5.5 h/tyd.
8x17

CLINAC - N

PROJEKT TECHNICZNY
W ZAKRESIE OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
adaptacji bunkra pod kątem instalacji nisokoenergetycznego akceleratora Clinac 600 C/D (obliczenia osłon biologicznych)

Dolnośląskie Centrum Onkologii we Wrocławiu

WROCŁAW
Pl. Hirszfelda 12

Autorzy:
Mgr inż.Irena Kolczak-El Korbi
mgr inż. Jan Kopeć
mgr inż. Ludwik Kotulski

Warszawa, lipiec 2004 r.

SPIS TREŚCI

Strona

I. CZĘŚĆ WSTĘPNA

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

II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA

1. Opis lokalizacji bunkra z uwzględnieniem obiektów sąsiednich 5

2. Parametry techniczne aparatu 5

3. Ustawienie aparatu 6

4. Dokumentacja techniczno-ruchowa aparatu przyjętego do obliczeń 7

4.1 Parametry wyjściowe – rodzaje stosowanych terapii 7
4.2 Dane techniczne akceleratora Clinac 600 C/D 7
4.2.1 Zasilanie elektryczne 7
4.2.2 System chłodzenia aparatu 8
4.2.3 Promieniowanie uboczne (photon leakage radiation) 8
4.2.4 Budowa urządzenia 9
4.2.5 Uruchomienie i eksploatacja 10

5. Założenia do projektu istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej 11

5.1 Przyjęte do obliczeń dawki promieniowania dla osób przebywających w pobliżu 11
5.2 Czas pracy urządzeń 12
5.3 Kierunki padania promieniowania jonizującego 12
5.4 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu 13
5.5 Materiały stosowane na osłony 13

6. Obliczenia 13

6.1 Wzór wyjściowy 13
6.1.1 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim bezpośrednim 14

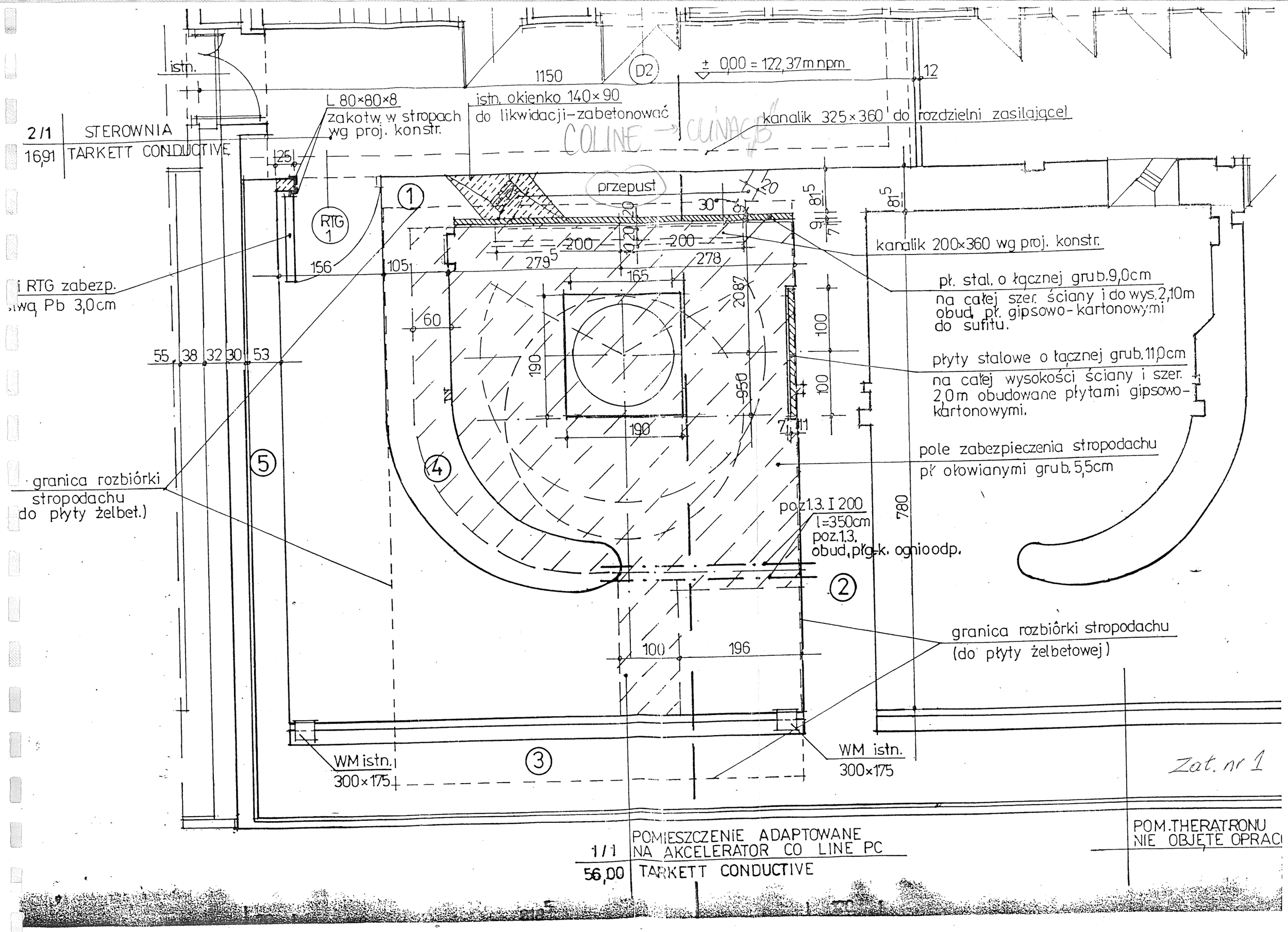
6.1.2 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim ubocznym 15
6.1.3 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim jednokrotnie rozproszonym 15
6.1.4 Osłony chroniące przed promieniowaniem rentgenowskim dwukrotnie rozproszonym 16

6.2 Obliczenia osłon biologicznych komory dla akceleratora Clinac 600C/D 16
6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń 16
6.2.2 Ustalenie maksymalnego programu napromieniania 17
6.2.3 Ogólny układ komory 17
6.2.4 Obliczenia grubości osłon w miejscach określonych na rys. 2, 3 i 4 17
6.2.5 Sprawdzenie wielkości dawek w wybranych punktach, przy założeniu jednoczesnej pracy akceleratorów Co-Line i Clinac 600C/D 30
6.2.6 Wyniki obliczeń osłon biologicznych 33

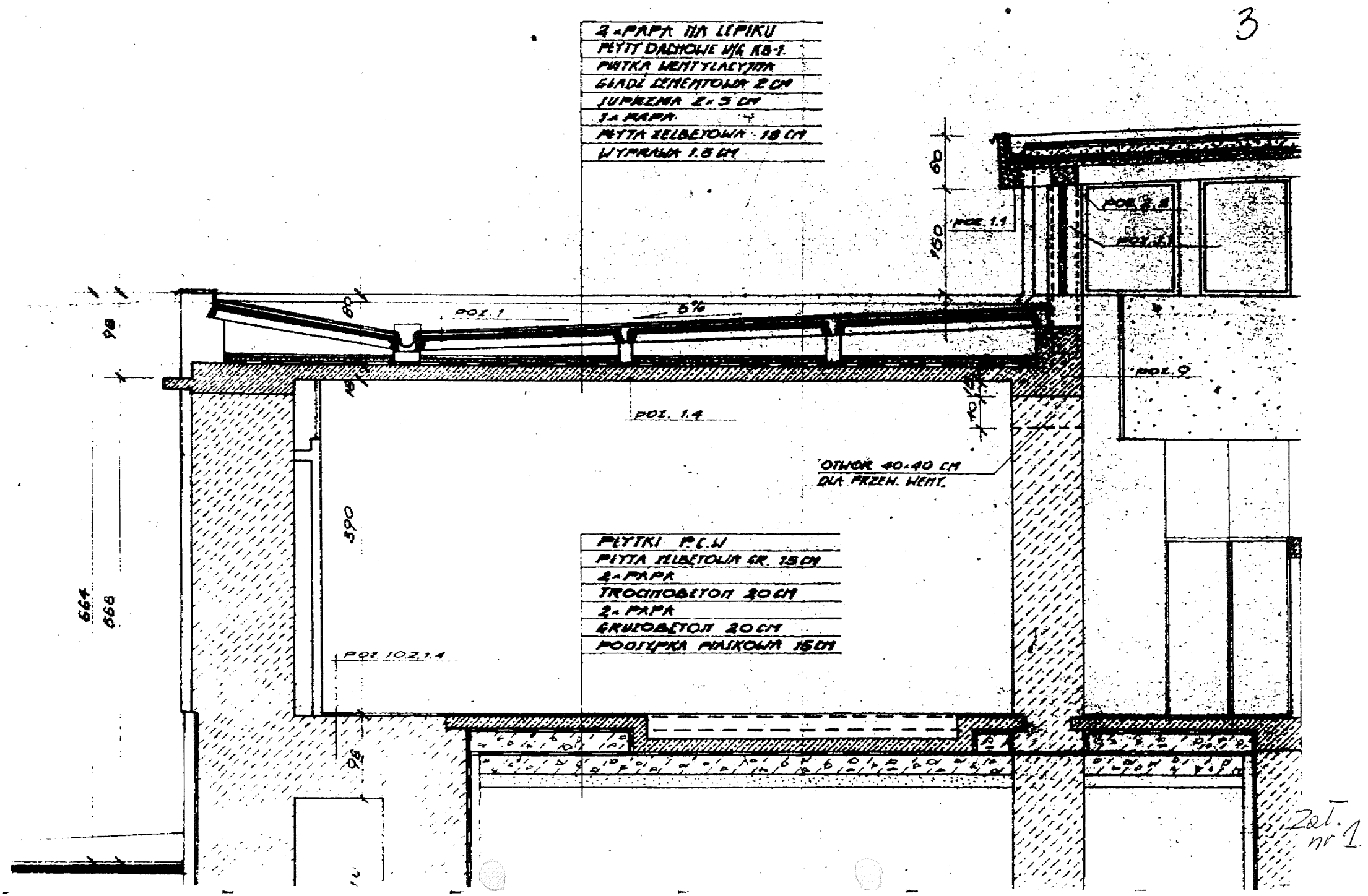
7. Wymagania branżowe 34

7.1 Opis osłon (ściany, sufit, podłoga, przepusty instalacyjne, drzwi ochronne) 34
7.2 Wentylacja 34
7.3 Opis instalacji wodno-kanalizacyjnej 35
7.4 Opis instalacji elektrycznej 35
7.5 Opis systemu ochrony przeciw - pożarowej 35
7.6 Wyposażenie bunkra dla potrzeb ochrony radiologicznej 36
7.7 Bezpieczna eksploatacja 36
7.8 System sygnalizacyjno - ostrzegawczy 36

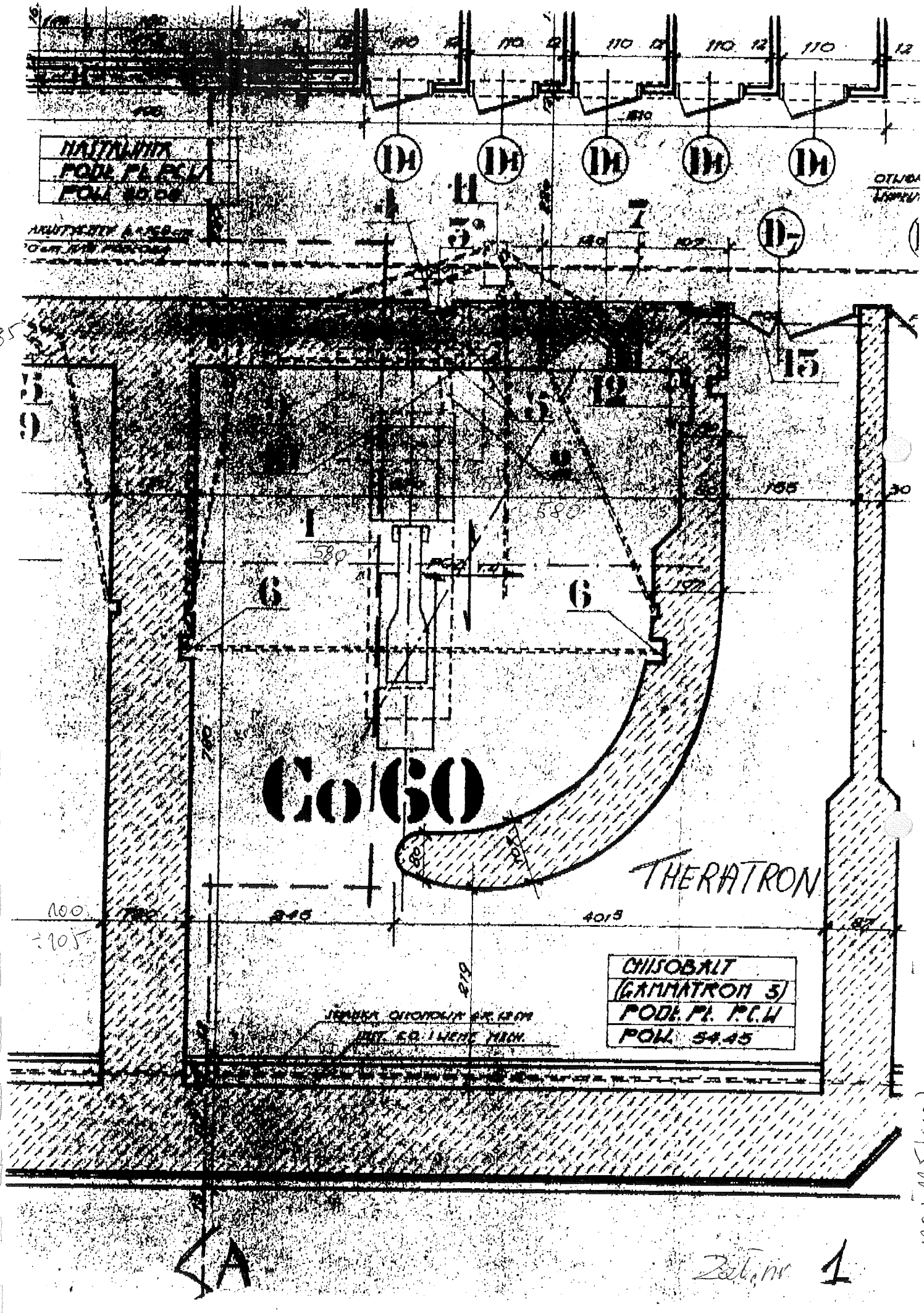
8. Bibliografia 38



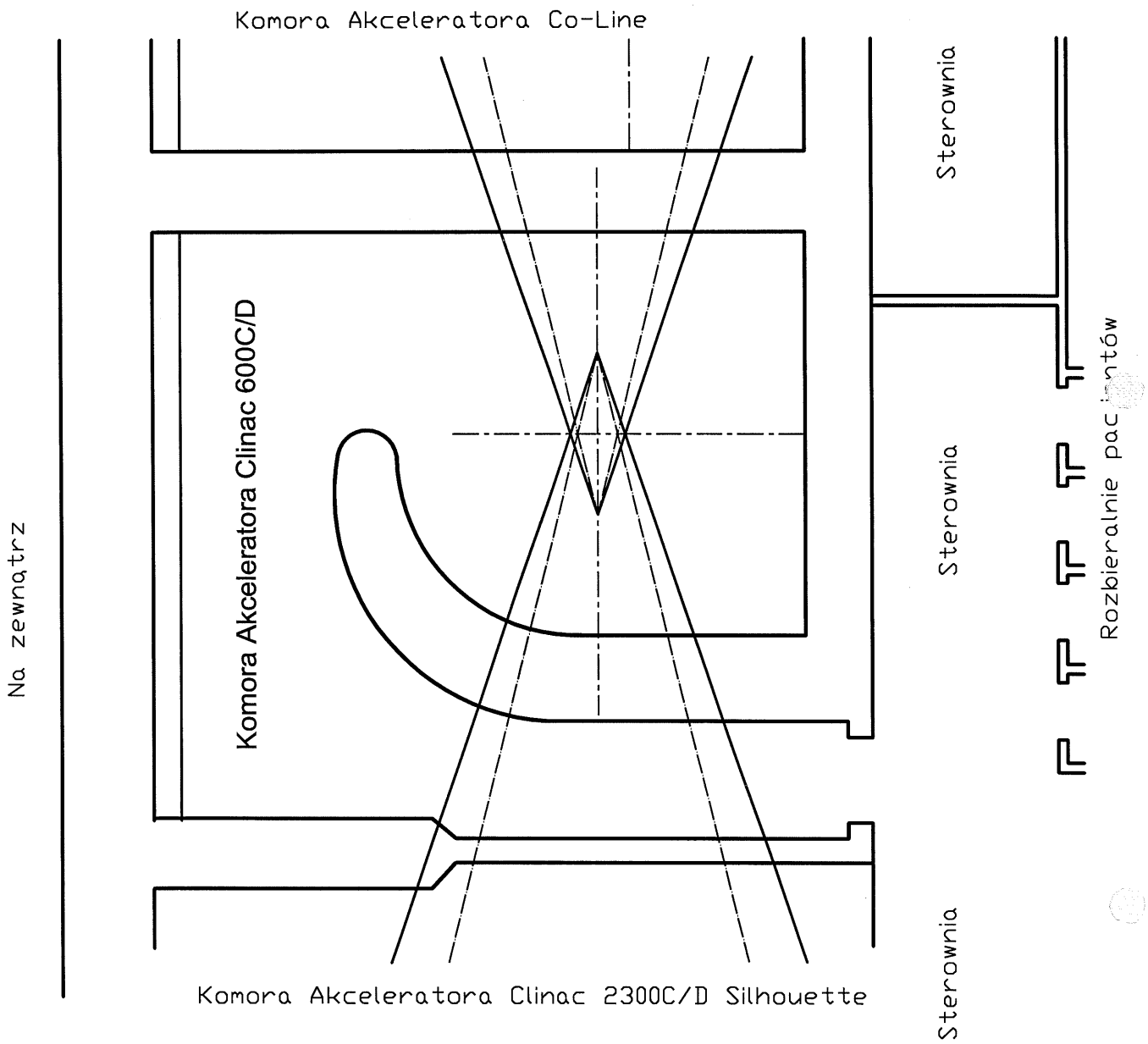
istn.
1150
D2
± 0,00 = 122,37m npm
12
L 80×80×8
zakotw. w stropach
wg proj. konstr.
istn. okienko 140×90
do likwidacji-zabetonować
kanalik 325×360 do rozdzielni zasilającej
2/1 STEROWNIA
16,91 TARKETT CONDUCTIVE
25
RTG 1
przepust
30
20
81,5
9
7
200
200
279,5
278
156
105
165
2087
60
100
100
190
950
190
7
11
55 38 32 30 53
kanalik 200×360 wg proj. konstr.
pł. stal. o łącznej grub. 9,0cm
na całej szer. ściany i do wys. 2,10m
obud. pł. gipsowo-kartonowymi
do sufitu.
płyty stalowe o łącznej grub. 11,0cm
na całej wysokości ściany i szer.
2,0m obudowane płytami gipsowo-
kartonowymi.
pole zabezpieczenia stropodachu
pł ołowianymi grub. 5,5cm
granica rozbiórki
stropodachu
do płyty żelbet.)
poz.1.3. I 200
l=350cm
poz.1.3.
obud. płg-k. ognioodp.
780
granica rozbiórki stropodachu
(do płyty żelbetowej)
100
196
WM istn.
300×175
WM istn.
300×175
Zat. nr 1
1/1 POMIESZCZENIE ADAPTOWANE
NA AKCELERATOR CO LINE PC
56,00 TARKETT CONDUCTIVE
POM. THERATRONU
NIE OBJĘTE OPRAC


2 - PAPA NA LEPIKU
PŁYTY DACHOWE WG KB-1
PAKTA WENTYLACYJNA
GŁADŹ CEMENTOWA 2 CM
JUPREMA 2 - 3 CM
1 - PAPA
PŁYTA ŻELBETOWA 18 CM
WYPRAWA 1.5 CM
60
150
POZ. 1.1
POZ. 2.5
POZ. 2.1
POZ. 1
5%
POZ. 9
POZ. 1.4
OTWÓR 40-40 CM
DLA PRZEW. WENT.
PŁYTKI P.C.W
PŁYTA ŻELBETOWA GR. 18 CM
2 - PAPA
TROCINOBETON 20 CM
2 - PAPA
GRUZOBETON 20 CM
PODSYPKA PIASKOWA 15 CM
POZ. 10.2.1.1
664
668
590

Zał. nr 1



Co 60
THERATRON
CHISOBALT
(GAMMATRON 5)
PODŁ. PŁ. P.C.W
POW. 54.45



Rysunek nr 1 - Lokalizacja bunkra

I. CZĘŚĆ WSTĘPNA

A - Przedmiot opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest projekt techniczny w zakresie ochrony radiologicznej adaptacji bunkra w Dolnośląskim Centrum Onkologii we Wrocławiu. Adaptacja zostanie zaprojektowana pod kątem instalacji nisokoenergetycznego akceleratora liniowego Clinac 600C/D, firmy Varian, o następujących parametrach:

- energia promieniowania X — max. 6 MV
- moc dawki promieniowania X — max. 6 Gy/min (600 MU/min)

Akcelerator ten zostanie zainstalowany w istniejącym bunkrze, zaprojektowanym dla bomby kobaltowej.

Rzut poziomy bunkra przedstawia rys. nr 1.

Celem opracowania jest obliczenie grubości osłon stałych umożliwiających instalację aparatu.

Przy obliczeniach zakłada się, że przestrzegane są zasady zawarte w normie IEC (Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej) 60601–2–1: Particular requirements for safety of electron accelerators in the range 1 Mev to 50 MeV..

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

B - Podstawa opracowania

Podstawą opracowania są:
- Plan architektoniczny bunkra (Zał. Nr 1).
- Wymagania instalacyjne dla akceleratora Clinac 600C/D, firmy Varian.

C - Przepisy prawne

- Ustawa Prawo Atomowe z dn. 29.11.2000r. - Dz.U. Nr 31 z 2001r, poz. 18, z późniejszymi zmianami.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28.05.2002 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego - Dz.U. Nr 111.
- Rozporządzenie ~~Prezesa~~ Rady Ministrów z dn. 17 grudnia 2002r w sprawie szczegółowych warunków pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, Dz. U. Nr 239. poz. 2029, Rozdział 2, § 5, pkt. 4,
- Norma PN-86/J-80001 – Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i Gamma, obliczanie osłon stałych.
- Norma DIN-6847 teil 2: Medizinische elektronenbeschleuniger – anlangen strahlenschutzreglen fur die errichtung.

II. CZĘŚĆ MERYTORYCZNA

1. Opis lokalizacji bunkra z uwzględnieniem obiektów sąsiednich

Zgodnie z dostarczonymi materiałami (załącznik nr 1) adaptowany dla celów instalacji nowego akceleratora bunkier zaprojektowany i wykonany został dla bomby kobaltowej. Mieści się w budynku parterowym, podpiwniczonym w obszarze sterowni, gdzie znajduje się wentylatornia. Przestrzeń pod bunkrem jest niedostępna.

Do omawianego bunkra przylegają bezpośrednio:
- bunkier akceleratora Clinac 2300C/D Silhouette,
- bunkier akceleratora Co-line,
- sterownia i teren zewnętrzny.

W dalszej odległości znajduje się korytarz, który przylega do sterowni oraz rozbieralnie dla pacjentów.
W poszczególnych pomieszczeniach przebywają:
- sterownia – osoby narażone zawodowo;
- bunkry – osoby narażone zawodowo;
- teren zewnętrzny – osoby z populacji, krótki okres przebywania;
- korytarz – osoby z populacji, krótki okres przebywania;
- rozbieralnie dla pacjentów – osoby z populacji, krótki okres przebywania
-

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.

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

Akcelerator nisokoenergetyczny Clinac 600 C/D, firmy Varian, (mocowany w stropie podłogi).

Energia promieniowania X	max. 6 MV
Odległość SAD (źródło – izocentrum)	100 cm
Kąt kolimatora wstępnego	28°
Moc dawki promieniowania X w odległości SAD	max 6 Gy/min (600MU/min)
Pole napromieniania w odległości SAD (promieniowanie X)	max.40 x 40 cm
Wysokość izocentrum nad poziomem wykończonej podłogi	128,5 cm
Zakres obrotu ramienia akceleratora	360°
Obrót kolimatora wokół osi wiązki	± 165°
Odległość ściana – izocentrum, mierzona wzdłuż osi akceleratora	240 cm
Przecieki promieniowania	$1x10^{-3}$ dawki w izocentrum

3. Ustawienie aparatu

Geometria ustawienia izocentrum, punkty wyjścia wiązki, kierunki padania i kąty rozbieżności wiązki, są przedstawione na rysunkach 2 i 3.

4. Dokumentacja techniczno – ruchowa aparatu przyjętego do obliczeń

Wstęp

Akcelerator Clinac 600 C/D 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. 6 MV
- moc dawki w izocentrum	do 600 MU/min
- max. pole napromieniania w odległości TAD=100 cm	40 cm x 40 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 600 C/D

4.2.1 Zasilanie elektryczne

Sieć	220V, 3×380V ±5%, 50Hz, kabel pięciożyłowy,
Obciążenie:	max. 15 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. 1 kW w trybie "standby",
- ok. 1 kW w trybie gotowości,
- ok. 7 kW w stanie promieniowania.

Ciepło wydzielane m.in. w strukturze przyśpieszającej, targecie, 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

4.2.4 Budowa urządzenia

Opis ogólny

Przyjęty do obliczeń wysokoenergetyczny akcelerator Clinac 600 C/D, 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 wnęce 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

Niskoenergetyczny, liniowy akcelerator elektronów Clinac 600 C/D, wytwarzający wiązkę promieniowania X o energii 6MV, jest zasilany mocą wysokiej częstotliwości z magnetronu, pracującego w paśmie S na częstotliwości około 3 GHz.
Twarde promieniowanie X (fotony) wytwarzane jest w wyniku hamowania przyspieszanych elektronów na tarczy wolframowej (target).
Elektrony wytworzone przez działo i przyspieszone w krótkiej, ustawionej pionowo, strukturze akceleracyjnej, uderzają w targret w celu wytworzenia wiązki promieniowania X, która po uformowaniu przez kolimator wstępny przechodzi przez filtr spłaszczający, by uzyskać tz. płaską wiązkę.
Poniżej filtra znajdują się dwie komory jonizacyjne, które monitorują dawkę. Monitorowanie polega na mierzeniu symetrii i homogeniczności wiązki przez dwa niezależne kanały pomiarowe. One też w sposób automatyczny centrują wiązkę i kontrolują wielkość dawki. Licznik czasu pracy z wiązką jest dodatkowym układem zabezpieczającym pacjenta.
Kolimator wstępny i obrotowy oraz jego ruchome szczęki pozwalają na dokładne zdefiniowanie pola napromieniania (pola regularne). Kolimator wielolistkowy (MLC), pozwala uzyskać pola nieregularne.
Do płyty znajdującej się pod kolimatorem możliwe jest mocowanie półki akcesoriów, umożliwiających dodatkowe kształtowanie pola.

Układ sterowania

Pomieszczenie terapeutyczne

Z punktu widzenia sterowania znajdują się w nim:

- Ręczna kaseta 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.

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 osiągów 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.
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 pracujących i przebywających w pobliżu

Zgodnie z Zarządzeniem Prezesa PAA z dnia 28.05.2002 r. dawka graniczna dla osób narażonych zawodowo wynosi 0,40 mSv/tydz. (400μSv/tydz.), zaś dla osób z populacji wynosi 0,02 mSv /tydz. (20μSv/tydz.).

Przy takich założeniach, przy czasie emisji promieniowania, o energii 6MV i mocy dawki 600Mu/min, wynoszącym 5,5h/tydz. (podczas jednej zmiany), dawka chwilowa wyniesie:

- osoby narażone zawodowo 72,7 μSv/godz.
- ludność i osoby przebywające w pobliżu (korytarz, rozbieralnie) 2,42μSv/godz..

Do obliczeń przyjęto:
a) dawka graniczna dla osób narażonych zawodowo:
0,30 mSv/tydz. (pesymizując)
b) dawka graniczna dla ludności i osób przebywających w pobliżu.
0,02 mSv /tydz.

Zestawienie dawek granicznych przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Zestawienie dawek granicznych

Źródło informacji:	Narażenie zawodowe osób:	Osoby z ludności:
Zarządzenie Prezesa PAA z dnia 28.05.2002 r.	0,4 mSv/tydz. 40 m rem/tydz.	0,02 mSv/tydz. 2 m rem/tydz.
Raport ICRP - 60	0,4 mSv/tydz. 40 m rem/tydz.	0,02 mSv/tydz. 2 m rem/tydz.
Raport NCRP - 49	1 mSv/tydz. 100 m rem/tydz.	0,1 mSv/tydz. 10 m rem/tydz.
Norma DIN 6847/2	**Kat. A.** 1 mSv/tydz. 100 m rem/tydz. **Kat. B.** 0,3 mSv/tydz. 30 m rem/tydz.	Pracownicy Zakładu: 0,1 mSv/tydz. 10 m rem/tydz. Ludność: 0,03 mSv/tydz. 3 m rem/tydz.
Przyjęto do obliczeń (pesymizując)		0,02 mSv/tydz. 2 mrem/tydz.

Uwaga: 1 tydzień = 40 h.

5.2 Czas pracy urządzeń

Zostanie określony przy obliczeniach każdego bunkra, w zależności od rodzaju instalowanego urządzenia i charakteru jego pracy.

5.3 Kierunki padania promieniowania jonizującego

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

5.4 Ruch ludzi w obiekcie i otoczeniu

Pomieszczenia przyległe do bunkra przedstawia rysunek nr 1.
Opis lokalizacji bunkra z uwzględnieniem obiektów sąsiednich i czasu przebywania osób, został przedstawiony w rozdziale 1.
Dodatkowo, każdy liczony punkt zawiera opis lokalizacji.
Wartości współczynników U i T przyjęte do obliczeń zostały określone zgodnie z PN-86/J-80001.

5.5 Materiały stosowane na osłony

Do obliczeń osłonności przyjęto następujące materiały osłonowe (uwzględniając energię 6 MV), zgodnie z DIN 6847/2:

Ściany, strop:
- beton zwykły, żwirowy $\rho = 2{,}3\ g/cm^3$, $Z_r = TVL = t\ 1/10 = 32{,}4\ cm$
- stal $\rho = 7{,}85\ g/cm^3$, $Z_r = TVL = t\ 1/10 = 9{,}8\ cm$

Drzwi:
- ołów $\rho = 11{,}3\ g/cm^3$, $Z_r = TVL = t\ 1/10 = 5{,}4\ cm$

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:

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

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=lm 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:

$$t_0 = t_{ei} \times i \times i_d \qquad \text{...(2)}$$

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.].

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:

$$K_r = \frac{A_0^2}{A_n^2} \qquad \text{...(3)}$$

gdzie:

$A_0 = 1$ m

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

6.1.2 Osłony chroniące przed promieniowaniem 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:

$$K_0 = \frac{D_0^*}{D_r^*} \qquad \text{...(4)}$$

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:

$$K_s = 10^{-2} \times k \times \frac{F_n}{A_s^2} \qquad \text{...(5)}$$

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.

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

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.

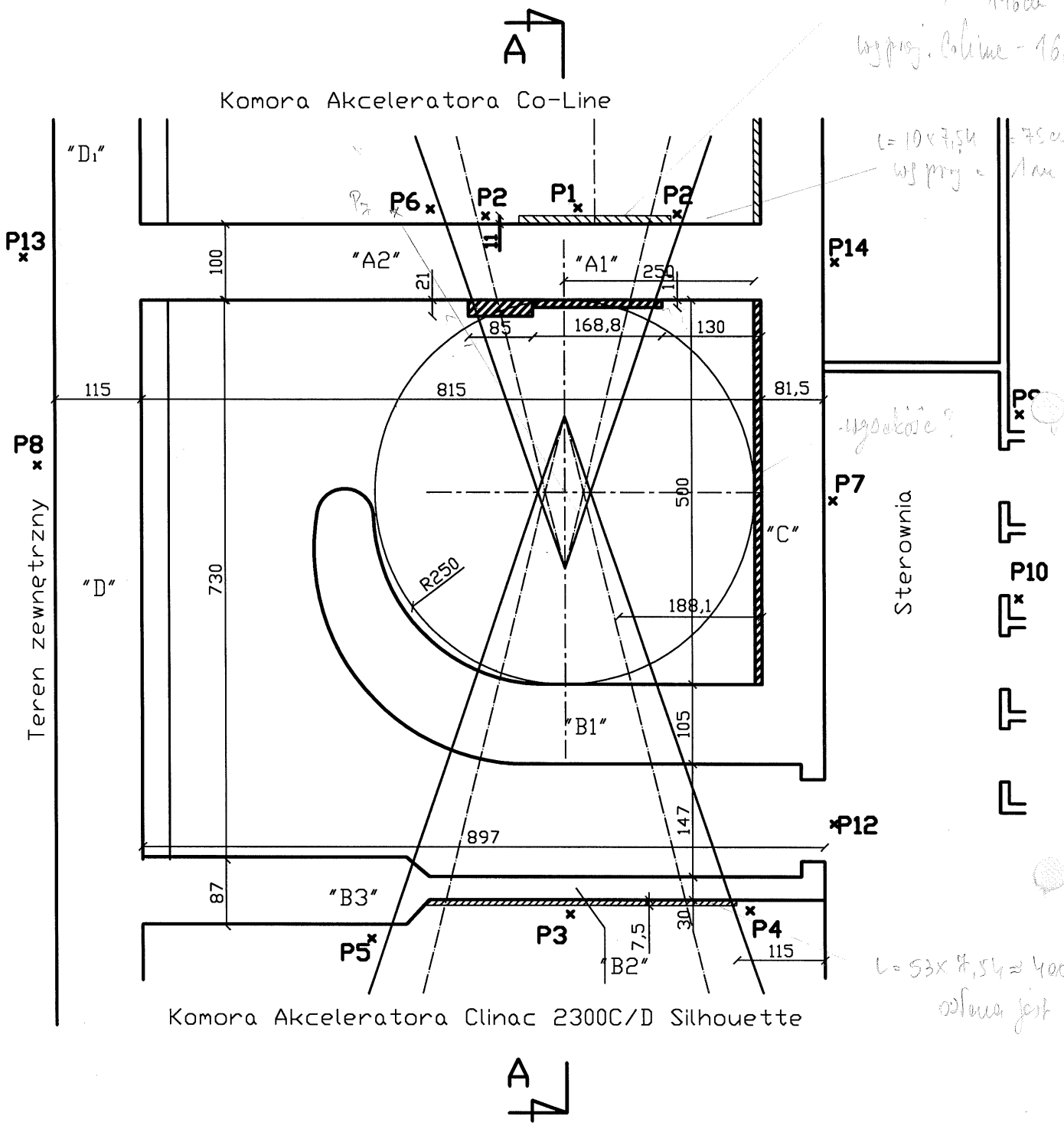
A_t - odległość między miejscem, które ma być chronione, a środkiem powierzchni F_t

6.2 Obliczenia osłon biologicznych komory dla akceleratora Clinac 600C/D

Bunkier został zaprojektowany dla aparatu kobaltowego Theratron 780C, zgodnie z rozdziałami 2 i 3 niniejszego opracowania. Celem zapewnienia uniwersalności pomieszczenia pod kątem przyszłej instalacji, grubość ścian zostanie określona dla najbardziej niekorzystnej geometrii ustawienia izocentrum i uwzględnienia parametrów podanych poniżej.

6.2.1 Parametry techniczne akceleratora przyjęte do obliczeń

Rodzaj promieniowania	: fotony X,
Energia fotonów	: 6 MV
Target dla konwersji e/x	: wolfram



Rysunek nr 2 - rzut bunkra

Odległość SSD	: 100 cm
Moc dawki w odległości SSD	: 1000÷6000 mGy/min
Wysokość izocentrum nad podłogą	: 128,5 cm
Pole naświetlań w odległości SSD	: 40x40 cm
Średnica źródła promieniowania	: 2 mm

Zespół kolimatora zapewnia emisję wiązki promieniowania w kształcie stożka o kącie wierzchołkowym 28°.
Zespół osłon stałych zapewnia zgodność promieniowania ubocznego z normami IEC.

6.2.2 Ustalenie maksymalnego programu napromieniania

moc dawki w izocentrum	: 6000 mGy/min
czas ekspozycji	: 0,8 min
ilość ekspozycji na zmianę	: 68

t_0 dla akceleratora o mocy dawki 6 Gy/min 0,8 x 68 x 5 = 272 min/tydz = 4,5 h/tydz
Ze względu na pomiary dozymetryczne i prace serwisowe, przyjmuje się:
dla akceleratora o mocy dawki 6 Gy/min t_0 = 5,5 h/tydz

6.2.3 Ogólny układ komory

Propozycję komory dla akceleratora CLINAC 600C/D opracowano na podstawie założeń firmy Varian i przedstawiono na rys.2 i 3 .

Materiały osłonne przedstawiono w punkcie 5.5.

6.2.4 Obliczenia grubości osłon w miejscach określonych na rys.2 i 3

(moc dawki - 6000 mGy/min)

Pkt. P1 Pomieszczenie akceleratora Co-line - promieniowanie pierwotne (rys.2).

ściana „A_1" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3
dosłonięta warstwą żelaza o gęstości ρ = 7,8 g/cm^3

Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm wg rys. 1, Norma DIN 6847 cz.2 dla betonu zwykłego ρ = 2,3 g/cm^3

W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 0,5
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m

A_n = 4,6 m

D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0{,}5 \times 5{,}5 \times 1 \times \frac{1}{4{,}6^2}}{0{,}3} = 168 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A_1" wynosi s_{A1}= 100 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3 oraz dosłonięta jest warstwą 11 cm żelaza, co odpowiada 36 cm betonu zwykłego.

Brakuje około 32 cm betonu zwykłego lub 10 cm Fe.

Pkt. P2 Komora akceleratora Co-Line - promieniowanie pierwotne (rys.2)

ściana „A_1" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 0,5
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m

A_n = 4,5 m

D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0{,}5 \times 5{,}5 \times 1 \times \frac{1}{4{,}5^2}}{0{,}3} = 169 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A_1" wynosi: s_{A1}= 100 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Brakuje około 69 cm betonu zwykłego lub 21 cm Fe.

Pkt. P3 Komora akceleratora Clinac 2300C/D-Silhouette - promieniowanie pierwotne (rys.2)

ściana „B_1" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3
ściana „B_2" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Dane do obliczeń:
Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 0,5
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m

A_n = 6,4 m

D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 0{,}5 \times 5{,}5 \times 1 \times \frac{1}{6{,}4^2}}{0{,}3} = 159 \text{ cm}$$

Grubość istniejących ścian wynosi:
- „B_1" s_{B1}= 105cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3
- „B_2" s_{B2}= 30 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Sumaryczna grubość ścian wynosi 135 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Brakuje około 24 cm betonu zwykłego lub 7,5 cm Fe.

Pkt. P4 Komora akceleratora Clinac 2300C/D-Silhouette - promieniowanie uboczne (rys.2)

ściana „B_1" z betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3
ściana „B_2" z betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3

Dane do obliczeń:

$Z_r = 32{,}4$ cm
$W_A = 360000$ mGy/h
$T = 1$
$U = 1$
$t_0 = 5{,}5$ h/tydz.
$q = 1$

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

$A_0 = 1$ m
$A_n = 5{,}7$ m
$D = 0{,}3$ mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5{,}7^2}}{0{,}3} = 75 \text{ cm}$$

Grubość istniejących ścian wynosi:
- „B_1" s_{B1}= 105cm betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3
- „B_2" s_{B2}= 30 cm betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3

Sumaryczna grubość ścian wynosi 135 cm betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3 i spełnia warunek osłonności.

Pkt. P5 Komora akceleratora Clinac 2300C/D-Silhouette - promieniowanie uboczne (rys.2)

ściana „B_1" z betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3
ściana „B_3" z betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2{,}3$ g/cm^3

Dane do obliczeń:

$Z_r = 32{,}4$ cm
$W_A = 360000$ mGy/h
$T = 1$

U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m
A_n = 6 m
D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6^2}}{0{,}3} = 73 \text{ cm}$$

Grubość istniejących ścian wynosi:
- „B_1" s_{B1}= 105cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3
- „B_3" s_{B3}= 87 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Sumaryczna grubość ścian wynosi 192 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3 i spełnia warunek osłonności.

Pkt. P6 Pomieszczenie akceleratora Co-line - promieniowanie uboczne (rys.2).

ściana „A_2" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m
A_n = 3,8 m
D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{3{,}8^2}}{0{,}3} = 86 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „A_2" wynosi: s_{A2}= 100 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Ściana „A_2" spełnia warunek osłonności.

Pkt. P7 Sterownia - promieniowanie uboczne (rys.2).

ściana „C" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m
A_n = 3,4 m
D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{3{,}4^2}}{0{,}3} = 89 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C" wynosi: s_C= 81,5 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Brakuje około 7,5 cm betonu zwykłego lub 2,5 cm Fe. Ze względu na promieniowanie z kilku źródeł proponuje się zwiększyć dodatkową osłonę do 9 cm Fe co jest równoważne 30 cm betonu zwykłego.

Sprawdzenie pkt. P7 na promieniowanie uboczne i promieniowanie pierwotne jednokrotnie rozproszone, dla przyjętej grubości ściany C = 81,5 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3 oraz warstwy żelaza o grubości 9 cm.

Dawka od promieniowania ubocznego.

Dane do obliczeń:

Z_{r1} = 32,4 cm
Z_{r2} = 9,8 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m

A_n = 3,4 m

s_1 = 81,5 cm
s_2 = 9 cm

$$D_1^{'} = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{3{,}4^2}}{10^{\left(\frac{81{,}5}{32{,}4} + \frac{9}{9{,}8}\right)}} = 0{,}063 \text{ mSv/tydz.}$$

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

Zależność na dawkę *od promieniowania pierwotnego jednokrotnie rozproszonego* w miejscu osłanianym:

$$D^{'} = \frac{W_A \times T \times U \times t_0 \times K_s \times q}{10^{\frac{S}{Z_s}}} \qquad \text{.....(10)}$$

Dane do obliczeń

Z_{s1} = 16,1 cm — wg. Tabeli 2, Norma DIN 6847 cz.2 dla betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Z_{s2} = 4,8 cm — wg. Tabeli 2, Norma DIN 6847 cz.2 dla żelaza o gęstości ρ = 7,8 g/cm^3

W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

$F_n = 0,16\ m^2$
$A_s = 3,4\ m$
$s_1 = 81,5\ cm$
$s_2 = 7\ cm$

$$D_2' = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5,5 \times 10^{-2} \times \frac{0,16}{3,4^2}}{10^{\left(\frac{81,5}{16,1} + \frac{9}{4,8}\right)}} = 3 \times 10^{-5}\ \text{mSv/tydz.}$$

Dawka graniczna
D = 0,3 mSv/tydz.

$D'_1 + D'_2 = 0,063 + 0,00003 = 0,063$ mSv/tydz.
$D'_1 + D'_2 < D$

Pkt. P8 Na zewnątrz - promieniowanie uboczne (rys.2).
ściana „D" z betonu zwykłego o gęstości $\rho = 2,3\ g/cm^3$.

Dane do obliczeń:

$Z_r = 32,4\ cm$
$W_A = 360000\ mGy/h$
T = 0,1 sporadyczna konserwacja trawnika
U = 1
$t_0 = 1,5 \times 5,5 = 8,25\ h/tydz.$ zwiększony czas pracy z promieniowaniem, z uwagi na pracę dwuzmianową akceleratora
q = 1

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

$A_0 = 1\ m$
$A_n = 6,7\ m$
D = 0,02 mSv/tydz.

$$S = 32,4 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 8,25 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{6,7^2}}{0,02} = 82\ \text{cm}$$

Grubość istniejącej ściany „D" wynosi: s_D= 115 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Ściana „D" spełnia warunek osłonności.

Pkt. P9 Poczekalnia - promieniowanie uboczne (rys.2).
ściana „C" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 0,25
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m
A_n = 5,8 m
D = 0,02 mSv/tydz.

$$S = 32,4 \times \lg \frac{360000 \times 0,25 \times 1 \times 5,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,8^2}}{0,02} = 93 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „C" wynosi: s_C= 81,5 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Ściana „C" dosłonięta zgodnie z obliczeniami w punkcie P7 spełni warunek osłonności.

Sprawdzenie pkt. P9 na promieniowanie uboczne dla przyjętej grubości ściany C = 81,5 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3 oraz warstwy żelaza o grubości 9 cm.

Dane do obliczeń:

Z_{r1} = 32,4 cm
Z_{r2} = 9,8 cm
W_A = 360000 mGy/h

T = 0,25
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m

A_n = 5,8 m

s_1 = 81,5 cm
s_2 = 9 cm

$$D_1^{'} = \frac{360000 \times 0,25 \times 1 \times 5,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,8^2}}{10^{\left(\frac{81,5}{32,4}+\frac{9}{9,8}\right)}} = 0,0054 \text{ mSv/tydz.}$$

Dawka graniczna
D = 0,02 mSv/tydz.

$D'_1 < D$

Pkt. P10 Kabiny rozbieralni - promieniowanie uboczne (rys.2).

ściana „C" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

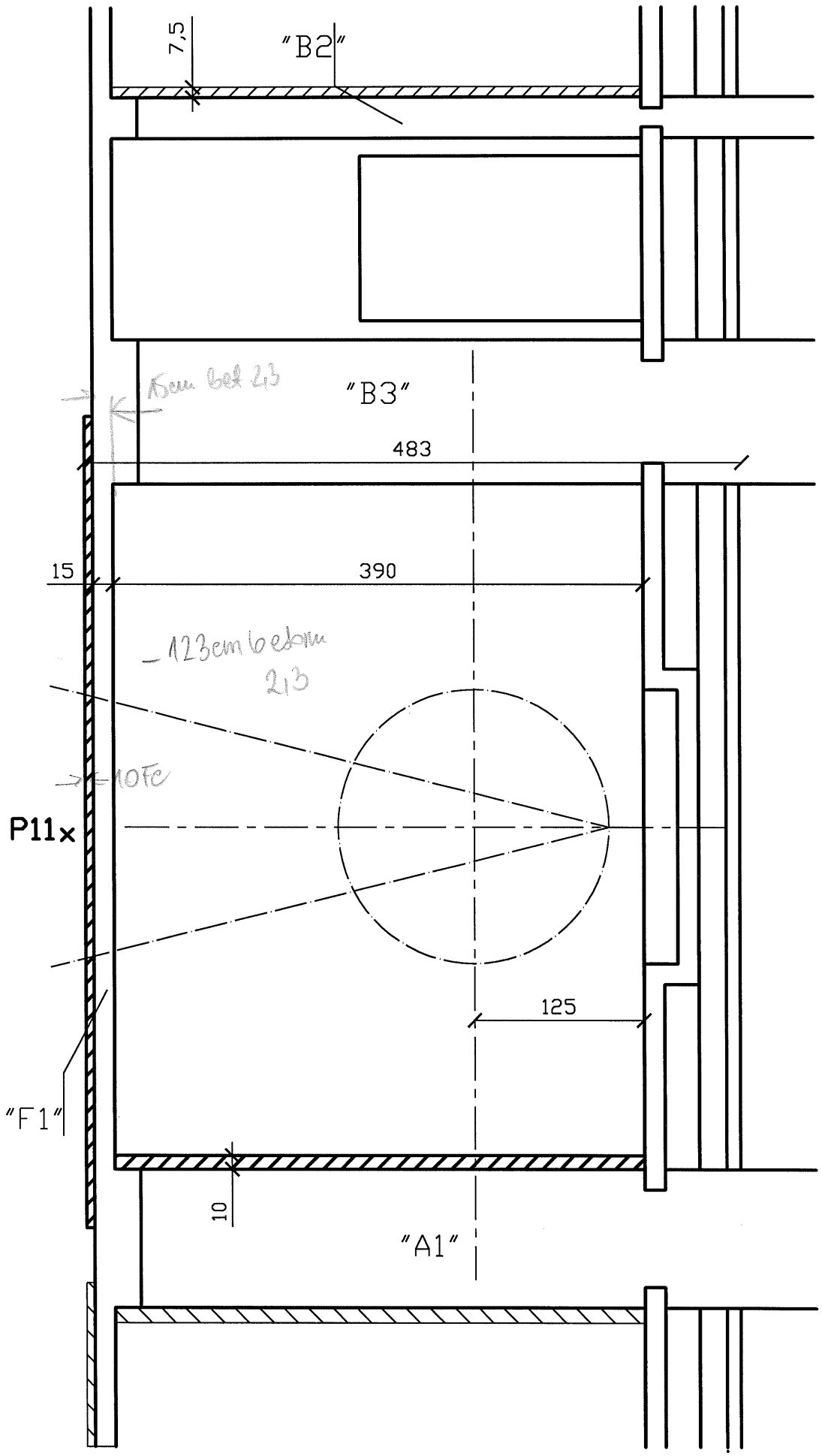
Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 0,1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

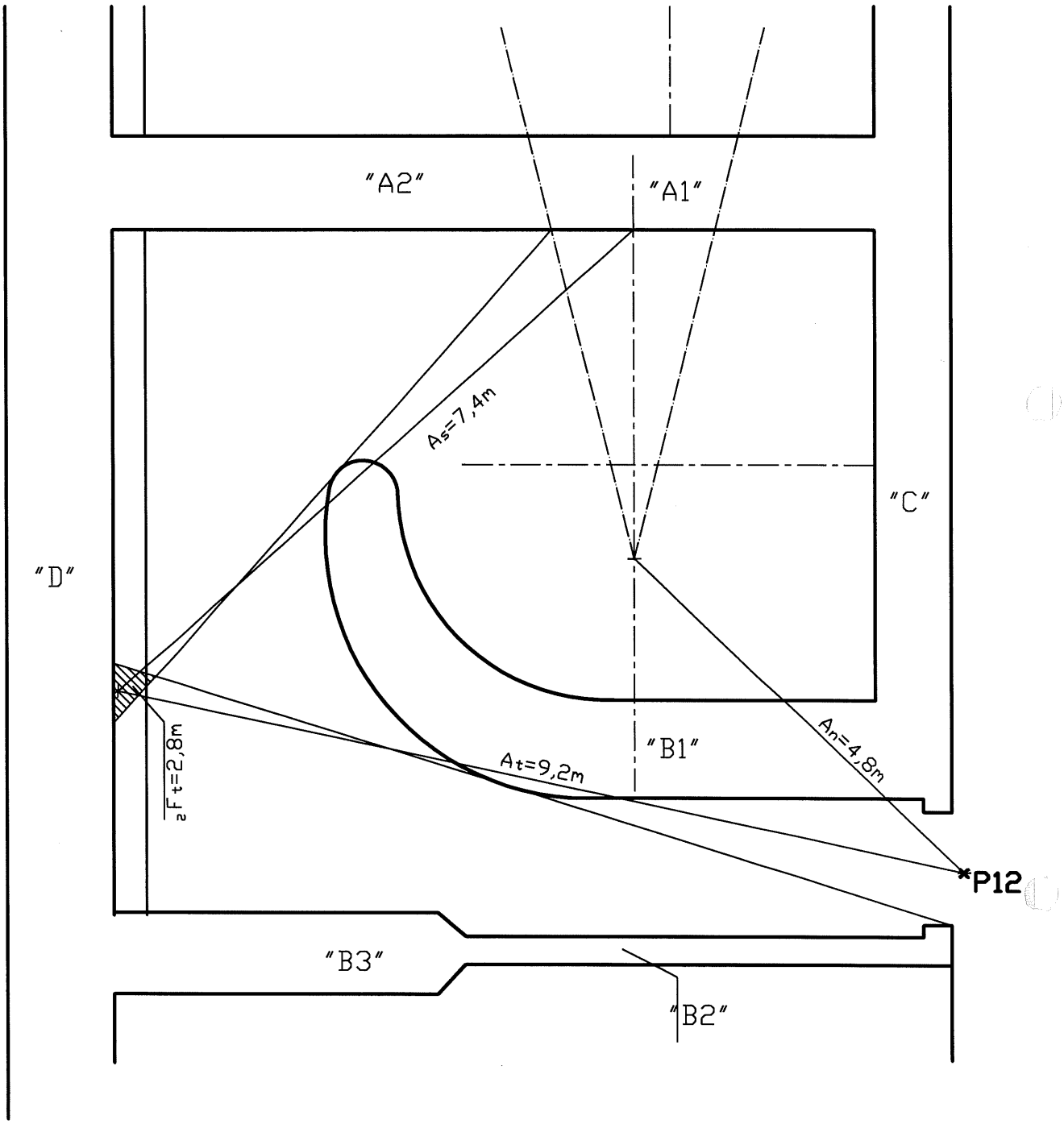
$$K_0 = 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_n^2} \quad -$$

A_0 = 1 m
A_n = 5,8 m
D = 0,02 mSv/tydz.

$$S = 32,4 \times \lg \frac{360000 \times 0,1 \times 1 \times 5,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{5,8^2}}{0,02} = 80 \text{ cm}$$



Rysunek nr 3 - przekrój A-A



Rysunek nr 4 - rzut bunkra

Grubość istniejącej ściany „C" wynosi: s_C = 81,5 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Ściana „C" spełnia warunek osłonności.

Pkt. P11 Na dachu - promieniowanie pierwotne (rys.3)

strop „F_1" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3

Dane do obliczeń:

Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 0,05
U = 0,5
t_0 = 8,25 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1 m
A_n = 4,6 m
D = 0,02 mSv/tydz.

$$S = 32{,}4 \times \lg \frac{360000 \times 0{,}05 \times 0{,}5 \times 8{,}25 \times 1 \times \frac{1}{4{,}6^2}}{0{,}02} = 170\,\text{cm}$$

Grubość istniejącego stropu „F_1" wynosi: s_{F1}= 15 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3, co oznacza, że brakuje ~ 155 cm betonu zwykłego. Z uwagi na brak bardzo dużej ilości betonu proponuje się dach traktować jako teren zamknięty. W celu zmniejszenia dawki na dachu należy stropodach pokryć płytami stalowymi o grubości około 10cm, tak jak na bunkrze akceleratora Co-line. Wejście na dach w celach technicznych możliwe jest tylko wtedy gdy akcelerator nie pracuje i pod nadzorem inspektora ochrony radiologicznej.

155 cm - 32 = 123 cm

10 cm Fe = 32 cm bet ciężkiego patrz str. 18

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

ściana „B_1" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3
drzwi z warstwą ołowiu o gęstości ρ = 11,3 g/cm^3

Dane do obliczeń
Z_{r1} = 32,4 cm (beton zwykły)
Z_{r2} = 5,4 cm wg rys. 1, Norma DIN 6847 cz.2 dla ołowiu o gęstości ρ = 11,3 g/cm^3
W = 360000 mGy/h

T = 1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1m
A_n = 4,8 m
D = 0,3 mSv/tydz.

$$S = 32,4 \times \lg \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4,8^2}}{0,3} = 80 \text{ cm}$$

Grubość istniejącej ściany „B_1" wynosi: s_{B1}= 105 cm betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3.

Policzona grubość ściany z betonu zwykłego jest mniejsza od istniejącej ale aby zabezpieczyć personel przed dawką od promieniowania rozproszonego proponuje się zastosować drzwi z wkładką ołowianą o grubości g_{Pb} = 1 cm

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

ściana „B_1" z betonu zwykłego o gęstości ρ = 2,3 g/cm^3
drzwi z warstwą ołowiu o gęstości ρ = 11,3 g/cm^3

Dawka od promieniowania ubocznego.

Dane do obliczeń:

Z_{r1} = 32,4 cm
Z_{r2} = 5,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 0,5
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1m
A_n = 4,8 m
s_b = 105 cm - grubość ściany „B_1“ w kierunku prostopadłym
s_{Pb} = 1,0 cm

$$D_1^{'} = \frac{360000 \times 1 \times 0{,}5 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4{,}8^2}}{10^{\left(\frac{105}{32{,}4} + \frac{1}{5{,}4}\right)}} = 0{,}0161 \text{ mSv/tydz.}$$

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

Dane do obliczeń

Z_{s1} = 16,1 cm
Z_{s2} = 1,5 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 0,5
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

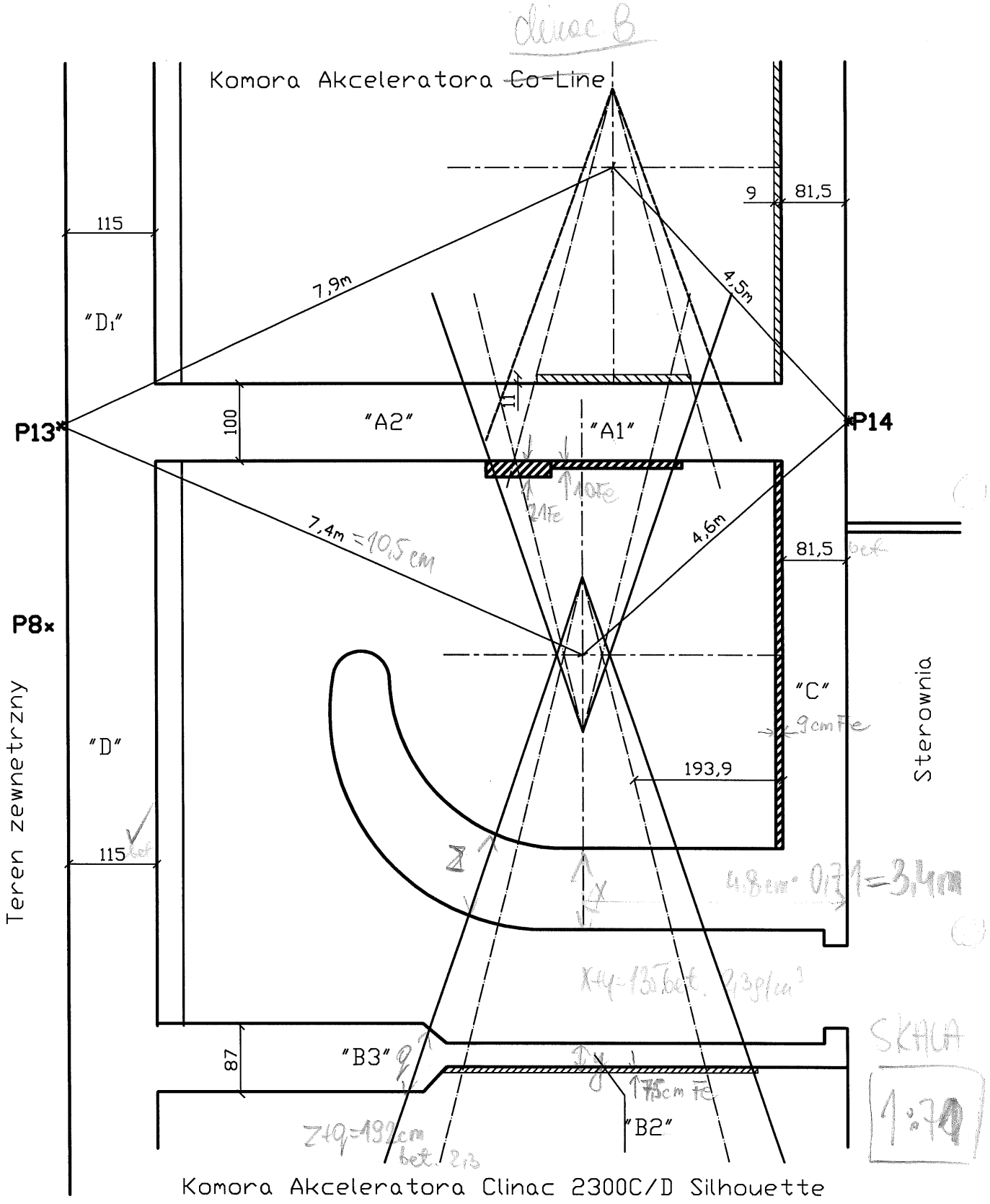
$$K_t = \left(10^{-2} \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{A_0^2}{A_s^2} + 10^{-6}\right) \times \frac{F_t}{A_t^2}$$

A_0 = 1 m
A_s = 7,4 m
F_t = 2,8 m^2
A_t = 9,2 m
s_{Pb} = 1,0 cm

$$D_1^{'} = \frac{360000 \times 1 \times 0{,}5 \times 5{,}5 \times \left(10^{-2} \times 10^{-3} \times \frac{1}{7{,}4^2} + 10^{-6}\right) \times \frac{2{,}8}{9{,}2^2}}{10^{\frac{1}{1{,}5}}} = 0{,}0083 \text{ mSv/tyd}$$

Dawka graniczna
D = 0,3 mSv/tydz.
$D'_1 + D'_2$ = 0,0161 + 0,0083 = 0,024 mSv/tydz.

$D'_1 + D'_2 < D$



Rysunek nr 5 - rzut bunkra

6.2.5 Sprawdzenie wielkości dawek w wybranych punktach, przy założeniu jednoczesnej pracy akceleratorów Co-Line i Clinac 600C/D.

Sprawdzenie Pkt. P13 (teren na zewnątrz komory) na promieniowanie uboczne od akceleratorów Co-Line i Clinac 600C/D przy założeniu grubości ścian: „D_1" równej 115 cm i „D" równej 115 cm

(rys.5)

Dawka od promieniowania ubocznego akceleratora Co-Line.

Dane do obliczeń:
Z_{r1} = 27,2 cm
W_A = 120000 mGy/h
T = 0,1
U = 1
t_0 = 10 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1m
A_n = 7,9 m
s_{D1} = 115 cm - grubość ściany „D_1" w kierunku prostopadłym

$$D_1' = \frac{120000 \times 0{,}1 \times 1 \times 10 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7{,}9^2}}{10^{\left(\frac{115}{27{,}2}\right)}} = 0{,}0001 \text{ mSv/tydz.}$$

Dawka od promieniowania ubocznego akceleratora Clinac 600C/D.

Dane do obliczeń:
Z_r = 32,4 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 0,1
U = 1
t_0 = 8,25 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1m
A_n = 7,4 m

s_D = 115 cm - grubość ściany „D" w kierunku prostopadłym

$$D_2' = \frac{360000 \times 0{,}1 \times 1 \times 8{,}25 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{7{,}4^2}}{10^{\frac{115}{32{,}4}}} = 15 \times 10^{-4} \text{ mSv/tydz.}$$

Dawka graniczna
D = 0,02 mSv/tydz.
$D'_1 + D'_2$ = 0,0001 + 0,0015 = 0,0016 mSv/tydz.

$D'_1 + D'_2 < D$

Sprawdzenie Pkt. P14 (sterownia) na promieniowanie uboczne od akceleratorów Co-Line i Clinac 600C/D przy założeniu grubości ścian: „C" równej 81,5 cm betonu zwykłego plus 9 cm Fe oraz „C_1" równej 81,5 cm betonu zwykłego plus 9 cm Fe

(rys.5)

Dawka od promieniowania ubocznego akceleratora Co-Line.

Dane do obliczeń:
Z_{r1} = 27,2 cm
Z_{r2} = 8,9 cm
W_A = 120000 mGy/h
T = 1
U = 1
t_0 = 10 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1m
A_n = 4,5 m
s_{C1} = 81,5 cm - grubość ściany „C_1" w kierunku prostopadłym
s_{Fe} = 9 cm

$$D_1' = \frac{120000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4{,}5^2}}{10^{\left(\frac{81{,}5}{27{,}2} + \frac{9}{8{,}9}\right)}} = 0{,}0034 \text{ mSv/tydz.}$$

Dawka od promieniowania ubocznego akceleratora Clinac 600C/D.

Dane do obliczeń:
Z_{r1} = 32,4 cm
Z_{r2} = 9,8 cm
W_A = 360000 mGy/h
T = 1
U = 1
t_0 = 5,5 h/tydz.
q = 1

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

A_0 = 1m
A_n = 4,6 m
s_C = 81,5 cm - grubość ściany „C" w kierunku prostopadłym
s_{Fe} = 9 cm

$$D_2' = \frac{360000 \times 1 \times 1 \times 5{,}5 \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4{,}6^2}}{10^{\left(\frac{81{,}5}{32{,}4} + \frac{9}{9{,}8}\right)}} = 0{,}033 \text{ mSv/tydz.}$$

Dawka graniczna
D = 0,3 mSv/tydz.
$D'_1 + D'_2$ = 0,0034 + 0,0330 = 0,0364 mSv/tydz.

$D'_1 + D'_2 < D$

6.2.6 Wyniki obliczeń osłon biologicznych

Grubości ścian i proponowane dodatkowe osłony przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Punkty obliczeniowe	Oznaczenia ścian	Grubość istniejących ścian *	Obliczeniowa minimalna grubość osłony	Grubość osłon dodatkowych	
		Rodzaj materiału	Rodzaj materiału	Rodzaj materiału	
wg rys.	**wg rys. 2**	beton zwykły $\rho = 2{,}3$ g/cm^3	beton zwykły $\rho = 2{,}3$ g/cm^3	beton zwykły $\rho = 2{,}3$ g/cm^3	żelazo $\rho = 7{,}8$ g/cm^3
		cm	cm	cm	cm
P1	A_1	100+ 11Fe=36 bz	168	32	10
P2	A_1	100	169	69	21
P3	B_1, B_2	135	159	24	7,5
P4	B_1, B_2	135	75	---	---
P5	B_1, B_3	192	73	---	---
P6	A_2	100	86	---	---
P7	C	81,5	89	30	9
P8	D	115	82	---	---
P9	C	81,5	93	30	9
P10	C	81,5	80	30	9
P11	F_1	15	170	---	10*Fe
P12	Drzwi	---	1 cm Pb	---	---

- * na dachu teren zamknięty w czasie pracy akceleratora

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.

Drzwi wejściowe w bunkrze powinny zawierać warstwę ołowiu o grubości 1 cm.

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

Przepusty do prowadzenia kabli zasilających i sterujących akceleratorem zostaną poprowadzone w kanałach instalacyjnych w podłodze i pod podłogą.

7.2 Wentylacja

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

Ilość wymian	≥ 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 owydzielanie 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, tz. „water chiller", który zostanie umieszczony w pomieszczeniu technicznym lub 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).

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 będą wykonane ze stali z dodatkową osłoną z ołowiu i parafiny / polietylenu.

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), zgodnie z przepisami ogólnymi przyjętymi przy projektowaniu tego typu obiektów, tj. Dz.U. Nr 92 z dnia 10.12.1992 r. oraz Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 03.11.1992 r. w sprawie ochrony ppoż. budynków.

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

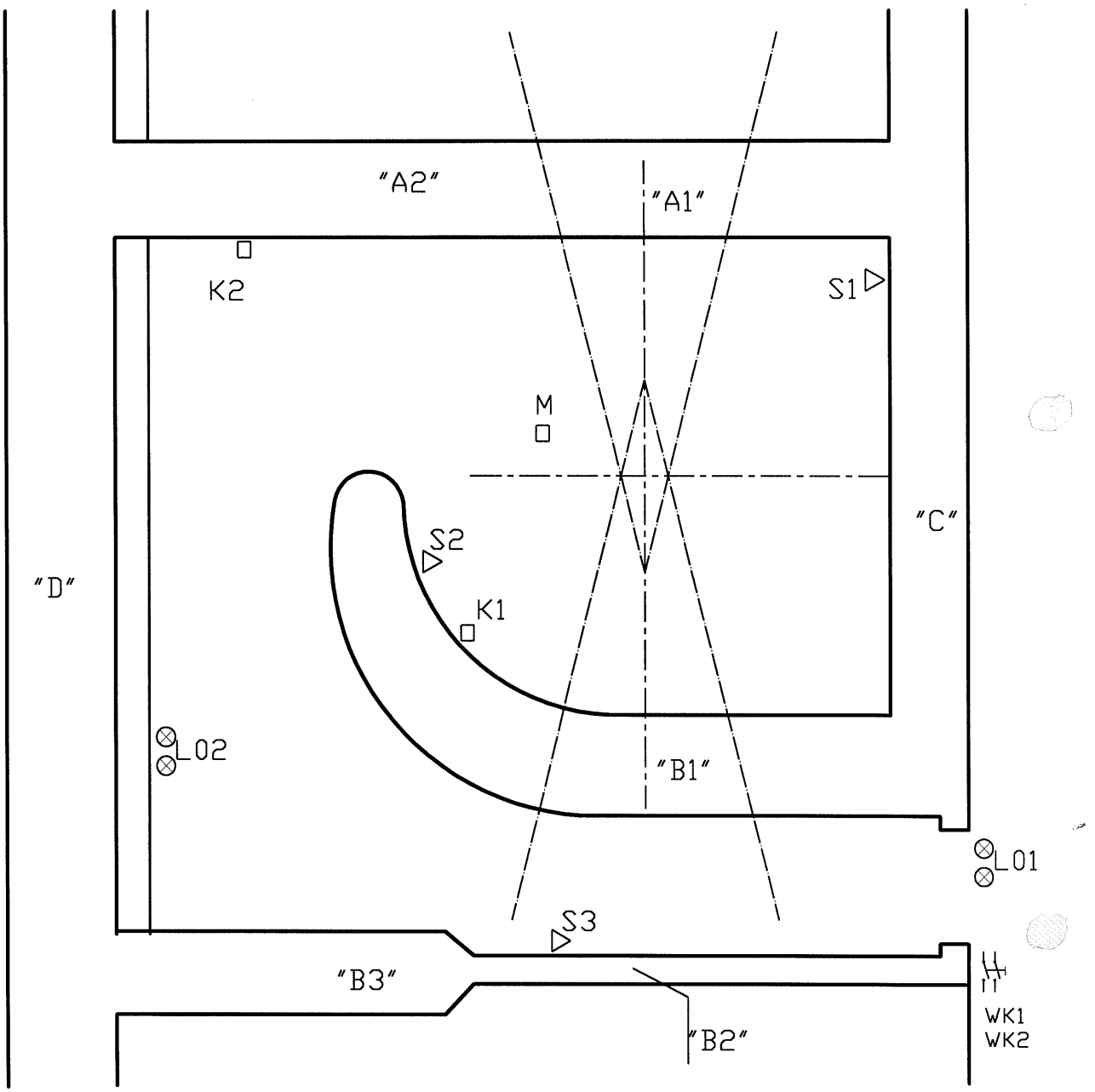
Tylko odpowiednio przeszkolony przez producenta personel może obsługiwać urządzenie, zgodnie z instrukcją obsługi.

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 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 gotowści 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).



Rysunek nr 6 - Legenda

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 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.

Przykładowe / poglądowe rozmieszczenie elementów systemu bezpieczeństwa (rys.6) wraz z legendą.

LEGENDA

Komora aparatu megawoltowego

S1 ÷ S3 - wyłączniki awaryjne – EMERGENCY OFF,

L01 ÷ L02 - sygnalizacja świetlna ostrzegawcza
zielona – można wejść,
żółta (promieniowanie) – zakaz wchodzenia

WK1, WK2 - wyłączniki krańcowe drzwi osłonnych
(blokada zamknięcia i sygnalizacja świetlna)

K1 ÷ K2 - kamera TV przemysłowej
(plan ogólny i zbliżenie na pacjenta)

M - mikrofon interfonii
(komunikacja operator – pacjent)

WNW1 - wentylacja nawiewno-wyciągowa (nawiew)
WNW2 - wentylacja nawiewno-wyciągowa (wywiew)

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-anlangen strahlenschutzreglen 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 radiationcalculations 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 odchyleń gęstości betonu na jego efektywność osłonną. Raport Nr INR 1563/IX/PR/B – IBJ – Świerk, Warszawa, 1975r.

8) Szymandera L. i inni Zdolność betonów do osłabiania promieniowania gamma ze źródeł objętościowych w elektrowniach atomowych. Raport Nr INR 1562/IX/PR/B – IBJ – Świerk, Warszawa, 1975r.

9) Thot Z., Przedlacki J. Medycyna nuklearna–P.Z.W.L. Warszawa 1983r

10) Stanton R., Stinson D. An Introductin to Radiation Onkology – Medical Physics Publisching.

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.