

dr inż. Dawid Gacki¹⁾
ORCID: 0000-0003-2025-3884

Przykład wykonania ściany chroniącej przed promieniowaniem rentgenowskim

An example of the construction of a wall protecting against X-rays

DOI: 10.15199/33.2022.04.10

Streszczenie. Artykuł omawia metody wykonania budowlanych osłon przed promieniowaniem, które wykorzystuje się w budowie pomieszczeń diagnostycznych szpitali, przychodni, gabinetów interwencji radiologicznych, sal operacyjnych, placówek medycznych, pomieszczeń przemysłowych i laboratoriów pomiarowych. Zaprezentowane sposoby konstrukcyjnej izolacji przed rozchodzeniem się promieniowania do sąsiadujących pomieszczeń dają gwarancję efektywnej ochrony zdrowia ludzi pracujących lub przebywających w bliskim sąsiedztwie urządzeń, które emitują promieniowanie RTG.

Słowa kluczowe: ściana rentgenowska; płyta ołowiana; blacha ołowiana; szkło ołowiowe; równoważnik ołowiu.

Abstract. The article discusses methods of building radiation protection, which are used in the construction of diagnostic rooms in hospitals, clinics, radiological intervention rooms, operating theaters, medical facilities, industrial rooms and measurement laboratories. The presented methods of constructional insulation against radiation propagation to neighboring rooms are a guarantee of health protection of people working or staying in close vicinity of devices that emit X-ray radiation.

Keywords: X-ray wall; lead plate; lead sheet; lead glass; lead equivalent.

Promieniowanie rentgenowskie (RTG) nie jest zatrzymywane przez konwencjonalne ściany, dlatego pomieszczenia ze sprzętem rentgenowskim, niezbędnym do prawidłowego diagnozowania i leczenia chorób, muszą być specjalnie chronione. Konieczne stało się także skuteczne ekranowanie sąsiednich pomieszczeń oraz zabezpieczenie i ochrona strukturalna ich ścian. Przegrody chroniące przed promieniowaniem RTG projektuje się z uwzględnieniem rodzaju i stopnia promieniowania, wg rozporządzeń [1, 2].

Efekt nazywany osłabieniem promieniowania zależy od gęstości materiałów budowlanych otaczających aparat rentgenowski oraz równoważnika ołowiu, czyli grubości warstw ołowiu zastosowanego w przegrodzie, który blokuje promienie rentgenowskie. Równoważnik ołowiowy danego materiału budowlanego informuje o tym, jaką ochronę przed promieniowaniem daje ten materiał, w odniesieniu do zabezpieczenia warstwą ołowiu o znanej grubości i parametrach. Każdy otwór, szczelina w ścianie chroniącej przed promieniowaniem przerywa funkcję ochronną

całej przegrody. Pomieszczenie rentgenowskie musi być chronione przed promieniowaniem kompleksowo ze wszystkich stron.

Najczęstszym sposobem ochrony przed promieniowaniem jest użycie materiałów o dużej liczbie atomowej, np. ołowiu lub siarczaniu baru, których elektrony skutecznie pochłaniają, odbijają lub rozpraszają promienie rentgenowskie. Najpopularniejszym materiałem na ekranowanie jest ołów, dlatego też miarą skuteczności ochrony radiacyjnej jest grubość warstwy ołowiu w milimetrach. Wypełnienie ścian blachą ołowianą lub użycie płyt z warstwą ołowiu przyklejonych samoprzylepną taśmą ołowianą blokuje skutecznie szkodliwe promieniowanie. Grubość warstwy ołowiu, czyli wymiar ekranowania strukturalnego zależy od rodzaju promieniowania, odległości do przyległych pomieszczeń, kategorii pomieszczenia, czasu przebywania ludzi w sąsiedztwie urządzenia, a także natężenia i mocy systemu radiacyjnego oraz parametrów bezpośrednio powiązanych z napięciem lampy RTG.

Dostępne na rynku płyty gipsowo-kartonowe pokrywane są warstwą ołowiu o różnej grubości, np. 0,5; 1,0; 2,5; 3,0 mm. Mogą służyć do budowy ścian wewnętrznych lub sufitów podwieszanych.

Dopuszcza się użycie innych materiałów ochronnych niż ołów. Efekt ekranowania takimi substancjami odzwierciedla parametr zwany **równoważną grubością warstwy ołowiu**. Określa on odniesienie do wzorcowego poziomu osłabienia promieniowania RTG przez osłonę wykonaną z ołowiu. Informacje o równoważnikach ołowiu różnych materiałów budowlanych zawarte są w normach [4, 6]. Uwzględnione zostały następujące materiały do ekranowania: blacha ołowiana; barytobeton; beton; cegła pełna i płyta gipsowo-kartonowa. Im moc urządzenia emitującego promieniowanie jest wyższa, czyli im większe jest napięcie lampy rentgenowskiej, tym bardziej uzasadniona jest potrzeba zaprojektowania i użycia warstwy ołowiu większej grubości. Przytoczona norma [4] nakłada na producentów urządzeń emitujących promieniowanie RTG oraz na projektantów obowiązek wykonania projektu ochrony przed promieniowaniem.

Wymagania dotyczące pracowni rentgenowskich

Zgodnie z obowiązującymi przepisami konstrukcja ścian, stropów, sufitów, okien i drzwi oraz zainstalowane urządzenia ochronne w pracowni rentge-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; dawid.gacki@polsl.pl

nowskiej powinny zabezpieczać osoby pracujące w pomieszczeniu gabinetu rentgenowskiego przed otrzymaniem w ciągu roku dawki promieniowania przekraczającej 6 mSv. Osoby pracujące poza gabinetem rentgenowskim, ale w pomieszczeniach pracowni rentgenowskiej nie powinny być narażone na dawkę przekraczającą 3 mSv w ciągu roku. Zabezpieczenia pracowni rentgenowskiej muszą chronić również ludzi przebywających w sąsiedztwie pomieszczenia z aparatem rentgenowskim i zapewniać, że w ciągu roku nie otrzymają dawki przekraczającej 0,5 mSv. Przepisy [2, 4, 6] określają wartości ekwiwalentu ołowiu przy użyciu dostępnych na rynku materiałów budowlanych. Dokumenty rozróżniają i definiują środki zabezpieczające przed użytkowym promieniowaniem i przed promieniowaniem zakłócającym. Promieniowanie użytkowe wytwarza urządzenie rentgenowskie tylko w określonym kierunku, podczas gdy promieniowanie zakłócające, ze względu na efekt rozpraszania fal, może być emitowane w różnych kierunkach. Natężenie promieniowania zakłócającego jest zmienne. Pojawiające się w pomieszczeniach do badań rentgenowskich promieniowanie użytkowe wymusza konieczność zaprojektowania konstrukcyjnej przegrody izolacyjnej, blokującej możliwość rozprzestrzeniania się promieniowania na przylegające pomieszczenia. Promieniowanie zakłócające najczęściej powstaje podczas pracy specjalistycznych urządzeń, np. w laboratoriach zakładów przemysłowych.

Pomieszczenia do badań rentgenowskich wymagają ekranowania ołowiem lub za pomocą dodatku siarczanu baru do rdzenia gipsowego. Płyty z siarczanem baru są alternatywą dla ciężkich konstrukcji ściennych zawierających ołów i można je montować na identycznych zasadach, jak konwencjonalne płyty gipsowo-kartonowe.

Pomieszczenia rentgenowskie powinny być oddzielone od głównych korytarzy oraz od pomieszczeń zabiegowych. Bezpośrednio w ich sąsiedztwie nie mogą przebiegać również trasy ewakuacyjne. Wielkość chronionego pomieszczenia zależy od możliwości przemieszczania emitera rentgenowskiego. Zalecane jest lokalizowanie pracowni RTG na naj-

wyższych piętrach budynku. Kierunek rozchodzenia się promieniowania sprawia, że sufit i ściana zewnętrzna nie muszą mieć zabezpieczenia rentgenowskiego.

Technologia wykonywania ścian chroniących przed promieniowaniem RTG

Najczęściej stosowanymi technologiami wznoszenia ścian chroniących przed promieniowaniem rentgenowskim są systemy lekkich ścian z okładziną ołowianą skierowaną do pomieszczenia rentgenowskiego. Standardową konstrukcją ścienną z profili blaszanych i z płyt kartonowo-gipsowych wypełnia się niepalną wełną mineralną i pokrywa okładziną z blachy lub folii ołowianej (fotografia 1). Blacha ołowiana jest elastyczna i można ją kształtować na zimno. Łatwo wypełnia szczeliny, wnęki, wybrzuszenia i trudno dostępne miejsca w przegrodach. O jej grubości i wymiarach decydują wymagania konstrukcyjne, ale skuteczną ochroną radiologiczną zapewnia zastosowanie warstwy ołowiu grubości kilku milimetrów. Blacha ołowiana nie wpływa na obniżenie odporności ogniowej ścian. W normie [5] określono oznaczenie i wymagania dotyczące składu chemicznego, stanu powierzchni i dopuszczalnych odchyłek wymiarowych blachy ołowianej walcowanej stosowanej w budownictwie.

Wypełnienie ołowiane musi dolegać do krawędzi podłogi. Konieczne jest wypełnienie szczelin i dylatacji przylegają-



Fot. 1. Wypełnienie blachą ołowianą ściany wewnętrznej

Photo 1. Filling the internal wall with a lead sheet

cych do siebie płyt paskami blachy ołowianej o szerokości co najmniej 5 cm. Ochronę przed promieniowaniem na łączeniach płyt można zapewnić przez użycie odpowiedniej masy szpachlowej lub samoprzylepnej taśmy z ołowiem. Zalecaną techniką jest nacinanie i łamanie płyt. Przed nałożeniem masy szpachlowej krawędzie płyty powinny zostać szlifowane. W przypadku budowy ścian narażonych na intensywne promieniowanie zaleca się użycie drugiej warstwy poszycia, również z okładziną z ołowiu. Ściany i przedścianki obudowuje się płytami jedno- lub dwuwarstwowo. Pozostałe elementy systemu suchej zabudowy są typowe. Powierzchnię płyt gipsowo-kartonowych można gipsować, tynkować, malować, tapetować lub wyłożyć płytkami ceramicznymi. Płyta gipsowo-kartonowa pokryta warstwą ołowiu o grubości 0,5 – 5 mm zabezpiecza powierzchnie przed wnikaniem promieni rentgenowskich. Płyty cechują się również niepalnością oraz wykazują niewielkie odkształcenia przy zmiennych warunkach otoczenia. Konstrukcyjna ochrona przed promieniowaniem RTG musi być wykonana od poziomu podłogi do wysokości ściany $\geq 2,10$ m.

W przypadku specyficznych wymagań przeciwpożarowych wykończenie przegrody może stanowić płyta ogniotwała. Wewnątrz ściany, w materiale izolacyjnym można poprowadzić instalacje elektryczne. Instalacja gniazdek i przełączników w ścianach rentgenowskich wymaga szczególnej uwagi. Najważniejsze jest zachowanie ciągłości wkładu ołowianego. Zastosowanie puszek ściennych wnekowych, wykonanych z ołowiu sprawia, że gniazda i włączniki nie są słabymi punktami w osłonie ochronnej. Konwencjonalne pudełka elektroinstalacyjne wypełnia się i obudowuje osłonami ołowianymi. Planowanie i wykonanie instalacji elektrycznej w ścianach ochronnych musi nastąpić przed ukończeniem przegrody. Nie ma możliwości prawidłowego wykonania instalacji elektrycznej w już ukończonych ścianach chroniących przed promieniowaniem.

Uzupełnieniem ściany może być szyba wykonana ze szkła ołowianego (fotografia 2) oraz drzwi blokujące promienie rentgenowskie. Okna gabinetu radiologicznego, wykorzystywane jako

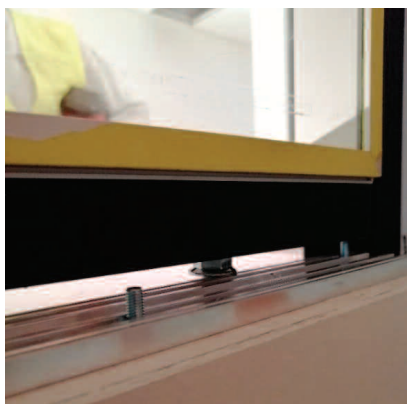


Fot. 2. Ściana wewnętrzna z szybą ołowianą chroniącą przed promieniowaniem rentgenowskim

Photo 2. X-ray protection internal wall with lead glass

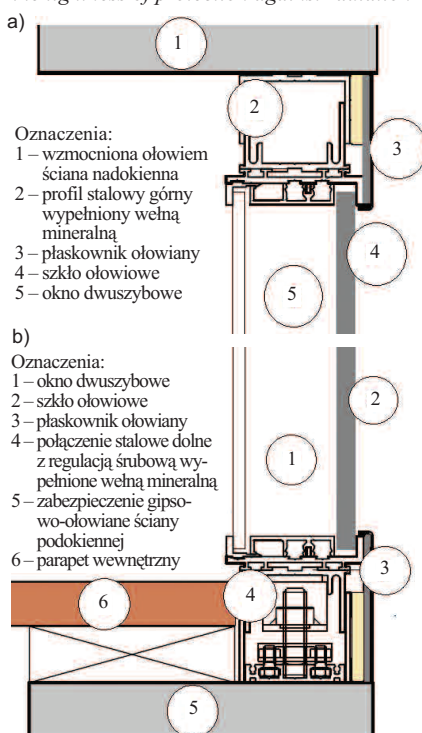
okna podglądowe dla personelu, projektuje się jako nieotwierane. Można je montować w ścianach stałych, a także w systemowych ścianach działowych. Najczęściej zbudowane są z pary szyb, z których jedna ma domieszkę tlenku ołowiu. Kolejność ułożenia szyb względem lokalizacji aparatu rentgenowskiego nie ma znaczenia. Szkło z warstwą ołowiu zabezpieczającą przed promieniowaniem wraz z drugą szybą powinny tworzyć szczelny zestaw eliminujący przedostawanie się kurzu i zanieczyszczeń pomiędzy szyby i mieć wymaganą wartość ekwiwalentu ołowiu. Szkło używane w przegrodach wewnętrznych chroniących przed promieniowaniem rentgenowskim zawiera $22 \div 70\%$ tlenku ołowiu. Charakteryzuje się niepalnością, jest kruche i podatne na stłuczenie oraz ponadstandardową przepuszczalnością światła nawet 90% i niezmiennością w kontakcie z promieniowaniem UV, co powoduje, że może być dezynfekowane różnymi metodami. Okno w ścianie działowej powinno składać się ze szkła ołowianego oraz ramy okiennej, wykonanej również w technologii chroniącej przed promieniowaniem. Osadzenie szyby w ramie musi zapewniać ochronę radiologiczną. Całość przeszklenia zostaje obudowana płaskownikami z ołowiu (fotografia 3). Istnieje również możliwość wykonania dodatkowych osłon w postaci rolet okiennych z ołowiu. Celem finalnym jest wykonanie ochrony przed promieniowaniem na całym obszarze ściany i bez przerw. Rozwiązania techniczne gwarantujące nieprzerwanie szczelności warstwy ochronnej przedstawiono na rysunku.

Normy [4, 6] wymagają, aby drzwi zostały zabezpieczone odpowiednimi zamkami, które w przypadku otwarcia



Fot. 3. Płaskowniki z ołowiu zapewniające ciągłość szczelności ochrony przed promieniowaniem

Photo 3. Lead flat bars ensuring continuity of the tightness of protection against radiation



Schemat montażu osłony wykonanej z płaskownika ołowianego: a) krawędź górna szkła ołowianego; b) krawędź dolna szkła ołowianego
Scheme of the assembly of the shield made of a lead flat bar: a) upper edge of lead glass; b) bottom edge of lead glass

wejścia przerywają działanie aparatu rentgenowskiego. Drzwi przeciwradiacyjne prowadzące do pracowni RTG powinny być wyposażone dodatkowo w warstwę ołowianą, która może mieć różną grubość. Od podanych wymagań mogą istnieć wyjątki, jeśli drzwi otwierające się do pomieszczenia rentgenowskiego znajdują się w odległości większej niż 1,5 m od urządzenia emitującego promienie rentgenowskie. Im zastosowane-

go ołowiu jest więcej, tym lżejsze powinny być pozostałe materiały stosowane do wykonania drzwi. W celu łatwej obsługi można zastosować drzwi przesuwne poruszane automatycznie.

Podsumowanie

Ochrona radiologiczna, obok wymagań ochrony przeciwpożarowej, termicznej czy akustycznej, pełni rolę dominującą podczas projektowania pomieszczenia rentgenowskiego. Pomieszczenie z aparatem rentgenowskim powinno mieć osłony ze wszystkich stron oraz umożliwiać kontakt wzrokowy z pacjentami.

Realizując projekt związany z zabezpieczeniem pomieszczeń przed promieniowaniem RTG, należy zwrócić uwagę na lokalizację i rozmiar pomieszczenia. Im mniejsza jego powierzchnia, tym większe wsteczne rozproszenie promieniowania. Należy również wziąć pod uwagę grubość wymaganych materiałów oraz położyć nacisk na szczelność osłony ochronnej. Szczeliny, łączenia, dytatacje, mocowania, zamki, puszkę gniazd elektrycznych muszą być szczelnie osłonięte i nie mogą zmniejszać grubości przegród. Zastosowanie niezależnego zasilania, łatwo dostępnego przycisku awaryjnego wyłączenia urządzenia oraz oddzielnych puszek ochrony przed promieniowaniem gwarantuje pełne zabezpieczenie pomieszczeń. Opisane systemy ścian chroniących przed promieniowaniem RTG zastąpiły stosowane wcześniej elementy budowlane z betonu ciężkiego lub z cegły pełnej z zachowaniem odpowiedniej grubości ścian.

Wszystkie fotografie: Autor

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi, Dz.U. 2006 nr 180 poz. 1325.
- [2] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 18 lutego 2011 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej, Dz.U. 2011 nr 51 poz. 265 z późn. zmianami.
- [3] DIN 6812:2013-06 Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes. Medyczne urządzenia rentgenowskie do 300 kV – Zasady budowy strukturalnej ochrony przed promieniowaniem.
- [4] PN-EN 12588:2009 Ołów i stopy ołowiu – Blacha ołowiana walcowana dla budownictwa.
- [5] PN-86 J-80001 Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i gamma. Obliczanie osłon stałych.

Przyjęto do druku: 17.03.2022 r.