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

b/l - stosunek szerokości do długości labiryntu

q = 25 wg PN i 10 wg DIN

### 6.2 Obliczenia osłon biologicznych komory dla akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette

W obliczeniach niniejszego projektu grubość ścian zostanie określona dla najbardziej niekorzystnej geometrii ustawienia izocentrum i uwzględnienia parametrów podanych poniżej.

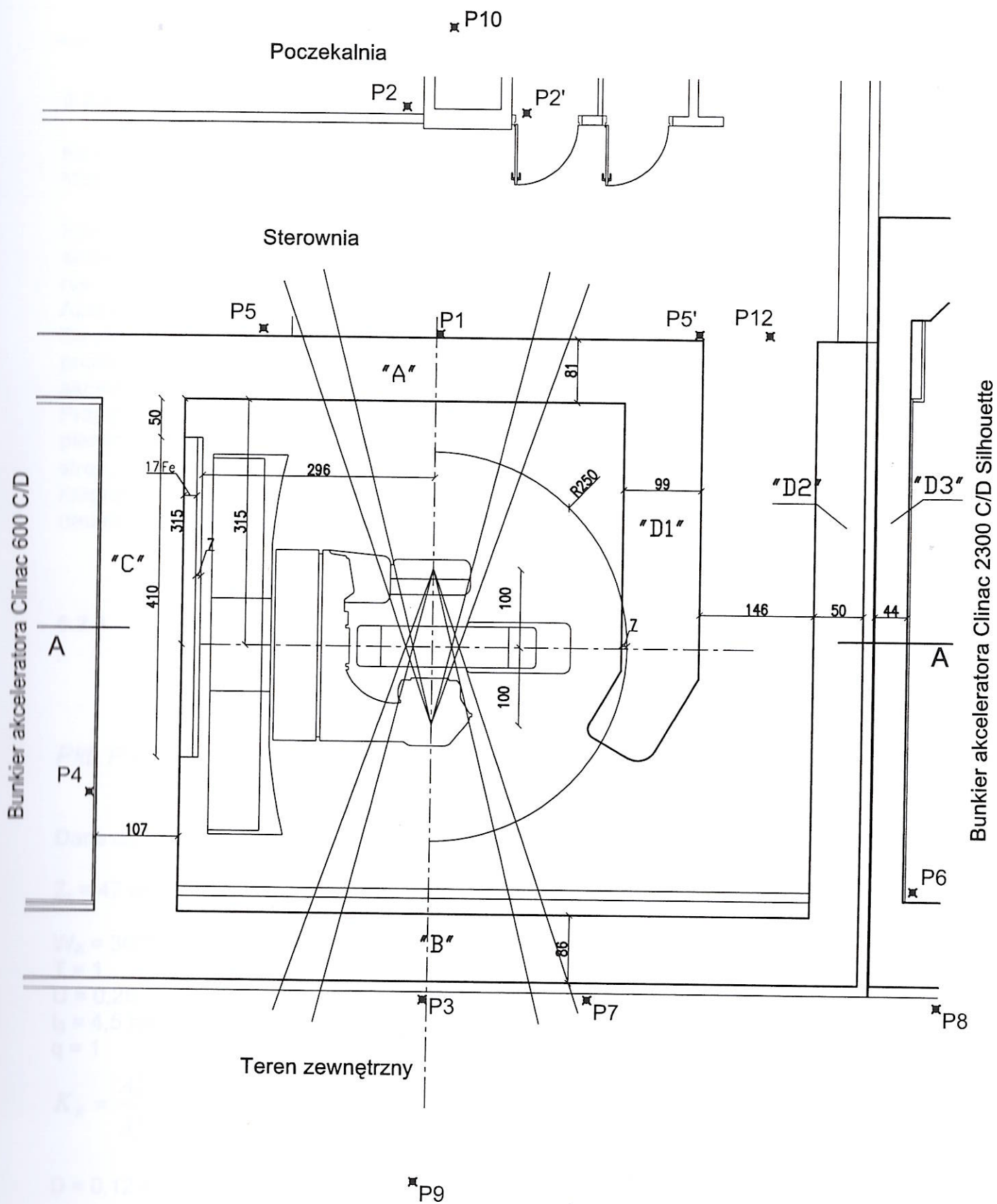
#### 6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń

Bunkier zostanie przeliczony dla akceleratora wysokoenergetycznego. Grubość ścian zostanie określona dla ustawienia izocentrum zgodnie z rysunkami nr 2, 3, 4 i 5 oraz z uwzględnieniem parametrów podanych poniżej.

Rodzaj promieniowania	promieniowanie X, elektrony
Energia promieniowania X	max. 15 MV
Energia elektronów	max. 22 MeV
Target dla konwersji e/x	wolfram
Odległość SAD	100 cm
Moc dawki w odległości SAD	
- dla promieniowania X	1000÷6000 mGy/min
- dla elektronów	1000÷10000 mGy/min
Wysokość izocentrum nad podłogą	131 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.



Rysunek 2 - Rzut bunkra



### 6.2.2 Ogólny układ komory

Komora dla akceleratora przedstawiona jest na rys. 1.  
Materiały stosowane na osłony przedstawiono w rozdziale 5.7.

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

Aparat jest mocowany do konstrukcji wsporczej, zabetonowanej w stropie podłogi. Oś obrotu akceleratora znajduje się na wysokości 131cm od podłogi komory. Źródło promieniowania znajduje się w głowicy, w odległości 100 cm od osi obrotu akceleratora.

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  $28^\circ$ . Korytarz labiryntu chroni przed rozproszonym promieniowaniem X oraz rozproszonym promieniowaniem neutronowym.

### 6.2.3. Obliczenia grubości osłon dla wybranych miejsc określonych na rysunkach 2, 3, 4 i 5

(moc dawki - 6000 mGy/min)

*Pkt. P1 Sterownia - promieniowanie pierwotne* (rys.2)  
ściana „A” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

wg rys. 1, Norma DIN 6847 cz.2 dla betonu  
zwykłego  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

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

$$T = 1$$

$$U = 0,25$$

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 5,2 \text{ m}$$

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

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{5,2^2}}{0,12} = 240 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi:  $s_A = 81 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 159 cm betonu zwykłego lub 36 cm Fe.**

*Pkt. P2 Poczekalnia - promieniowanie pierwotne* (rys.2)  
ściana „A” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 0,15$$

$$U = 0,25$$

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

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 0,2 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{8^2}}{0,006} = 250 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi:  $s_A = 81 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 169 cm betonu zwykłego lub 38 cm Fe.**

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika  
Łódź ul. Paderewskiego 4



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

*Pkt. P2' Przebieralnia - promieniowanie pierwotne* (rys.2)  
ściana „A” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 0,1$$

$$U = 0,25$$

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

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{7,9^2}}{0,006} = 237 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi:  $s_A = 81 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 156 cm betonu zwykłego lub 35,5 cm Fe.**

*Pkt. P3 Na zewnątrz (parking) - promieniowanie pierwotne* (rys.2)  
ściana „B” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 0,15$$

$$U = 0,25$$

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

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 0,15 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{7,2^2}}{0,006} = 249 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B” wynosi:  $s_B = 86 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 163 cm betonu zwykłego lub 99 cm betonu barytowego.**

*Pkt. P4 Pomieszczenie akceleratora Clinac 600 C/D - promieniowanie uboczne (rys.2).  
ściana „C” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$*

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 4,9 \text{ m}$$

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



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,9^2}}{0,12} = 129 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C” wynosi:  $s_C = 107 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 9 cm betonu zwykłego lub 2,5 cm Fe.**

*Sprawdzenie Pkt. P4 na promieniowanie uboczne i pierwotne jednokrotnie rozproszone przy założeniu grubości ściany „C” równej 130 cm*  
(rys.2)

**Dawka od promieniowania ubocznego.**

Po przekształceniu wzoru (1), otrzymujemy następującą zależność:

$$D' = \frac{W_A \times T \times U \times t_0 \times K_0 \times q}{10^{\frac{S}{Z_R}}} \quad \dots(10)$$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

$$s_C = 129 \text{ cm}$$

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

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

$$A_n = 4,9 \text{ m}$$

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika**  
Łódź ul. Paderewskiego 4

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$D'_1 = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{4,9^2} \times 1 \times 10^{-3}}{10^{\frac{130}{47}}} = 0,115 \text{ mSv / tydz}$$

**Dawka od promieniowania pierwotnego jednokrotnie rozproszonego przy skierowaniu wiązki na podłogę**

Dane do obliczeń:

$Z_s = 16,1 \text{ cm}$       wg. Tabeli 2, Norma DIN 6847 cz.2 - dla betonu zwykłego  
o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

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

$T = 1$

$U = 1$

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

$q = 1$

$$K_s = 10^{-2} \times 1 \times \frac{F_n}{A_s^2}$$

$F_n = 0,16 \text{ m}^2$

$A_s = 4,9 \text{ m}$

$s_c = 130 \text{ cm}$

$$D'_2 = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 10^{-2} \times \frac{0,16}{4,9^2}}{10^{\frac{130}{16,1}}} = 9 \times 10^{-7} \text{ mSv / tydz}$$

Ogranicznik dawki (limit użytkowy dawki)

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

$D'_1 + D'_2 = 0,115 + 9 \times 10^{-7} = 0,115 \text{ mSv/tydz.}$

$D'_1 + D'_2 < D$

W dalszych obliczeniach pominięto wpływ promieniowania rozproszonego.

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika  
Łódź ul. Paderewskiego 4



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

Pkt. P5 Sterownia - promieniowanie uboczne (rys.2).  
ściana „A” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 4,3 \text{ m}$$

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,3^2}}{0,12} = 135 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi:  $s_A = 81 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 54 cm betonu zwykłego lub 12 cm Fe.**

Pkt. P5' Sterownia - promieniowanie uboczne (rys.2).  
ściana „A” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

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

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

$$A_n = 5,2 \text{ m}$$

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,2^2}}{0,12} = 127 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi:  $s_A = 81 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 46 cm betonu zwykłego lub 10,5 cm Fe.**

*Pkt. P6 Pomieszczenie akceleratora Clinac 2300 C/D - promieniowanie uboczne (rys.2).*

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

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

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 6,9 \text{ m}$$

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,9^2}}{0,12} = 115 \text{ cm}$$

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika**

**Łódź ul. Paderewskiego 4**



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

Grubość istniejących ścian wynosi:

- „D<sub>2</sub>” s<sub>D2</sub> = 50 cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

- „D<sub>3</sub>” s<sub>D3</sub> = 44 cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Sumaryczna grubość ścian wynosi 94 cm.

**Brakuje około 21 cm betonu zwykłego lub 5 cm Fe.**

*Pkt. P7 Na zewnątrz (parking) - promieniowanie uboczne*

*(rys.2).*

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

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 0,15$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 0,15 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,6^2}}{0,006} = 146 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B” wynosi: s<sub>B</sub> = 86 cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 60 cm betonu zwykłego lub 37 cm betonu barytowego.**

## BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

*Pkt. P8 Na zewnątrz (parking) - promieniowanie uboczne*

(rys.2).

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

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

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 0,15$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

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

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 0,15 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{8^2}}{0,006} = 132 \text{ cm}$$

Łączna grubość istniejących ścian „D<sub>2</sub>” i „D<sub>3</sub>” w kierunku działania promieniowania wynosi  $s = 158 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Ściany „D<sub>2</sub>” i „D<sub>3</sub>” spełnią warunek osłonności.**

*Pkt. P9 Budynek szpitala (główny) - promieniowanie pierwotne*

(rys.2)

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

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 0,25$$



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

---

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 95 \text{ m}$$

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{95^2}}{0,006} = 182 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B” wynosi:  $s_B = 86 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 96 cm betonu zwykłego. Ściana dosłonięta zgodnie z punktem P3 spełni warunek osłonności.**

*Pkt. P10 Budynek szpitala (onkologia) - promieniowanie pierwotne (rys.2).*  
ściana „A” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 0,25$$

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

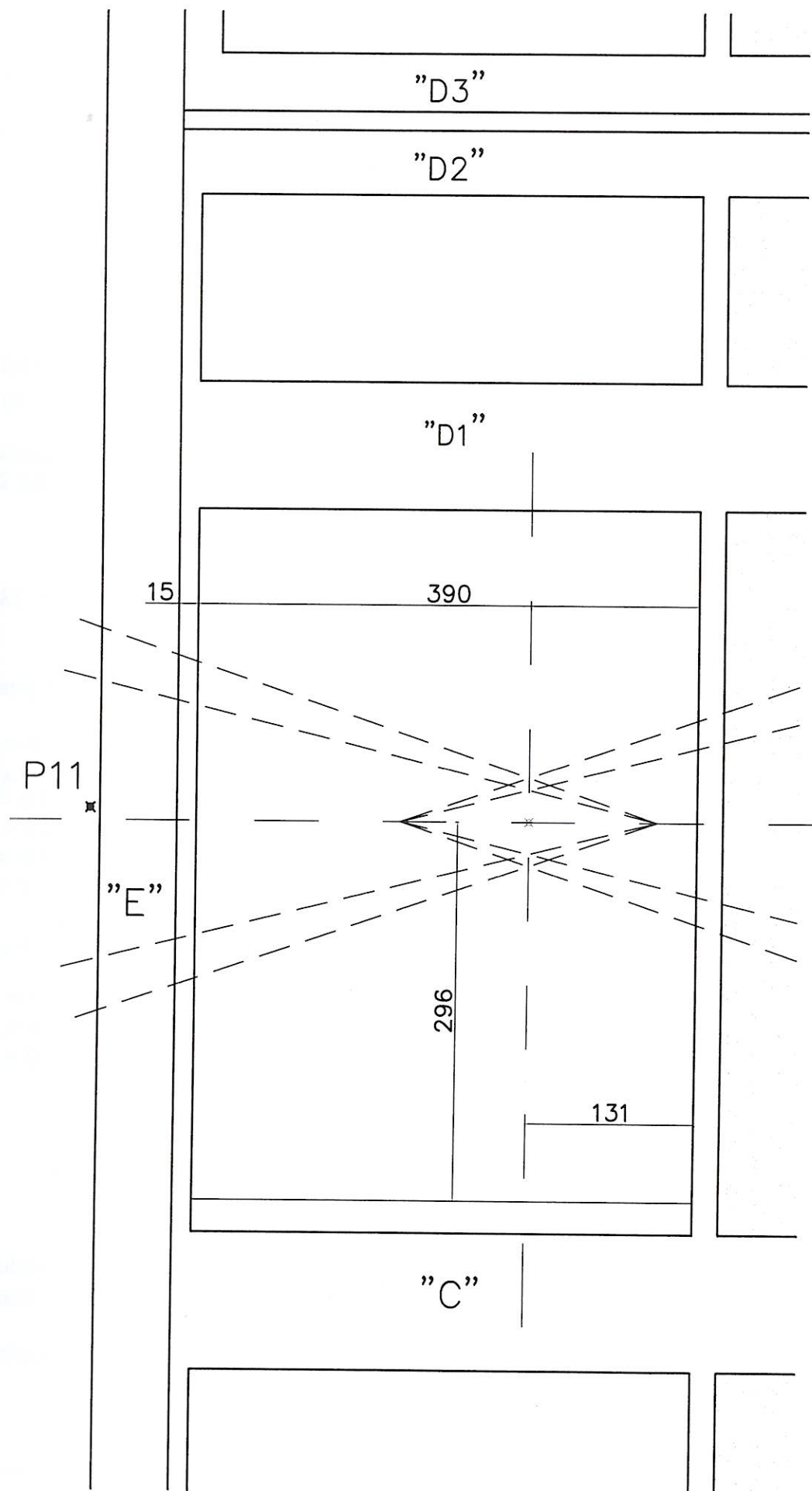
$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 27 \text{ m}$$

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



Rysunek 3 - Przekrój A-A



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{27^2}}{0,006} = 233 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi:  $s_A = 81$  cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje około 152 cm betonu zwykłego. Ściana dosłonięta zgodnie z punktem P2 spełni warunek osłonności.**

*Pkt. P11 Na dachu - promieniowanie pierwotne (rys. 3)*  
strop „S” z betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$

Dane do obliczeń:

$$Z_r = 47 \text{ cm}$$

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

$$T = 0,05$$

$$U = 0,25$$

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

$$q = 1$$

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

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

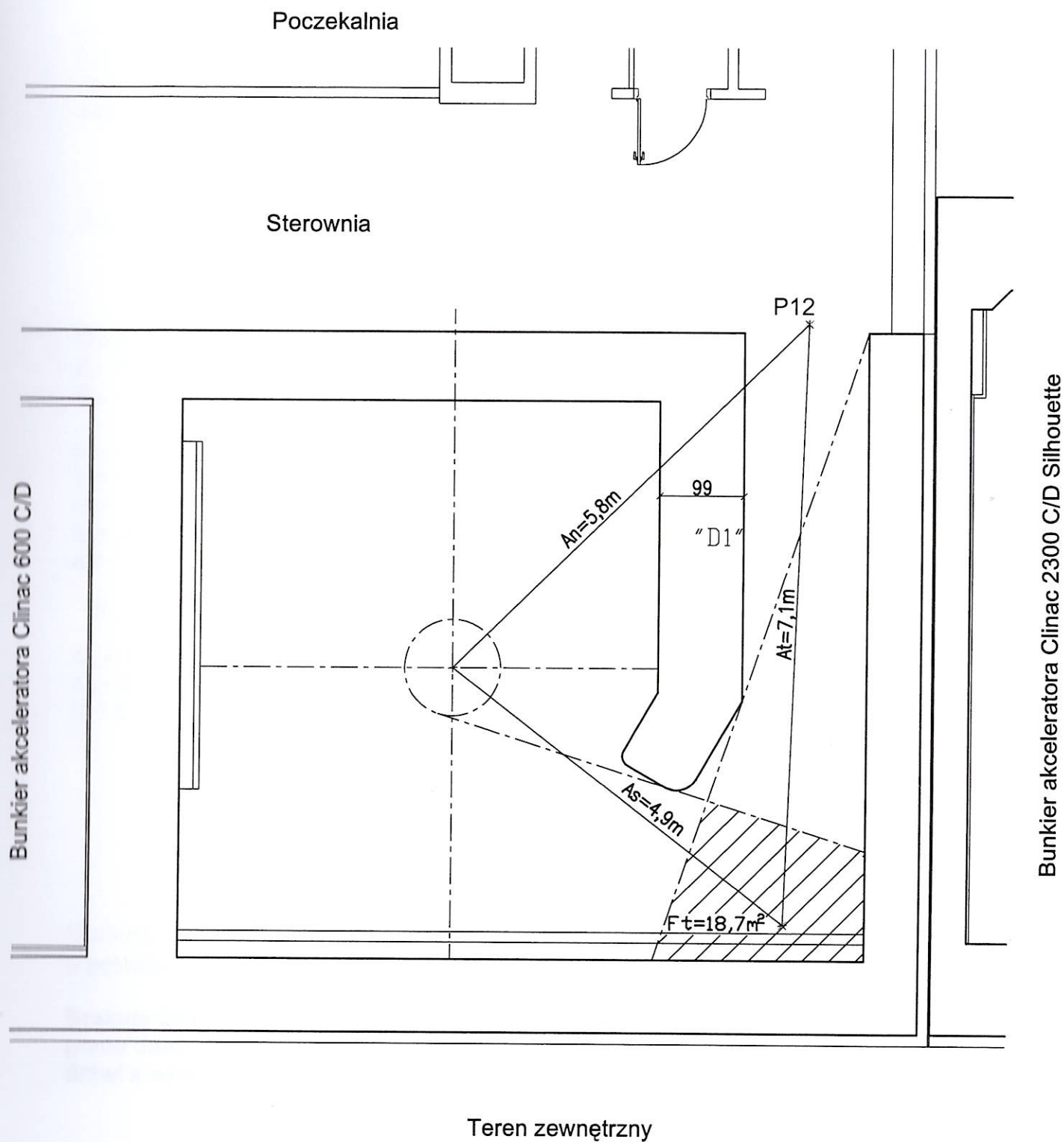
$$A_n = 4,3 \text{ m}$$

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

$$S = 47 \times \lg \frac{360000 \times 0,05 \times 0,25 \times 4,5 \times 1 \times \frac{1}{4,3^2}}{0,006} = 247 \text{ cm}$$

Grubość istniejącego stropu „S” wynosi:  $s_S = 15$  cm betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje 232 cm betonu zwykłego.**



Rysunek 4 - Rzut bunkra

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

Z uwagi na brak bardzo dużej ilości betonu proponuje się dostroić dach 60 cm betonu zwykłego i dach traktować jako teren zamknięty.

**Wejście na dach w celach technicznych możliwe jest tylko wtedy gdy akcelerator nie pracuje i pod nadzorem inspektora ochrony radiologicznej.**

*Pkt. P12 Za drzwiami - promieniowanie uboczne (rys.4).*

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

Dane do obliczeń

$Z_{r1} = 47 \text{ cm}$

(beton zwykły)

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

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

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

$T = 1$

$U = 1$

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

$q = 1$

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

$A_0 = 1 \text{ m}$

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

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

$$S = 47 \times 1g \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,8^2}}{0,12} = 122 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „D<sub>1</sub>” wynosi:  $s_{D1} = 99 \text{ cm}$  betonu zwykłego o gęstości  $\rho = 2,1 \text{ g/cm}^3$ .

**Brakuje 23 cm betonu zwykłego lub 2,7 cm ołowiu. Aby zabezpieczyć personel przed dawką od promieniowania rozproszonego proponuje się zastosować drzwi z wkładką ołowianą o grubości min.  $g_{Pb} = 3,5 \text{ cm}$ .**

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika  
Łódź ul. Paderewskiego 4



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

*Pkt. P12 Za drzwiami - sprawdzenie na promieniowanie uboczne i promieniowanie pierwotne dwukrotnie rozproszone (wiązka skierowana na podłogę) (rys.4).*

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

*Dawka od promieniowania ubocznego.*

Dane do obliczeń:

$$Z_{r1} = 47 \text{ cm}$$

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

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

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

$$s_{D1'} = 99 \text{ cm}$$

$$s_{D1''} = 136 \text{ cm}$$

$$s_{D1'''} = 115 \text{ cm}$$

$$s_{Pb} = 3,5 \text{ cm}$$

- grubość ściany „D<sub>1</sub>” w kierunku prostopadłym
- grubość ściany „D<sub>1</sub>” w kierunku promieniowania
- grubość ściany „D<sub>1</sub>” przyjęta do obliczeń

$$D_1' = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,8^2}}{10^{\left(\frac{115}{47} + \frac{3,5}{5,6}\right)}} = 0,041 \text{ mSv / tydz}$$

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

Dane do obliczeń

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

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

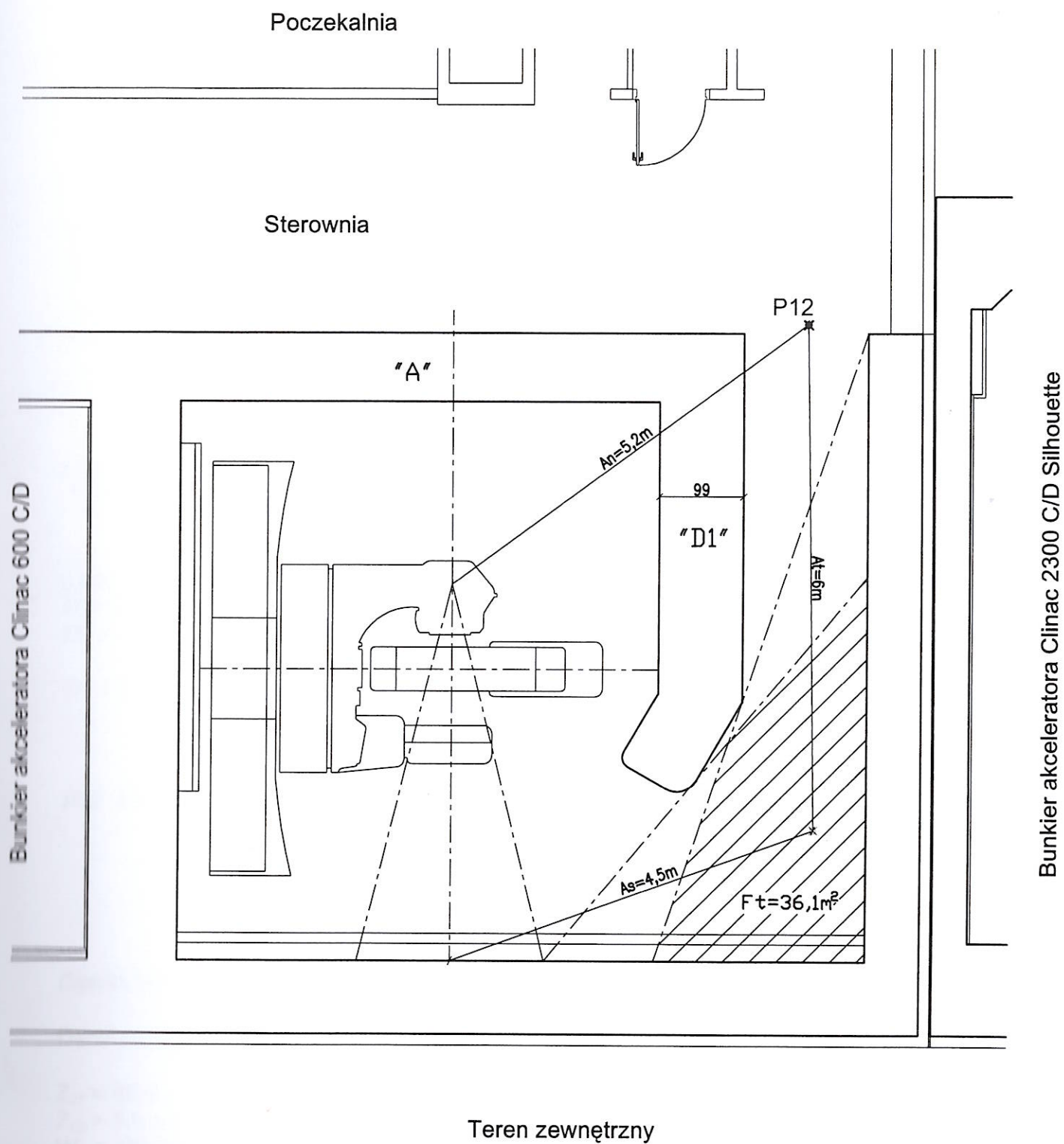
$$W_A = 360000 \text{ mGy/h}$$

$$T = 1$$

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika

Łódź ul. Paderewskiego 4



Rysunek 5 - Rzut bunkra

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_s = 4,9 \text{ m}$$

$$F_t = 18,7 \text{ m}^2$$

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

$$SP_b = 3,5 \text{ cm}$$

$$D_2' = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times \left( 10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,9^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{18,7}{7,1^2}}{10^{\frac{3,5}{1,5}}} = 0,0039 \text{ mSv / tydz}$$

Limit użytkowy dawki

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

$$D_1' + D_2' = 0,041 + 0,0039 = 0,045 \text{ mSv/tydz.}$$

$$D_1' + D_2' < D$$

*Pkt. P12 Za drzwiami - sprawdzenie na promieniowanie uboczne i promieniowanie pierwotne dwukrotnie rozproszone (wiązka skierowana na ścianę) (rys. 5).*

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

*Dawka od promieniowania ubocznego.*

Dane do obliczeń:

$$Z_{r1} = 42,9 \text{ cm}$$

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

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika  
Łódź ul. Paderewskiego 4



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

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

$$q = 1$$

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

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

$$A_n = 5,2 \text{ m}$$

$$s_{D1'} = 99 \text{ cm}$$

$$s_{D1''} = 123 \text{ cm}$$

$$s_{D1'''} = 108 \text{ cm}$$

$$s_{Pb} = 3,5 \text{ cm}$$

- grubość ściany „D<sub>1</sub>” w kierunku prostopadłym
- grubość ściany „D<sub>1</sub>” w kierunku promieniowania
- grubość ściany „D<sub>1</sub>” przyjęta do obliczeń

$$D_1' = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,2^2}}{10^{\left(\frac{108}{47} + \frac{3,5}{5,6}\right)}} = 0,0716 \text{ mSv / tydz}$$

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

Dane do obliczeń

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

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

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 1$$

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

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

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

$$F_t = 36,1 \text{ m}^2$$

$$A_t = 6 \text{ m}$$

$$s_{Pb} = 3,5 \text{ cm}$$

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$D_2' = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times \left( 10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,5^2} + 10^{-6} \right) \times \frac{36,1}{6^2}}{10^{\frac{3,5}{1,5}}} = 0,0113 \text{ mSv / tydz}$$

Limit użytkowy dawki

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

$D_1' + D_2' = 0,0716 + 0,0113 = 0,083 \text{ mSv/tydz.}$

$D_1' + D_2' < D$

Pkt. P12 Drzwi labiryntu - sprawdzenie na promieniowanie neutronowe  
*jednokrotnie rozproszone.*

Obliczenie wg normy DIN 6847 część 2.

Dane do obliczeń:

$Z_g = 8 \text{ cm}$

wg tabeli 3 - DIN 68847 część 2, dla rozproszonego  
promieniowania neutronowego, dla parafiny

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

$T = 1$

$U = 1$

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

$q = 10$

współczynnik jakości dla rozproszonego promieniowania  
neutronowego zgodny z pkt. 7.3 Normy DIN 6847

$\frac{D_n'}{D_r} = 2 \times 10^{-3}$  wartość podana przez firmę Varian

$A_0 = 1 \text{ m}$

$A_g = f + l = 11,2 \text{ m.}$

$\frac{b}{l} = 0,27$

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

$$S_g = 8 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 10 \times 0,1 \times 2 \times 10^{-3} \times \frac{1}{11,2} \times 0,27}{0,12} = 22,5 \text{ cm}$$

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**  
**Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika**  
Łódź ul. Paderewskiego 4

Proponowana grubość parafiny w drzwiach osłonowych wynosi  $g_p = 22,5 \text{ cm}$ .

### 6.2.4 Przeliczenie osłonności wybranych punktów na promieniowanie neutronowe.

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

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

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

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 2 \times 10^{-3} \quad \text{wartość podana przez firmę Varian}$$

*Promieniowanie bezpośrednie*

*Pkt. P1 Sterownia*

*(rys 2).*

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

Dane do obliczeń

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

$$Z_{D2} = 16 \text{ cm} \quad - \text{wartości } Z_D \text{ wg tabeli 3 - DIN 68847 część 2, dla promieniowania neutronowego, dla betonów}$$

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

$$T = 1$$

$$U = 1$$

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

$$q = 10$$

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

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 2 \times 10^{-3}$$

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

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

---

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika**

Łódź ul. Paderewskiego 4



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

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

$$S = 25 + 16 \times \left( \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 4,5 \times 10 \times 2 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,3}}{0,12} - 1 \right) = 85,8 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi  $s_A = 81 \text{ cm}$  betonu zwykłego. Ściana „A” dosłonięta jest warstwą żelaza o grubości  $s_{Fe} = 38 \text{ cm}$  równoważną  $14 \text{ cm}$  betonu zwykłego. Przeliczenia dokonano wg zależności

$$S_{bz} = S_{Fe} \times \frac{Z_{Dbz}}{Z_{DFe}} = 38 \times \frac{16}{42} = 14 \text{ cm}$$

Zastępcza grubość ściany „A” wynosi  $s_{Az} = 95 \text{ cm}$  betonu zwykłego

**Ściana „A” spełni warunek osłonności.**

#### Pkt. 2 Poczekalnia

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

Dane do obliczeń

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

$Z_{D2} = 16 \text{ cm}$

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

$T = 0,25$

$U = 1$

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

$q = 10$

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

$$\frac{D_n^*}{D_r^*} = 2 \times 10^{-3} \quad \text{wartość podana przez firmę Varian}$$

$A_0 = 1 \text{ m}$

#### ZAKŁAD TELERADIOTERAPII

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika  
Łódź ul. Paderewskiego 4

## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

$$A_n = 6,9 \text{ m}$$

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

$$S = 25 + 16 \times \left( \lg \frac{360000 \times 0,25 \times 1 \times 4,5 \times 10 \times 2 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,9}}{0,006} - 1 \right) = 93,7 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A” wynosi  $s_A = 81$  cm betonu zwykłego. Ściana „A” dosłonięta jest warstwą żelaza o grubości  $s_{Fe} = 38$  cm równoważną 14 cm betonu zwykłego.

Zastępcza grubość ściany „A” wynosi  $s_{Az} = 95$  cm betonu zwykłego

**Ściana „A” spełni warunek osłonności.**

Po uruchomieniu akceleratora dokładnie pomierzyć promieniowanie neutronowe i jeśli będzie to konieczne, dosłonić ścianę „A” płytami polietylenowymi.

#### 6.3 Wyniki obliczeń osłon biologicznych dla komory akceleratora Clinac 2300 C/D

Grubości ścian i proponowane dodatkowe osłony przedstawiono w tabeli 1.

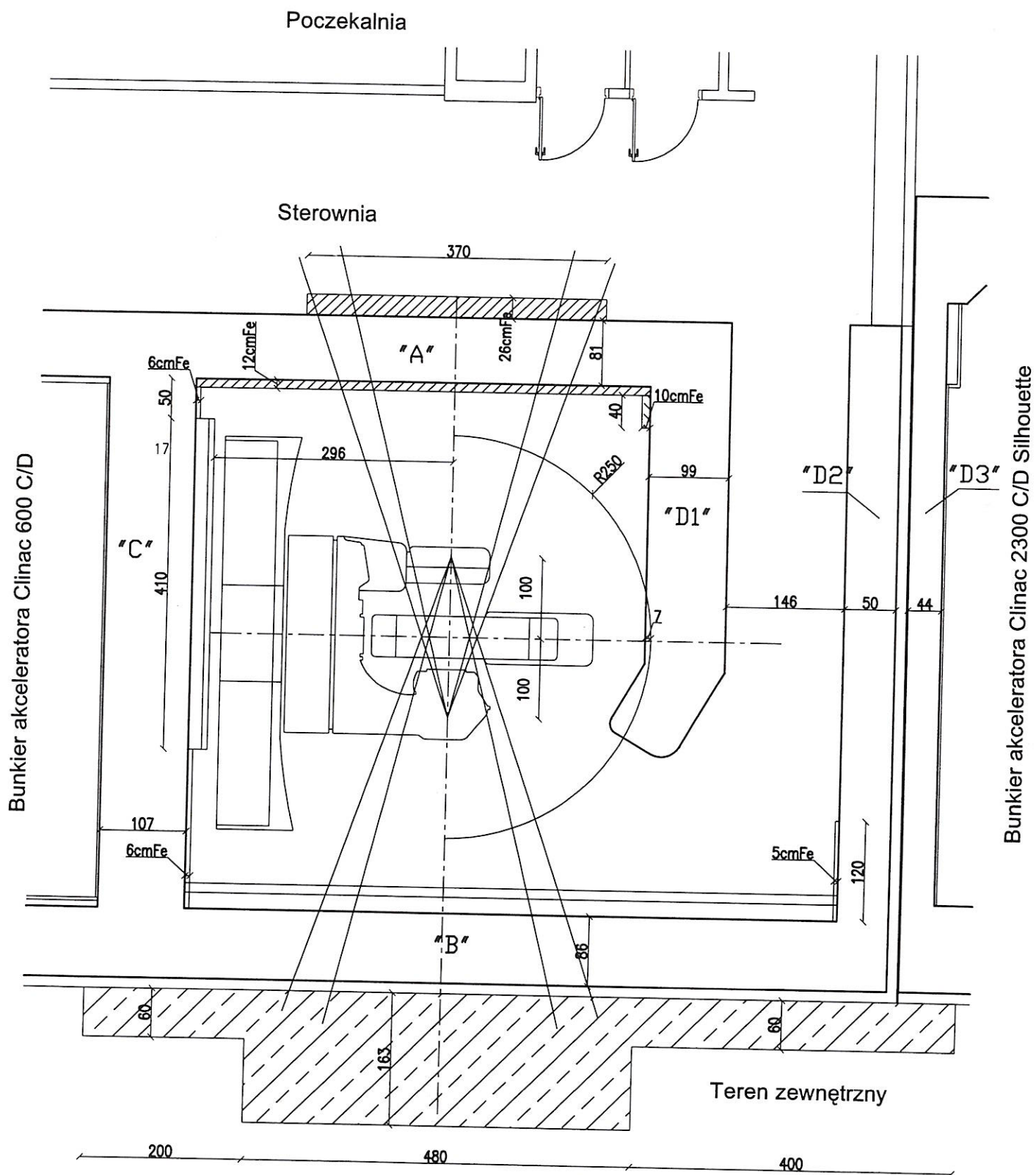
**Tabela 1**

Punkty obliczeniowe	Oznaczenia ścian	Grubość istniejących ścian	Obliczeniowa minimalna grubość osłony	Grubość osłon dodatkowych	
		Rodzaj materiału	Rodzaj materiału	Rodzaj materiału	
wg rys.	wg rys.	beton zwykły $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$	beton zwykły $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$	beton zwykły $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$	żelazo
		cm	cm	cm	cm
P1	A	81	220	---	35
P2	A	81	233	---	38

**ZAKŁAD TELERADIOTERAPII**

**Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Kopernika**

Łódź ul. Paderewskiego 4



Rysunek 6 - Rzut bunkra - osłony dodatkowe



## OCHRONA RADIOLOGICZNA

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

P2'	A	81	216	---	34
P3	B	86	234	148	---
P4	C	107	118	---	3
P5	A	81	123	---	11
P5'	A	81	116	---	8
P6	D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub>	94	105	---	3
P7	B	86	140	54	---
P8	D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub>	136	126	---	---
P9	B	86	166	148	---
P9'	B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub>	87,5	69	---	---
P10	A	81	213	---	38
P11	S	15	100,8	86	26
P12	Drzwi	3 cm Pb + 22,5 cm parafiny			

\* Wejście na dach w celach technicznych możliwe jest tylko wtedy gdy akcelerator nie pracuje i pod nadzorem inspektora ochrony radiologicznej.

## 7. Wymagania branżowe

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

Grubość barier pierwotnych i wtórnych oraz konieczność ich dosłonięcia wynika z obliczeń poszczególnych, charakterystycznych punktów, które są przedstawione na rysunkach w części obliczeniowej.

Na końcu obliczeń znajduje się zbiorcze zestawienie grubości ścian oraz rodzaj materiału, z którego są wykonane (Tabela 1).

Rysunek nr 6 zawiera wymagane dosłonięcia ścian.

Istniejące drzwi wejściowe do bunkra należy wymienić na nowe, spełniające wymagania ochrony radiologicznej, zgodnie z wynikami obliczeń.

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

### 7.2 Wentylacja

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

Ilość wymian  $\geq 8$  (z możliwością regulacji).

System musi zapewnić odpowiednią temperaturę oraz wilgotność powietrza w bunkrze:

Temperatura pomieszczeń	22° ÷ 25°C dzień
	18°C noc
Wilgotność	40 ÷ 70%

System musi zapewnić wydzielanie mocy cieplnej.

Wykładzina podłogowa	z materiału antyelektrostatycznego (wymagane odprowadzenie ładunków)
----------------------	-------------------------------------------------------------------------

Dodatkowo należy uwzględnić wydatki ciepła z urządzeń elektrycznych aparatu w bunkrze oraz urządzeń w sterowni.

### 7.3 Opis instalacji wodno - kanalizacyjnej

Akcelerator zostanie wyposażony w system zamkniętego zewnętrznego obiegu chłodzenia, tzn. „water chiller”, który zostanie umieszczony w piwnicy.

Doprowadzenie i odprowadzenie wody chłodzącej będzie wykonane przez przepusty poprowadzone w ścianach bunkra.

W obiegu zamkniętym krąży woda, która nie jest aktywowana i zanieczyszczona.

### 7.4 Opis instalacji elektrycznej

Aparat będzie zasilany osobnym kablem z rozdzielni n.n.

Oświetlenie będzie wyposażone w systemy:

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



---

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

Zasilanie akceleratora systemem linii pięcioprzewodowej (R, S, T, O, ziemia) z wyłącznikami różnicowo-prądowymi. Urządzenia towarzyszące także będą posiadały wyłączniki różnicowo-prądowe.

System uziemienia oraz wyłączniki różnicowo-prądowe gwarantują całkowite bezpieczeństwo przeciwporażeniowe pacjentów i obsługi.

#### 7.5 Opis systemu ochrony przeciw - pożarowej

Bunkier, w którym zostanie zainstalowany akcelerator wykonany jest z betonu, zaś osłony dodatkowe będą wykonane z betonu lub ze stali.

Drzwi prowadzące do bunkra wykonane są ze stali z dodatkową osłoną z ołowiu i parafiny.

Sposób wykonania i dobór materiałów są podyktowane ochroną przed promieniowaniem jonizującym, a nie z racji występującego zagrożenia ogniowego. W bunkrze będą użyte elementy budowlane o odporności ogniowej klasy A. Dla obiektu szpitalnego powinien zostać przyjęty jednolity system zabezpieczenia i sygnalizacji pożarowej (czujniki dymu i przyciski alarmowe).

#### 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



---

### BUNKIER AKCELERATORA CLINAC 2300 C/D - SILHOUETTE

---

(EMERGENCY OFF), podwójny system obserwacji TV, system interfoni bunkier - sterownia, zgodnie z założeniami producenta aparatu i użytkownika.

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

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

Wyłączniki są koloru czerwonego: przycisk wystający, grzybkowy.

Odblokowanie wyłącznika może nastąpić tylko ręcznie przez osoby uprawnione, po uprzednim sprawdzeniu i usunięciu stanu zagrożenia (przyczyny wyłączenia awaryjnego).

Bunkier powinien zostać wyposażony w system interfonii / interwizji.

Tor telewizji służy operatorowi do obserwacji pacjenta i ruchu personelu.

Składa się on z jednej / dwóch sztuk kamer video oraz jednego / dwóch monitorów.

Kamery umiejscowione są w bunkrze w taki sposób, aby chory (jego głowa) był widoczny przy każdym położeniu głowy 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.
- 6) La Riviere P. Transmission in concrete of primary and leakage Xrays from a 24-MV medical linear accelerator – Health Physics Vol 47 No 6, 1984.
- 7) Szymandera L. i inni Wpływ odchyłeń gęstości betonu na jego efektywność osłonową. Raport Nr INR 1563/IX/PR/B – IJB – Świerk, Warszawa, 1975r.
- 11) Ablewicz Z., Jóźwiak B. Budownictwo w technice jądrowej. Arkady, Warszawa, 1978r.
- 12) Ablewicz Z., Dubrowski W.B. Osłony przed promieniowaniem jonizującym, Arkady, Warszawa, 1986r.