PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Katarzyna Tymińska
Jakub Ośko

OSŁONA ŹRÓDŁA NEUTRONOWEGO Am-Be

Dokumentacja techniczna i obliczeniowa

Niniejsza dokumentacja dotyczy projektu osłony źródła neutronów Am-Be o strumieniu $6{,}6 \cdot 10^6$ n/s i aktywności 111 GBq.

Dokumentacja została podzielona na dwie części:

- Część I: Dokumentacja obliczeniowa – zawiera założenia projektu i obliczenia, mające na celu dobór materiałów osłonnych oraz grubości osłon.
- Część II: Dokumentacja konstrukcyjna – zawiera dane dotyczące konstrukcji i sposobu wykonania osłony.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego Program Operacyjny Kapitał Ludzki

CZĘŚĆ I
Dokumentacja obliczeniowa

Obliczenia wstępne

W celu wybrania materiałów do budowy osłony oraz oszacowania ich grubości przeprowadzono wstępne modelowanie transportu neutronów w wybranych materiałach, używanych jako osłony przed promieniowaniem neutronowym.

Modelowany układ był maksymalnie uproszczony, co pozwoliło na znaczne skrócenie czasu obliczeń. Stanowiła go kula z badanego materiału (boraks, parafina, polietylen wzbogacony borem) o grubości ściany 450 lub 600 mm. Dla kuli parafinowej dodano na powierzchni warstwę kadmu o grubości 2 mm.

Ze względu na ograniczone rozmiary wnęki, w której ma być usytuowany pojemnik ze źródłem, nie brano pod uwagę grubości osłony przed promieniowaniem neutronowym większej niż 600 mm.

W celu zaprojektowania osłony przed promieniowaniem gamma, pochodzącym zarówno bezpośrednio ze źródła Am-Be jak i z oddziaływania neutronów z materiałem osłony, dodano na powierzchni modelowanej sfery warstwę ołowiu o grubości 10, 30 i 50 mm. Warstwa tego materiału nie wpływa znacząco na strumień neutronów.

Dla każdego ze zdefiniowanych układów obliczono moc dawki skutecznej na powierzchni sfery, co pozwoliło na wyliczenie dawki skutecznej w ciągu roku i porównanie z wartością graniczną, wynoszącą 0,3 mSv dla obsługi pracowni oraz 0,1 mSv dla ogółu ludności.

Tab. 1. Wartości dawki równoważnej od promieniowania neutronowego i gamma określone na podstawie wstępnych obliczeń dla różnych konfiguracji materiałów osłonnych (w dwóch pierwszych przypadkach nie obliczano dawki pochodzącej od promieniowania gamma).

	moc składowej neutronowej dawki równoważnej [mSv/h]	moc składowej gammowej dawki równoważnej [mSv/h]	łączna moc dawki równoważnej [mSv/h]	dawka równoważna dla 2000 h [mSv]
450 mm parafina+ Cd	$2{,}97 \cdot 10^{-4}$	-	-	$5{,}94E \cdot 10^{-2}$
600 mm parafina+Cd	$3{,}01 \cdot 10^{-5}$	-	-	$6{,}02E \cdot 10^{-3}$
600 mm parafina+Cd+50 mm Pb	$3{,}01 \cdot 10^{-5}$	$5{,}85 \cdot 10^{-5}$	$8{,}86 \cdot 10^{-5}$	$1{,}77 \cdot 10^{-1}$
600 mm BPE+10 mm Pb	$6{,}63 \cdot 10^{-6}$	$1{,}99 \cdot 10^{-5}$	$2{,}65 \cdot 10^{-5}$	$5{,}31 \cdot 10^{-2}$
600 mm BPE+30 mm Pb	$6{,}63 \cdot 10^{-6}$	$7{,}56 \cdot 10^{-6}$	$1{,}42 \cdot 10^{-5}$	$2{,}84 \cdot 10^{-2}$
600 mm BPE+50 mm Pb	$6{,}63 \cdot 10^{-6}$	$2{,}91 \cdot 10^{-6}$	$9{,}54 \cdot 10^{-6}$	$1{,}91 \cdot 10^{-2}$
600 mm borax+10 mm Pb	$2{,}01 \cdot 10^{-5}$	$1{,}82 \cdot 10^{-5}$	$3{,}83 \cdot 10^{-5}$	$7{,}66 \cdot 10^{-2}$
600 mm borax +30 mm Pb	$2{,}01 \cdot 10^{-5}$	$6{,}91 \cdot 10^{-6}$	$2{,}70 \cdot 10^{-5}$	$5{,}40 \cdot 10^{-2}$
600 mm borax +50 mm Pb	$2{,}01 \cdot 10^{-5}$	$2{,}65 \cdot 10^{-6}$	$2{,}28 \cdot 10^{-5}$	$4{,}55 \cdot 10^{-2}$

Wyniki obliczeń przedstawione w tabeli 1 wskazują, że najlepszą osłonę przed promieniowaniem neutronowym stanowi polietylen wzbogacony borem. Zastosowanie osłony ołowianej o grubości 30 mm pozwala na uzyskanie łacznej dawki równoważnej (pochodzącej od promieniowania neutronowego i gamma) wynoszącej 54 % i 28 %, dawki granicznej dla osób nienarażonych zawodowo (ogółu ludności), odpowiednio dla osłony wykonanej z

boraxu i BPE. Użycie grubszej osłony z ołowiu pozwoliłoby na dalszą redukcję strumienia gamma, zwiększyłoby jednak znacznie masę układu oraz koszt jego wykonania.

Po analizie wyników symulacji wybrano następujące parametry dla pojemnika:

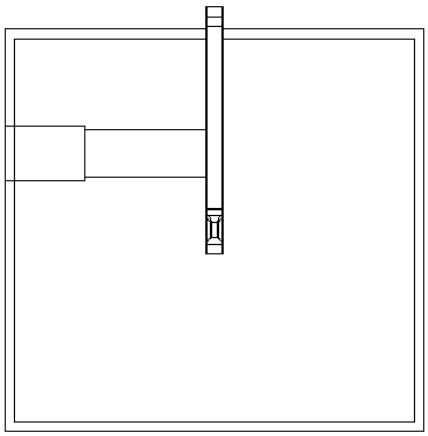
grubość osłony z BPE – 600 mm

grubość osłony ołowianej – 30 mm

Obliczenia końcowe

Na podstawie projektu technicznego, opisanego w Części II opracowania, zamodelowano projektowaną osłonę za pomocą kodu MCNP.

Model uwzględniał różne materiały zastosowane do budowy pojemnika (BPE, duraluminium, ołów), oraz rzeczywistą geometrię układu, w której dokonano jedynie nieznacznych uproszczeń nie mających wpływu na wyniki obliczeń.



Rys. 1. Model cyfrowy pojemnika.

Dla tak zdefiniowanego układu wykonano obliczenia mocy dawki równoważnej w obszarach, w których osiągać będzie ona wartości najwyższe - w pobliżu wylotów kanałów poziomych oraz przy ujściu kanału pionowego, dla źródła umieszczonego w pozycji spoczynkowej.

Pierwsza powierzchnia, dla której obliczono wartość strumienia w pobliżu wylotów kanałów poziomych miała kształt koła (stycznego do powierzchni bocznej walca w jego przedniej części) o promieniu 450 mm, którego środek znajdował się na wysokości 795 mm od dolnej podstawy pojemnika (165 mm powyżej pozycji źródła).

Wartości dawki obliczone dla tej powierzchni przedstawione zostały w tabeli 2

Tab. 2. Wartości dawki równoważnej od promieniowania neutronowego i gamma na powierzchni osłony od strony pomieszczenia kontrolnego, określone na podstawie obliczeń dla wybranej konfiguracji materiałów osłonnych (BPE+ 30 mm ołowiu).

	Moc dawki równoważnej [mSv/h]	Dawka roczna (2000 h) [mSv]
Promieniowanie neutronowe	$3{,}37 \cdot 10^{-6}$	$6{,}74 \cdot 10^{-3}$
Promieniowanie gamma	$4{,}98 \cdot 10^{-6}$	$9{,}97 \cdot 10^{-3}$
Suma	$8{,}35 \cdot 10^{-6}$	$1{,}67 \cdot 10^{-2}$

Druga powierzchnia, dla której obliczano wartość dawki równoważnej miała kształt koła o promieniu 955 mm i umieszczona była równolegle do podstaw walca centralnie nad kanałem pionowym na wysokości 1330 mm od dolnej podstawy pojemnika (700 mm powyżej

położenia źródła), co odpowiadało górnej podstawie korka duraluminiowego nad kanałem pionowym.

Wartości dawki obliczone dla tej powierzchni przedstawione zostały w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości dawki równoważnej od promieniowania neutronowego i gamma na górnej powierzchni osłony w jej centralnej części, określone na podstawie obliczeń dla wybranej konfiguracji materiałów osłonnych (BPE+ 30 mm ołowiu).

	Moc dawki równoważnej [mSv/h]	Dawka roczna (2000 h) [mSv]
Promieniowanie neutronowe	$1{,}15 \cdot 10^{-5}$	$2{,}30 \cdot 10^{-2}$
Promieniowanie gamma	$9{,}76 \cdot 10^{-6}$	$1{,}95 \cdot 10^{-2}$
Suma	$2{,}13 \cdot 10^{-5}$	$4{,}25 \cdot 10^{-2}$

Dawki dla powierzchni górnej są wyższe ze względu na budowę kanału - jego pionowe ściany wykonane z duraluminum, dla promieniowania neutronowego są szczelinami w osłonie, zaś konstrukcja kanału pionowego powoduje, że warstwa BPE ma mniejsza grubość, niż dla ścian bocznych (odpowiednio 550 mm i 600 mm). Ze względu na dużą gęstość materiału, zrezygnowano z ołowianej osłony nad kanałem pionowym, aby jego ciężar nie spowodował uszkodzenia mechanizmu umożliwiającego ruch źródła promieniowania w kierunku pionowym, stad też zwiększona jest wartość dawki pochodzącej od promieniowania gamma. Należy jednak zauważyć, że mimo osłabienia osłony w górnej części pojemnika roczna dawka równoważna jest znacznie niższa niż limit dawki dla ogółu ludności.

CZĘŚĆ II
Dokumentacja konstrukcyjna

Zaprojektowana osłona źródła ma postać walca, w którego geometrycznym środku znajduje się kapsuła typu N20 ze źródłem neutronów ^{241}Am-Be o strumieniu $6{,}6 \cdot 10^6$ n/s i aktywności 111 GBq.

Osłona składa się z dwóch części – wewnętrznej i zewnętrznej.

Osłona wewnętrzna została zaprojektowana jako konstrukcja zbudowana z kształtek z BPE (polietylen z 0,86 % domieszką boru). Specyfikacja wykorzystanego materiału znajduje się na stronie jednego z producentów http://www.deqtech.com/Shieldwerx/Products/swx207hd.htm oraz w załączonym pliku BPE_specyfikacja.

Dystrybutorem BPE w Polsce jest firma Mega Tech z Grodziska Mazowieckiego, 793-902-803 lub 793-202-803, e-mail: biuro@megat.biz; www.megat.biz.

Osłona ma kształt walca o średnicy zewnętrznej 625,5 mm. W osłonie wykonany jest pionowy otwór osiowy o średnicy 51 mm i głębokości 659 mm oraz trzy otwory poziome, dwa o przekroju koła i zmiennej średnicy (trzy wielkości), jeden o przekroju prostokąta i zmiennych wymiarach (dwie wielkości) – patrz rys. OZN-1.08.

Istnieje możliwość wykonania osłony wewnętrznej z parafiny z zewnętrzną warstwą kadmu, lub z boraksu (tetraboran sodu, materiał dostępny w formie proszku). W przypadku parafiny należy wykonać kształtki, z których ułożona zostanie osłona, w przypadku osłony z boraksu należy nim zasypać przygotowane wcześniej formy aluminiowe.

W osi osłony wewnętrznej znajduje się wałek łączący ze źródłem, który stanowi łącznik z mechanizmem sterującym. Mechanizm sterujący ma zapewnić przemieszczanie się źródła pomiędzy trzema położeniami: spoczynkowym – w geometrycznym środku osłony, roboczym – 127 mm powyżej położenia spoczynkowego oraz załadowczym – 262 mm powyżej położenia spoczynkowego.

Niniejsza dokumentacja techniczna osłony źródła neutronów Am-Be w postaci rysunków konstrukcyjnych obejmuje rysunek złożeniowy całej osłony oraz rysunki następujących części:

- szpula, w której umieszczona jest kapsuła ze źródłem promieniowania;
- gniazdo;
- korek;
- wałek łączący;
- uchwyt;
- wózek HGH15;
- moduł liniowy MLA;
- osłona kanału załadowczego;
- osłona kanałów napromieniania;
- osłona wewnętrzna z BPE (rysunek z wymiarami osłony, ale bez określenia kształtu jej elementów).

Pozostałe elementy zostały jedynie opisane w niniejszej dokumentacji. Szczegóły konstrukcyjne ich wykonania należy uzgodnić z wykonawcą.

Opis elementów nieujętych w dokumentacji rysunkowej

1. **Moduł liniowy MLA z sygnalizacją położenia**

Do sterowania ruchem pionowym wałka łączącego z umieszczonym w nim źródłem neutronów zastosowano moduł liniowy MLA firmy P.P.H. WObit Witold Ober

Oddział Poznań: ul. Gruszkowa 4, 61-474 Poznań tel.: +48 61 8350-800, tel.: +48 61 8350-620 tel.: +48 61 8350 621, fax.: +48 61 8350-704, fax.: +48 61 8350-804 wobit@wobit.com.pl;
Oddział Podpniewki: Podpniewki 9, 62-045 Pniewy, tel.: +48 061-291-22-25, fax: +48.61 2911- 011).

W niniejszej konstrukcji należy zastosować moduł ze sterownikiem elektronicznym o zakresie ruchu 313 mm i poruszanej masie ok. 4,5 kg. Jego dane techniczne znajdują się na dołączonej karcie katalogowej. Do modułu MLA należy dołączyć wózek HGH15, oferowany przez tego samego producenta, który umożliwia przymocowanie do MLA poruszanych elementów. Należy zastosować wersję bez hamulca, co umożliwi grawitacyjne opuszczenie źródła do pozycji spoczynkowej w przypadku braku zasilania lub awarii modułu.

Na stronie http://ml.wobit.com.pl/konfigurator/index.php dostępny jest konfigurator modułów liniowych firmy WObit. Można tam określić przybliżone parametry modułu, a także jego cenę.

Sterownik MLA musi być wyposażony w enkoder, który umożliwia zadanie trzech położeń (spoczynkowe, robocze i załadowcze) źródła promieniowania, kontrolowanie oraz sygnalizację położenia źródła.

Sygnalizacja położenia odbywa się za pomocą połączonych z modułem liniowym MLA trzech różnokolorowych lampek sygnalizacyjnych, np. LED Ø22,5 firmy Sloan z oferty firmy ELFA, przedstawionych w tabeli 4:

Tab. 4. Przykładowe dane diod LED, możliwych do wykorzystania jako sygnalizatory położenia źródła.

Art. No.	Typ	Kolor światła
33-712-66	951RR0B	Czerwony
33-712-72	951YY3B	Żółty
33-712-63	951GG3B	Zielony

Diody znajdują się na panelu kontrolnym w pomieszczeniu obsługi źródła. Przy każdej z nich jest umieszczony opis, jakie położenie źródła sygnalizuje.

2. Wózek HGH15

Do modułu liniowego MLA przymocowany jest wózek HGH15 oferowany przez firmę WObit (katownik_hgh15_V2.pdf).

3. Zewnętrzna osłona ołowiana

Osłona zewnętrzna została zaprojektowana do wykonania z kształtek ołowianych. Całość osłony ma kształt cylindra o średnicy wewnętrznej 625,5 mm z dnem i pokrywą i ściśle przylega do osłony zewnętrznej. Grubość osłony wynosi 30 mm.

W ścianie bocznej osłony znajdują się trzy otwory: dwa o przekroju koła i średnicy 80 mm oraz jeden o przekroju prostokąta i bokach 170 mm (w pionie) i 150 mm (w poziomie). Otwory te muszą pokrywać się z otworami w osłonie z BPE.

Osłonę tego typu może wykonać np.:
Zakład Produkcji Odlewniczej „DOLMET” S.C. J. i S. Dembiczak
49-130 Tułowice, ul. Świerczewskiego 33
Tel/fax 77 4 600 091
www.dolmet.pl
biuro@dolmet.pl

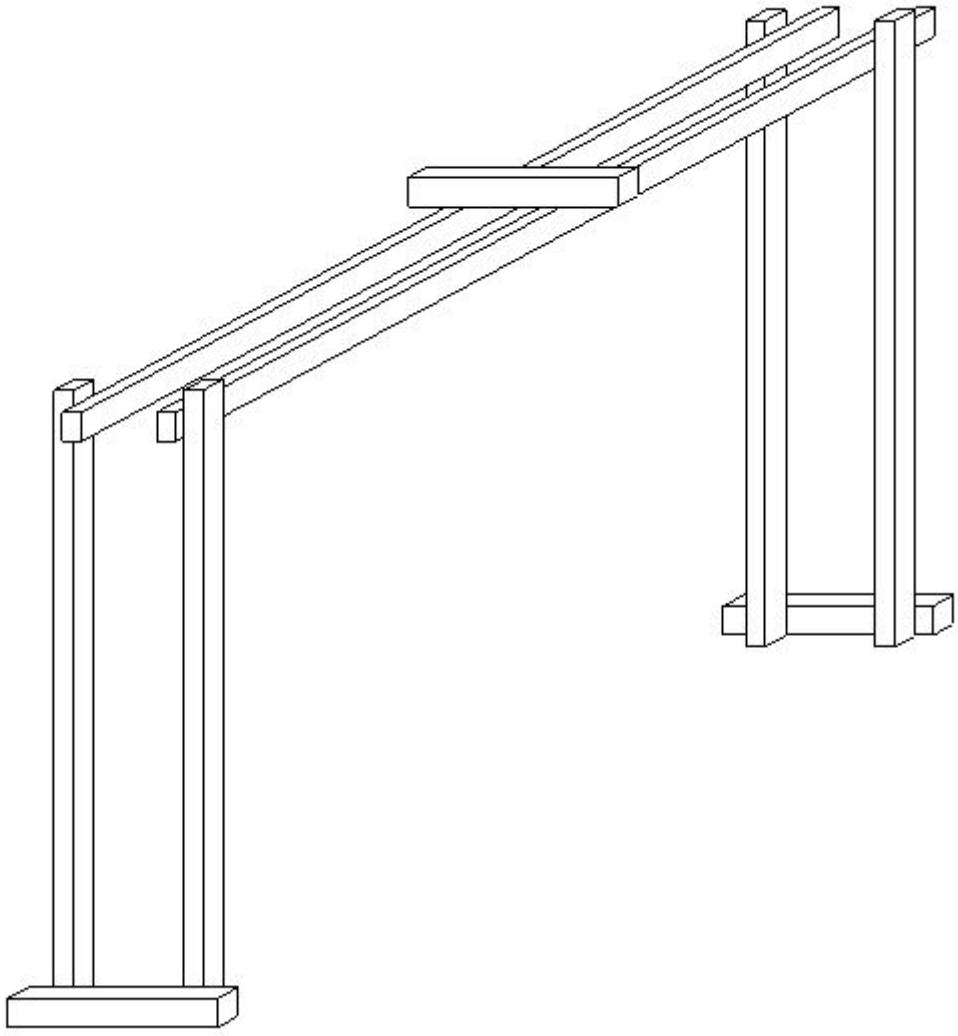
Osłona może zostać wykonana w kształcie sześcianu o krawędzi wewnętrznej 625,5 mm i grubości ściany 30 mm.

4. **Podstawa modułu liniowego.**

Moduł liniowy zostanie umieszczony na ołowianej pokrywie osłony i zamocowany za pomocą profili aluminiowych o przekroju 30x30 lub 30x10 mm. Wymiar pionowy ma wynieść 30 mm, wymiar poziomy ma zawierać się w zakresie 10-30 mm.

Przybliżone długości profili:
pionowych 4 x 1350 mm,
poziomych 2 x 1410 mm,
poprzecznych 3 x 350 mm.

Ostateczne długości należy określić po wykonaniu osłony wewnętrznej i zewnętrznej. Szkic podstawy modułu liniowego MLA przedstawiono na rys. 2.



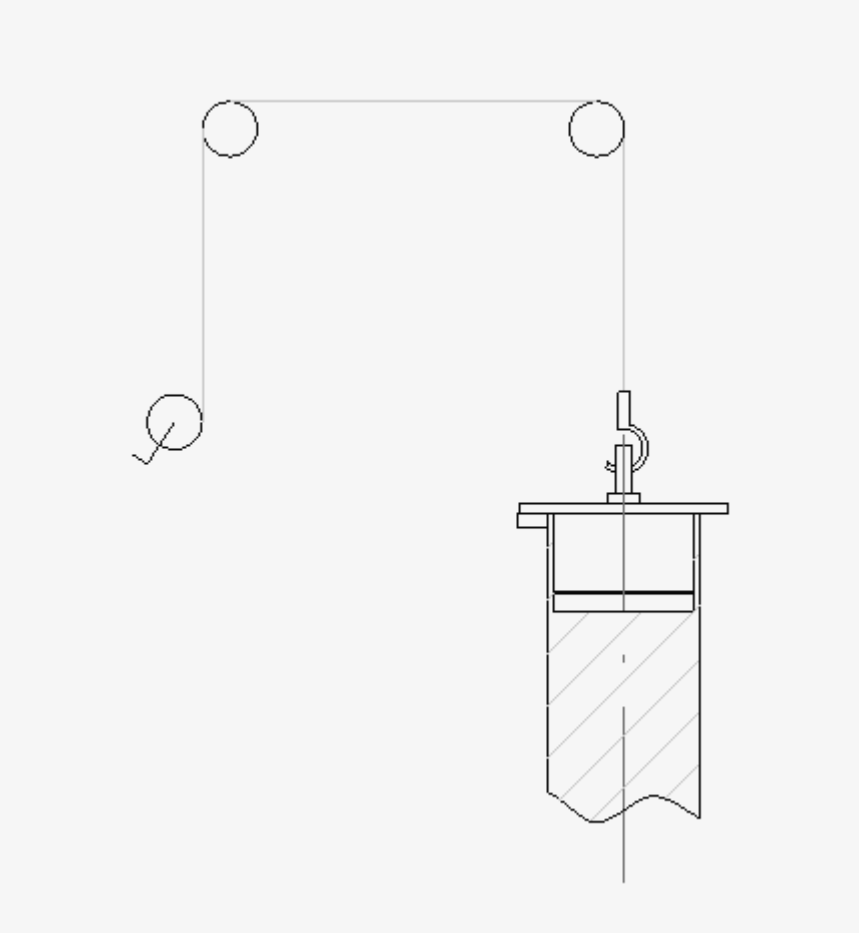
Rys. 2. Podstawa modułu liniowego MLA

Sterowanie ręczne

Projekt zapewnia możliwość sterowania ręcznego źródłem neutronów w przypadku awarii modułu MLA lub braku zasilania.

Ręczne sterowanie mechanizmem ze źródłem promieniowania neutronowego odbywa się za pomocą stalowej linki z systemem bloczków. Jeden koniec linki jest zamocowany do otworu znajdującego się w korku zamykającym od góry wałek łączacy. Drugi należy, za pomocą systemu bloczków, doprowadzić do pomieszczenia kontrolnego.

Na rysunku 3 przedstawiono szkic systemu sterowania ręcznego. Bez dokładnej znajomości parametrów pomieszczenia, w którym będzie umieszczone źródło oraz sąsiedniego pomieszczenia kontrolnego, nie można wykonać dokładnego projektu.



Rys. 3. Szkic systemu sterowania ręcznego

Na odcinku linki między korkiem, a pierwszym bloczkiem, należy umieścić blokadę, która uniemożliwi podniesie źródła powyżej położenia w kanale załadowczym. Należy rozważyć, czy blokada nie musi stanowić jednocześnie dodatkowego obciążenia, tak aby po odblokowaniu mechanizmu korby wałek łączący ze źródłem opuszczał się grawitacyjnie.

W przypadku awarii modułu MLA, która uniemożliwi poruszanie się wózka HGH15 względem modułu liniowego MLA, należy rozłączyć korek z uchwytem (odkręcić oba wkręty).

Podczas normalnej (zautomatyzowanej) pracy układu, linka do sterowania ręcznego musi być odłączona od korka.

Sterowanie ręczne może odbywać się również poprzez ręczne unoszenie wałka łączącego i blokowanie go w pozycji roboczej lub załadowczej. W tym wypadku należy wykonać dwa prostopadłe do osi otwory przelotowe w wałku łączącym i blokować położenie wałka, umieszczając w odpowiednim otworze kołek.

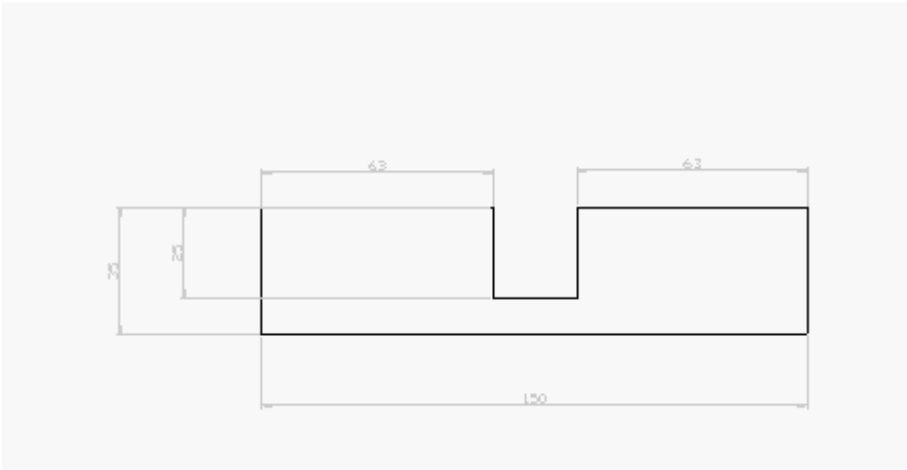
Załadunek źródła do osłony

Źródło zostanie dostarczone w pojemniku „Hopewell Designs Inc. Type A Shipping Container, Model 991-6 (W lub P). Przeładunek źródła do osłony zostanie wykonany w pomieszczeniu, w którym ostatecznie będzie się znajdowało źródło.

Źródło zostanie wyjęte z pojemnika, następnie umieszczone w szpuli przez otwór w jej górnej powierzchni. Załadowana szpula zostanie przełożona do wnętrza osłony za pomocą manipulatora. Wymiary manipulatora muszą być dobrane tak, aby trzymana nim szpula mieściła się w kanale załadowczym.

Przeładunek źródła należy przećwiczyć z pustą szpulą.

Ewentualnie należy rozważyć umieszczenie w kanale załadowczym szyny o przekroju przedstawionym na rys. 4. Długość wkładu powinna być co najmniej równa długości kanału załadowczego, która wynosi 574,5 mm, a kształt dolnej i bocznych powierzchni musi uwzględnić zmniejszenie wymiarów kanału w odległości 220 mm od jego wlotu.



Rys. 4. Wkład do kanału załadowczego.