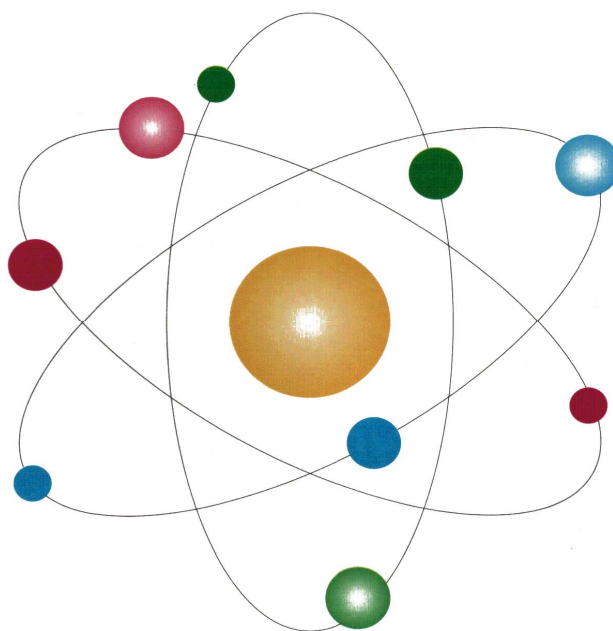




Wieliczka 21-24.06.2017r.



**Konferencja jest objęta patronatem
Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki**

XX KONFERENCJA
Inspektorów Ochrony Radiologicznej
21-24.06.2017 r.
w Hotelu Soray Wieliczka
„Różne aspekty ochrony radiologicznej”
Program Konferencji

Data 21.06.2017	Środa
godz.18.30	Przyjazd do hotelu
godz.19.00	Kolacja

Data 22.06.2017	Czwartek
godz. 8.00 – 9.30	Śniadanie
godz. 10.00 - 10.05	Otwarcie Konferencji Dyrektor WCO Prof. dr hab. Julian Malicki Prezes SIOR mgr Maria Kubicka
godz. 10.05 -10.20	Prof. dr hab. Julian Malicki Wielkopolskie Centrum Onkologii Poznań Zmiany w uregulowaniach prawnych dotyczących zawodu fizyka medycznego i elektroradiologa

Sesja I inauguracyjna
Godz. 10.20-11.40
Prowadzący sesję: Maria Kubicka, Jerzy Zandberg

22.06.2015 Czwartek	Wykładowca	Temat
10.20-10.40	Mgr Monika Skotniczna Państwowa Agencja Atomistyki Warszawa	Uprawnienia personalne w myśl Dyrektywy BSS
10.40-11.20	Ing.Martin Holcner Export Sales Manager VF, a.s. Černá Hora, Czechy	Wymagania dotyczące systemów monitoringu promieniowania w elektrowniach jądrowych w Czechach
11.20-11.40	Kawa	

Sesja II „Pomierzmy i policzmy”- część I
Godz. 11.40-13.30
Prowadzący sesję: Dorota Wróblewska, Janusz Barczyk

22.06.2015 Czwartek	Wykładowca	Temat
11.40-12.00	Mgr inż.Władysław Weker Państwowe Muzeum Archeologiczne Warszawa	Śladami Bohdana Marconiego
12.00-12.45	Inż.Jerzy Zandberg Zarząd SIOR	Jakie zagrożenie radiologiczne występują przy

		produkcji radiofarmaceutyków w cyklotronie przemysłowym
12.45-13.30	Mgr inż. Jerzy Wojnarowicz Narodowe Centrum Badań Jądrowych POLATOM Warszawa Zofia Kiersnowska	Jakich zezwoleń wymaga produkcja radiofarmaceutyków w cyklotronie przemysłowym

13.30-14.30	Obiad	
-------------	-------	--

Sesja III „Policzmy i pomierzmy” - część II
Godz. 14.30-15.50
Prowadzący sesję: Grzegorz, Jezierski, Kinga Kapecka

14.30-14.50	Mgr inż. Jerzy Wojnarowicz Narodowe Centrum Badań Jądrowych POLATOM Warszawa Zofia Kiersnowska	Jakich zezwoleń wymaga produk radiofarmaceutyków w cyklotronie przemysłowym Obliczenia dawki obciążającej c.d.
14.50-15.05	Inż. Jerzy Zandberg Zarząd SIOR	Z jakim narażeniem i przypadkami należy liczyć się na granicy oraz jakie stwarza to zagrożenie dla funkcjonariuszy Straży Granicznej i Służb Celnych
14.05-15.10	Mjr. SG Antczak Mariusz Komenda Główna Straży Granicznej Warszawa	Kontrola radiometryczna prowadzona przez funkcjonariuszy Straży Granicznej oraz zagrożenia radiologiczne z jakimi mogą się spotkać funkcjonariusze Straży Granicznej
15.10-15.30	Mgr inż. Igor Krupiński Polon Alfa Bydgoszcz	Metody pomiarowe promieniowania jonizującego. Interpretacja wyników pomiarów dozymetrycznych.
15.30-15.50	Inż. Adam Wróbel Kopalnia Mysłowice Wesola Mysłowice	Zagrożenia od naturalnych substancji promieniotwórczych w górnictwie
15.50-16.00	Kawa	
16.10	Walne Zebranie członków SIOR	
19.00	Kolacja	

23.06.2017	Piątek	
8.00-9.00	Śniadanie	

Sesja IV Wyjazdowa
Wizyta w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie
Godz. 9.30-16.00

9.30 -11.30	Zwiedzanie laboratoriów Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie z podziałem uczestników Konferencji na grupy	Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej
		Laboratorium Ekspertyz Dozymetrycznych
		Laboratorium Analiz Promieniotwórczości
		Laboratorium Przyrządów Dozymetrycznych
11.30-12.00	Przerwa kawowa – Bistro Kwant	
12.00-12.05	Dyrektor IFJ PAN Prof. dr hab. Marek Jeżabek	Przywitanie uczestników konferencji
12.05 –12.30	Dr hab.inż.Maciej Budzanowski prof. IFJ PAN	Zastosowanie termoluminescencji w dozymetrii indywidualnej, środowiskowej i klinicznej promieniowania jonizującego
12.30- 12.50	Dr inż.Renata Kopeć	Terapia protonowa w Centrum Cyklotronowym Bronowice
12.50 –13.05	Dr inż.Izabela Milcewicz-Mika	15 lat działalności Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej
13.05 –13.20	Dr hab.Krzysztof Kozak	Mobilne laboratorium spektrometryczno-dozymetryczne CHIMERA Lab.; Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN
13.20 –13.35	Dr Kamil Brudecki	Wchłonięcia I-131 wśród personelu medycznego zakładów medycyny nuklearnej w Polsce
13.35 –13.50	Mgr inż.Katarzyna Zbroja	Prezentacja Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych
14.00 –15.00	Obiad	
15.00-15.30	Dalszy ciąg zwiedzania w grupach	
15.30-16.00		Zwiedzanie CCB
19.30	Kolacja w hotelu	

24.06.2017	Sobota
godz.8.00	Śniadanie
godz.10.00	Zakończenie Konferencji

Streszczenia referatów

Julian Malicki	Wielkopolskie Centrum Onkologii Poznań
Zmiany w uregulowaniach prawnych dotyczących zawodu fizyka medycznego i elektroradiologa	
-	
Monika Skotniczna	Państwowa Agencja Atomistyki Warszawa
Uprawnienia personalne w myśl Dyrektywy BSS	
DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom; definiuje takie stanowiska, jak: „ekspert ochrony przed promieniowaniem” oraz „inspektor ochrony radiologicznej”. Polska, jako kraj członkowski jest zobligowana wdrożyć postanowienia Dyrektywy najpóźniej do dnia 6 lutego 2018 r. Obecnie trwa proces legislacyjny, a proponowane zapisy zmian w ustawie Prawo atomowe mogą ulec zmianie. Mimo, iż zapisy te nie są literalną implementacją Dyrektywy, konsumują jej wymagania jednocześnie nakładając dodatkowe obowiązki na inspektora ochrony radiologicznej.	
Martin Holcner	Export Sales Manager VF, a.s. Czechy
Wymagania dotyczące systemów monitoringu promieniowania w elektrowniach jądrowych w Czechach	
Współczesny świat stale zwiększa wymagania w zakresie ochrony przed promieniowaniem w elektrowniach jądrowych, zwłaszcza po wypadku w elektrowni jądrowej w Fukusima. Oprócz monitorowania promieniowania podczas normalnej eksploatacji, elektrownie jądrowe są zobowiązane do zapewnienia wypadkowego i powypadkowego monitorowania promieniowania. Prezentacja będzie dotyczyć wymagań systemów monitorowania promieniowania w elektrowniach jądrowych w Czechach, doświadczenia firmy VF w ciągłych usługach dla elektrowni jądrowej Dukovany w ramach umowy o świadczenie usług długoterminowych oraz modernizacji systemów monitorowania promieniowania w elektrowni jądrowej w Dukovanach.	

Władysław Weker	Państwowa Muzeum Archeologiczne Warszawa
Śladami Bohdana Marconiego	
20 lat po pierwszej publikacji o wykorzystaniu techniki zdjęć rentgenowskich do badań zabytków, w 1934 roku Profesor Bohdan Marconi doprowadził do uruchomienia w Muzeum Narodowym w Warszawie pracowni badań radiograficznych. Metoda ta wytyczała nowy kierunek badań zabytków. Badanie rentgenowskie - rewolucyjna wówczas metoda diagnostyki zabytków pozwoliła zdobyć niezwykle cenne dla konserwatorów i historyków sztuki wcześniej nieosiągalne informacje. Już rok później Bogdan Marconi opublikował pierwszą w języku polskim publikację prezentującą wyniki badań rentgenowskich gotyckiego obrazu namalowanego na drewnianym podłożu: ZASTOSOWANIE PROMIENI ROENTGENA PRZY KONSERWACJI OBRAZU «Madonna z Dzieciątkiem i fundatorem bisk. Lubranskim» Zastosowanie techniki radiograficznej umożliwiło nie tylko zbadanie stanu zachowania zabytków. Badając obrazy można było poznać historię działań konserwatorskich w przeszłości, stwierdzić obecność przemalowań, retuszy i uszkodzeń. Rentgenogramy pozwalały stwierdzić że pod widocznym obrazem istnieje niejednokrotnie inny obraz będący czasem jego wcześniejszą wersją. Zdjęcia rentgenowskie umożliwiły poznanie konstrukcji urządzeń nierozbieralnych lub tak skorodowanych, że ich poznanie bez uszkodzenia jest niemożliwe. Profesor Marconi i jego następcy modyfikowali tę technikę. Przed II wojną światową stosowano technikę wykonywania serii zdjęć rentgenowskich ruchomym aparatem (zwanej również planografią, tomografią, serioskopią, radiotomią). Opracowano technikę stereoskopowych zdjęć rentgenowskich uzyskując możliwość uzyskiwania trójwymiarowych obrazów. Obecnie badania rentgenowskie są podstawową techniką badań nieniszczących zabytków. Umożliwia ocenę stanu zachowania obiektu oraz dobór właściwych metod konserwatorskich. Niekiedy dają jedyną możliwość uzyskania i udokumentowania oryginalnego kształtu przedmiotu całkowicie zniszczonego przez korozję oraz poznanie technologii jego produkcji. Obecnie metody badawcze dają coraz potężniejsze narzędzia do badań zabytków. Tomografia komputerowa, wykorzystanie promieniowania o wysokich energiach otrzymywanego w akceleratorach stwarza całkowicie nowe możliwości badawcze.	

Jerzy Zandberg	Stowarzyszenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej Warszawa
Jakie zagrożenie radiologiczne występują przy produkcji radiofarmaceutyków w cyklotronie przemysłowym	
Z uwagi na jubileuszowy charakter naszego spotkania, bądź co bądź XX Konferencja, pragnę przedstawić Państwu problematykę ochrony radiologicznej posiadającej w Polsce jeszcze, pomimo już działających kilku „fabryk” FDG, walory świeżości pracowni cyklotronu do produkcji radiofarmaceutyków. W Polsce działa kilka typów cyklotronów różnych producentów jak produkowany przez IBA Cyclone 18/9, Eclipse 11 MeV produkcji Siemens czy PETtrace serii 800 produkcji GE. Dla potrzeb dzisiejszego spotkania ograniczę się do aparatu Cyclone 18/9 produkującego FDG CYKLOTRON Cyclone 18/9 - PODSTAWOWE INFORMACJE O APARACIE Cyklotron Cyclone 18/9 produkowany przez IBA jest akceleratorem cyklicznym, izochronicznym, przyspieszającym ujemnie naładowane jony wodoru (H^-) do ustalonej energii 16,5 MeV oraz jony deuteru (D^-) do energii 8,4 MeV. W konfiguracji przykładowej wykorzystywane będzie tylko źródło jonów wodoru [H^- zimna katoda]. Generalnie w skład cyklotronu wchodzi: • struktura przyspieszająca zawierająca źródło jonów, system rdzenia cyklotronu z magnesem, systemu próżniowego, system wyprowadzenia i diagnostyki wiązki oraz system wysokiej częstotliwości; • system sterowania, z jednostką sterującą i stacją roboczą, zapewniający kontrolę i rejestrację danych oraz wykonujący automatycznie zaprogramowane cykliczne i logiczne zadania sterujące pracą aparatu; • system elektroniki, zasilania i urządzenia związane z pracą	

aparatu.

Budowa cyklotronu (jony ujemne) i dobór materiałów skutkuje niskim poziomem promieniowania z samych elementów akceleratora. Narażenie pracowników, przy zastosowaniu odpowiednich zasad bezpieczeństwa, jest pomijalne (np. czas potrzebny na wymianę elementu mocującego folie do ekstrakcji wynosi mniej niż 2 minuty, zmiana portu - poniżej 1 minuty).

System kontroli (komputer znajdujący się w pomieszczeniu Sterowni pozwala na: włączenie/wyłączenie, ustawienia, zmianę cząstek, zapis danych, ciągły monitoring podzespołów i zabezpieczeń.

Cyklotron jest wysoce zautomatyzowany i może być wyposażony w sześć różnych tarcz (posiada 6 portów). Konstrukcja cyklotronu Cyclone 18/9 umożliwia jednoczesne naświetlania dwóch tarcz (dual beam) – ekstrakcja na foliach węglowych (stripping-foil technique).

Aparat umożliwia instalację tarcz gazowych, ciekłych i stałych z których można uzyskać szereg izotopów stosowanych w medycynie jak ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O i ^{18}F . Ponadto cyklotron umożliwia produkcję ^{124}I , ^{86}Y , ^{64}Cu i ^{66}Ga .

Jak wspomniałem przedmiotem naszych rozważań będzie jedynie produkcja FDG z ^{18}F .

Całkowity, gwarantowany prąd wiązki wynosi dla protonów 80 μA .

Strumień neutronów przy prądzie 80 μA dla protonów o energii 16,5 MeV i tarczy Al wynosi:

na wprost wiązki: 3×10^7 [neutron $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]

pod kątem 90° : 9×10^6 [neutron $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]

pod kątem 180° : 3×10^6 [neutron $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]

Z punktu widzenia ochrony radiologicznej najważniejszą działalnością prowadzoną na cyklotronie jest produkcja izotopu ^{18}F przy której występuje największa dawka od promieniowania neutronowego.

Poniższy obrazek przedstawia cyklotron Cyclone 18/9



PODSTAWOWE WYMAGANIA DLA PRACOWNI CYKLOTRONU

Cyclone 18/9

1. Pracownia musi być wyposażona we właściwy dla prowadzonej działalności stacjonarny i mobilny sprzęt dozymetryczny.
2. Organizacja ruchu osób na terenie Zakładu Produkcji Radionuklidów musi wykluczyć niekontrolowany dostęp do pomieszczeń zaliczonych do terenów kontrolowanych i nadzorowanych. Dostęp do terenów produkcyjnych poprzez służę dozymetryczną kontrolowany elektronicznie.
3. Personel Pracowni musi zostać przeszkolony do pracy w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące.
4. Obowiązki Inspektora Ochrony Radiologicznej (IOR) pełnić może osoba posiadająca ważne uprawnienia co najmniej typu IOR-1
5. W Zakładzie Produkcji Radionuklidów wszyscy pracownicy bezpośrednio i pośrednio narażeni na promieniowanie jonizujące

powinni zostać objęci zostaną indywidualną kontrolą dawek.

6. Każdy pracownik zawodowo narażony na działanie promieniowania jonizującego musi być objęty systematyczną kontrolą lekarską prowadzoną przez właściwą upoważnioną jednostkę służby zdrowia.

Z punktu widzenia przepisów z zakresu ochrony radiologicznej pracownia cyklotronu musi spełnić niżej wymienione warunki.

1. Powierzchnia kabin cyklotronu nie może posiadać powierzchni mniejszej niż 20 m^2
2. System wentylacyjny pracowni należy zrealizować na zasadach ogólnych z uwzględnieniem wymagań producenta cyklotronu.
3. Stopień osłabienia promieniowania jonizującego przez ściany zewnętrzne i stropy pracowni musi zapobiegać otrzymaniu przez osoby z ogół ludności w ciągu kolejnych 12 miesięcy dawki skutecznej promieniowania jonizującego, związanej z prowadzeniem działalności z promieniowaniem jonizującym w pracowni przekraczającej $0,3 \text{ mSv}$, zaś w przypadku pracowników zaliczonych do kategorii narażenia A – 20 mSv .
4. Wejścia do komory cyklotronów muszą być wyposażone w sygnalizację świetlną informującą o zasilaniu cyklotronu wysokim napięciem.

Źródłem promieniowania w cyklotronie są tarcze napromieniane wiązką protonów w wyniku czego powstaje promieniowanie neutronowe oraz wtórnie promieniowanie gamma powstające w wyniku oddziaływania neutronów z powietrzem. Z tego względu osłony pracowni zostały zaprojektowane zarówno jako do ochrony przed promieniowaniem gamma jak również (głównie) przed neutronami.

Z uwagi na potencjalne narażenie na promieniowanie jonizujące wszelka działalność z cyklotronem od instalacji i uruchomienia poprzez jego eksploatację może być prowadzona przez wykwalifikowany i uprawniony personel. Instalacja, uruchomienie oraz prace serwisowe mogą być prowadzone jedynie przez specjalistyczny serwis producenta posiadający właściwe zezwolenie Prezesa PAA. Obsługa cyklotronu

może być prowadzona przez pracowników Zakład Produkcji Radionuklidów posiadających uprawnienia typu A-A.

PRODUKCJA ^{18}F W CYKLOTRONACH

Wszystkie materiały do produkcji FDG dostarczane przez dostawców zewnętrznych personel przenosi do magazynu. Następnie po przeprowadzeniu badań jakości zostają one zwolnione do produkcji.

Przed uruchomieniem cyklotronu 2-5 ml wody $\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$ jest wprowadzane systemem iniekcyjnym do targetu wykonanego z tantalu lub niobu.

W cyklotronie następuje jonizacja gazowego wodoru. Naładowane cząsteczki rozpędzone w polu magnetycznym po zderzeniu z targetem węglowym tracą elektrony i zmieniają się w protony.

Protony uderzają w target docelowy ($\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$ w ilości 2-5 ml) i zachodzi następująca reakcja: $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})\ ^{18}\text{F}$

Do produkcji wykorzystywane są dwie tarcze z możliwością jednoczesnego bombardowania obu tarcz.

Materiał tarczy: $\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$ (napełniane automatycznie uruchamiane ze Sterowni).

Zawartość izotopu ^{18}O powyżej 95% (aby zminimalizować powstawanie ^{13}N w reakcji $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)\ ^{13}\text{N}$)

Energia protonów: 16,5 MeV

Materiał komory tarczy: niob lub tantal

Chłodzenie tarczy: woda zdejonizowana

Materiał folii: węgiel

Chłodzenie folii: Szybko recykulowany hel

Pojemność tarczy: ok. 1,9 ml

Transport w postaci płynnej kapilarą z tworzywa sztucznego w posadzce do komór gorących oraz dyspenserów, przez target switch (system zaworów pozwalających na przesłanie roztworu do różnych komór gorących). Ochronę radiologiczną kapilar zapewnia pokrywa betonowa o grubości 30 cm.

Czas transportu – ok. 2 minut.

Średnia aktywność pozostała w kapilarze w czasie transferu wynosi ok. 0,15% na metr linii przesyłowej.

Czynności serwisowe związane z produkcją izotopu ^{18}F :

1. Niobowy wkład tarczy – po 50 – 60 godzinach produkcji
2. Filtr tarczy – wymiana po 30 produkcjach
3. Linie przesyłowe (kapilary) – po 2 – 3 miesiącach użytkowania.

Po 2-3 godzinach napromieniania powstaje wystarczająca aktywność jonów fluoru ^{18}F .

Po zakończeniu bombardowania gotowy roztwór przetłaczany jest do komory gorącej znajdującej się w pracowni izotopowej klasy II. Transfer następuje kapilarami z tworzywa sztucznego kanałami znajdującymi się pod podłogą.

Kanał jest ekranowany na całej długości osłoną betonową o grubości 30 cm. Target podlegający bombardowaniu w cyklotronie nie wymaga mycia wodą, ponieważ podlega oddziaływaniu jedynie wody H_2O^{18} i suszony jest gazem obojętnym po każdym transferze fluoru do komór gorących.

Cyklotron jest zdalnie sterowany ze Sterowni.

Źródłem narażenia na promieniowanie jonizujące w czasie pracy cyklotronu jest głównie promieniowanie neutronowe powstające w czasie reakcji $^{18}\text{O}(p,n) ^{18}\text{F}$; po zakończeniu bombardowania promieniowanie gamma elementów cyklotronu wzbudzonych występującym promieniowaniem neutronowym.

PRZYKŁADOWE OBLICZENIA SKUTECZNOŚCI OSŁON PRACOWNI CYKLOTRONU

Obliczenia skuteczności osłon wykonałem zgodnie z zaleceniami NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION zawartymi w dokumencie Report No 144 „Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities”. Zgodnie z Raportem moc dawki za osłoną można policzyć zgodnie z zależnością:

$$D^* = H_n \cdot \Phi_0 \cdot l \cdot k \cdot t_0 \cdot T \cdot \frac{X_0^2}{X^2}$$

gdzie:

D^* - moc dawki w miejscu osłanianym z uwzględnieniem osłony [mSv/tydzień]

H - współczynnik wiążący równoważnik dawki w miejscu osłanianym bez osłony zawierający udział fotonów (wg NCRP Report No 144) w [rem cm² neutron⁻¹]. Dla osłony wykonanej z betonu o gęstości 2,3 g/cm³ o grubości 200 cm – $H = 3 \times 10^{-13}$ [rem cm² neutron⁻¹], zaś dla grubości 150 cm – $H = 1 \times 10^{-11}$ [rem cm² neutron⁻¹],

Φ_0 – gęstość strumienia neutronów w odległości odniesienia w rozpatrywanym kierunku (wg danych producenta [neutron cm⁻² s⁻¹ μ A⁻¹]

I – prąd wiązki [μ A]

K – współczynnik proporcjonalności pomiędzy mSvh a rems równy

$$k = 3,6 \times 10^4$$

$$[mSv \cdot h \cdot rem^{-1} \cdot s^{-1}]$$

t_0 - maksymalny tygodniowy czas pracy cyklotronu dla jednej zmiany

T – współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w miejscu osłanianym [h/tydzień]

X_0 – odległość odniesienia równa 1m

X - odległość miejsca osłanianego od centrum rozpraszania

PRZYKŁADOWE OBLICZENIA SKUTECZNOŚCI OSŁON

Osłona korytarz wewnętrznego

Przyjęto, że za osłoną, którą jest ściana betonowa o grubości **200 cm**. na korytarzu wewnętrznym odległym o 7 m od źródła promieniowania przebywają pracownicy zawodowo narażeni na promieniowanie jonizujące zaliczeni do kategorii narażenia A z prawdopodobieństwem **$T = 0,05$** . Czas pracy aparatu przy prądzie **$I = 80 \mu A$** wynosi **$t = 20 h$** na jedną zmianę. Dopuszczalny tygodniowy limit użytkowy **$D = 0,4 mSv$** .

Do obliczenia skuteczności osłony przyjęto poniższe parametry robocze:

$H = 3 \times 10^{-13}$ [rem cm² neutron⁻¹] - współczynnik wiążący równoważnik

dawki w miejscu osłanianym bez osłony zawierający udział fotonów dla osłony wykonanej z betonu o gęstości $2,3 \text{ g/cm}^3$ o grubości 200 cm – wg NCRP Report No 144.

$$\Phi_0 = 3,75 \times 10^6 \text{ [neutron cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \mu\text{A}^{-1}\text{]}$$

$$I = 80 \text{ } [\mu\text{A}]$$

$$t_0 = 20 \text{ [h]}$$

$$k = 3,6 \times 10^4 \text{ [mSv h rem}^{-1} \text{ s}^{-1}\text{]}$$

$$T = 0,05$$

$$X_0 = 1 \text{ [m]}$$

$$X = 7 \text{ [m]}$$

$$D = 0,4 \text{ [mSv]}$$

Dawkę od promieniowania neutronowego i fotonowego oblicza się z zależności [1]

$$D^* = H_n \cdot \Phi_0 \cdot I \cdot k \cdot t_0 \cdot T \cdot \frac{X_0^2}{X^2}$$

Po podstawieniu danych otrzymuje się:

$$D^* = 3 \times 10^{-13} \times 3,75 \times 10^6 \times 80 \times 3,6 \times 10^4 \times 20 \times 0,05 \times \frac{1}{7^2} = 66 \times 10^{-3} \text{ [mSv]}$$

WNIOSEK

Ponieważ dawka za osłoną 200 cm betonu równa $D^* = 6,6 \times 10^{-3} = 0,066 \text{ [mSv]}$ jest mniejsza od przyjętego limitu użytkowego $D = 0,4 \text{ [mSv]}$ osłona jest wystarczająca do zapewnienia właściwego poziomu ochrony radiologicznej pracownikom Zakładu przebywającym sporadycznie na korytarzu wewnętrznym.

Osłona Sterowni cyklotronu

Sterownia cyklotronu znajduje się w odległości 13,5 m od źródła promieniowania. Osłonę stanowi ściana betonowa o grubości **200 cm**. Za osłoną przebywają pracownicy zawodowo narażeni na promieniowanie jonizujące zaliczeni do kategorii narażenia A z prawdopodobieństwem $T = 1$. Czas pracy aparatu przy prądzie $I = 80 \mu\text{A}$ wynosi $t = 20 \text{ h}$ na jedną zmianę. Dopuszczalny tygodniowy limit użytkowy $D =$

0,4 mSv.

Do obliczenia skuteczności osłony przyjęto poniższe parametry robocze:

$H = 3 \times 10^{-13} [\text{rem cm}^2 \text{neutron}^{-1}]$ - współczynnik wiążący równoważnik dawki w miejscu osłanianym bez osłony zawierający udział fotonów dla osłony wykonanej z betonu o gęstości $2,3 \text{ g/cm}^3$ o grubości 200 cm – wg NCRP Report No 144.

$\Phi_0 = 3,75 \times 10^6 [\text{neutron cm}^{-2} \text{s}^{-1} \mu\text{A}^{-1}]$

$I = 80 [\mu\text{A}]$

$t_0 = 20 [\text{h}]$

$k = 3,6 \times 10^4 [\text{mSv h rem}^{-1} \text{s}^{-1}]$

$T = 1$

$X_0 = 1 [\text{m}]$

$X = 10,5 [\text{m}]$

$D = 0,4 [\text{mSv}]$

Dawkę od promieniowania neutronowego i fotonowego oblicza się z zależności

$$D^* = H_n \cdot \Phi_0 \cdot I \cdot k \cdot t_0 \cdot T \cdot \frac{X_0^2}{X^2}$$

Po podstawieniu danych otrzymuje się:

$$D^* = 3 \times 10^{-13} \times 3,75 \times 10^6 \times 80 \times 3,6 \times 10^4 \times 20 \times 1 \times \frac{1}{13,5^2} = 35,7 \times 10^{-2} [\text{mSv}]$$

WNIOSEK

Ponieważ dawka za osłoną 200 cm betonu równa $D^* = 35,7 \times 10^{-2} = 0,357 [\text{mSv}]$ jest mniejsza od przyjętego limitu użytkowego $D = 0,4 [\text{mSv}]$ osłona jest wystarczająca do zapewnienia właściwego poziomu ochrony radiologicznej pracownikom Zakładu przebywającym w Sterowni cyklotronu.

Jerzy Wojnarowicz	POLATOM Narodowe Centrum Badań Jądrowych Otwock
Jakich zezwoleń wymaga produkcja radiofarmaceutyków w cyklotronie	
-	
Jerzy Wojnarowicz	POLATOM Narodowe Centrum Badań Jądrowych Otwock
Jakich zezwoleń wymaga produkcja radiofarmaceutyków w cyklotronie c.d.	
-	
Jerzy Zandberg	Stowarzyszenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej Poznań
Z jakim narażeniem i przypadkami należy liczyć się na granicy oraz jakie stwarza to zagrożenie dla funkcjonariuszy Straży Granicznej i Służb Celnych	
Szanowni Państwo Jedyne co mogę Państwu zagwarantować to na pewno w swej działalności nie będziecie narażenia promieniowanie bomby walizkowej oraz tzw. brudnej bomby, albowiem występują one jedynie w amerykańskich filmach klasy czerwony indyk. Natomiast wszelkie inne przypadki stwierdzenia wzrostu tła promieniowania z jakimi spotkacie się na przejściach granicznych omówimy w trakcie spotkania.	
mjr SG Mariusz Antczak	Straż Graniczna
Kontrola radiometryczna prowadzona przez funkcjonariuszy Straży Granicznej oraz zagrożenia radiologiczne z jakimi mogą się spotkać funkcjonariusze Straży Granicznej	
Zgodnie z ustawą z dnia 12 października 1990 r. o Straży Granicznej jednym z zadań realizowanym przez funkcjonariuszy tej jednolitej, umundurowanej i uzbrojonej formacji jest zapobieganie transportowaniu bez wymaganego zezwolenia przez granicę państwową min. materiałów jądrowych i promieniotwórczych. Prowadzenie kontroli radiometrycznej przez funkcjonariuszy Straży Granicznej realizowane jest zarówno w przejściach granicznych (drogowych, kolejowych, lotniczych i morskich) przy jednoczesnym zachowaniu płynności odpraw granicznych, jak również w trakcie mobilnych kontroli na terenie całego kraju. Monitorowanie poziomu promieniowania jonizującego bezpośrednio na granicy państwa w celu wykrycia nielegalnych lub nieświadomych przewozów jest jedyną efektywną metodą zapewniającą nieinwazyjną i skuteczną kontrolę radiometryczną osób, środków transportu i towarów przekraczających granicę. W celu realizacji tego	

zadania Straż Graniczna wyposażona została w stacjonarne oraz przenośne urządzenia do wykrywania promieniowania jonizującego. Posługiwanie się specjalistycznym sprzętem, poprawna interpretacja wyników pomiarów oraz właściwe postępowanie w przypadku wykrycia materiałów promieniotwórczych wymaga od funkcjonariusza dokonującego kontroli radiometrycznej posiadania niezbędnej wiedzy dotyczącej natury promieniowania jonizującego, technologii prowadzenia kontroli oraz zasad bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego. Powyższe nabiera szczególnego znaczenia w sytuacji wykrycia niekontrolowanego źródła promieniowania jonizującego.

Igor Krupiński

**POLON ALFA
Bydgoszcz**

**Metody pomiarowe promieniowania jonizującego.
Interpretacja wyników pomiarów dozymetrycznych**

Ocena narażenia na promieniowanie jonizujące wymaga wykorzystania metod pomiarowych odpowiednich dla stosowanych źródeł promieniowania oraz właściwej interpretacji uzyskiwanych wyników pomiarów.

Limitowane w przepisach, związane z narażeniem organizmu człowieka wielkości - dawka równoważna i dawka efektywna, nie są mierzalne.

Dla ich oceny posługujemy się w dozymetrii wskaźnikami – wielkościami operacyjnymi.

Stosując wielkości operacyjne, należy pamiętać, że dla spełnienia wymagań ochrony radiologicznej, niezbędne jest zapewnienie pesymistycznej oceny narażenia tzn. określenie najwyższych z prawdopodobnych wartości napromienienia człowieka.

Przy określaniu dawki posługujemy się różnymi, w zależności od potrzeb, wielkościami równoważnika dawki.

Wśród istotnych elementów jakie należy uwzględnić przy interpretacji wyników pomiarów można wymienić:

- wymagania określone w obowiązujących przepisach
- rodzaj narażenia i sposób napromienienia tkanek
- niepewność pomiaru (znane źródła niepewności pomiaru)
- czas pracy w warunkach narażenia
- prawdopodobieństwo przebywania w określonych miejscach
- prawdopodobieństwo pracy/oddziaływania źródła promieniowania

Adam Wróbel	Kopalnia Wesola Myslowice Myslowice
Zagrożenia od naturalnych substancji promieniotwórczych w górnictwie	
W górnictwie podziemnym podstawowym kryterium oceny zagrożenia substancjami promieniotwórczymi, jest możliwość narażenia na wchłonięcie do organizmu krótkożyciowych produktów rozpadu radu, narażenia zewnętrznego na promieniowanie gamma emitowane przez wody, osady dołowe i skały górotworu. W podziemnym zakładzie górniczym wykonuje się pomiary następujących wskaźników zagrożenia radiacyjnego: – stężenia energii potencjalnej alfa w powietrzu krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, w rejonowych prądach wylotowych powietrza, – sumarycznego stężenia izotopów radu Ra –226 i Ra –228 w wodach zbiorczych z poszczególnych rejonów, w których prowadzona jest eksploatacja górnicza oraz poszczególnych poziomów, – sumarycznej aktywności właściwej izotopów radu Ra –226 i Ra –228 w osadach kopalnianych w chodnikach i zbiornikach wodnych, miejscach większego nagromadzenia osadów kopalnianych, jeśli w pobliżu znajdują się miejsca stałej pracy załogi, – ekspozycji na zewnętrzne promieniowanie gamma, w chodnikach wodnych, pompowniach, miejscach pracy, w których nagromadzone są osady kopalniane, Dawkę skuteczną E [mSv] otrzymaną w ciągu określonego czasu oblicza się jako sumę: $E = E_{\alpha} + E_{\gamma} + E_{Ra}$ gdzie: E_{α} – oznacza dawkę skuteczną wynikającą z oddziaływania energii potencjalnej alfa w powietrzu krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, $E_{\alpha} = 0,0014 \cdot (C_{\alpha} - 0,1) \cdot t$ (C_{α} [$\mu\text{J}/\text{m}^3$] –stężenie energii potencjalnej alfa w powietrzu krótkożyciowych produktów rozpadu radonu), E_{γ} – oznacza dawkę skuteczną wynikającą z ekspozycji na zewnętrzne promieniowanie gamma, $E_{\gamma} = 0,0014 \cdot (K - 0,1) \cdot t$ (K [$\mu\text{Gy}/\text{h}$] – moc kerry	

promieniowania gamma w powietrzu),

E_{Ra} – oznacza dawkę obciążającą spowodowaną wniknięciem izotopów radu Ra –226 i Ra –228 do organizmu w rozpatrywanym czasie ocenia akredytowane laboratorium na podstawie szczegółowych informacji o czasie kontaktu z wodami kopalnianymi i osadami kopalnianymi, charakterze wykonywanej pracy i zastosowanej technologii, zapyleniu i wilgotności powietrza oraz stosowanych ochronach osobistych.

Pomiary powietrza wykonuje się za pomocą przystawek alfa do pyłomierzy lub radiometru radonowego, natomiast pomiar mocy kermy za pomocą radiometrów lub dawkomierzy. Próbkę wód i osadów przekazuje się do akredytowanego laboratorium

Maciej Budzanowski

**Instytut Fizyki Jądrowej PAN
Kraków**

Zastosowanie termoluminescencji w dozymetrii indywidualnej, środowiskowej i klinicznej promieniowania jonizującego

Detektory termoluminescencyjne (TLD) są stosowane w dozymetrii promieniowania jonizującego od lat 50-tych zeszłego stulecia, kiedy po raz pierwszy używano do pomiaru dawki i mocy dawki wokół naziemnych próbek jądrowych w USA. Od tego czasu zaczęto stosować w rutynowych pomiarach dawek indywidualnych, środowiskowych a także klinicznych. Główny powód stosowania detektorów TLD wynika z bardzo dobrych parametrów dozymetrycznych takich jak czułość na promieniowanie jonizujące X, gamma, beta, alfa i neutrony, tzw. płaska charakterystyka energetyczna, powtarzalność pomiarów, tkankopodobność oraz szeroki zakres pomiarów dawek. Nie ma innego przyrządu dozymetrycznego, który można by zminimalizować do rozmiarów sześciangu 1mmx1mmx1mm i mierzyć dawki od w zakresie od kilkudziesięciu nGy do 1 MGy.

Podczas prezentacji zostaną przedstawione możliwości stosowania dawkomierzy termoluminescencyjnych w różnych działach medycyny, nauki, dozymetrii i przemysłu.

Renata Kopeć

**Instytut Fizyki Jądrowej PAN
Kraków**

Terapia protonowa w Centrum Cyklotronowym Bronowice

Radioterapia protonowa jest obecnie jedną z najbardziej precyzyjnych technik radioterapii wykorzystujących promieniowanie jonizujące. Główną zaletą radioterapii protonowej jest możliwość precyzyjnego dostarczenia wysokich dawek

promieniowania do zmian nowotworowych przy jednoczesnym oszczędzeniu tkanek zdrowych.

W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie wybudowane zostało pierwsze w Polsce stanowisko do radioterapii protonowej nowotworów oka, na którym rozpoczęto terapię w 2011 roku. Od listopada 2016 roku pacjenci napromieniani są na dwóch stanowiskach gantry, dedykowanych do leczenia nowotworów zlokalizowanych również poza narządem wzroku (przy cyklotronie Proteus C-235, IBA). Pacjenci napromieniani są zgodnie ze wskazaniami Ministra Zdrowia na stanowiskach gantry oraz stanowisku terapii oka.

Na dwóch stanowiskach gantry możliwe jest wykorzystanie skanującej wiązki protonowej do radioterapii nowotworów zarówno u dorosłych pacjentów, jak i u dzieci.

Radioterapia protonowa odbywa się we współpracy z ośrodkami medycznymi, gdzie pacjenci są kwalifikowani do radioterapii protonowej. Po wykonaniu unieruchomień, skanów tomograficznych oraz planów leczenia oraz pomyślnej weryfikacji dozymetrycznej możliwa jest resymulacja (na stanowisku gantry), a następnie rozpoczyna się proces napromieniania.

**Izabela Milcewicz Mika,
Renata Kopeć,
Maciej Budzanowski,
Ewelina Pyszka**

**Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka
Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
Kraków**

15 lat działalności

Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej IFJ PAN Kraków

Współczesny rozwój technologii powoduje coraz częstsze wykorzystywanie promieniowania jonizującego w wielu dziedzinach działalności człowieka. Promieniowanie to może być szkodliwe dla zdrowia w związku z czym niezbędne są działania prowadzące do zminimalizowania ryzyka narażenia zawodowego ludzi pracujących z promieniowaniem oraz ciągłość kontroli poziomu ich narażenia.

Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej Instytutu Fizyki Jądrowej jest jednym z zaledwie kilku laboratoriów w Polsce posiadających akredytację, która umożliwia pomiar dawek osób narażonych na promieniowanie jonizujące (AB 1317). Akredytację na ww. pomiary Laboratorium uzyskało w 2002 roku i od tego czasu systematycznie poszerza zarówno bazę klientów jak również

zakres oferowanych usług. W Laboratorium prowadzone są pomiary dawek promieniowania jonizującego dla osób narażonych zawodowo przy pomocy nowoczesnych dawkomierzy TLD. LADIS wykonuje pomiary indywidualnego równoważnika dawki na całe ciało Hp(10), indywidualnego równoważnika dawki na dłonie Hp(0,07) oraz soczewki oczu Hp(3) a także pomiary narażenia w środowisku pracy poprzez pomiar kermy w powietrzu . Rocznie Laboratorium wykonuje pomiary dla ponad 8000 instytucji z całego kraju.

W roku 2007 Laboratorium rozpoczęło wykonywanie testów specjalistycznych aparatury RTG. Początki testów sięgają roku 2006, kiedy to weszło w życie „Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczególnych warunków bezpiecznej pracy z urządzeniami radiologicznymi.” Testy specjalistyczne będące zestawem złożonych pomiarów fizycznych, które mają na celu sprawdzenie aktualnego stanu urządzenia radiologicznego stały się już rutynowym, ustawowym elementem kontroli jakości w polskiej radiologii. Testy początkowo wykonywano na podstawie stosownego upoważnienia Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego a od roku 2012 na podstawie uzyskanej akredytacji.

Podążając za potrzebami wynikającymi ze zmian prawa regulującego kontrolę narażenia na promieniowanie jonizujące w 2013 roku Laboratorium rozszerzyło zakres oferowanych usług o pomiary indywidualnego równoważnika dawki na soczewki oczu Hp(3) a także o pomiar indywidualnego równoważnika dawki Hp(10) w zakresie awaryjnym powyżej 1 Sv.

W chwili obecnej Laboratorium pracuje nad ponownym odczytem dawek z dawkomierzy termoluminescencyjnych przy wykorzystaniu zjawiska fototransferowanej termoluminescencji.

Krzysztof Kozak

**Instytut Fizyki Jądrowej PAN
Kraków**

**Mobilne laboratorium spektrometryczno-dozymetryczne CHIMERA Lab.;
Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN**

Instytut Fizyki Jądrowej PAN posiada Mobilne laboratorium spektrometryczno-dozymetryczne „CHIMERA Lab.” działające od 2007 w Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN

W trakcie referatu zostanie przedstawione wyposażenie CHIMERA Lab. oraz jego możliwości i techniki pomiarowe stosowane w badaniach radioaktywności

występującej w środowisku.

Omówione zostaną spektrometry stosowane w spektrometrii in-situ z detektorami HPGe i NaI, mierniki stężeń radonu w powietrzu, w gruncie i w wodzie oraz mierniki pochodnych rozpadu radonu. Przedstawione zostanie także wyposażenie dodatkowe (pobór rodzaju próbek) i aparatura pomocnicza. Zaprezentowana będzie także krótka foto relacja z przeprowadzanych pomiarów terenowych.

Kamil. Brudecki^a, Aldona. Kowalska^b, Barbara. Jarząb^c, Tomasz. Mroz^d, Aneta. Kluczevska-Gałka^c, Artur. Szczodry^b, Paweł. Zagrodzki^a, Jerzy.W. Mietelski^a, Paweł. Janowski^e

^aInstytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Kraków

^bOddziału Endokrynologii i Medycyny Nuklearnej Świętokrzyskiego Centrum Onkologii, Kielce

^cZakładu Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej Centrum Onkologii w Gliwicach, Gliwice

^dUniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Krakow,

^eAkademia Górniczo Hutnicza, Krakow

Wchłonięcia I-131 wśród personelu medycznego zakładów medycyny nuklearnej w Polsce

W prezentowanych badaniach zmierzono aktywności ¹³¹I w tarczycach 30 pracowników Oddziału Endokrynologii i Medycyny Nuklearnej Świętokrzyskiego Centrum Onkologii oraz 57 pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej Centrum Onkologii w Gliwicach. Podstawową aparaturą badawczą był Spektrometr Całego Ciała. Jego osłonę stanowi 19 – wieczna stal o grubości 17 cm oraz 2 cm warstwa elektrolitycznej miedzi. Całość waży 18 ton. Sercem instrumentu stanowią dwa półprzewodnikowe, germanowe detektory promieniowania gamma wyprodukowane przez firmę Ortec.

Zmierzone aktywności zawierają się w przedziale od (5±2) Bq do (457±118) Bq. Największe aktywności zaobserwowano u personelu technicznego i sprząającego, najmniejsze zaś wśród lekarzy. Na podstawie wyników aktywności podjęto próbę oszacowania rocznych dawek skutecznych, które wyniosły od 0.02 mSv do 0.8 mSv. Maksymalna oszacowana dawka wyniosła jedynie 23% dawki tła. Największe równoważniki dawki otrzymano dla tarczycy i zawierały się on w przedziale od 0.4 mSv do 15.5 mSv.

Porównując obie placówki sformułowano również kilka wniosków mogących

służyć poprawie bezpieczeństwa radiologicznego personelu medycznego. Do najważniejszych z nich należą stosowanie ścisłego reżimu izolacyjnego pacjentów oraz właściwie prowadzona rotacja personelu.

Katarzyna Zbroja

**Instytut Fizyki Jądrowej PAN
Kraków**

Prezentacja Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych

-

Plakaty

Wojciech Głuszewski

**Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
Warszawa**

BEZPIECZEŃSTWO INSTALACJI RADIACYJNYCH

Na przełomie maja i czerwca 2016 roku w Warszawie odbyło się robocze spotkanie, na którym przedyskutowano temat wsparcia działań na rzecz bezpieczeństwa i kontroli działających na świecie instalacjach obróbki radiacyjnej (Enhancing Safety and Control Features of Existing Radiation Processing Facilities). Organizatorem konferencji był Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) w Warszawie przy merytorycznym i finansowym udziale Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) z Wiednia. Do Polski przyjechało 19 międzynarodowych ekspertów z 15 krajów (Gany, Meksyku, Kanady, Rosji, Brazylii, Belgii, Egiptu, Niemiec, R. Korei, Filipin, Maroko, Chin, Indii, Nigerii i Austrii). Były to osoby odpowiedzialne za działalność instalacji wykorzystujących na skalę przemysłową promieniowania: gamma (γ), rentgenowskie (x) oraz wiązki elektronów (EB, ang. electron beam). Uczestnicy przedstawili aktualny stan technologii radiacyjnych w ich krajach ze szczególnym uwzględnieniem problemu ochrony radiologicznego. Następnie w roboczych grupach omówiono zagadnienia postępu w zakresie bezpiecznej eksploatacji dużych źródeł promieniowania gamma oraz instalacji wykorzystujących wiązki przyspieszonych akceleratorów.

Postęp w dziedzinie konstrukcji urządzeń akceleratorowych powoduje, że staje się ono powoli konkurencją dla promieniowania gamma. Z punktu widzenia odbioru

społecznego instalacje EB postrzegane są, jako bardziej bezpieczne. Akceleratory to duże urządzenia elektryczne, które po wyłączeniu nie stanowią zagrożenia radiologicznego. Podobnie jest z promieniowaniem rentgenowskim, które otrzymuje się poprzez hamowanie przyspieszonych elektronów. W odróżnieniu od akceleratorów źródła promieniowania gamma (radioizotopy), wymagają w sytuacji zagrożenia terrorystycznego ochrony fizycznej. Obecnie na świecie rozwija się rynek zarówno materiałów barierowych dla promieniowań jonizujących jak i radiometrów do kontroli narażenia radiologicznego. Urządzenia te są coraz bardziej niezawodne i precyzyjne. Obserwuje się również postęp w zakresie dozymetrii co pozwala lepiej planować rozkłady dawek i obniżać koszty zabiegów radiacyjnych.

W komunikacie podsumowane zostaną przygotowania do publikacji przez MAEA przewodnika dotyczącego planowanych i istniejących instalacji radiacyjnych (Guideline for new and existing users of radiation processes for application and technology selection).



Grzegorz Jezierski

Politechnika Opolska

Pięciolecie Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich

28 listopada 2016 r. na Politechnice Opolskiej miała miejsce uroczystość związana z „5-leciem Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich”. Nie jest to zbyt długi czas jak na okres funkcjonowania muzeum, niemniej w tym

przypadku charakteryzował się on bardzo dynamicznym rozwojem. Stąd też warto odnieść się do początku utworzenia muzeum i przedstawić zdarzenia, spotkania, czy nowe pozyskane eksponaty, które miały miejsce podczas tych 5-ciu lat działalności naszego muzeum. Należy też podkreślić, iż mimo oficjalnej nazwy, kojarzącej się tylko z „lampami rentgenowskimi” w muzeum gromadzimy również detektory, sprzęt dozymetryczny, optykę, kamery do dyfrakcji, wzmacniacze obrazu rentgenowskiego, literaturę w tym również patenty i inne ciekawostki związane ogólnie z promieniowaniem rentgenowskim. Jest to o tyle istotne, iż daje to osobom zwiedzającym to muzeum pełniejszy obraz coraz powszechniej stosowanego w naszym życiu promieniowania rentgenowskiego.

**Piotr Pankowski,
Aleksandra Włodarczyk,
Katarzyna Majchrzak,
Aneta Dąbrowska,
Dorota Wróblewska,
Dariusz Kluszczyński**

**Krajowe Centrum Ochrony
Radiologicznej w Ochronie Zdrowia
Łódź**

Narażenie pacjentów na promieniowanie jonizujące w stomatologicznych badaniach pantomograficznych i CBCT w Polsce

Wstęp i cel

Wzrost liczby zarówno aparatów jak i podmiotów wykonujących usługi w zakresie obrazowania pantomograficznego i tomografii wiązki stożkowej (CBCT) w stomatologii

świadczy o rosnącym zapotrzebowaniu na tego rodzaju badania. W konsekwencji rosnąca liczba wykonywanych badań przekłada się także na wielkość narażenia przypadającego na przeciętnego mieszkańca Polski. Celem niniejszej pracy jest ocena dawek dla typowych procedur z zakresu pantomografii i CBCT, w szczególności wyznaczenie dawek pochłoniętych dla poszczególnych organów oraz dawki skutecznej. Otrzymane wyniki porównane zostały z wartościami opublikowanymi w literaturze.

Metoda

Pomiary przeprowadzono metodą dozymetrii termoluminescencyjnej z wykorzystaniem fantomu antropomorficznego człowieka referencyjnego. Dawki zmierzono dla dwóch typowych protokołów z zakresu pantomografii oraz dwóch typowych protokołów z zakresu CBCT. Badania odpowiednio obejmowały obszary anatomiczne szczęki oraz szczęki i fragmentu kręgosłupa szyjnego dla pre-

definiowanych warunków ekspozycji zgodnie z zaleceniami producentów aparatów.

Wyniki i dyskusja

Szacuje się, że obecnie w Polsce użytkowanych jest około 2000 aparatów do pantomografii i CBCT (GIS, 2014) w około 1900 jednostkach (CSIOZ, 2015). Szacunki wykonane przez Krajowe Centrum Ochrony Radiologicznej w Ochronie Zdrowia wskazują, że liczba ekspozycji z zakresu rentgenodiagnostyki stomatologicznej (bez stomatologii) wykonywanych w Polsce w ciągu roku wynosi około 30 mln. Z kolei liczbę stomatologicznych badań rentgenowskich ocenić można biorąc pod uwagę liczbę stosowanych aparatów (tj. do zdjęć punktowych oraz pantomografów i CBCT) oraz typową częstość wykonywania badań. Tak wyznaczona liczba dotycząca wyłącznie badań stomatologicznych może wynosić ok. 10 mln.

Otrzymane wartości dawek skutecznych wyniosły odpowiednio 8 μSv i 9 μSv dla badań pantomograficznych oraz 64 μSv i 56 μSv dla badań CBCT. Dla porównania dawka skuteczna dla najczęściej wykonywanych punktowych zdjęć stomatologicznych jest od 2 do 8 razy mniejsza niż w przypadku zdjęć pantomograficznych i od około 12 do 50 razy mniejsza od dawki w CBCT. Jednocześnie wielkość narażenia pacjenta poddanego badaniu CBCT jest wielokrotnie (około 30 razy) mniejsza niż w typowym badaniu głowy wykonywanym metodą wielorzędowej tomografii komputerowej. Zgodnie z doniesieniami literaturowymi dawki skuteczne, na które narażeni są pacjenci podczas badań CBCT wahają się między 30 μSv a 500 μSv w zależności od modelu urządzenia i parametrów ekspozycji. Otrzymane wyniki pomiarów mieszczą się w tym zakresie.

Dariusz Aksamit

**Politechnika Warszawska
Warszawa Wydział Fizyki
Warszawa**

Dozymetria awaryjna EPR z wykorzystaniem cukrów i słodzików

Zarówno literatura jak i własne pomiary wykonane we współpracy z Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej wskazują na możliwość stosowania cukrów (sacharozy, glukozy, fruktozy...), jako materiałów wrażliwych na promieniowanie (RSM – Radiation Sensitive Materials), w dozymetrii promieniowania jonizującego.

Zaletą cukrów jest ich niska cena i wysoka dostępność, a wręcz powszechność użycia, co czyni je materiałami o dużym potencjalnym wykorzystaniu w dozymetrii awaryjnej.

W 1982r. w Norwegii zdarzył się wypadek radiacyjny w Instytucie Energii i Technologii, gdzie jeden z pracowników otrzymał nieznaną dawkę promieniowania jonizującego, na skutek czego zmarł 13 dni później. Aby oszacować retrospektywnie wielkość tej dawki zastosowano technikę spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR), mierząc sygnał z cukru zawartego w lekach na serce, które pracownik miał przy sobie w momencie wypadku [1,2]. Był to pierwszy przypadek wykorzystania w praktyce pomiaru EPR cukrów w dozymetrii awaryjnej. Warto zwrócić uwagę, że ze względu na sposób pakowania leków są one chronione przed czynnikami zewnętrznymi (światło UV, wilgoć).

Dało to impuls do dalszych prac [3,4] badających sygnał EPR powstający w różnego rodzaju lekach po napromienieniu. Źródłem sygnału w większości wypadków były obecne w lekach cukry (sacharoza, glukoza, laktoza, etc.), jednakże pojawiały się również sygnały pochodzące od substancji pomocniczych.

1. Sucrose as a dosimetric material for photon and heavy particle radiation: A review, Yordanka Karakirova, Nicola D. Yordanov, Radiation Physics and Chemistry, Volume 110, May 2015, Pages 42–50
2. Dosimetry by ESR spectroscopy following a radiation accident. Sagstuen E, Theisen H, Henriksen T., Health Phys. 1983 Nov;45(5):961-8.
3. Evaluation of ESR as a radiation accident dosimetry technique. B.G. Dalgarno, J.D. McClymont. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes, Volume 40, Issues 10–12, 1989, Pages 1013–1020
4. Dose estimation by ESR spectroscopy at a fatal radiation accident. Regulla DF1, Deffner U. Int J Rad Appl Instrum A. 1989;40(10-12):1039-43.

Dariusz Aksamit

Politechnika Warszawska
Wydział Fizyki
Warszawa

Zastosowania druku 3D w wybranych dziedzinach fizyki medycznej

W ostatnich latach lawinowo przybyło doniesień o wykorzystywaniu techniki druku 3D w różnych dziedzinach medycyny, z radioterapią onkologiczną włącznie. Główną zaletą druku jest możliwość bardzo taniej produkcji obiektów o dowolnych kształtach, co sprawia, że technika ta może być skutecznym narzędziem dla indywidualizowania procesu terapeutycznego. Obecnie drukuje się głównie bolusy dla teleradioterapia oraz aplikatory do brachyterapii, ale możliwe jest również tworzenie form do odlewania kompensatorów, elementów unieruchamiających pacjenta, czy modele narządów wewnętrznych do celów testu aparatury i edukacji.

W posterze zawarte będą informacje na temat obecnego stanu wiedzy w dziedzinie oraz prac własnych prowadzonych na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej we współpracy z Centrum Onkologii-Instytut w Warszawie.

1. Utilization of a 3D printer to fabricate boluses used for electron therapy of skin lesions of the eye canthi, Magdalena Łukowiak, Karolina Jezierska, Marek Boehlke, Marzena Wiezcko, Adam Łukowiak, Wojciech Podraza, Mirosław Lewocki, Bartłomiej Masoj,
2. Evaluation of PC-ISO for customized, 3D printed, gynecologic 192-Ir HDR brachytherapy applicators, J. Adam M. Cunha, Katherine Mellis, Rajni Sethi, Timmy Siau, Atchar Sudhyadhom, Animesh Garg, Ken Goldberg, I-Chow Hsu, Jean Pouliot, JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 16, NUMBER 1, 2015
3. Clinical Implementation of 3D Printing for Brachytherapy: Techniques and Emerging Applications, Tyler L. Fowler, Mark K. Buyyounouski, Cesare H. Jenkins, Benjamin P. Fahimian, Stanford Cancer Center, Stanford, USA, Brachytherapy, May–June 2016, Volume 15, Supplement 1, Page S166
4. Evaluation of PC-ISO for customized, 3D printed, gynecologic 192-Ir HDR brachytherapy applicators, J. Adam M. Cunha, Katherine Mellis, Rajni Sethi, Timmy Siau, Atchar Sudhyadhom, Animesh Garg, Ken Goldberg, I-Chow Hsu, Jean Pouliot, JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 16, NUMBER 1, 2015

5. An Algorithm for Computing Customized 3D Printed Implants with Curvature Constrained Channels for Enhancing Intracavitary Brachytherapy Radiation Delivery, Animesh Garg, Sachin Patil, Timmy Siau, J. Adam M. Cunha, I-Chow Hsu, Pieter Abbeel, Jean Pouliot, Ken Goldberg

	Warszawa
Health Technologies Sp. z o.o.	Warszawa
	Kraków
	Bydgoszcz
	Bydgoszcz
X - RAY PROTECT	Wrocław
	Chełm
	Černá Hora