

Artykuły na zaproszenie Redakcji • Invited articles**Infrastruktura radioterapii w Polsce**
(Ekspertyza opracowana z punktu widzenia fizyka medycznego,
na zamówienie Komitetu Fizyki Medycznej, Radiobiologii
i Technik Obrazowania PAN)

Wojciech Bulski, Barbara Gwiazdowska, Andrzej Pruszyński, Joanna Rostkowska

Ekspertyzę opracowali fizycy, wieloletni pracownicy Zakładu Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie. W związku z tym obejmuje ona zagadnienia bliskie tej grupie zawodowej. Na tle historycznego rozwoju przedstawiono aktualny (na koniec roku 2006) stan aparatury i jej wykorzystania w jednostkach ochrony zdrowia (ośrodkach), stosujących radioterapię w Polsce. Ważnym i dotychczas w opracowaniach o charakterze ekspertyz nie uwzględnianym elementem tej pracy jest przegląd uregulowań prawnych, związanych z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej. Uchwalone w ostatnich latach akty prawne zaostriżyły przepisy dotyczące w szczególności liczby aparatów, ich kontroli oraz odpowiedzialności personelu. Na podstawie zebranych danych stwierdzono niedostatek aparatury terapeutycznej, dobre i zgodne z przepisami wyposażenie w podstawową aparaturę dozymetryczną i jej wzorcowanie, dobre przygotowanie do przeprowadzania obowiązkowych audytów dozymetrycznych. Natomiast niepokój budzi niedostatek fizyków podejmujących szkolenie specjalizacyjne oraz konieczność realizacji restrykcyjnego przepisu dotyczącego akredytacji zakładów fizyki medycznej.

Radiotherapy infrastructure in Poland(Expert appraisal from the medical physics point of view,
prepared for the Medical Physics Committee of the Polish Academy of Sciences)

This overview was prepared by senior staff of the Medical Physics Department of the Centre of Oncology in Warsaw and therefore it addresses and discusses the problems specific for this professional group. The infrastructure and the equipment used in radiotherapy facilities in Poland (as of 2006) is presented on the historical background. An important, and so far not addressed issue discussed here is the review of legal acts concerning the use of ionising radiation in radiotherapy. These acts, linked to the accession of Poland to the European Union, issued recently, are very restrictive in terms of numbers of radiotherapy machines, quality control procedures, and responsibilities of the staff. The collected data prove that in Poland there is a shortage of radiotherapy treatment machines, that the radiotherapy centres are well equipped as far as dosimetry is concerned, that the dosimetry equipment is properly calibrated, and that there is good system of external dosimetry audits countrywide. What might be worrying is not adequate number of physicists undertaking the specialization in medical physics, and restrictive legal requirement of compulsory accreditation of medical physics departments.

Słowa kluczowe: radioterapia w Polsce, wyposażenie radioterapii, fizyk medyczny, audyty**Key words:** radiotherapy in Poland, radiotherapy equipment, medical physicist, audits**Rys historyczny jako tło obecnej sytuacji**

Pełnoprofilowe ośrodki onkologiczne

Projekt stworzenia ogólnokrajowej sieci centrów onkologicznych sięga lat przedwojennych, kiedy żywiołowo powstawały rozproszone, małe, często efemeryczne „kliniki”, prywatne, uniwersyteckie lub miejskie, stosujące rad albo aparaty rentgenowskie do leczenia raka. Były

to na ogół placówki bez odpowiedniego zaplecza technicznego i naukowego, jednak niektóre z nich stanowiły załóżki przyszłych placówek onkologicznych.

W roku 1932 nastąpiło otwarcie Instytutu Radowego w Warszawie, wybudowanego z inicjatywy Marii Skłodowskiej-Curie, a mającego charakter centralnej instytucji państwowej. Już w roku 1937, Franciszek Łukaszczyk – ówczesny dyrektor Instytutu Radowego (przemianowanego w roku 1951 na Instytut Onkologii) zaproponował zorganizowanie w miastach wojewódzkich II Rzeczypospolitej (Warszawa, Kraków, Lwów, Poznań, Wilno) pięciu centrów leczących raka. W centrach tych, powięza-

nych naukowo w sposób nieformalny z Instytutem Radowym, poczesne miejsce miała zajmować radioterapia.

W okresie powojennym wielkim orędownikiem i realizatorem tej idei był prof. Tadeusz Koszarowski – dyrektor Instytutu Onkologii w latach 1972-1986. Jako wieloletni konsultant krajowy ds. onkologii i twórca krajowego rejestru nowotworów, z którego wynikało, że zachorowalność na nowotwory systematycznie wzrasta, stał na stanowisku rozwoju onkologii jako interdyscyplinarnej specjalności, powstającej wokół regionalnych, pełnoprofilowych ośrodków onkologii, koordynowanych naukowo i organizacyjnie przez Instytut Onkologii. Podobne propozycje pojawiały się także w innych krajach. Zagadnienia te stanowiły główny temat dyskusji na IX Kongresie Międzynarodowej Unii Przeciwrakowej w Tokio w 1966 r., w trakcie której prof. Koszarowski, jako jeden z głównych referentów, przedstawiał doświadczenia Instytutu w tym zakresie. Na kongresie przyjęto pogląd o potrzebie organizowania sieci tzw. „komprehen-sywnych centrów”, obejmujących „pod jednym dachem” wszystkie stosowane w zwalczaniu nowotworów metody badawcze, lecznicze, organizacyjne i profilaktyczne [1]. Pierwsze dwa takie centra poza Warszawą powstały w Gliwicach i Krakowie, od roku 1952 jako oddziały Instytutu w Warszawie. W roku 1990 było już 11 pełnoprofilowych placówek onkologicznych, a w roku 1998 było ich 14. Niektóre z nich były autonomicznymi centrami, niektóre powstały przy szpitalach wojewódzkich, miejskich i in. [2]. Organizacja tych placówek nie ograniczała zastosowania radioterapii w innych specjalistycznych placówkach, np. ginekologicznych, okulistycznych.

Od zarania stosowania w terapii promieniowania jonizującego rozwijano dwie metody: teleradioterapię (w skrócie teleterapię), związaną z odkryciem promieniowania X przez Wilhelma Konrada Roentgena w roku 1895 i brachyterapię (w skrócie brachyterapię), związaną z odkryciem promieniowania radu przez małżonków Marię i Piotra Curie w roku 1898. Również w Polsce stosowano te dwie metody, chociaż nie we wszystkich ośrodkach równocześnie

Teleterapia

W Instytucie Radowym, od chwili jego uruchomienia w 1932 roku, istniał Zakład Rentgenoterapii, wyposażony przez Narodowy Bank Polski w nowoczesne terapeutyczne aparaty rentgenowskie. Aparatura ta pracowała przez cały okres okupacji aż do wybuchu Powstania Warszawskiego, kiedy okupant spalił Instytut (przemianowany przez Niemców na Miejski Szpital Przeciwrakowy). Po wojnie, w odbudowanym Instytucie przywrócono działalność Zakładu, wyposażonego w terapeutyczne aparaty rentgenowskie dzięki pomocy UNRRA (United Nations Relief and Rehabilitation Administration) [2]. Istotnym ograniczeniem terapii ortowoltowej (tzn. rentgenowskiej terapii głębokiej, czyli terapii głęboko położonych guzów) jest fakt, że podczas napromieniania maksimum dawki otrzymuje skóra. Dążenie do dostarczenia wysokiej procentowej dawki głębokiej – możliwej do uzyskania

przez zastosowanie promieniowania o wysokiej energii i odsunięcie źródła promieniowania na większą odległość – leżało u podstaw budowy aparatów do tzw. teleterapii megawoltowej.

Pracownicy Zakładu Fizyki Instytutu Onkologii (Cezary Pawłowski, Antoni Wasilewski, Bohdan Gwiazdowski, Józef Tyński) skonstruowali w roku 1954 tzw. „bombę radową”, wzorując się na innych tego typu przykładach na świecie. Źródłem promieniowania były, zamknięte w metalowej kapsule, różnego typu preparaty radowe (łącznie 3605 mg radu), otrzymane z UNRRA, a nieprzydatne do stosowania w curieterapii (curieterapia – to wczesna nazwa brachyterapii, kiedy w tej formie leczenia stosowano jedynie rad). Jednakże małe moce dawki oraz nieszczelność igieł i tubek radowych użytych do zestawienia źródła spowodowały, że kliniczne stosowanie zakończono już pod koniec 1955 roku. Tak więc ta pierwsza w Polsce megawoltowa aparatura do teleterapii odegrała głównie rolę szkoleniową dla fizyków [3].

Dzięki rozwojowi techniki reaktorowej do budowy aparatów do teleterapii zaczęto wykorzystywać inne izotopy: od wczesnych lat pięćdziesiątych Co-60 (średnia energia promieniowania gamma 1,25 MeV), a od połowy lat sześćdziesiątych Cs-137 (energia promieniowania gamma 0,662 MeV). Promieniowanie beta pochłanianie jest w obudowie źródła.

Na przełomie lat 1957/1958 Instytut Onkologii w Warszawie zakupił radziecki aparat do teleterapii ze źródłem Co-60 – tzw. bombę kobaltową „GUT 400” [4]. Następnym aparatem ze źródłem Co-60, zainstalowanym w roku 1960, była kanadyjska bomba kobaltowa «Eldorado», otrzymana jako «Dar Polonii kanadyjskiej dla Prymasa Wyszyńskiego». W późniejszych latach wyposażano w aparaty kobaltowe ośrodki terenowe, jeden z nich (w Łodzi) również w aparat ze źródłem Cs-137. Nadzieje związane ze stosowaniem aparatów cezowych nie spełniły się. Niewątpliwą ich zaletą był długi okres półrozpadu Cs-137 (30 lat), w porównaniu z Co-60 (5,27 lat). Jednakże budowa źródła, związana z jego małą aktywnością właściwą, ograniczyła ich zastosowanie.

Tymczasem radioterapia na świecie coraz powszechniej zaczynała stosować betatrony i akceleratory liniowe. Betatrony, których ciężka głowica (ze względu na ciężar elektromagnesów) utrudniała manewrowanie, a dość niskie natężenie promieniowania X i małe pola ograniczały zastosowanie, zostały wyparte przez bardziej funkcjonalne akceleratory liniowe.

W roku 1975 zainstalowano w Instytucie Onkologii w Krakowie (jedyne w Polsce) betatron o maksymalnej energii elektronów 18 MeV, który pracował przez ponad 10 lat [5].

W latach 1978/79 uruchomiono pierwsze w Polsce akceleratory liniowe: w Warszawie Saturne f-my CGR-MeV, emitujący wiązki fotonów (12 MV i 18 MV) i wiązki elektronów (6-20 MeV); w Łodzi – Neptun 10p, zbudowany na licencji z firmą CGR-MeV, emitujący wiązkę fotonów (9 MV) i wiązki elektronów (6-10 MeV). W owym czasie, w Polsce, kiedy zakupy tzw. dewizowe były niezwykle ograniczone, polska radioterapia była

skazana na zakup co najwyżej radzieckich akceleratorów o przestarzałej konstrukcji, zawodnych, i bez zapewnionego serwisu. Pierwsze przysłowiowe światełko w tunelu pojawiło się z okazji powstania w roku 1975 Programu Rządowego PR 6 – „Zwalczanie chorób nowotworowych”, koordynowanego przez prof. T. Koszarowskiego. Przy zdecydowanym poparciu Profesora temat „budowa akceleratorów produkcji polskiej – Neptun 10p”, realizowany przez Instytut Badań Jądrowych na licencji francuskiej firmy CGR-MeV, stał się jednym z ważniejszych filarów konstrukcji Programu Rządowego. Liczba akceleratorów w Polsce wzrosła od 0 w roku 1977 do 14 w roku 1985. Wzrósł również poziom znajomości nowoczesnej radioterapii i zainteresowanie tą dyscypliną. W sytuacji dzisiejszej, gdy po wielu latach pracy, zainstalowane w polskich ośrodkach onkologicznych akceleratory Neptun 10p zestarzały się, ulegają poważnym awariom, a ich parametry nie spełniają norm międzynarodowych, jesteśmy skłonni bardzo krytycznie oceniać tę produkcję. W ówczesnej sytuacji, kiedy zakupy dewizowe były drastycznie ograniczone, a na w miarę przyzwoity akcelerator mogły sobie pozwolić 2-3 ośrodki w kraju, kiedy okres załamania przeżywała produkcja aparatów kobaltowych, zwłaszcza tych, które stosowały źródła radzieckie (tylko te były dostępne w Polsce, bo nie wymagały płatności w dewizach), poparcie finansowe udzielone Instytutowi Badań Jądrowych przez Program Rządowy należy ocenić pozytywnie.

Awaryjność akceleratorów polskich, wysoki koszt akceleratorów renomowanych firm zagranicznych, złożoność planowania leczenia (planowania rozkładu dawki w ciele pacjenta) i kontroli poprawności działania, które wymagają dodatkowego oprzyrządowania i zatrudnienia personelu o wysokich kwalifikacjach z zakresu nauk ścisłych, powodowały, że aż do początku lat 90. w zakładach teleterapii w Polsce dominowały aparaty kobaltowe oraz pracujące w wielu ośrodkach terapeutyczne aparaty rentgenowskie.

W połowie lat 60. pojawiło się na świecie duże zainteresowanie zastosowaniem w teleterapii wiązek szybkich neutronów. W Polsce w latach 70. i 80., Instytut Onkologii w Krakowie wykorzystywał wiązkę neutronów z cyklotronu zainstalowanego w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN. Jednakże to leczenie nie przyniosło spodziewanych efektów i stosowano je wyłącznie paliatywnie.

Od kilkudziesięciu lat podejmowane są próby zastosowania do radioterapii wiązek hadronów, których rozkład głębokościowy jest bardziej zbliżony do rozkładu idealnego, tzn. takiego, w którym możliwie jak największa porcja energii jest pochłaniana w obszarze nowotworu. W latach 50. rozpoczęto pionierskie badania w Berkeley i w Uppsali; w pierwszym z tych ośrodków stosowano wiązki protonów i jonów helu, a w drugim tylko protony. Jak podaje Scharf [6], do roku 1981 poddano radioterapii protonami i lekkimi oraz ciężkimi jonami około 4 tysiące pacjentów. We wszystkich przypadkach napromieniowania te były realizowane w warunkach poza szpitalnych, z zastosowaniem akceleratorów opracowywanych pierwotnie do badań fizycznych, a następnie adaptowanych

do radioterapii. Terapia hadronowa dynamicznie rozwija się w Japonii, w krajach europejskich ośrodki terapii hadronowej powstają w: Austrii, Francji, Niemczech, Włoszech.

Brachyterapia

Brachyterapia ma bardzo długą historię sięgającą początku XX-go wieku. Wkrótce po odkryciu promieniotwórczości w 1896 roku i po wyodrębnieniu radu przez małżonków Curie w 1898 r., specjalnie przygotowane aplikatory zawierające rad-226 znalazły praktyczne zastosowanie w radioterapii. Pierwsze, najwcześniejsze próby leczenia nowotworów dotyczyły zmian na powierzchni skóry, a źródła radowe, umieszczone w aplikatorach, wykonanych najczęściej z wosku, znajdowały się w odległości 0,5-1 cm od powierzchni skóry. Była to tzw. brachyterapia kontaktowa. Wkrótce jednak podjęto próby umieszczania źródeł radowych w obrębie tkanek, które miały być napromienione. Ta technika napromieniania, polegająca na wkłuwaniu preparatów radowych (w postaci igieł) w obręb tkanek, została określona terminem brachyterapia śródtkankowa. Jednocześnie rozwinięto techniki aplikacji źródeł radowych w leczeniu raka szyjki macicy oraz trzonu macicy. Tę technikę, polegającą na umieszczeniu źródeł promieniotwórczych wewnątrz jam ciała, nazwano brachyterapią śródjamową [7].

Obecnie rad został już praktycznie całkowicie wycofany z zastosowań klinicznych. Jego podstawową wadą jest gazowa forma produktu rozpadu radu, radonu, wymagająca specjalnej konstrukcji źródła, zapewniającej jego szczelność. Szczelność ta musi być okresowo kontrolowana. W czasach dominacji radu wszelkie aplikacje wykonywane były manualnie. Powodowało to napromienienie zarówno pacjentów, jak i personelu lekarskiego, dawkami, które obecnie byłyby niedopuszczalne z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Dopiero po II Wojnie Światowej podjęto próby skonstruowania urządzenia, które pozwoliłoby stosować brachyterapię z tzw. następowym ładowaniem źródeł (*afterloading*). Technika ta polega na umieszczeniu w jamach ciała, w tkankach lub na powierzchni skóry, przewodnic z nieaktywnymi markerami źródeł radioaktywnych. Po przeprowadzeniu radiograficznej lokalizacji, na miejsce markerów wprowadza się (manualnie lub automatycznie) źródła radioaktywne. Metodę manualnego *afterloadingu* wprowadzili w Instytucie Onkologii w Gliwicach w połowie lat 70. Paweł Rattka, Włodzimierz Łobodziec, Nikołaj Lambrinow i Jerzy Szender. Również w tym Instytucie, pod koniec lat 70., urządzenie do następowego i zdalnego wprowadzania preparatów radowych skonstruował inż. Karol Geissler. Urządzenia nie wdrożono ze względu na trudności konstruowania ciężkich osłon przed przenikliwym promieniowaniem radu. Wydaje się, że niektóre rozwiązania posłużyły przy konstruowaniu w Ośrodku w Lublinie aparatu UR-1, do którego atlas izodoz od źródeł radowych przygotowano w Centrum Onkologii w Warszawie

(M. Kawczyńska) oraz przy konstruowaniu aparatów firmy Polon, stosujących aplikatory Co-60.

Opracowanie techniki *afterloading* i wprowadzenie nowych izotopów promieniotwórczych spowodowało dalszy, gwałtowny rozwój brachyterapii. Technika *afterloading* pozwoliła na lepszą radiograficzną lokalizację źródeł, a tym samym bardziej precyzyjne planowanie leczenia. Największym jednak osiągnięciem, powodującym przełom w dziedzinie brachyterapii, było prawie całkowite wyeliminowanie narażenia personelu na napromienienie. Technika *afterloading*, w połączeniu z udostępnieniem źródeł o wysokiej aktywności, pozwoliła także na rozszerzenie zastosowań brachyterapii, poza zastosowanie ginekologiczne, do takich lokalizacji nowotworów jak: przełyk, oskrzela, drogi żółciowe, prostata oraz na wprowadzenie brachyterapii śródoperacyjnej. W ostatnich latach rozwijała się, także w Polsce, brachyterapia śródnaczyniowa, jako czynnik zapobiegający restenozie naczyń krwionośnych po angioplastyce.

Nowoczesną aparaturę, stosowaną w technice z następowym i zdalnym wprowadzaniem źródeł, charakteryzuje się na podstawie stosowanych wielkości mocy dawki, a co za tym idzie czasu aplikacji. Wyróżnia się aparaty stosujące niskie moce dawki – *Low Dose Rate* – LDR (0,4-2 Gy/godz., czas aplikacji rzędu kilku dni); średnie moce dawki – *Medium Dose Rate* – MDR (2-12 Gy/godz., czas aplikacji rzędu kilku lub kilkunastu godzin); oraz wysokie moce dawki – *High Dose Rate* – HDR (ponad 12 Gy/godz., czas aplikacji rzędu minut). Są to aplikacje ciągłe lub odbywające się w kilku frakcjach. Promieniowanie o tak różnych mocach dawki powoduje różne skutki radiobiologiczne, które są przedmiotem badań laboratoryjnych i klinicznych, mających wyznaczyć optymalne wielkości dawek całkowitych i całkowitego czasu napromieniania przy różnych mocach dawek i trybach frakcjonowania. Dane kliniczne, zgromadzone w ciągu całego stulecia, dotyczą w większości niskich mocy dawek i stanowią punkt odniesienia dla innych mocy dawek. Jest to powód, dla którego wprowadzono pewną szczególną technikę z użyciem aparatów HDR, nazywaną pulsującą mocą dawki (*Pulsed Dose Rate* – PDR) polegającą na napromienianiu mocą dawki 1-3 Gy/godz. przez kilka minut w odstępach godzinnych. Innymi słowy jest to napromienianie frakcjonowane (o wielu frakcjach w krótkich odstępach), które upodobnia tryb napromieniania do ciągłego napromieniania LDR. Obecnie najczęściej stosowanymi izotopami w aparaturze do leczenia następowego są: Cs-137 o aktywności rzędu 1,5 GBq (40 mCi) w brachyterapii LDR/MDR, Ir-192 o aktywności rzędu 370 GBq (10 Ci) w brachyterapii HDR i Ir-192 o aktywności rzędu 40 GBq (1 Ci) w brachyterapii PDR.

Szczególną formą brachyterapii są aplikacje permanentne. Polegają one na wprowadzeniu do tkanek ciała, w obręb guza (np. prostaty, mózgu) źródeł promieniotwórczych, które pozostawiane są tam na stałe. Są to krótko żyjące izotopy promieniotwórcze, najczęściej jod (I-125) lub pallad (Pd-103).

Jednym z interesujących zastosowań brachyterapii jest metoda zachowawczego leczenia nowotworów gałki

ocznej. Do pierwiastków promieniotwórczych, które wykorzystywane są do tego celu, należą zarówno źródła promieniowania gamma, jak i beta: kobalt-60, iryd-192, jod-125, pallad-109, stront-90, ruten-106; najczęściej stosuje się jod-125 (emiter promieniowania gamma) i ruten-106 (emiter promieniowania beta). W Polsce, sporadycznie stosowano jod-125 i ruten-106.

Planowanie leczenia

Z chwilą wprowadzenia aparatów do teleterapii megawoltowej i następowego leczenia w brachyterapii szczególnego znaczenia nabrało precyzyjne planowanie leczenia (czyli obliczanie rozkładu dawki w ciele pacjenta).

Wcześniej, w teleterapii rentgenowskiej, możliwość popełnienia błędu była sygnalizowana pojawieniem się rumienia skóry, a leczenie radem było oparte na wieloletnim doświadczeniu w stosowaniu ograniczonej liczby układów aplikatorów radowych, opracowanych głównie przez dwie szkoły terapeutów: francuskich (tzw. metoda paryska) i angielskich (tzw. metoda manczesterska). Mimo to wypadki radiacyjne zdarzały się, a leczenie nie zawsze było optymalne.

Zasadniczym postulatem prawidłowego planowania radioterapii jest: a) podanie maksymalnej dawki na obszar guza (z pewnym marginesem) i minimalnej na tkanki zdrowe (w szczególności narządy krytyczne), b) możliwie równomierny (choć nie zawsze) rozkład dawki w obszarze guza.

Początkowo planowanie leczenia bazowało na metodzie graficznej, w której ręcznie sumowano pomierzone wcześniej rozkłady dawek od wiązek promieniowania pochodzących z różnych kierunków lub różnie kształtowanych przez odpowiednie kolimatory. Powoli w tę dziedzinę zaczęły wkraczać komputery. Dane wejściowe do systemu komputerowego stanowią: dane lokalizacyjne guza, wyniki pomiarów rozkładu dawki promieniowania oraz algorytmy obliczeń, które na podstawie wybranych wyników pomiarów opisują kształt wiązki promieniowania. Zakład Fizyki Instytutu Onkologii w Warszawie nawiązał w tej dziedzinie współpracę z Politechniką Warszawską już w latach 60., wykorzystując konstruowane tam pierwsze w Polsce komputery [8, 9]. W roku 1976 zakupiono pierwszy profesjonalny komputer do planowania leczenia w teleterapii – Informatek – produkcji francuskiej, a w roku 1977 Sidos U-1 – produkcji niemieckiej (firmy Siemens). Ten drugi oprogramowano w Zakładzie Fizyki również dla celów brachyterapii (Wojciech Bulski), stosowanej jako samodzielna metoda radykalnego leczenia lub w połączeniu z teleradioterapią. W następnych latach fizycy (Wisława Szymczyk, Jan Lesiak, Tadeusz Jedynek, Marek Boehlke, Ryszard Dąbrowski) z Centrów Onkologii w Krakowie, Gliwicach, Szczecinie i Warszawie opracowali systemy komputerowe do planowania radioterapii własnego autorstwa, które zostały rozpowszechnione w licznych krajowych ośrodkach.

Wczesne plany leczenia były wykonywane w jednej płaszczyźnie przekroju pacjenta. Obecnie dokonuje się

tego w wielu płaszczyznach, tworząc przestrzenny, trójwymiarowy rozkład dawek promieniowania. W różnych jednostkach choroby nowotworowej istnieje duża zmienność odpowiedzi na promieniowanie guza i tkanki normalnej. Co więcej, w przypadku niektórych guzów i normalnych tkanek krzywa odpowiedzi na dawkę jest bardzo stroma, tzn. że małe zmiany dawki mogą powodować duże zmiany w odpowiedzi napromienianych tkanek. W tym przypadku dawka promieniowania musi być wyjątkowo precyzyjnie ustalona, w szczególności w odniesieniu do umiejscowienia i objętości guza. Światowe firmy komputerowe konstruuja obecnie systemy do trójwymiarowego planowania teleterapii lub brachyterapii, bądź z możliwością wykorzystania w obu dziedzinach.

Do lokalizacji guza służą takie urządzenia obrazujące jak: symulatory rentgenowskie (które służą również do weryfikacji opracowanego planu leczenia), tomografy komputerowe (CT), sonografy (USG), tomografy rezonansu magnetycznego (MR) i tomografy pozytonowo-elektronowe (PET). Do trójwymiarowego planowania leczenia nieodzowne jest stosowanie tomografu komputerowego.

Dozymetria

Dozymetria promieniowania jonizującego w radioterapii jest niezwykle rozbudowana, zarówno w sferze stosowanych metod, jak i aparatury. Jej całościowe omówienie wykracza poza ramy tego opracowania.

Jednakże podstawą podjęcia jakichkolwiek działań w zakresie dozymetrii w radioterapii jest możliwość wiarygodnego i precyzyjnego określenia dawki, co się odbywa na podstawie wskazań dawkomierzy promieniowania jonizującego, mających świadectwo odniesienia wskazań do wzorca. Zagadnienie wzorcowania dawkomierzy zostało w Polsce rozwiązane zgodnie z „Prawem o Miarach” [10], pozostającym w zgodzie z przepisami międzynarodowymi. W wielu krajach (m.in. w Polsce w Głównym Urzędzie Miar – GUM) istnieją laboratoria pierwotnego wzorca dozymetrycznego. Dokładność tych wzorców jest stale weryfikowana przez porównania z innymi wzorcami pierwotnymi (wzorcami innych krajów), podczas interkalibracji organizowanych pod egidą Międzynarodowego Biura Wagi i Miar (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM). Laboratoria Wzorca Pierwotnego wzorcują dawkomierze dla Laboratoriów Wzorców Wtórnych, a te z kolei wzorcują tzw. dawkomierze użytkowe, stosowane w zakładach radioterapii.

W Polsce, Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych w zakresie radioterapii istnieje w Zakładzie Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie. Działalność tego Laboratorium na potrzeby całego kraju ma bardzo długą tradycję. Już w okresie przed II Wojną Światową, ówczesny kierownik Zakładu – doc. Cezary Pawłowski, realizując życzenie Marii Skłodowskiej-Curie, zorganizował w ramach Zakładu Fizyki Instytutu Radowego Wzorcownię Rentgenowską (otwartą dnia 30 października 1937 roku). Wówczas, w Dzienniku Urzędowym Ministerstwa Opieki Społecznej, ukazał się komunikat

zalecający podległym instytucjom zgłaszanie się w sprawie konsultacji i wykonywania pomiarów do Instytutu Radowego. Po wojnie, w roku 1951, prof. C. Pawłowski reaktywował tę działalność tworząc, w porozumieniu z Ministerstwem Zdrowia i Opieki Społecznej, w ramach Zakładu Fizyki, Centralną Pracownię Pomiarów Radiologicznych (CPPR). Wzorcowanie w tej pracowni dawkomierzy użytkowych było możliwe, gdyż Zakład otrzymał z darów UNRRA kilka dawkomierzy produkcji amerykańskiej – Victoreen Condenser r-Meter, z których dwa miały świadectwo wzorcowania w stosunku do amerykańskiego wzorca pierwotnego (w Polsce jeszcze wówczas taki wzorec nie istniał). Te dawkomierze, oraz dwa zainstalowane w Zakładzie Fizyki terapeutyczne aparaty rentgenowskie (Gaiffe Gallot et Pilon oraz Schoenander), umożliwiły zorganizowanie rentgenowskich stanowisk pomiarowych, na których wzorcowano dawkomierze użytkowe z różnych zakładów radioterapii w kraju. Na przełomie lat 50. i 60. Główny Urząd Miar (dr Zbigniew Referowski) zorganizował laboratorium wzorca pierwotnego. Od tego czasu Zakład Fizyki miał możliwość wzorcowania wzorców wtórnych (zwanymi również dawkomierzami kontrolnymi) w odniesieniu do polskiego wzorca pierwotnego. Około roku 1960 Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej zlikwidowało CPPR, ale już w roku 1966, w porozumieniu z GUM, nałożyło na Zakład Fizyki obowiązek wzorcowania dawkomierzy użytkowych dla krajowych zakładów radioterapii.

W roku 1988, na wniosek Polskiego Komitetu Normalizacji i Miar (taką nazwę przyjął GUM), Zakład Fizyki Instytutu Onkologii w Warszawie został w zakresie wzorcowania dawkomierzy włączony do międzynarodowej sieci takich laboratoriów, których praca jest koordynowana przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej i Światową Organizację Zdrowia (IAEA/WHO Network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories – SSDL) [11]. Pracownia Zakładu Fizyki Medycznej, wzorcująca dawkomierze, przyjęła wówczas nazwę Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych (LWWD). Od tego czasu LWWD podlega dozymetrycznym audytom IAEA/WHO, ale ma również przywilej nieodpłatnego wzorcowania swoich wzorców wtórnych w Laboratorium IAEA. Zgodnie ze statutem członków sieci SSDL [12] LWWD jest odpowiedzialne nie tylko za wzorcowanie dawkomierzy, ale również za organizację i przeprowadzanie w kraju porównawczych pomiarów dawek w radioterapii. Podczas 21 Konferencji Generalnej w sprawach Wagi i Miar, która odbyła się w Paryżu 14 października 1999, dyrektorzy narodowych instytutów metrologicznych z 38 państw, będących sygnatariuszami „konwencji metra”, podpisali porozumienie wzajemnego uznania (*Mutual Recognition Arrangement – MRA*). Podpisał je również prof. Pedro Andreo, sekretarz sieci SSDL IAEA/WHO. Zasadniczym elementem tego porozumienia jest pojęcie równoważności pomiarów i porównywalności usług świadczonych przez laboratoria będące elementami sieci, pozwalające na wzajemne uznanie narodowych wzorców i świadectw wzorcowania wydawanych przez te laboratoria. Nakłada to naturalnie wysokie wymagania

co do działania tych laboratoriów i wymaga ciągłego przeglądu warunków, pozwalających na akceptowanie wyników pomiarów porównawczych i audytów jakości organizowanych przez IAEA dla sieci SSDL [13].

W chwili obecnej LWWD Centrum Onkologii w Warszawie jest dobrze wyposażone. Ma do własnej dyspozycji aparat kobaltowy i terapeutyczny aparat rentgenowski. Posiada nowoczesne dawkomierze – wzorce wtórne, odpowiednie fantomy, rejestrujące urządzenia informacyjne, częściowo sfinansowane przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej, a w ostatnich latach również przez Państwową Agencję Atomistyki. LWWD prowadzi szczegółową ewidencję wzorcowanych dawkomierzy, stąd ma obraz ich stanu posiadania i użytkowania przez zakłady radioterapii.

Kadra specjalistów

Specjalizacje lekarskie, w tym specjalizacja z radioterapii onkologicznej, istnieją w Polsce od lat i mają ugruntowaną tradycję szkoleniową, dlatego nie będą przedmiotem oceny w tej ekspertyzie.

Zaczątki regularnego szkolenia osób z wykształceniem ścisłym, przygotowanych do współpracy z lekarzami, sięgają wczesnych lat powojennych, kiedy na Politechnice Warszawskiej powstał Oddział Fizyki Stosowanej z Sekcją Elektrotechniki Medycznej.

W roku 1972 na IV i V roku Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego stworzono specjalność z fizyki medycznej, o programie i systemie szkolenia opartym na wzorach Europy Zachodniej. W ostatnich latach na wielu uniwersytetach i politechnikach powstają takie specjalności, związane z różnymi aspektami szeroko pojmowanej fizyki medycznej. Programy w skali kraju są jednak bardzo zróżnicowane. Do pracy w szpitalach trafiają również absolwenci wyższych uczelni z wydziałów nie związanych programowo z fizyką medyczną. Osoby te rozszerzają swoją wiedzę na kursach specjalistycznych (głównie zagranicznych) oraz drogą studiów indywidualnych i praktyki w miejscu pracy pod kierunkiem doświadczonych kolegów.

Powszechnym wymaganiem w krajach Unii Europejskiej (również w USA i w Kanadzie) jest by fizyk pracujący w szpitalu miał uprawnienia fizyka medycznego (w niektórych krajach przyjęła się nazwa „szpitalnego”). Uprawnienia uzyskuje się w wyniku zaliczenia komisyjnego egzaminu po specjalistycznym szkoleniu z fizyki medycznej według jednolitego programu – niezależnie od specjalności nabytej w toku studiów. Fizyk, pracujący w krajach UE, który nie zrobił specjalizacji, pracuje pod nadzorem fizyka medycznego i jest zobowiązany do jej uzyskania w ciągu kilku lat. W dużych instytucjach medycznych z tego obowiązku zwalniani są jedynie fizycy pracujący w pracowniach naukowych lub dydaktycznych.

W ostatnich latach, również w Polsce, została wprowadzona konieczność uzyskiwania specjalizacji przez osoby z wyższym wykształceniem ścisłym, pracujące w szpitalach.

Regulacje prawne związane z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej

Wdrożenie Dyrektywy Unii Europejskiej

Z chwilą przystąpienia do Unii Europejskiej Polska musiała dostosować swoje akta prawne do wymogów Dyrektywy 97/43 Euratom: „w sprawie indywidualnej ochrony zdrowia przed zagrożeniami płynącymi z promieniowania jonizującego w związku z narażeniem medycznym” [14]. W Dyrektywie przyjęto zasadę, że wykorzystanie promieniowania jonizującego w medycynie dopuszczalne jest po zastosowaniu środków gwarantujących ochronę zdrowia i życia ludzi. W przypadku radioterapii temu celowi powinno służyć rozwinięcie systemu szkolenia zatrudnionego personelu, stosowanie aparatury sprawnej i o wysokiej jakości, wprowadzenie zasad zarządzania jakością, oraz wprowadzenie inspekcji i audytów.

W celu implementacji zaleceń Dyrektywy została znowelizowana ustawa „Prawo Atomowe” [15], która powyższe wymagania, z punktu widzenia tej ekspertyzy, przedstawiła w poniższych artykułach: „Art. 33c, ust. 5. Osoby wykonujące i nadzorujące wykonywanie badań i zabiegów leczniczych są obowiązane do podnoszenia swoich kwalifikacji zgodnie z wymaganiami, o których mowa w art. 33i ust. 2.”, „Art. 33c, ust. 7. Jednostki ochrony zdrowia wykonujące zabiegi lub leczenie z zakresu radioterapii, medycyny nuklearnej, radiologii zabiegowej i rentgenodiagnostyki są obowiązane podjąć działania zmierzające do zapobieżenia medycznym wypadkom radiologicznym. W tym celu dokonuje się kontroli fizycznych parametrów urządzeń radiologicznych oraz klinicznych audytów wewnętrznych i zewnętrznych, a także wprowadza się system zarządzania jakością”, „Art. 33d, ust. 5. Minister właściwy do spraw zdrowia określi, w drodze rozporządzenia, minimalne wymagania ... dotyczące wyposażenia w terapeutyczne i diagnostyczne urządzenia radiologiczne, wyposażenia pomocniczego oraz liczebności i kwalifikacji personelu”.

Na podstawie ustawy wydano Rozporządzenia Ministra Zdrowia, z których, z punktu widzenia infrastruktury radioterapii, najważniejsze są (w kolejności ich ukazywania się): (a) z dnia 30.09.02 w sprawie uzyskania tytułu specjalisty w dziedzinach mających zastosowanie w ochronie zdrowia [16], (b) z dnia 25.08.05 w sprawie bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej [17], (c) z dnia 7.04.06 w sprawie minimalnych wymagań dla zakładów opieki zdrowotnej, ubiegających się o wydanie zgody na prowadzenie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące w celach medycznych, polegającej na udzielaniu świadczeń zdrowotnych z zakresu radioterapii onkologicznej [18].

Poniżej zostaną omówione najważniejsze wymagania tych przepisów prawnych, które dotyczą radioterapii i muszą być spełnione w najbliższej przyszłości.

Kadra

W procesie dostosowawczym do wymagań Unii Europejskiej, wprowadzono rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 30.09.2002 [16] zasady uzyskiwania tytułu fizyka medycznego – specjalisty i inżyniera medycznego – specjalisty. Na podstawie wzorów szkoleń specjalistów fizyki medycznej w Unii Europejskiej opracowano program dla fizyków w Polsce. Obowiązująca wersja tego programu ukazała się drukiem na początku roku 2004 [19]. Aby móc rozpocząć specjalizację z fizyki medycznej zgodnie z procedurami, stosowanymi w przypadku specjalizacji lekarskich i/lub innych specjalizacji mających zastosowanie w ochronie zdrowia, przeprowadzono akcję powierzenia obowiązków specjalisty z fizyki medycznej fizykom pracującym w szpitalach, legitymującym się odpowiednim dorobkiem naukowym i zawodowym, którzy mogą pełnić rolę kierowników specjalizacji. Są to osoby o długoletnim stażu pracy w jednostkach służby zdrowia i legitymujące się przynajmniej stopniem doktora. Takich osób na koniec roku 2006 było ogółem w Polsce 31 i liczba ich w najbliższych latach zapewne znacznie nie wzrośnie.

Trwa również akcja akredytowania przez Ministerstwo Zdrowia ośrodków, które będą miały prawo prowadzić szkolenie. Specjalizacja z fizyki medycznej trwa 3 lata. Do końca 2006 roku akredytację uzyskało 6 ośrodków: Centra Onkologii w Warszawie, Gliwicach, Krakowie, Kielcach, Poznaniu i Uniwersytet Medyczny w Łodzi, z przyznaną łączną liczbą 72 miejsc dla osób mogących podjąć kształcenie specjalizacyjne.

Według §11 Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7.04.06 [18] zakład opieki zdrowotnej, w którym prowadzona jest radykalna i paliatywna radioterapia onkologiczna, musi zatrudniać co najmniej: 3 lekarzy, w tym 2 lekarzy posiadających specjalizację w dziedzinie radioterapii onkologicznej, na każdych 500 chorych leczonych promieniowaniem w danym roku kalendarzowym, a powyżej tej liczby chorych dodatkowo 1 lekarza na każdych kolejnych 200 chorych leczonych ...; oraz 3 fizyków, w tym 2 osoby posiadające tytuł specjalisty w dziedzinie fizyki medycznej ..., na 1000 chorych leczonych promieniowaniem w danym roku kalendarzowym.

Według §13 tego Rozporządzenia, zakład opieki zdrowotnej, w którym jest prowadzona brachyterapia, musi zatrudniać co najmniej: 2 lekarzy posiadających specjalizację w dziedzinie radioterapii onkologicznej, na 600 chorych leczonych promieniowaniem w danym roku kalendarzowym...; oraz specjalistę fizyki medycznej na 600 chorych leczonych promieniowaniem w danym roku kalendarzowym.

Rozporządzenie obowiązuje już od roku 2006, ale dopuszcza (zgodnie z §16) do dnia 31 grudnia 2010 r. zatrudnienie fizyka bez specjalizacji, posiadającego co najmniej 2-letni staż pracy w zakresie medycznych zastosowań promieniowania jonizującego w podmiocie udzielającym świadczeń zdrowotnych z wykorzystaniem promieniowania jonizującego.

Niezbędna aparatura

Niniejsza ekspertyza, przygotowana na podstawie danych zebranych w większości w wyniku dobrowolnej ankiety, nie daje odpowiedzi na pytanie o zgodność wyposażenia zakładów radioterapii we wszystkie urządzenia narzucone Rozporządzeniem z dnia 7.04.06 [18] (aparatura terapeutyczna, symulatory, przyrządy dozymetryczne, komputerowe systemy planowania leczenia – TPS, liczne urządzenia pomocnicze), ale daje odpowiedź na temat stanu wyposażenia zakładów w urządzenia najważniejsze.

Zgodnie z §3 tego Rozporządzenia minimalne wyposażenie w urządzenia radiologiczne zakładu opieki zdrowotnej, który prowadzi radykalne i paliatywne leczenie onkologiczne (w Rozporządzeniu nie zaznaczono, że chodzi o teleterapię), obejmuje m.in.: (1) dwa megawoltowe aparaty terapeutyczne, w tym jeden akcelerator liniowy, generujący co najmniej jedną wiązkę fotonową o energii 6 MeV i wiązkę elektronową o energii minimalnej 12 MeV; (2) symulator [...]; (3) komputerowy system planowania leczenia [...]; (4) dwa dawkomierze, każdy z odpowiednią komorą jonizacyjną, posiadającą aktualne świadectwo wzorcowania i źródło kontrolne.

Zgodnie z §5 tego Rozporządzenia minimalne wyposażenie w urządzenia radiologiczne zakładu opieki zdrowotnej, który prowadzi brachyterapię, obejmuje m.in.: 1) urządzenie do zdalnego wprowadzania źródeł promieniotwórczych z zestawem standardowych aplikatorów; 2) aparat rentgenowski do wykonywania zdjęć lokalizacyjnych; 3) komputerowy system planowania leczenia; 4) dawkomierz z komorą jonizacyjną; (przepisy nie dotyczą brachyterapii okulistycznej).

Rozporządzenie ukazało się w Dzienniku Ustaw z dnia 4 maja 2006 r. i weszło w życie po upływie 14 dni od dnia ogłoszenia.

Kontrole aparatury

Kontrole sprawności aparatury pod względem technicznym, zabezpieczające przed wadliwym działaniem lub wystąpieniem awarii, są przeprowadzane przez inżynierów serwisu firmowego w ramach umowy serwisowej, bądź personel techniczny zatrudniony przez ośrodek.

Niezależnie od kontroli technicznej istnieje konieczność stałego monitorowania wartości, w przyjętych granicach tolerancji, wszystkich parametrów fizycznych urządzenia, mających wpływ na jakość leczenia. To zagadnienie, nieodzowne dla zapewnienia wysokiej jakości radioterapii, zawsze było w polu widzenia pracujących w tej dziedzinie fizyków. Odpowiednie procedury ujęte są w krajowych zaleceniach, opisujących sposób postępowania, wymaganą aparaturę, metody pomiarowe oraz wzory obowiązującej dokumentacji. Takie zalecenia powstawały również w Polsce [20-23]. Ich realizacja napotykała nie raz na trudności ze względów organizacyjnych. Pomiaru związane z kontrolą jakości są czasochłonne. Przy dużej liczbie chorych i długim oczekiwaniu na leczenie, związanym z małą liczbą aparatów, kierownicy oddziałów radio-

terapii niejednokrotnie rezygnowali z przeprowadzania pomiarów kontrolnych.

Obecnie polityka dotycząca kontroli aparatury znalazła swój wyraz we wspomnianym wyżej Rozporządzeniu Ministra Zdrowia [17], do którego wprowadzono opis szeregu procedur, publikowanych wcześniej w krajowych zaleceniach, z zaznaczeniem częstotliwości pomiarów, osób uprawnionych do ich przeprowadzania i odpowiedzialności, jaką ponosi fizyk medyczny (przez fizyka medycznego ustawodawca rozumie fizyka, który uzyskał specjalizację z fizyki medycznej). Zdaniem autorów tego opracowania przepisy są bardzo restrykcyjne. Bowiem oprócz wyraźnie sprecyzowanych wymagań i odpowiedzialności, sformułowanych w paragrafie 35. ust. 2., 3. i 8.: „w jednostce prowadzącej radioterapię megawoltową działa zakład lub pracownia fizyki medycznej”; „zakładem lub pracownią fizyki medycznej kieruje fizyk medyczny odpowiadający za planowanie i sprawdzanie fizycznych parametrów napromieniania”; „fizycy medyczni wykonujący dozymetrię promieniowania jonizującego, obliczenia określające aplikowaną dawkę oraz kontrolę jakości są odpowiedzialni za bezpieczeństwo leczenia, wynikające z zakresu wykonywanych zadań.”, prawodawca wprowadził zapis (par. 10. ust. 6.): „W radioterapii wewnętrzne testy kontroli fizycznych parametrów są wykonywane zgodnie z wymaganiami określonymi w części III załącznika nr 6 do rozporządzenia przez zakłady fizyki medycznej posiadające akredytację na zgodność z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005” [24]. Nie należy mylić tej normy z normą PN-EN ISO 9001:2001 [25], na zgodność z którą uzyskanie certyfikatu jest w pełni dobrowolne.

Norma ISO/IEC 17025 jest przewidziana do dobrowolnego stosowania przez laboratoria badawcze i wzorujące. Wymagania obowiązkowej akredytacji na tę normę dla Zakładów Fizyki Medycznej nie wprowadził żaden kraj na świecie. Minister Zdrowia wprowadził ten zapis mimo przeciwnego zdania większości członków zespołu opracowującego Rozporządzenie i mimo sprzeciwu, wyrażonego na piśmie, Krajowych Konsultantów ds. Radioterapii Onkologicznej i ds. Fizyki Medycznej i Inżynierii Medycznej.

Audyty

Dyrektywa EC 97/43 Euratom kładzie duży nacisk na zagadnienie przeprowadzania audytów w działach medycyny stosującej promieniowania jonizujące. Należy zwrócić uwagę, że Dyrektywa rozróżnia dwa systemy: (a) system inspekcji i (b) system audytów klinicznych [14, 26].

Inspekcja jest definiowana w Dyrektywie jako: „– prowadzone przez właściwe organa badanie celem sprawdzenia, czy są przestrzegane krajowe przepisy prawne dotyczące ochrony radiologicznej w zakresie radiologicznych procedur medycznych, używanego sprzętu lub instalacji radiologicznych”. Inspekcje przeprowadzają instytucje państwowe, w pełni niezależne od instytucji kontrolowanej i mające uprawnienia egzekucyjne.

Audyt kliniczny Dyrektywa definiuje jako: „systematyczne badanie lub przegląd medycznych procedur

radiologicznych, mające na celu polepszenie jakości i wyników świadczonych pacjentowi usług medycznych, poprzez usystematyzowaną analizę, w ramach której zabiegi, procedury i wyniki radiologiczne są porównywane z uznanymi standardami w zakresie medycznych procedur radiologicznych, a w rezultacie której następuje – w razie konieczności – modyfikacja dotychczasowych zabiegów i ewentualne wprowadzenie nowych standardów;” oraz „audyty kliniczne powinny być przeprowadzane zgodnie z krajowymi procedurami”.

Według Dyrektywy kraje członkowskie Wspólnoty Europejskiej mają dużą swobodę w interpretacji zakresu procedur i sposobu organizacji audytów i adaptują zalecenia w różny sposób, zależnie od miejscowych warunków, w szczególności od stosowanych technologii, jednakże (zaznaczono w Dyrektywie) nieodzownym elementem audytu klinicznego jest audyt dozymetryczny. Zagadnienia te zostały przybliżone polskiemu czytelnikowi w publikacji Gwiazdowskiej i Bulskiego [27].

Prawodawstwo polskie [15] wprowadziło następujące zapisy (par. 41. ust. 1., 2., 3., 6., 7., 8., 9): „Kliniczny audyt zewnętrzny w zakładach radioterapii jest organizowany i nadzorowany przez komisję w zakresie radioterapii onkologicznej”. – „Kliniczny audyt zewnętrzny dzieli się na: 1) procedur, 2) dozymetryczny”. – „Do przeprowadzenia klinicznego audytu procedur komisja, o której mowa w ust. 1, powołuje zespół audytorski składający się z lekarza i fizyka medycznego, a w uzasadnionym przypadku – inżyniera medycznego”. – „Audyt dozymetryczny przeprowadza się metodami, które pozwalają stwierdzić 5-procentowe lub mniejsze różnice w kontrolowanych wartościach dawek”. – „Audyt dozymetryczny jest przeprowadzany co roku, a jego zakres i termin podaje się zakładom radioterapii z rocznym wyprzedzeniem”. – „Uczestnictwo w audycie dozymetrycznym jest obowiązkowe.” – „Audyt dozymetryczny przeprowadzają laboratoria należące do sieci Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i Światowej Organizacji Zdrowia lub inne laboratoria akredytowane w zakresie wzorcowania”. Realizacja audytu klinicznego powinna nastąpić nie później niż 31.12.2009.

W sytuacji idealnej audyt powinien odnieść się do całego ciągu radiologicznej procedury (tzw. audyt kompleksywny). W rzeczywistości, w tej procedurze należy w pierwszym rzędzie określić najsłabsze i/lub najważniejsze ogniwo i na nim skoncentrować działalność audytorską. W przypadku audytu dozymetrycznego takim ogniwem jest poprawność wyznaczania dawki, niezwykle ważna z punktu widzenia prowadzenia prawidłowej radioterapii, a nawet narażenia pacjenta na niewłaściwe promieniowanie.

Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych (należące do sieci IAEA/WHO) Zakładu Fizyki Medycznej w Centrum Onkologii w Warszawie prowadzi taki (dotychczas dobrowolny) audyt w krajowych zakładach teleterapii już od roku 1991. Zastosowano, na wzór Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej „wysyłkową metodę” określania dawki detektorami termoluminescencyjnymi (TLD) [28]. Metoda wysyłkowa polegała na

odczytanie dawki, jaką zostały napromienione detektory TL przez uczestnika audytu – fizyka z audytowanego zakładu teleterapii i stwierdzeniu różnicy między zadeklarowaną przez niego dawką, a określoną w LWWD; detektory przesyłane są przez pocztę. W latach 1991-2001 LWWD przeprowadziło w krajowych ośrodkach kilka serii audytu, w tym w latach 1994-1995 w ramach programu EROPAQ (*pan-European Radiation Oncology Project for Assurance of Treatment Quality*) [29]. W latach 1991-2001 audyty dotyczyły w zasadzie poprawności określania dawki z pomocą komory jonizacyjnej, a więc w jakimś sensie kwalifikacji fizyka (pomijając niestabilność pracy akceleratorów – co się czasem zdarzało) [30]. Następnie wprowadzono audyty 2-stopniowe, obejmujące poprawność wyznaczania dawki zarówno z pomocą komory jonizacyjnej, jak i na podstawie danych z komputerowego systemu planowania leczenia – co stanowi punkt wyjścia do kontroli tych systemów. Do roku 1994 (włącznie) prowadzono pomiary w tzw. punkcie referencyjnym (tzn. na osi wiązki, przy określonym polu i na określonej głębokości w fantomie). Opracowana metoda pozwalała stwierdzić 3,5 procentowe różnice w kontrolowanych wartościach dawek jako istotne. Wartość tę przyjęto jako dopuszczalną. Wszystkie większe różnice były wyjaśniane i korygowane. Od roku 2004 opracowywano metodykę pomiarów dawki poza punktem referencyjnym i przeprowadzano pomiary pilotowe, które wykazały, że w wyniku audytu będzie można stwierdzić 5% (a być może nawet mniejsze) różnice w kontrolowanych wartościach dawek.

W opracowaniu jest metoda audytowania zakładów brachyterapii.

Omówienie obecnej sytuacji

Źródła danych

Większość danych pochodzi z bazy danych, prowadzonej od kilkunastu lat przez Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie. Baza ta została założona w związku z działalnością Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych, które jako ogniwo międzynarodowej sieci, koordynowanej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej i Światową Organizację Zdrowia, jest zobligowane do przedstawiania niektórych danych na forum IAEA. Baza jest uzupełniana na podstawie corocznie wysyłanych ankiet do przedstawicieli ośrodków, najczęściej do kierowników zakładów fizyki medycznej. W ubiegłym roku opracowano specjalny program umieszczony w internecie, umożliwiający szybkie zbieranie danych, rozszerzanie ich zakresu i weryfikację. Dane są konfrontowane z danymi z ubiegłych lat, a wątpliwości wyjaśniane.

Na potrzeby tej ekspertyzy większość danych porównano z danymi z innych dostępnych źródeł. Do takich należały niżej wymienione:

- Ankieta ESTRO (European Society for Therapeutic Radiology and Oncology), dotycząca brachyterapii (*Patterns of Care for Brachytherapy*). Z tą ankietą skonfrontowano dane dotyczące aparatury i źródeł

stosowanych w brachyterapii, systemów planowania leczenia, liczby personelu lekarskiego w zakładach tele- i brachyterapii (radioterapeuci II stopnia), liczby leczonych chorych (tele- i brachyterapia). Jeśli chodzi o pacjentów, to w tej ekspertyzie przez pacjenta teleterapii (brachyterapii) rozumie się osobę poddaną danej formie leczenia, a więc w przypadku leczenia skojarzonego mogła to być ta sama osoba, zarejestrowana w obu grupach leczonych.

- Rejestr prowadzony przez Krajowego Konsultanta w Dziedzinie Fizyki Medycznej posłużył do zaprezentowania danych dotyczących fizyków medycznych: ich liczby, stopni naukowych, specjalizacji.
- Z rejestru prowadzonego przez LWWD zaczerpnięto dane dotyczące liczby stosowanych dawkomierzy i komór jonizacyjnych, posiadających ważne świadectwo wzorcowania.
- Wątpliwości wyjaśniano. Wydaje się, że liczba ewentualnych niezgodności jest znikoma.

Dane administracyjne

W Tabeli I przedstawiono nazwy i adresy ośrodków, stosujących radioterapię. W roku 2006 było 26 takich ośrodków.

Wśród tych ośrodków 4 (tj. 15%) zakłady radioterapii znajdowały się w samodzielnych centrach onkologicznych o randze instytutu naukowego (SIN); w tej liczbie Centrum Onkologii w Warszawie potraktowano jako dwa ośrodki, co wiąże się z różnymi adresami zakładów w „nowym” Centrum na Ursynowie i w „starym” Instytucie na Ochocie, odrębnymi zakładami radioterapii i odrębnym kodem, które nadano ośrodkom, koniecznym w przypadku publikacji danych o charakterze statystycznym lub konfidencyjnym; 9 (tj. 35%) zakładów radioterapii znajdowało się w samodzielnych centrach onkologicznych o randze szpitala (SON); 8 (tj. 31%) w centrach onkologicznych „stowarzyszonych ze szpitalami” (NSZ); 5 (tj. 19%) w klinikach akademii lub uniwersytetów medycznych (NAK), (Ryc. 1).

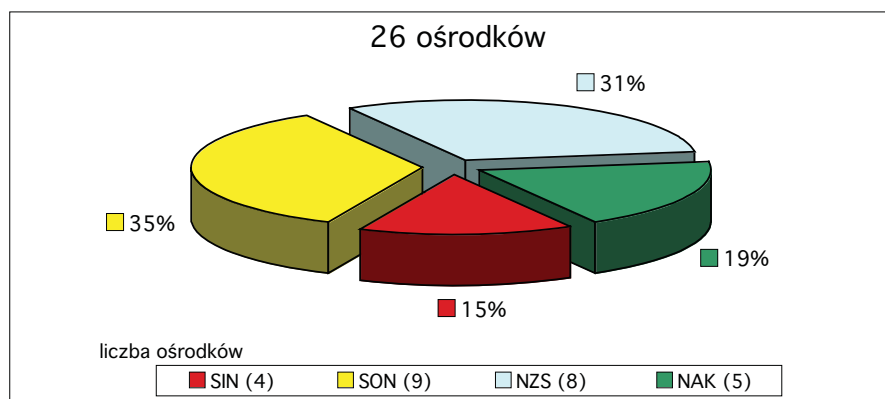
Na mapce Polski (Ryc. 2) pokazano rozmieszczenie ośrodków. Jest ono dość równomierne i zgodne z gęstością zaludnienia kraju. Większość z nich jest ośrodkami pełno-profilowymi i w zakresie radioterapii stosuje zarówno tele-, jak i brachyterapię. Brachyterapii nie stosował w 2006 roku warszawski „stary” Instytut na Ochocie, Beskidzkie Centrum Onkologii w Bielsku-Białej, Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie, Klinika Chirurgii Ogólnej i Gastroenterologii Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie. Teleterapii nie stosował Ginekologiczno-Położniczy Szpital Kliniczny AM w Poznaniu oraz I Klinika Położnictwa i Ginekologii AM we Wrocławiu.

Można powiedzieć, że założenia „wizjonerów” rozwoju onkologii w Polsce zostały spełnione. Osiemdziesiąt procent ośrodków to pełnoprofilowe ośrodki onkologiczne, w tym instytut naukowy z terenowymi oddziałami, który w zasadzie spełnia rolę Narodowego Instytutu Przeciwrakowego (podobnie jak National Cancer Institute w USA), chociaż oficjalnie nie ma tego

Tab. I. Dane adresowe ośrodków stosujących radioterapię w roku 2006 r.

L.p.	Status	Nazwa i adres	Dyrektor	Kierownik zakładu (pracowni) fizyki medycznej
1	SIN	Centrum Onkologii Instytut im. M. Skłodowskiej-Curie, Oddział w Gliwicach ul. Wybrzeże Armii Krajowej 15 44-101 GLIWICE	prof. dr hab med. Bogusław Maciejewski	doc. dr hab Maria Sokół 32-278 80 12 mary@io.gliwice.pl
2	SIN	Centrum Onkologii Instytut im. M. Skłodowskiej-Curie, Oddział w Krakowie ul. Garncarska 11 31-115 KRAKÓW	prof.dr hab.med. Marian Reinfuss	prof. dr hab. Michał Waligórski 12-423 10 67 z5waligo@cyf-kr.edu.pl
3	SIN	Centrum Onkologii-Instytut im. M. Skłodowskiej-Curie ul. Wawelska 15 00-973 WARSZAWA	prof. dr hab. med. Marek Nowacki	dr Wojciech Bulski 22-644 91 82 w.bulski@rth.coi.waw.pl
4	SIN	Centrum Onkologii-Instytut im. M. Skłodowskiej-Curie ul. W. K. Roentgena 5 02-781 WARSZAWA	prof. dr hab. med. Marek Nowacki	dr Wojciech Bulski 22-644 91 82 w.bulski@rth.coi.waw.pl
5	SON	Białostockie Centrum Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie ul. Ogrodowa 12 15-027 BIAŁYSTOK	dr med. Marzena Juczewska	mgr inż. Maria Kisielewska-Birycka 85-6646 828 (871) mariak.b@poczta.fm
6	SON	Beskidzkie Centrum Onkologii im. Jana Pawła II ul. Wyzwolenia 18 43-300 BIELSKO-BIAŁA	lek. med. Piotr Zdunek	mgr Wiesław Poszwa 33-498 40 34 wiesiop@poczta.onet.pl
7	SON	Centrum Onkologii im. prof. F. Łukaszczyka ul. Dr. I. Romanowskiej 2 85-796 BYDGOSZCZ	dr med. Zbigniew Pawłowicz	mgr Barbara Drzewiecka 52-374 34 99 basiad@co.bydgoszcz.pl
8	SON	Świętokrzyskie Centrum Onkologii ul. Artwińskiego 3 25-734 KIELCE	dr med. Stanisław Gózdź	dr Paweł Kukołowicz 41-367 43 28 (47 00) pawelku@onkol.kielce.pl
9	SON	Centrum Onkologii Ziemi Lubelskiej ul. Dr K. Jaczewskiego 7 20-090 LUBLIN	dr med. Elżbieta Starosławska	dr Cezary Nalewajko 81-747-75 11 w 197(247) cezary.nalewajko@neostrada.pl
10	SON	SP ZOZ; Opolskie Centrum Onkologii im. Prof. T. Koszarowskiego ul. Katowicka 66 a 45-060 OPOLE	lek. med. Wojciech Redelbach	mgr Wiktor Kośniewski 77-441 60 48 witekosc@onkologia.opole.pl
11	SON	Wielkopolskie Centrum Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie ul. Garbary 15 61-866 POZNAŃ	prof. AM dr hab. Julian Malicki	prof. AM dr hab. Julian Malicki 61-885 05 49 61-852 93 75 julian.malicki@wco.pl
12	SON	Zachodnio-Pomorskie Centrum Onkologii ul. Strzałowska 22 71-730 SZCZECIN	mgr Krystyna Pieczyńska	mgr Waldemar Kot 91-425 14 71 (76) waldekkot@poczta.onet.pl
13	SON	Dolnośląskie Centrum Onkologii pl. Hirszfelda 12 53-413 WROCŁAW	dr med. Marek Pudelko	mgr Ida Laskosz 71-368 95 21
14	NSZ	Szpital Specjalistyczny w Brzozowie, Podkarpacki Ośrodek Onkologiczny im. ks. B.Markiewicza ul. Ks. J. Bielawskiego 18 36-200 BRZOZÓW	mgr Antoni Kolbuch	mgr Bogumiła Kuźniar 13-430 96 61 (90) bokuz@wp.pl

Lp.	Status	Nazwa i adres	Dyrektor	Kierownik zakładu (pracowni) fizyki medycznej
15	NSZ	Wojewódzki Szpital Specjalistyczny – Zakład Radioterapii Białańska 104/118 42-200 CZĘSTOCHOWA	mgr Henryk Kromolowski	mgr Manol Dorobanow emanol@wp.eu
16	NSZ	Pomorskie Centrum Onkologii przy Szpitalu Morskim im. PCK ul. Powstania Styczniowego 1 81-519 GDYNIA	dr med. Irena Erecińska-Siwy	mgr Izabela Jakacka 58-699 89 12 jakacka@poczta.onet.pl
17	NSZ	Szpital im. St. Leszczyńskiego Zespół Nr 1 Zakład Radioterapii ul. Raciborska 27 40-074 KATOWICE	lek. med. Włodzimierz Migacz	dr Włodzimierz Łobodziec 32-205 08 45 lobodziecw@eranel.pl
18	NSZ	Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika, Regionalny Ośrodek Onkologiczny ul. Paderewskiego 4 93-509 ŁÓDŹ	dr med. Zbigniew Morawiec	mgr Michał Biegała 42-689 55 31 (33)
19	NSZ	ZOZ MSWiA z Warmińsko-Mazurskim Centrum Onkologii w Olsztynie ul. Wojska Polskiego 37 10-228 OLSZTYN	dr inż. Janusz Chełchowski	mgr Joanna Minczewska 89-539 88 15 aminzew@poczta.onet.pl
20	NSZ	Wojewódzki Szpital Specjalistyczny, Podkarpackie Centrum Onkologii ul. Chopina 2 35-055 RZESZÓW	dr med. Bernard Waśko	mgr inż. Jerzy Szostecki 17-866 64 72 jerrys@poczta.fm
21	NSZ	Szpital Wojewódzki SP ZOZ w Zielonej Górze, Lubuski Ośrodek Onkologii ul. Zyty 26 65-046 ZIELONA GÓRA	mgr Waldemar Taborski	mgr Małgorzata Maciejewska-Witczak 68-324 73 70 witczakm@interia.pl
22	NAK	SP Szpital Kliniczny Nr 1 – Akademickie Centrum Kliniczne AM w Gdańsku; Katedra i Klinika Onkologii i Radioterapii ul. Dębinki 7 80-952 GDAŃSK	prof. dr hab med. Jacek Jassem (kier. kliniki)	mgr Renata Nowak 58-349 22 81 nowak@amg.gda.pl
23	NAK	Uniwersytecki Szpital Dzieciątcy w Krakowie ul. Wielicka 265 30-663 KRAKÓW	dr hab. med. Maciej Kowalczyk	dr med. Elżbieta Korab-Chrzanowska (kierownik pracowni radioterapii) 12-657 37 15
24	NAK	I Katedra Chirurgii Ogólnej i Klinika Chirurgii i Gastroenterologii Szpitala Uniwersyteckiego ul. Kopernika 40 31-501 KRAKÓW	prof. dr hab. med. Jan Kulik (kier. kliniki)	dr Edward Byrski 12-422 99 00 w 226 12-424 80 05 z5byrski@cyf-kr.edu.pl
25	NAK	Ginekologiczno-Położniczy Szpital Kliniczny (im. Najświętszej Marii Panny) AM im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu; SP ZOZ ul. Polna 33 60-535 POZNAŃ	prof. dr hab. med. Tomasz Opała	dr Mieczysława Jurczyk 61-841 92 66 mjur@poczta.onet.pl
26	NAK	I Klinika Położnictwa i Ginekologii AM ul. Chałubińskiego 3 50-369 WROCŁAW	mgr Andrzej Zdeb (dyr.) prof. dr hab.med. Marian Gryboś (kier. kliniki)	71-784 23 47



SIN - samodzielne instytuty onkologiczne
 SON - samodzielne ośrodki onkologiczne
 NYS - niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone” ze szpitalami
 NAK - kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych

Ryc. 1. Podział ośrodków stosujących radioterapię wg ich statusu (dane dotyczą 2006 r.)



★ samodzielne instytuty onkologiczne (SIN)
 ▲ samodzielne ośrodki onkologiczne (SON)
 ◆ niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone ze szpitalami” (NYS)
 ● kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych (NAK)

Ryc. 2. Rozmieszczenie ośrodków stosujących radioterapię (dane dotyczą 2006 r.)

statusu. Zastosowanie promieniowania jonizującego poza ośrodkami onkologicznymi, w pewnych specjalistycznych dziedzinach medycyny (np. ginekologia, okulistyka, chirurgia, dermatologia), jest nieuniknione i celowe.

Liczba pacjentów

Według danych zebranych przez autorów, teleradioterapii poddawanych było w Polsce w 2006 roku ok. 48 tys. chorych, brachyterapii – ok. 7,5 tys. (Tab. II). Uważa się, że pacjentów poddawanych radioterapii powinno być ponad 70 tys. [31]. W Tabeli II oraz na Ryc. 3 przesta-

wiono liczbę pacjentów poddanych tele- i brachyterapii w ośrodkach o różnym statusie.

Kadra

Jak wynika z zebranych danych (Tab. II), w ośrodkach stosujących radioterapię w 2006 roku pracowało 328 lekarzy specjalistów II stopnia z radioterapii onkologicznej oraz 219 fizyków. Na Rycinie 4 pokazano zatrudnienie tych osób w ośrodkach o różnym statusie.

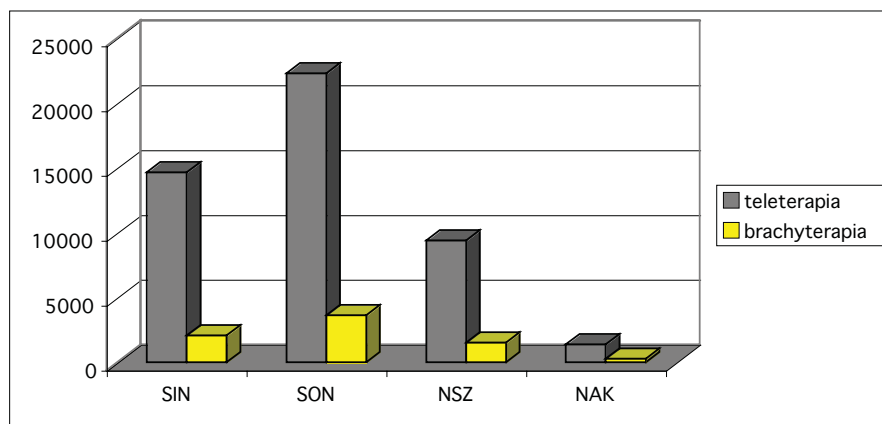
Dane dotyczące fizyków nie obejmują ani osób zajmujących się serwisem aparatury, ani osób zajmujących się informatyzacją szpitala, mimo, że wśród nich mogą być osoby po studiach fizyki. Natomiast podano wszystkich fizyków, nie tylko tych, którzy wyłącznie pracowali na rzecz radioterapii (dozymetria, planowanie leczenia), ale również tych, którzy (jak to ma miejsce w kilku ośrodkach) pracują także na rzecz diagnostyki, medycyny nuklearnej lub ochrony radiologicznej. Wśród fizyków byli absolwenci uniwersytetów i politechnik, kilka osób było po studiach z chemii – zostały one przyuczone do wykonywania określonych zadań w zakładach fizyki. Tytuł profesora lub stopień doktora habilitowanego miało 7 osób, stopień doktora 21 osób, 23 osoby miało powierzone obowiązki specjalisty (p.o. spec.), 53 osoby odbywały specjalizację (szkoleni). Na podstawie znajomości dynamiki uzyskiwania stopni naukowych, obserwowanej w minionych latach, można przypuszczać, że liczby te w najbliższych latach znacznie się nie zmienią. Jak już podano, w 2006 r. było 6 ośrodków, mających prawo prowadzić specjalizację z fizyki medycznej, z przyznaną łączną liczbą 72 miejsc dla osób mogących podjąć kształcenie specjalizacyjne. Specjalizacja trwa 3 lata. Pierwsi „specjalizanci”, którymi są nie tylko fizycy związani z radioterapią, ale również z medycyną nuklearną lub radiodiagnostyką, rozpoczęli kształcenie w połowie 2005 roku, a więc ukończą je, w przypadku pozytywnego egzaminu, w roku 2008.

Tab. II. Liczby pacjentów, radioterapeutów i fizyków w poszczególnych ośrodkach stosujących radioterapię w roku 2006

L.p.	Status	Liczba pacjentów radioterapii		Liczba lekarzy radioter.		Liczba fizyków zatrudnionych w ośrodku			
		teleterapii	brachyterapii	ogółem	ogółem	dr hab./prof.	dr	p.o. spec.	szkoleni
1	SIN	1986	424	6	15	1	2	3	4
2	NSZ	2246	547	13	9				1
3	SON	3443	257	11	8				2
4	SON	5548	1131	22	15	1	4	5	7
5	SON	1324	190	12	10				1
6	SON	1973	276	12	6		1		1
7	SON	826	117	9	6				1
8	NSZ	1028	100	11	7				2
9	NAK	1330	181	16	7				1
10	SIN	5242	971	43	26	2	2	4	7
11	SON	2986	385	24	8		1	1	2
12	SON	3372	928	21	9		1	1	
13	SON	1119		8	5				4
14	NSZ	1019	181	3	6				2
15	SON	1715	365	14	12	1	4	2	3
16	NSZ	1048	198	14	4				1
17	NSZ	561	111	6	5				1
18	SIN	1757		18	8		1	1	2
19	SIN	5686	684	40	28	2	2	3	7
20	NSZ	1563	147	6	6		1	1	2
21	NAK	44		3	3				
22	NSZ	448	82	3	4				
23	NSZ	1503	152	7	6				2
24	NAK		86	3	3		1	1	
25	NAK		24	1	1				
26	NAK	22		2	2		1	1	
razem		47789	7537	328	219	7	21	23	53
Liczby pacjentów, radioterapeutów i fizyków w ośrodkach o różnym statusie stosujących radioterapię w roku 2006									
1	SIN	14671	2079	107	77	5	7	11	20
2	SON	22306	3649	133	79	2	11	9	21
3	NSZ	9416	1518	63	47	0	1	1	11
4	NAK	1396	291	25	16	0	2	2	1
razem		47789	7537	328	219	7	21	23	53

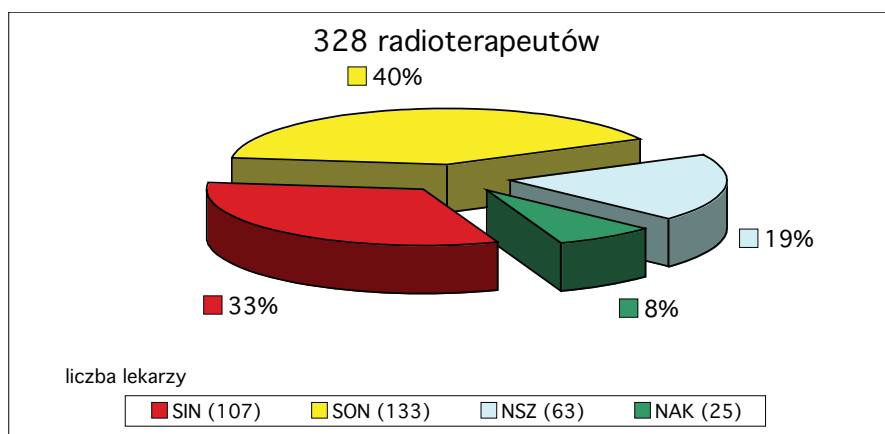
Z przedstawionych danych wynika, że w większości ośrodków będzie spełnione kryterium dostatecznej liczby zatrudnionych lekarzy ze specjalizacją z radioterapii onkologicznej. Natomiast źle przedstawia się sytuacja w przypadku fizyków medycznych. Nawet jeśli zsumować liczbę osób, którym powierzono obowiązki specjalisty z liczbą osób odbywających specjalizację (i przyjmując, że wszystkie te osoby zaliczą końcowy egzamin) to niespełna połowa ośrodków być może będzie miała na koniec 2008 roku zgodną z przepisami liczbę fizyków medycznych – specjalistów, i to w przypadku, jeśli nie wzrośnie

liczba leczonych chorych. Przy czym 2 z tych ośrodków to ośrodki charakteryzujące się najmniejszą liczbą leczonych pacjentów. Autorzy uważają, że bez znacznego wzrostu liczby osób odbywających specjalizację, również na koniec 2010 roku, kiedy mija okres przejściowy, obowiązujące przepisy [16] nie zostaną spełnione. Wzrost liczby „specjalizantów” uwarunkowany jest zarówno przyznaniem większej liczby miejsc specjalizacyjnych ośrodkom szkolącym, jak i większym zaangażowaniem ośrodków onkologicznych w szkolenie pracujących fizyków. W tej chwili żadna ze stron nie przejawia zainteresowania w in-

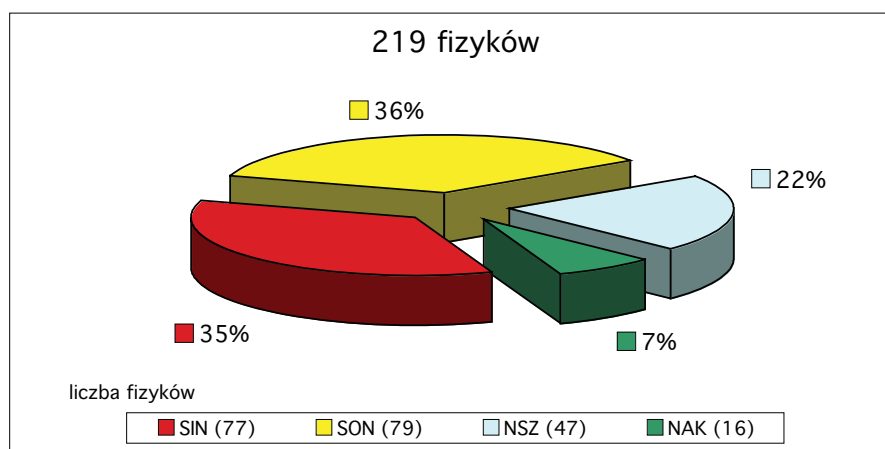


SIN - samodzielne instytuty onkologiczne
 SON - samodzielne ośrodki onkologiczne
 NSZ - niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone” ze szpitalami
 NAK - kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych

Ryc. 3. Liczba pacjentów poddanych tele- i brachyterapii w ośrodkach o różnym statusie (dane dotyczą 2006 r.)



a) lekarze



b) fizycy

SIN - samodzielne instytuty onkologiczne
 SON - samodzielne ośrodki onkologiczne
 NSZ - niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone” ze szpitalami
 NAK - kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych

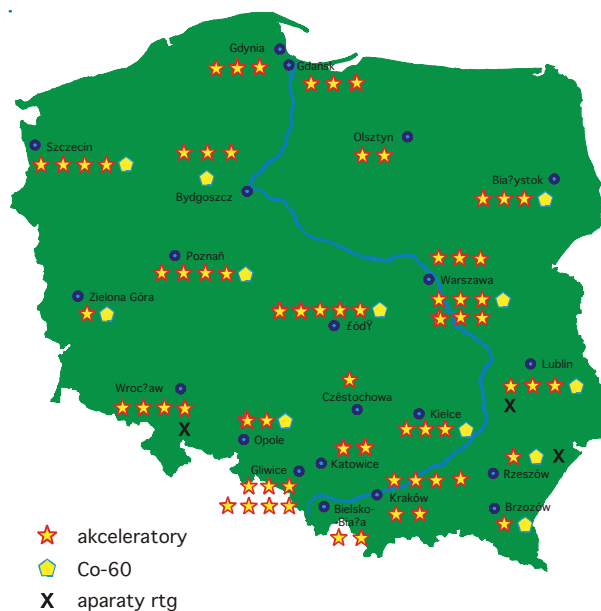
Ryc. 4. Lekarze i fizycy zatrudnieni w ośrodkach stosujących radioterapię (dane dotyczą 2006 r.)

tensyfikacji szkolenia, gdyż wiąże się to z dodatkowymi, znaczącymi obowiązkami i wydatkami, na które Ministerstwo nie przewiduje wsparcia finansowego.

Aparatura do teleterapii

W Tabelach III, IV i V przedstawiono dane dotyczące aparatury do teleterapii stosowanej w polskich ośrodkach w 2006 roku (odpowiednio: akceleratory, aparaty kobaltowe, aparaty rentgenowskie). Na mapce (Ryc. 5) pokazano rozmieszczenie tych aparatów.

W roku 2006 pracowało 69 akceleratorów liniowych. Wprawdzie zainstalowanych było 70, lecz jeden z nich nie został przekazany do użytku klinicznego – podlegał pomiarom dozymetrycznym. Większość stanowiły nowoczesne aparaty renomowanych firm (Ryc. 6), generujące dwie wiązki promieniowania X o energii (definiowanej przez potencjał przyspieszający) w zakresie 6-20 MV i sześć wiązek promieniowania elektronowego o energii nominalnej w zakresie 4-22 MeV (Ryc. 7 a i b). W jedenastu ośrodkach pracowało 15 tzw. „akceleratorów



Ryc. 5. Rozmieszczenie aparatów stosowanych w teleradioterapii (dane dotyczą 2006 r.)

Tab. III. Aparatura do teleterapii stosowana w roku 2006 – akceleratory

Lp.	kod ośr.	rok rozp. lecz.	firma	typ	energia X		energia elektronów						
1	AA	1998	Varian	Clinac 600	6								
		2000	Varian	Clinac 2300 CD	6	18	4	6	9	12	16	20	
		2002	Varian	Clinac 600	6								
		2005	Varian	Clinac 2300 CD	6	18	4	6	9	12	16	20	
2	AB	1992	IPJ	Neptun 10 P	9		8	10					
		1996	IPJ	Co-Line	4								
		2002	Varian	Clinac 600	6								
		2003	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2006	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	6	9	12	15	18	22	
3	AC	1996	Siemens	Mevatron MXE-2	10		5	7	8	10	12	14	
		1997	Siemens	Mevatron MXE-2	6		5	7	8	10	12	14	
		1997	Siemens	Mevatron KD2	10	18	8	10	12	14	18	21	
		2004	Siemens	Oncor Impression	6	15	6	9		15	18	21	
4	AD	1998	Siemens	Mevatron KD2	6	15	6	9	12	15	18	21	
		2000	Varian	Clinac 2300 CD	6	20	6	9	12	15	18	22	
		2004	Varian	Clinac 2300 CD	6	20	6	9	12	15	18	22	
		2005	Varian	Clinac 600	6								
5	AE	1998	IPJ	Co-Line	4								
		2002	IPJ	Neptun 10 PC	9		6	8	10				
		2003	Elekta	Precise	6	15	6	9	12	15	18	22	
6	AF	1995	IPJ	Co-Line	4								
		1998	Siemens	Primus	6	18	6	9	12	15	18	21	
		2006	Siemens	Oncor	6	18	6	9	12	15	18		
7	AG	1990	IPJ	Neptun 10 P	9		6	8	10				
		2004	Elekta	Precise	6	18	6	9	12	15	18	22	
8	AH	1995	Siemens	Mevatron MXE2	6		5	7	8	10	12	14	
		2001	IPJ	Neptun 10 PC	9		8	10					
		2006	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	4	6	9	12	16	20	

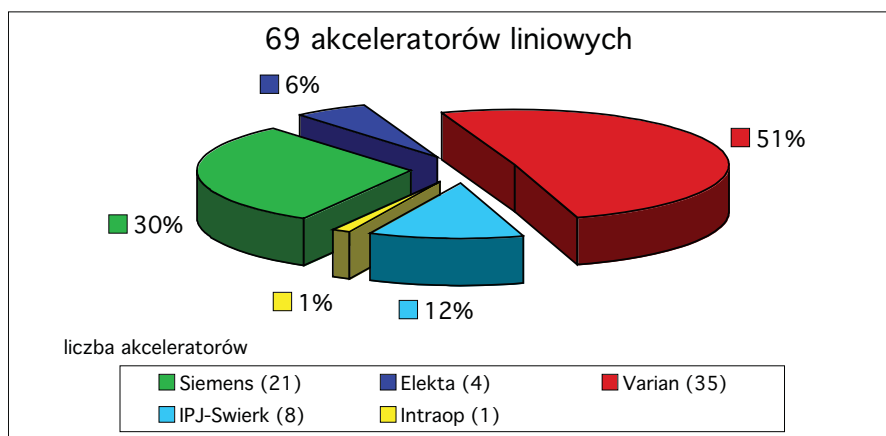
lp.	kod ośr.	rok rozp. lecz.	firma	typ	energia X			energia elektronów					
9	AI	2000	Varian	Clinac 2300	6	18	4	6	9	12	16	20	
		2004	Varian	Clinac 2300 CD S	6	15	4	6	9	12	16	20	
		2005	Varian	Clinac 600 CD	6								
10	AJ	1996	Varian	Clinac 600	6								
		1997	Varian	Clinac 2300 CD	6	20	6	9	12	15	18	22	
		1997	Varian	Clinac 600	6								
		1998	Varian	Clinac 2300 CD	6	20	6	9	12	15	18	22	
		2003	Varian	Clinac 23 EX	6	20	6	9	12	15	18	22	
		2004	Varian	Clinac 23 EX	6	20	6	9	12	15	18	22	
		2006	Varian	Clinac 23 EX	6	20	6	9	12	15	18	22	
11	AK	1997	Varian	Clinac 2100 CL	6	10	6	9	12	16	20		
		2004	Varian	Clinac 2100 CL	6	18	6	9	12	16	20		
		2005	Varian	Clinac 600	6								
		2006	Varian	Clinac 2100 CD S	4	10	6	9	12	16	20		
12	AL.	1999	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2001	Varian	Clinac 23 EX	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2003	Varian	Clinac2300 CD S	6	15	6	9	12	15	18	22	
13	AM	1999	Siemens	Primus	6	10	6	8	10	12	14	15	
		2006	Varian	Clinac 2300 CD S	6	10	6	9	12	15	18	22	
14	AN	2006	Siemens	Primus	6		5	7	8	10	12	14	
15	AO	1997	Siemens	Mevatron KD2	6	15	6	9	12	15	18	21	
		2003	Siemens	Oncor	6	15	6	9	12	15	18	21	
		2006	Siemens	Oncor Avantgar	6	15	6	9	11	12	14	15	
16	AP	2004	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	6	9	12	15	18	22	
17	AQ	2006	Siemens	Oncor	6	15	6	9	12	15	18	22	
18	AR	1995	Siemens	Mevatron KD2	6	15	6	9	12	15	18	21	
		1998	Siemens	Mevatron MX2	4								
		2004	Elekta	Synergy Platform	4	6	15	6	9	12	15	18	22
19	AS	1997	IPJ	Co-Line	4								
		1998	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2001	Varian	Clinac 2300 CD	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2004	Varian	Clinac 2300 CD S	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2005	Varian	Clinac 2300 CD S	6	15	6	9	12	15	18	22	
		2005	Varian	Clinac 600	6								
		2007	Varian	Clinac 600	4								
20	AT	1999	Siemens	Primus	6	15	6	9	12	15	18	21	
		2000	Siemens	Primus	6	15	6	9	12	15	18	21	
21	AU	1998	Siemens	Primus	6	10	6	8	10	12	14	15	
22	AV	2006	Elekta	Precise	6	15	6	9	12	15	18	22	
23	AW	2002	Siemens	Primus	6	15	6	9	12	15	18	21	
		2002	Siemens	Primus	6	15	6	9	12	15	18	21	
24	AX												
25	AY												
26	AZ	2002	Intraop	Mobetron			4	6	9	12			

Tab. IV. Aparatura do teleterapii stosowana w roku 2006 – aparaty kobaltowe

L.p.	Kod ośr.	Firma	Typ	Rok inst. ap.	Rok wym. źródła
1	AB	CGR-MeV	Alcyon	1983	1993
2	AC	Theratronics	Theratron 1000 E	2002	
3	AD	Theratronics	Theratron 780 E	1998	2004
4	AE	Theratronics	Theratron 1000 E	1998	2005
5	AF	Theratronics	Theratron 1000 E	1998	
6	AG	Theratronics	Theratron 1000 E	1998	
7	AL	Theratronics	Theratron 780 C	1991	1999
8	AN	Theratronics	Theratron 1000 E	1997	
9	AO	Theratronics	Theratron 780 E	1998	
10	AP	Theratronics	Theratron 780 E	1998	
11	AQ	Theratronics	Theratron 1000 E	1998	2004
12	AS	Theratronics	Theratron 780 E	1999	2003

Tab. V. Aparatura do teleterapii stosowana w roku 2006 – aparaty rentgenowskie

L.p.	Kod ośr.	Firma	Typ	Rok inst. ap.	Potencjał przysp. kV
1	AF	Wolf-Medizinische Technik GmbH	Tur-300	2001	do 150 kV
2	AK	Philips	RT-250	1984	do 240 kV
3	AP	Siemens	Stabilipan 2	1976	do 240 kV

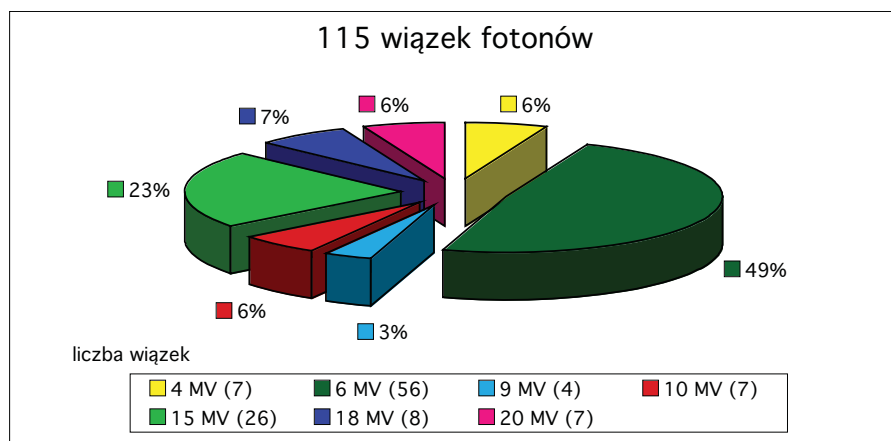


Ryc. 6. Producenci akceleratorów pracujących w ośrodkach stosujących radioterapię (dane dotyczą 2006 r.)

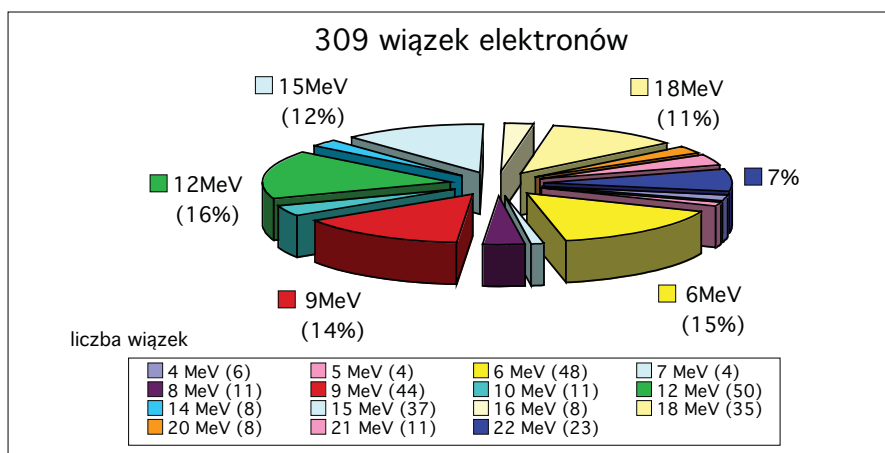
małych”, generujących tylko wiązki promieniowania X o energii 4 lub 6 MeV, mających w założeniu zastąpić aparaty kobaltowe. Jeśli się weźmie pod uwagę te akceleratory i akceleratory o dwóch wiązkach promieniowania X, z których jedna jest niskoenergetyczna, okazuje się, że sumaryczna liczba niskoenergetycznych wiązek przekracza 50%. W jednym ośrodku pracował specjalistyczny akcelerator do napromieniania śródoperacyjnego,

generujący tylko wiązki promieniowania elektronowego. Około 20% akceleratorów wkroczyło w 10 rok użytkowania, w związku z czym niektóre z nich będą wymagały wymiany.

W 12 ośrodkach pracowało 12 aparatów kobaltowych, w tym 11 firmy Theratronics. Jeden z aparatów, wykazany jako pracujący, został zdemontowany pod koniec 2006 r.



a) wiązki fotonów



b) wiązki elektronów

Ryc. 7. Energie wiązek emitowanych przez akceleratory (dane dotyczą 2006 r.)

W 2006 r. działały jeszcze 3 terapeutyczne aparaty rentgenowskie, które w myśl obowiązujących przepisów mogą być stosowane tylko do terapii paliatywnej lub nieonkologicznej [17].

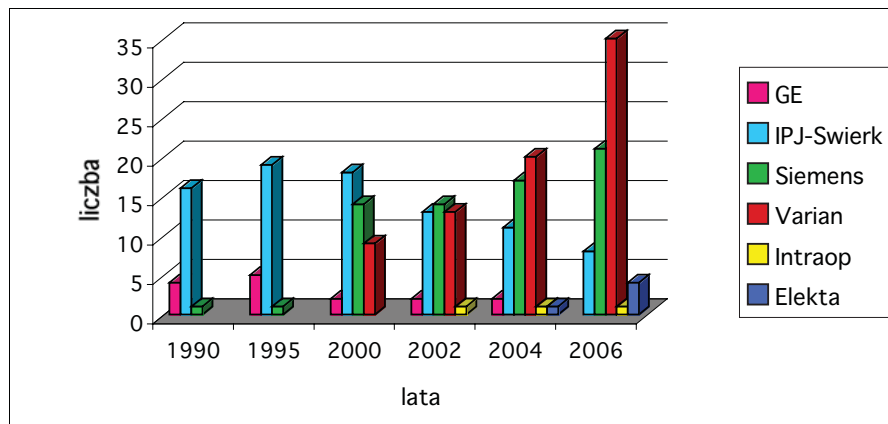
Jeśli chodzi o spełnienie wymagań Rozporządzenia Ministra Zdrowia [18], dotyczącego niezbędnego wyposażenia w aparaturę do teleterapii (dwa aparaty megawoltowe, w tym jeden generujący przynajmniej jedną wiązkę promieniowania X o energii 6 MeV i jedną wiązkę elektronów o energii minimalnej 12 MeV), jedynie zakład teleradioterapii (AV) nie spełniał tych wymagań (posiadał tylko jeden aparat do terapii megawoltowej, ale według uzyskanych informacji jest przygotowany do instalacji drugiego).

Na Rycinach 8a i b pokazano, jak zmieniło się wyposażenie polskich ośrodków w aparaturę megawoltową od roku 1990. W przypadku akceleratorów do roku 1995 przeważały jeszcze polskie akceleratory produkcji IPJ-Świerk. W roku 2002 można było zaobserwować równowagę między firmami IPJ-Świerk, Siemens i Varian, po czym zdecydowaną przewagę zaczęły zdobywać akceleratory f-my Varian. W przypadku aparatów kobaltowych do roku 1995 dominowały aparaty Gammatron f-my Siemens, która stosowała (jako jedyna) radzieckie źródła kobaltu-60. Jednak już wówczas pojawiły się aparaty

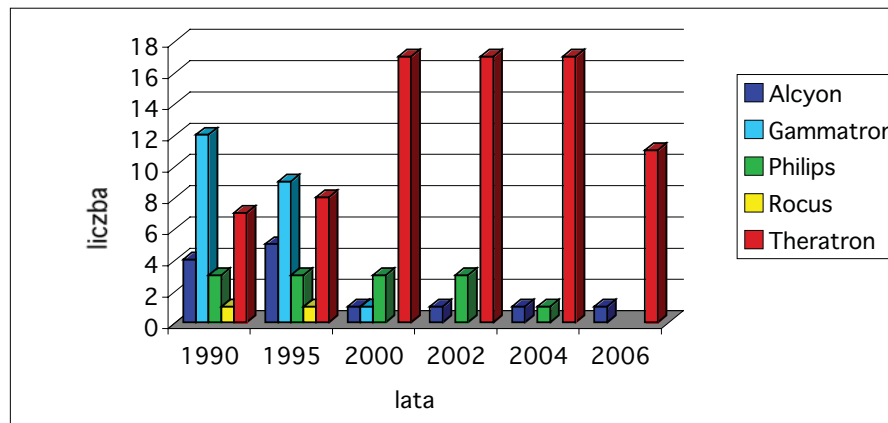
kanadyjskie f-my Theratronics, które oferowały wygodną formę wymiany źródeł i które ostatecznie zdominowały polskie ośrodki.

Na wykresie (Ryc. 9) pokazano rozwój wyposażenia polskich ośrodków w aparaturę megawoltową. Wyraźny wzrost jej liczebności około 2000 roku jest prawdopodobnie wynikiem „dużych” zakupów ze środków Ministerstwa Zdrowia w roku 1997. W roku 2006 liczba aparatów megawoltowych w przeliczeniu na 1 milion mieszkańców wynosi ok. 2. W krajach Europy Zachodniej wskaźnik ten wynosi od 3 (w Irlandii i Portugalii) do 9 (w Norwegii i Szwecji), przy średniej 5,7 [32]. A więc w Polsce potrzeby były pokryte w ok. 70% – nawet jeśli wziąć pod uwagę najniższy wskaźnik Europy Zachodniej. W każdym razie jest to postęp w stosunku do sytuacji z 1990 roku, kiedy Polska pod względem wyposażenia zajmowała przedostatnie miejsce w Europie. Zanikający trend wykazuje instalacja aparatów kobaltowych, wymienianych na akceleratory.

Należy zwrócić uwagę, że z powodu małej liczby aparatów są one nadmiernie eksploatowane, co prowadzi do ich szybszego zużycia – ma to miejsce zwłaszcza w przypadku akceleratorów. Można mieć nadzieję, że przyjęty przez Sejm w 2005 roku „Narodowy Program Zwalczania Chorób Nowotworowych”, jeśli będzie kon-

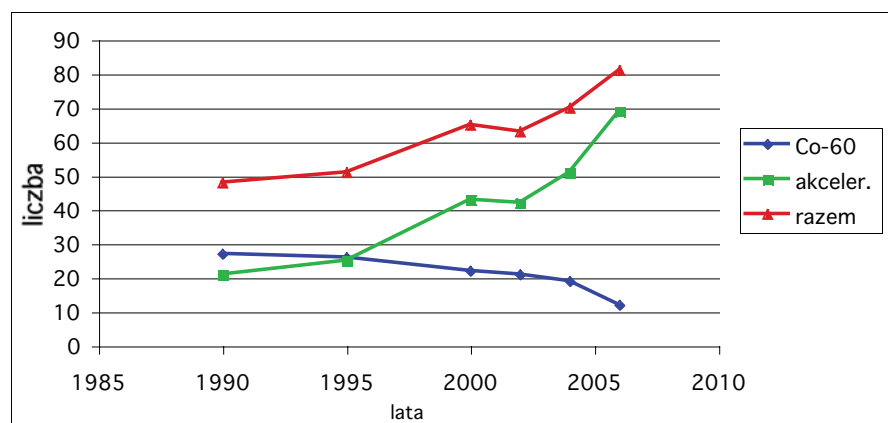


a) akceleratory



b) aparaty kobaltowe

Ryc. 8. Liczba aparatów megawoltowych (różnych producentów) w ośrodkach stosujących radioterapię w latach 1990-2006



Ryc. 9. Rozwój wyposażenia ośrodków stosujących radioterapię w aparaturę megawoltową w latach 1990-2006

sekwentnie realizowany, wydzwignie polską radioterapię do średniego poziomu europejskiego.

W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie zaawansowane są prace nad radioterapią protonową nowotworów gałki ocznej z wykorzystaniem protonów o energii 58 MeV z istniejącego akceleratora AIC-144. W Ministerstwie Szkolnictwa Wyższego i Nauki złożono wniosek o utworzenie w Krakowie ośrodka BROTON (dla radioterapii protonowej) z wykorzystaniem protonów

250 MeV z planowanego cyklotronu. Obecnie powstało konsorcjum ds. terapii hadronowej (protonami i ciężkimi jonami C-14) jako Narodowe Centrum Terapii Hadronowej – NCRH, w skład którego wchodzi: Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie, Instytut Problemów Jądrowych w Świerku, Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet Śląski, Politechnika Warszawska, Akademia Medyczna w Warszawie, Świętokrzyskie Centrum Onkologii w Kielcach, Centrum Onkologii – Instytut – Oddział w Krakowie,

Centrum Onkologii – Instytut w Warszawie. Projektuje się ścisłą współpracę polskiego konsorcjum z odpowiednikami europejskimi

Aparatura do brachyterapii

W Tabeli VI przedstawiono dane dotyczące aparatury do brachyterapii zainstalowanej w polskich ośrodkach (odpowiednio aparaty HDR, PDR, LDR/MDR). Na mapce (Ryc. 10) pokazano ich rozmieszczenie.

Wszystkie 22 ośrodki stosujące brachyterapię były wyposażone zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [17] przynajmniej w jeden aparat do zdalnego wprowadzania źródeł promieniotwórczych z zestawem standardowych preparatów. Łącznie w roku 2006 pra-

cowało 40 aparatów, w tym 18 HDR, 4 PDR i 18 LDR/MDR (Ryc. 11). Jak się wydaje, jest to liczba wystarczająca. Wszystkie aparaty były produkcji renomowanych firm zagranicznych. Zupełnie zostały wycofane z użycia aparaty UCR-1 polskiej produkcji (ZZUJ Polon). Blisko 50% aparatów wkroczyło w 10 rok użytkowania. Należy się spodziewać, że będą one wymieniane, i że w miejsce demontowanych aparatów LDR/MDR instalowane będą aparaty HDR lub PDR, tym bardziej, że obserwuje się tendencję zaniechania produkcji aparatów LDR/MDR.

W roku 2006 nie zanotowano ani aplikacji permanentnych, ani innych specjalistycznych aplikacji manualnych. Nie zanotowano również stosowania radu, chociaż 4 ośrodki wykazały jego posiadanie.

Tab. VI. Aparatura do brachyterapii stosowana w 2006 r.

l.p.	kod ośr.	aparatury						uwagi
		HDR		PDR		LDR		
		szt.	rok inst.	szt.	rok inst.	szt.	rok inst.	
1	AA	1	2006	1	1998	1	1998	430 mg Ra, nie leczyli radem
2	AB	1	1996					832 mg Ra, nie leczyli radem
3	AC	1	2004			1	1993	
						1	1998	
4	AD	1	2001	1	1999	1	1999	
5	AE	1	2006					
6	AF	1	2006			1	1992	777 mg Ra, nie leczyli radem
7	AG	1	1997			1	1993	
8	AH					1	1994	
9	AI			1	1999	1	1987	
10	AJ	1	2005					
		1	2006					
11	AK	1	1995					
12	AL	1	2004	1	2004	1	1994	
13	AN	1	1997					
14	AO	1	2002			1	1998	
15	AP					1	1996	
						1	2000	
16	AQ					1	1993	445 mg Ra, nie leczyli radem
17	AS	1	1995			2	1997	
		1	2004					
		1	2006					
18	AT	1	2000					
19	AV					1	1998	
20	AW					1	1997	
21	AX	1	1993					
22	AY					1	2005	



Ryc. 10. Rozmieszczenie aparatów stosowanych w brachyterapii (dane dotyczą 2006 r.)

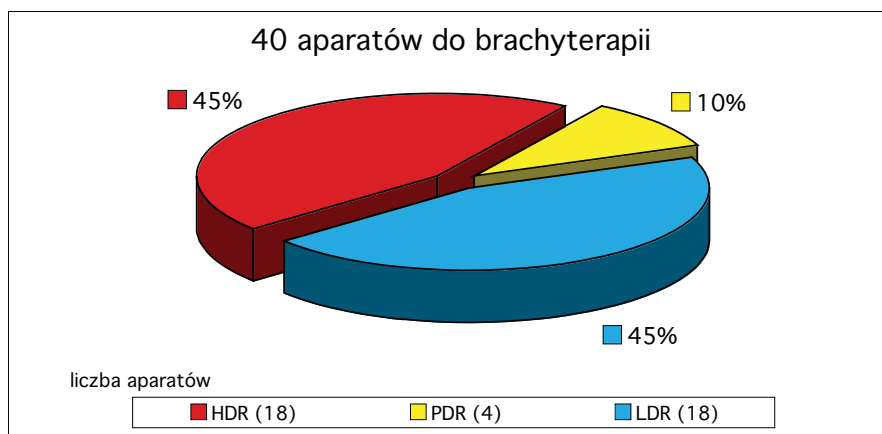
Wykorzystanie aparatury terapeutycznej

W Tabeli VII i na Ryc. 12 przedstawiono liczby leczonych pacjentów przypadające na 1 aparat do teleterapii i brachyterapii, w poszczególnych ośrodkach, w roku 2006. Zauważa się dużą rozpiętość, nawet przy pominięciu nietypowego leczenia w ośrodkach akademickich. Liczba osób poddawanych leczeniu na 1 aparacie w przypadku teleterapii zawierała się w granicach 275-1110 (odpowiednio ośrodki: AG i AD), a w przypadku brachyterapii 59-547 (odpowiednio ośrodki AG i AB). Charakterystyczny jest niski wskaźnik wykorzystania aparatury w ośrodku AG w obu przypadkach.

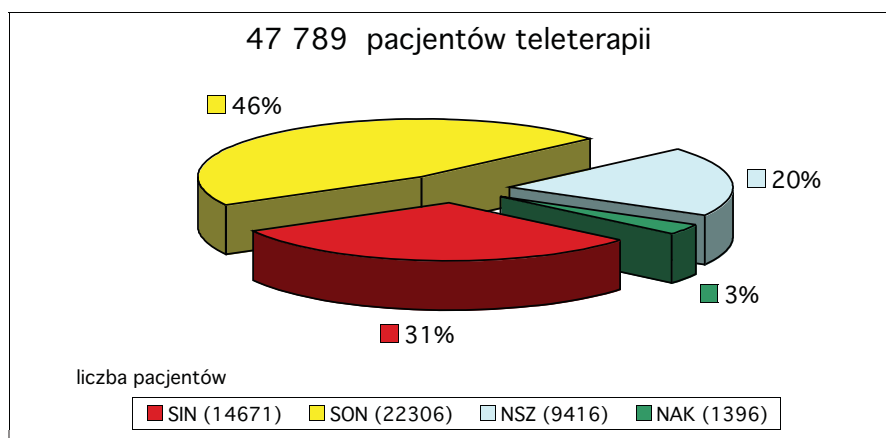
W Tabeli VIII i na Rycinach 13a i b, 14a i b oraz Ryc. 15 (reprezentujących odpowiednio wartości w kolumnach 4 i 5, 6 i 7, oraz 10 i 11 tej Tabeli) przedstawiono dane zbiorcze według statusu ośrodków stosujących radioterapię, które mogą stanowić pewien wskaźnik ich efektywności. Jak wynika z przedstawionych danych, najniższą liczbą pacjentów leczonych na jednym aparacie charakteryzowały się niesamodzielne ośrodki onkolo-

Tab. VII. Liczba pacjentów przypadająca na jeden aparat do radioterapii w poszczególnych ośrodkach w roku 2006

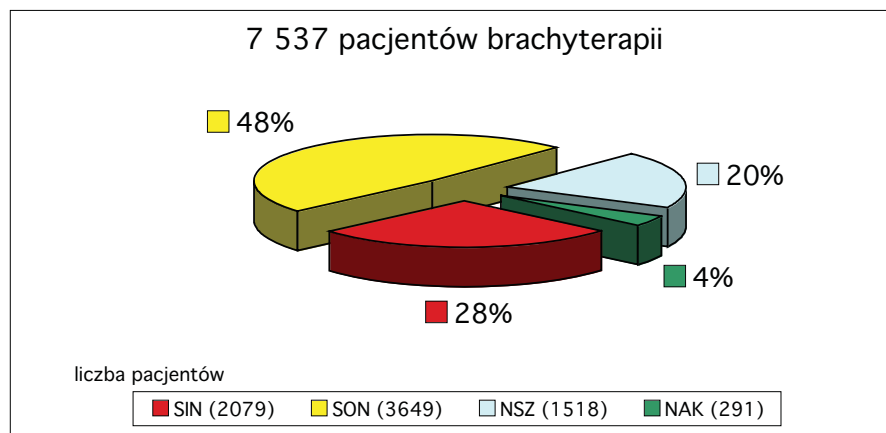
L.p.	Kod	Liczba pacjentów poddawanych radioterapii		Liczba aparatów		Liczba pacjentów na 1 aparat	
		tele-terapii	brachy-terapii	tele-terapii	brachy-terapii	tele-terapii	brachy-terapii
1	AA	1986	424	4	3	497	141
2	AB	2246	547	6	1	374	547
3	AC	3443	257	5	3	689	86
4	AD	5548	1131	5	3	1110	377
5	AE	1324	190	4	1	331	190
6	AF	1973	276	5	2	395	138
7	AG	826	117	3	2	275	59
8	AH	1028	100	3	1	343	100
9	AI	1330	181	3	2	443	91
10	AJ	5242	971	7	2	749	486
11	AK	2986	385	5	1	597	385
12	AL	3372	928	4	3	843	309
13	AM	1119		2		560	
14	AN	1019	181	2	1	510	181
15	AO	1715	365	4	2	429	183
16	AP	1048	198	3	2	349	99
17	AQ	561	111	2	1	281	111
18	AR	1757		3		586	
19	AS	5686	684	7	5	812	137
20	AT	1563	147	2	1	782	147
21	AU	44		1		44	
22	AV	448	82	1	1	448	82
23	AW	1503	152	2	1	752	152
24	AX		86		1		86
25	AY		24		1		24
26	AZ	22		1		22	
razem		47789	7537	84	40		
średnio						569	188



Ryc. 11. Aparaty stosowane w brachyterapii (dane dotyczą 2006 r.)



a) pacjenci teleterapii



b) pacjenci brachyterapii

- SIN - samodzielne instytuty onkologiczne
 SON - samodzielne ośrodki onkologiczne
 NSZ - niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone” ze szpitalami
 NAK - kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych

Ryc. 13. Procentowy rozkład pacjentów poddanych radioterapii w ośrodkach o różnym statusie (dane dotyczą 2006 r.)

giczne, „stowarzyszone” ze szpitalami ogólnymi (NSZ). Ich niższa efektywność jest tym bardziej widoczna, jeśli dodatkowo wziąć pod uwagę, że ośrodki te (w liczbie 8) mają tę samą liczbę aparatów, co 4 ośrodki SIN (tj. 3 instytuty onkologii) oraz, że Instytuty stosują nowe, trudne i czasochłonne techniki. Zbiorcze wskaźniki efektywności samodzielnych ośrodków onkologicznych (SON) plasują się między ośrodkami SIN i NSZ i wykazują dużą spójność w procentowych wartościach liczby pacjentów, aparatury, a nawet personelu. Zagadnienie wpływu liczby personelu na efektywność radioterapii nie jest dyskutowana w tej pracy, gdyż autorom nie udało się zebrać miarodajnych i reprezentatywnych danych, dotyczących różnorodności form zatrudnienia i pełnionych obowiązków. Autorzy nie dyskutują również wskaźników dotyczących ośrodków akademickich, ze względu na ich, jak już wcześniej wspomniano, inne priorytety działalności.

Planowanie leczenia

Dane dotyczące aparatury do planowania leczenia w tele- i brachyterapii przedstawiono w tabeli IX. Komputero-

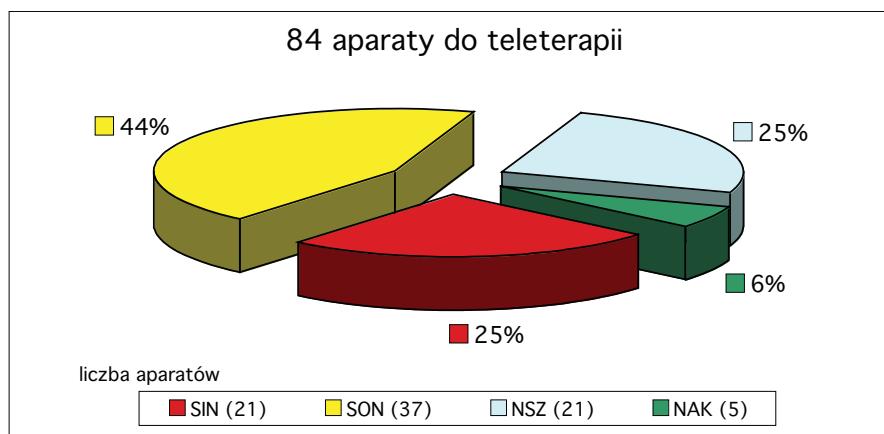
wymi systemami do planowania leczenia i to w większości trójwymiarowymi, współpracującymi z tomografami komputerowymi, dysponowały w roku 2006 już wszystkie ośrodki. Blisko połowa (10 ośrodków) posiadała urządzenia do obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (MR), a dwa ośrodki posiadały urządzenie do obrazowania metodą tomografii pozytonowo-elektronowej w fuzji z tomografią komputerową (PET/CT).

Ośrodek AZ nie posiadał systemu do planowania leczenia, gdyż nie jest on potrzebny przy napromienianiu śródoperacyjnym.

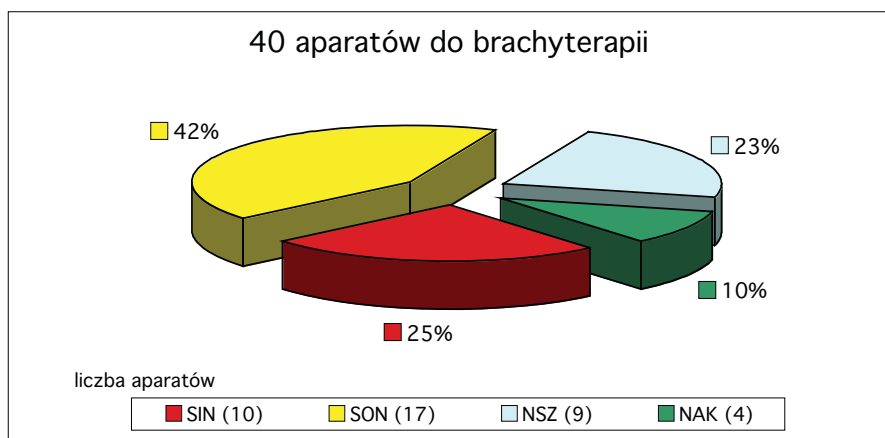
Dozymetria

W Tabeli X przedstawiono stan posiadania przez ośrodki użytkowych dawkomierzy promieniowania jonizującego, posiadających ważne świadectwo wzorcowania w roku 2006.

Jak wynika z tych danych, wszystkie ośrodki stosujące radioterapię były wyposażone w przewidziane dla ich działalności dawkomierze (elektrometry z komorami cylindrycznymi i w miarę potrzeby, płaskimi). Większość



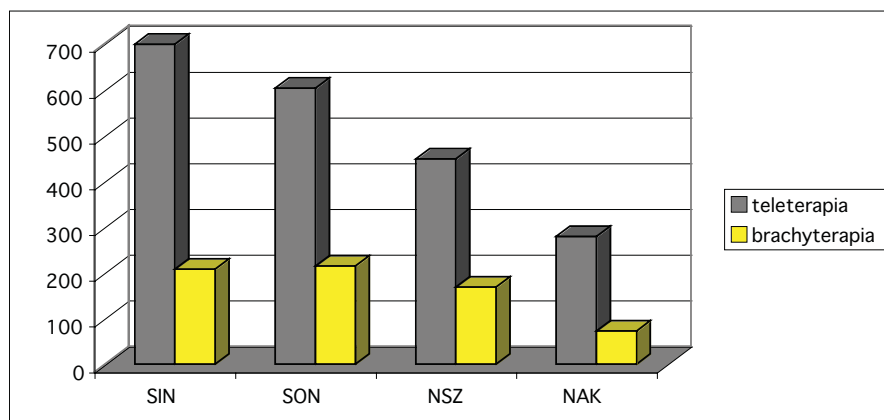
a) aparaty do teleterapii



b) aparaty do brachyterapii

SIN - samodzielne instytuty onkologiczne
 SON - samodzielne ośrodki onkologiczne
 NSZ - niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone” ze szpitalami
 NAK - kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych

Ryc. 14. Liczba aparatów terapeutycznych w ośrodkach o różnym statusie (dane dotyczą 2006 r.)

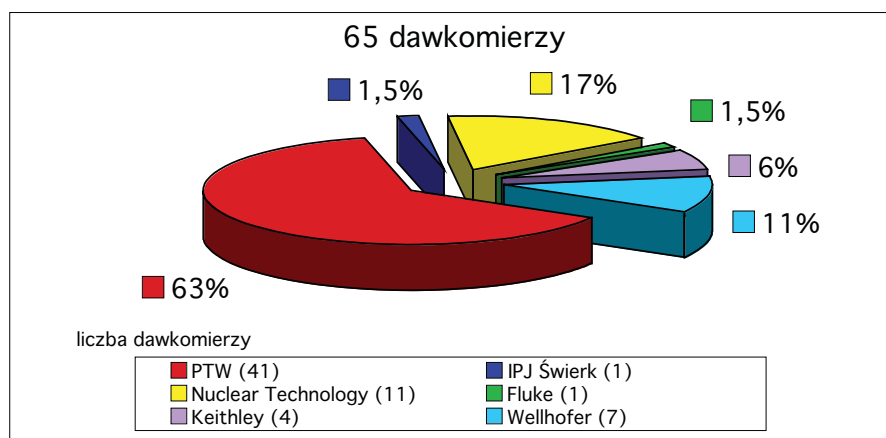


SIN - samodzielne instytuty onkologiczne
 SON - samodzielne ośrodki onkologiczne
 NSZ - niesamodzielne ośrodki onkologiczne „stowarzyszone” ze szpitalami
 NAK - kliniki akademii lub uniwersytetów medycznych

Ryc. 15. Liczba pacjentów poddanych tele- i brachyterapii, przeliczona na jeden aparat w ośrodkach o różnym statusie (dane dotyczą roku 2006)

Tab. IX. Komputerowe systemy do planowania leczenia stosowane w roku 2006

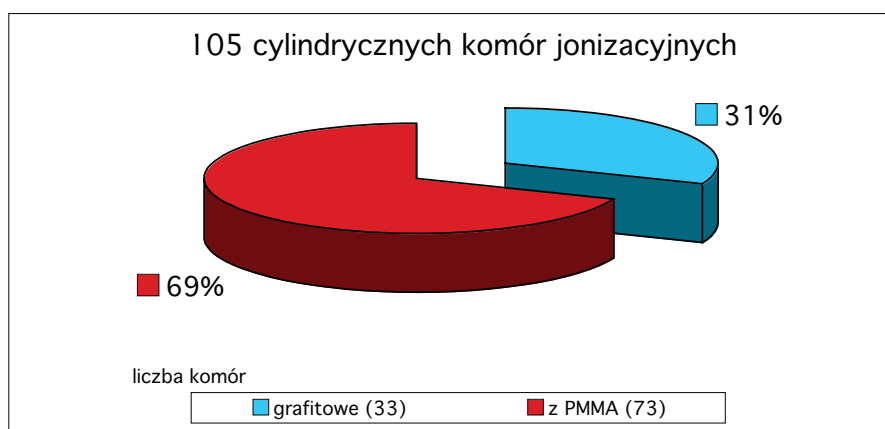
Lp.	Kod ośr.	Nazwa	Producent	Rok inst. ap.	Urządzenia lokalizacyjne	Lp.	Kod ośr.	Nazwa	Producent	Rok inst. ap.	Urządzenia lokalizacyjne	
1	AA	Plato	Nucletron	1997	Rtg, CT, USG, MR,	12	AL	Alfard	T. Jedynak	1989	Rtg, CT, USG, MR, PET/CT	
		Plato	Nucletron	1998				Brachytherapy Planning Syst.	Nucletron	1993		
		CadPlan	Varian	1998				CadPlan	Varian	1998		
		BrainScan	BrainLab	1998				Plato	Nucletron	1999		
		Theraplan	Theratronics	1998				BrainScan	BrainLab	1999		
		Eclipse	Varian	2005				Swift 2.11.6	Nucletron	2006		
2	AB	Swift 2.11.8.	Nucletron	2006	Rtg, CT, USG, MR,	13	AM	Alfard	T. Jedynak	1999	Rtg, CT	
		Abacus	Gammamed	1995				CadPlan	Varian	2002		
		Plato	Nucletron	1998				Eclipse	Varian	2005		
		CadPlan	Varian	1998				Alfard	T. Jedynak	1998		Rtg, CT
		Eclipse	Varian	2002				Abacus	Gammamed	2000		
BrainScan	BrainLab	2005	Theraplan Plus v.3.5	Theratronics	2001							
3	AC	BRA	M. Boehlke	1994	Rtg, CT, USG, MR,	14	AN	Alfard	T. Jedynak	1998	Rtg, CT	
		Helax	Siemens	1998				XiO	CMS	2006		
		Brachyvision	Varian	2005				Helax	MDS-Nordion	1996		Rtg, CT, USG, MR,
4	AD	Alfard	T. Jedynak	1989	Rtg, CT, USG, MR,	15	AO	Theraplan	MDS-Nordion	1998	Rtg, CT, USG, MR,	
		Plato	Nucletron	1999				Abacus	Gammamed	1999		
		Cadplan	Varian	1999				Brachyvision	Varian	2002		
		Plato	Nucletron	2000				KonRad	Siemens	2003		
		Eclipse	Varian	2003				XiO	CMS	2006		
		Swift	Nucletron	2006				Selkom	CO-I Kraków	1996		Rtg, CT,
5	AE	Mevaplan	Siemens	1989	Rtg, CT, USG, MR,	16	AP	Alfard	T. Jedynak	1998	Rtg, CT,	
		Alfard	T. Jedynak	1998				Theraplan	MDS-Nordion	1998		
		Abacus	Gammamed	2000				Eclipse	Varian	2004		
		OTP	MDS Nordion	2003				Selkom	CO-I Kraków	1994		Rtg, CT,
		Theraplan	Theratronics	2004				Alfard	T. Jedynak	1998		
		Plato	Nucletron	2004				Theraplan Plus	Theratronics	1998		
Swift 2.11.8.	Nucletron	2006	Alfard	T. Jedynak	1994	Rtg, CT,						
6	AF	Helax	Nordion-Helax	1998	Rtg, CT,		17	AQ	Theraplan	Theratronics	1999	Rtg, CT,
		Theraplan	Theratronics	1998		Precise Plan			Elekta	2005		
		BrainScan	BrainLab	1998		Oncentra			Nucletron	2006		
		XIO	CMS	2006		Masterplan						
		ConRad	Siemens	2006		XiO			CMS	2006		
		Brachyvision.	Varian	2006		Abacus			Gammamed	1995	Rtg, CT, USG, MR,	
7	AG	Alfard	T. Jedynak	1998	Rtg, CT,	18	AR	REF	R. Dąbrowski	1995		Rtg, CT, USG, MR,
		Abacus	Gammamed	1998				Plato	Nucletron	1997		
		Theraplan	Theratronics	1998				Helax	Siemens	1997		
		BRA	M. Boehlke	1999				CadPlan	Varian	1998		
		Precise Plan	Elekta	2004				BrainScan	BrainLab	2000		
8	AH	CadPlan	Varian	1998	Rtg, CT	19	AS	Eclipse	Varian	2005	Rtg, CT, USG, MR,	
		Helios	Varian	2006				Helax	Nordion	1999		
		Eclipse	Varian	2006				Abacus	Gammamed	2000		
9	AI	Helax	Siemens	1996	Rtg, CT, MR,	20	AT	XIO	CMS	2005	Rtg, CT,	
		Plato	Nucletron	1998				Alfard	T. Jedynak	1998		
		CadPlan	Varian	1998				Helax	Nordion	1999		
10	AJ	Eclipse	Varian	2005	Rtg, CT, USG, MR, PET/CT	21	AU	Oncentra	Nucletron	2006	Rtg, CT, MR,	
		Plato	Nucletron	1998				Masterplan				
		BrainScan	BrainLab	2001				Alfard	T. Jedynak	1998		
11	AK	Eclipse	Varian	2003	Rtg, CT,	22	AV	BRA	M. Boehlke	1999	Rtg, CT,	
		Swift 2.11.	Nucletron	2003				Plato	Nucletron	1999		
		Alfard	T. Jedynak	1988				Precise Plan	Elekta	2006		
		Abacus	Gammamed	1995				BRA	M. Boehlke	1999		
		CadPlan	Varian	1997				Helax	Nordion	2002		
Eclipse	Varian	2005	Plato	Nucletron	2000	Rtg, CT						
23	AW	BRA	M. Boehlke	1999	Rtg, CT	24	AX	Plato	Nucletron	2000	Rtg, CT	
		Helax	Nordion	2002				AY	BRA	M. Boehlke		1999
25	AY	BRA	M. Boehlke	1999	Rtg, CT	26	AZ	BRA	M. Boehlke	1999	Rtg, CT	
		Eclipse	Varian	2005								



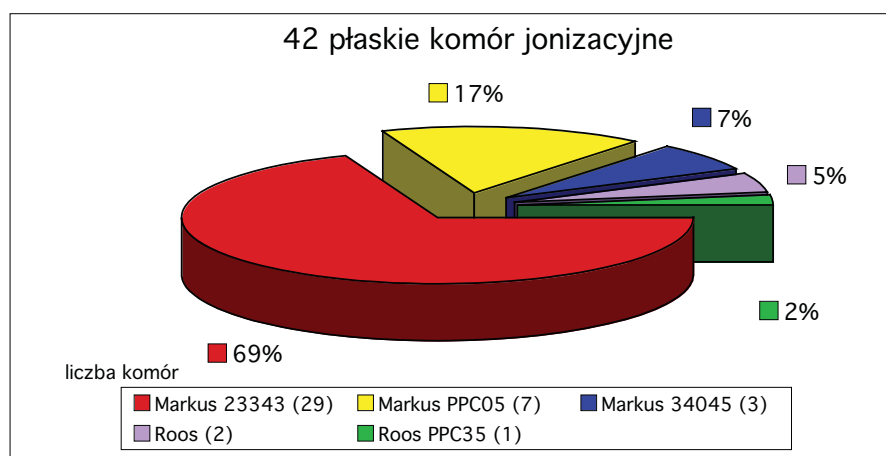
Ryc. 16. Producenci dawkomierzy używanych w ośrodkach stosujących radioterapię (z ważnym świadectwem wzorcowania w roku 2006)

dawkomierzy to dawkomierze typu Unidos, produkowane przez firmę Physikalische Technische Waerkstaetten (PTW) we Freiburgu (Ryc. 16). Spośród komór cylindrycznych stosowane były komory plastikowe i grafitowe; przeważały komory plastikowe (Ryc. 17 a). Komory płaskie to głównie komory typu Markus (Ryc. 17 b), co wynika z wcześniejszych zakupów urządzeń (analizato-

rów pola), które były wyposażone w te komory. Badania własne [33] nie potwierdziły negatywnej o nich opinii, zwłaszcza stwierdzono ich bardzo dobrą stabilność długoczasową. Ostatnio w ośrodkach pojawiły się komory płaskie typu Roos, oceniane wyżej ze względu na budowę zapewniającą zaniedbywalny efekt zaburzenia badanego pola promieniowania



a) komory cylindryczne



b) komory płaskie

Ryc. 17. Komory jonizacyjne używane w ośrodkach stosujących radioterapię (z ważnym świadectwem wzorcowania w roku 2006)

**Tab. X. Dawkomierze terapeutyczne stosowane w roku 2006
(posiadające ważne świadectwo wzorcowania)**

lp.	Kod ośr.	producent	Elektrometr		Komora cylindryczna		Komora płaska	
			typ	szt.	typ	szt.	typ	szt.
1	AA	Wellhofer	Dose 1	3	FC65-G	3	Markus PPC05	3
2	AB	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1B	2	2571	2	Markus 23343	2
		PTW	Unidos 10001	1	30001	2		
					FC65-G	1		
3	AC	PTW	Unidos 10001	1	30001	1	Markus 23343	1
					30013	2	Markus 34045	1
4	AD	PTW	Unidos 10001	1	30001	1	Markus 23343	2
		PTW	Multidos 10004	1	30006	1		
5	AE	PTW	Unidos 10001	3	30001	2	Markus 23343	3
					30013	4		
6	AF	PTW	Unidos 10001	2	30001	2	Markus 23343	1
					30013	2		
7	AG	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1B	1	2581	2	Markus 23343	1
		PTW	Unidos 10001	2	30006	1	Markus 34045	1
					30013	1		
8	AH	PTW	Unidos 10001	2	30001	2	Markus 23343	1
		Wellhofer	Dose 1	2	30002	2	Markus PPC05	2
					30013	2		
					FC65-G	2		
9	AI	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1B	1	2571	1	Markus 23343	2
		PTW	Unidos 10001	1	30010	1		
		PTW	Unidos 10002	1	30013	1		
10	AJ	PTW	Unidos 10001	2	30001	2	Markus 23343	1
		PTW	Unidos 10002	1	30013	3		
11	AK	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1B	1	2571	2		
		PTW	Unidos E 10008	2	30006	1		
					30013	3		
12	AL.	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1B	1	2571	1		
					30013	3		
13	AM	PTW	Unidos 10002	1	30013	1	Markus PPC05	1
		Wellhofer	Dose 1	1	FC65-G	1	Roos PPC35	1
					IC-70	1		
14	AN	PTW	Unidos 10001	1	2571	1	Markus 23343	1
		IPJ	DM-82A	1	30001	2		
15	AO	PTW	Unidos 10001	4	30001	5	Markus 23343	3
					30013	3		
16	AP	PTW	Unidos 10001	2	30001	3		
17	AQ	Nuclear Technol.	Farmer	1	2581	2	Markus 23343	1
		PTW	Unidos 10001	1	30001	2		
					30013	1		
18	AR	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1A	1	2571	3	Markus 23343	2
		PTW	Unidos 10001	1	30001	1	Roos	1
		PTW	Unidos 10002	1	30013	1		

l.p.	Kod ośr.	Elektrometr			Komora cylindryczna		Komora płaska	
		producent	typ	szt.	typ	szt.	typ	szt.
19	AS	Nuclear Technol.	Farmer 2570/1A	1	2571	6	Markus 23343	3
		Nuclear Technol.	Farmer 2570/B	2	30010	1	Roos	1
		PTW	Unidos 10001	2	30013	3		
		PTW	Unidos E 10009	2				
		Keithley	Keithley 35040	2				
		Keithley	Keithley 6517 A	1	2571	2		
20	AT	Fluke	Inovision 35040	1	30013	1	Markus 23343	2
21	AU	PTW	Unidos 10001	1	30001	2	Markus 23343	2
		Keithley	Keithley 35040	1	30002	1		
22	AV	PTW	Unidos 10002	1	30001	1		
23	AW	PTW	Unidos 10001	2	30002	3	Markus 34045	1
					30013	2	Markus 23343	1
24	AX	PTW	Unidos 10002	1	30001	1		
25	AY	PTW	Unidos 10001	1	30001	2		
26	AZ	Wellhofer	Dose 1	1	FC65-G	1	Markus PPC05	1
razem				65		106		42

Kontrole aparatury

Kontrole fizycznych parametrów aparatury odbywały się w ośrodkach zgodnie z krajowymi zaleceniami, w większości wprowadzonymi do Rozporządzenia Ministra Zdrowia [17]. W roku 2006 żaden z istniejących w ośrodku onkologicznym zakład (pracownia) fizyki medycznej nie posiadał akredytacji na zgodność z normą PN-EN-ISO-17025.

Autorzy uważają, że obowiązkowe stosowanie normy 17025, na którą akredytację wydaje jedynie Polskie Centrum Akredytacji – monopolista w tym zakresie, podważa wszelkie zasady konkurencyjności; zakład podejmujący próby akredytacji, wobec obligatoryjności, z klienta staje się petentem. Akredytacja jest sformalizowana, czasochłonna i kosztowna (obowiązek zewnętrznych, płatnych audytów przeprowadzonych przez Polskie Centrum Akredytacji, a przy tym brak przeszkolonych audytorów w tym zakresie, konieczne zwiększenie liczby personelu w małych zakładach), wbrew stwierdzeniu zawartemu w Rozporządzeniu, że jej wprowadzenie nie pociąga za sobą kosztów. Na świecie za prawidłowość kontroli odpowiada fizyk medyczny – specjalista, tak jak to zostało sformułowane w przytoczonym wyżej ust. 3. i 8. §35 Rozporządzenia Ministra Zdrowia [17]; jest to w zupełności wystarczające i nie rozmywa odpowiedzialności. Należy podkreślić, że radioterapia podlega ciągłym zmianom, związanym z postępem wiedzy i rozwojem stosowanych metod i aparatury. Stąd należy brać pod uwagę, że zalecenia dotyczące kontroli parametrów aparatury powinny podlegać nowelizacji, wynikającej z wprowadzania

nowych technik. Istnieje niebezpieczeństwo, że w sytuacji obligatoryjności, ośrodki onkologiczne, celem ograniczenia kosztów i czasu przeznaczonego na zewnętrzne audyty, zawężą akredytację tylko do pomiarów kontrolnych wymienionych w rozporządzeniu (które już wymagają nowelizacji), nie będą jej rozszerzać, oraz że w przypadku nie uzyskania akredytacji, na przykład z powodu małej liczby zatrudnionych fizyków, pomiary kontrolne będą przeprowadzać inne, niż macierzyste, zakłady fizyki, co jest pełnym nonsensem.

Obowiązujący termin wprowadzenia tego przepisu upływa z dniem 31.12.2010, w związku z czym autorzy nie mogą ocenić jego realizacji, sygnalizują jedynie problem.

Audyty dozymetryczne

W Tabeli XI przedstawiono dane dotyczące audytów przeprowadzanych w latach 1991-2006, metodą opisaną w podrozdziale: Kontrole aparatury. Wszystkie audyty były dobrowolne. Brak wyników za lata 1996-1998 wiąże się z likwidacją LWWD w „starym” Instytucie przy ul. Wawelskiej i koniecznością jego organizacji w Centrum Onkologii na Ursynowie.

Do roku 2004 włącznie, prowadzono pomiary dawki w punkcie referencyjnym; w poszczególnych latach w różnych wiązkach (promieniowanie gamma Co-60, X lub elektrony z akceleratorów). Niektóre ośrodki deklarowały chęć kontroli wyników prowadzonych przez nie pomiarów w więcej niż jedna wiązka, stąd w niektórych

Tab. XI. Audyty dozymetryczne

Lp.	Rok	Warunki	Liczba badanych wiązek			Liczba ośrodków		% ośrodków poddanych audytowi	Liczba ośrod. z wynikami poza 3.50%	Uwagi
			Co-60	X	elektrony	poddanych audytowi	mających daną wiązkę			
referencyjne										
1	1991		11			11	18	61	2	
2	1992			11		11	18	61	3	
3	1993				12	12	18	67	3	
4	1994		32			13	18	72	1	EROPAQ
5	1995			24		16	18	89	5	EROPAQ
6	1999		12			12	18	67	2	
7	2000			17		17	19	89	3	
8	2001				32	17	19	89	0	
9	2002		16			16	18	89	1	
10	2003			36		18	20	90	1	
11	2004				38	19	21	90	2	
niereferencyjne										
12	2004	w osi	9	21					1	pilotowe
13	2005	w osi	8	33		19	21	90	1	
14	2005	w osi i poza osią symetr.		3						pilotowe
15	2006	w osi			40	20	23	87	1	
16	2006	w osi i poza osią niesymetr.		6						pilotowe
17	2006	poza osią symetrycznie		3						pilotowe
18	2006	w osi MLC		4						pilotowe
19	2007	w osi i poza osią symetr.		23		23	24	96		

przypadkach liczba pomiarów jest większa od liczby audytowanych ośrodków.

Od roku 2004 prowadzono audyty, służące kontroli poprawności opracowanej metody pomiarów dawki poza punktem referencyjnym. W związku z tym większość audytów przeprowadzono jako pilotowe, w wybranych ośrodkach, co do których była pewność, że reprezentują wysoki poziom dozymetryczny.

W ostatnich kolumnach obu tabel podano liczbę wyników pomiarów, przekraczających bardzo ostre kryterium $\pm 3,5\%$.

Bazując na tym wieloletnim doświadczeniu, z chwilą wprowadzenia w życie audytów klinicznych, LWWD Zakładu Fizyki Medycznej w Centrum Onkologii w Warszawie może podjąć się realizacji audytów dozymetrycznych. Jest do tego przygotowany merytorycznie i aparaturowo, i spełnia wymagania ustawy.

Podsumowanie

- Można powiedzieć, że założenia twórców i „wizjonerów” rozwoju onkologii w Polsce zostały spełnione. W 2006 roku istniało 26 ośrodków, w których radioterapia pełni istotną rolę, dość równomiernie rozłożonych na terenie kraju. Wśród tych ośrodków 4 (tj. 15%) zakłady radioterapii znajdowały się w samodzielnych centrach onkologicznych, stanowiących placówki naukowe Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie (SIN); 9 (tj. 35%) w samodzielnych centrach onkologicznych o randze szpitala (SON); 8 (tj. 31%) w centrach onkologicznych „stowarzyszonych ze szpitalami” (NSZ); 5 (tj. 19%) w szpitalach akademii lub uniwersytetów medycznych.
- Jak wynika z zebranych danych w ośrodkach stosujących radioterapię w 2006 roku pracowało 328 lekarzy

- specjalistów II stopnia z radioterapii onkologicznej oraz 219 fizyków. Z przedstawionych danych wynika, że w większości ośrodków będzie spełnione kryterium dostatecznej liczby zatrudnionych lekarzy ze specjalizacją z radioterapii onkologicznej. Natomiast źle przedstawia się sytuacja w przypadku fizyków medycznych. Nawet jeśli zsumować liczbę osób, którym powierzono obowiązki specjalisty z liczbą osób odbywających specjalizację (i przyjąć, że wszystkie te osoby zaliczą końcowy egzamin), to jedynie niespełna połowa ośrodków być może będzie miała na koniec 2008 roku zgodną z przepisami liczbę fizyków medycznych – specjalistów, i to w przypadku, jeśli znacząco nie wzrośnie liczba pacjentów. Autorzy uważają, że bez znaczącej intensyfikacji procesu specjalizacji, co wiąże się z klarownym wyjaśnieniem ewentualnego sposobu finansowania szkolenia, również na koniec 2010 roku, kiedy mija okres przejściowy, obowiązujące przepisy, dotyczące liczby fizyków przypadających na daną liczbę pacjentów, nie zostaną spełnione.
- W roku 2006 pracowało 69 akceleratorów liniowych i 12 aparatów kobaltowych, czyli według najłagodniejszych szacunków i porównań z najskromniej wyposażonymi krajami Europy Zachodniej potrzeby były pokryte w niespełna 70%. Należy zwrócić uwagę, że z powodu małej liczby aparatów są one nadmiernie eksploatowane, co prowadzi do ich szybszego zużycia – zwłaszcza ma to miejsce w przypadku akceleratorów. Można mieć nadzieję, że przyjęty przez Sejm w 2005 roku „Narodowy Program Zwalczenia Chorób Nowotworowych”, jeśli będzie konsekwentnie realizowany, wydzwignie polską radioterapię do średniego poziomu europejskiego.
 - Wszystkie ośrodki stosujące brachyterapię były wyposażone zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia przynajmniej w jeden aparat do zdalnego wprowadzania źródeł promieniotwórczych z zestawem standardowych aplikatorów. Łącznie w roku 2006 pracowało 40 aparatów, w tym 18 HDR, 4 PDR i 18 LDR/MDR, produkcji renomowanych firm zagranicznych; blisko 50% wkroczyło w 10 rok użytkowania. Należy się spodziewać, że będą one wymieniane, i że w miejsce demontowanych aparatów LDR/MDR instalowane będą aparaty HDR lub PDR.
 - Wyposażenie w urządzenia wspomagające radioterapię, w szczególności komputerowe systemy do planowania leczenia, było prawidłowe. Prawidłowe jest również wyposażenie w dawkomierze i przestrzeganie terminów wzorcowania.
 - Według danych zebranych przez autorów, w Polsce w 2006 roku, teleterapii poddawanych było 48 tys. chorych, brachyterapii ok. 7,5 tys. chorych. W trzech Instytutach Onkologii (tzn. czterech ośrodkach SIN) leczono ok. 30% pacjentów; w dziewięciu samodzielnych ośrodkach onkologicznych (SON) – blisko 50% pacjentów; w ośmiu ośrodkach „stowarzyszonych” ze szpitalami (NSZ) – ok. 20% pacjentów, w pięciu klinikach akademii lub uniwersytetów medycznych (NAK) – ok. 3% pacjentów.
 - Stwierdzono dużą rozpiętość w liczbie chorych poddawanych leczeniu na jednym aparacie. Nawet przy pominięciu nietypowego leczenia w ośrodkach akademickich, liczba ta w przypadku teleterapii zawierała się w granicach 275-1110, a w przypadku brachyterapii 59-547. Najniższą średnią liczbą pacjentów leczonych na jednym aparacie charakteryzowały się zakłady radioterapii w niesamodzielnych ośrodkach onkologicznych, „stowarzyszone” ze szpitalami ogólnymi, najwyższą zakłady w instytutach onkologii.
 - Autorzy negatywnie oceniają obowiązek akredytacji zakładów fizyki medycznej na zgodność z normą PN-EN-ISO/IEC 17025:2005. Termin wprowadzenia tego przepisu upływa z dniem 31.12.2010, w związku z czym autorzy nie mogą ocenić jego realizacji, sygnalizują jedynie problem.
 - Z chwilą wprowadzenia w życie audytów klinicznych, LWWD Zakładu Fizyki Medycznej w Centrum Onkologii w Warszawie może podjąć się realizacji audytów dozymetrycznych. LWWD posiada w tym zakresie wieloletnie doświadczenie, spełnia wymagania ustawy, jest do tego przygotowane merytorycznie i aparaturowo.

Podziękowania

Ekspertyza uzyskała wsparcie finansowe Polskiej Akademii Nauk.

Działalność LWWD, której elementy są zawarte w tym opracowaniu, jest dofinansowywana przez Państwową Agencję Atomistyki.

Dr Wojciech Bulski

Zakład Fizyki Medycznej
Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie
ul. W. K. Roentgena 5, 02-781 Warszawa

Piśmiennictwo

1. Koszarowski T. *Urywki wspomnień*. Towpik E (red.). Warszawa: Redakcja Naukowa Centrum Onkologii – Instytutu im. Marii Skłodowskiej-Curie; 2006.
2. *Materiały do historii walki z rakiem w Polsce*. Praca zbiorowa pod red. C. Ramlau'a. Poznań: Wydawnictwa Akademii Medycznej im. Karola Marcinkowskiego; 1998.
3. Gwiazdowski B. Fizyka medyczna w onkologii. *Pol Tyg Lek* 1969; 24 (50): 1939-1941.
4. Gwiazdowski B. Pomiary rozkładu dawki głębokiej aparatu do teleterapii GUT-Co-400-1. *Postępy Techniki Jądrowej* 1959; (8): 734-7.
5. Szymczyk W, Polak B, Polok B i wsp. Betatron 200 A w Instytucie Onkologii w Krakowie. *Nowotwory* 1985; 35: 169-79.
6. Scharf W. Akceleratory radioterapeutyczne. W: Pawlicki G, Pałko T, Golnik N, Gwiazdowska B, Królicki L (red.). *Fizyka medyczna*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit; 2002, 133-48.
7. Bulski W. Brachyterapia. W: Pawlicki G, Pałko T, Golnik N, Gwiazdowska B, Królicki L (red.). *Fizyka medyczna*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit; 2002, 184-207.
8. Krześniak J, Prochowski G. Rozkłady mocy dawek obliczone na elektronicznej maszynie cyfrowej UMC-10 dla źródeł radowych stosowanych w ginekologii. *Post Fiz Med* 1967; (2): 65-73.
9. Gwiazdowski B, Zaorski Z, Majenka I, Dworakowski M. Sumowanie rozkładów izodoz w planowaniu leczenia w teleterapii z zastosowaniem maszyny matematycznej UMC-10. *Probl Tech Med* 1970; 1, (1-2): 45-52.

10. Ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. Prawo o miarach. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Nr 55, poz. 248, z dnia 28.06.1993 r.
11. Zifferero M. Deputy Director, General Head of Department of Research and Isotopes IAEA. Pismo do T. Podgórnego – Wiceprezesa Polskiego Komitetu Normalizacji Miar i Jakości z dnia 30.06.1988. Materiały archiwalne Zakładu Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Warszawie.
12. Andreo P, Meghizifene A. SSDL Network Charter, IAEA/WHO Network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories, Vienna 1999.
13. The Joint IAEA/WHO Secretariat of the SSDL Network. Editorial Note. SSDL Newsletter, 2000, No 42: 1.
14. Council Directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. Official Journal of European Communities, No L 180/22 9.67.1977.
15. Ustawa z 29.11.2000. „Prawo Atomowe”. Dziennik Ustaw z 2004 r. Nr 161, poz. 1689 i Nr 173, poz. 1808, z 2005 r. Nr 163, poz. 1362 oraz z 2006 r. Nr 52, poz. 378, Nr 104, poz. 708 i Nr 133, poz. 935.
16. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 30.09.02. w sprawie uzyskania tytułu specjalisty w dziedzinach mających zastosowanie w ochronie zdrowia. Dziennik Ustaw Nr 173 poz. 1419 z dnia 17.10.02.
17. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 25.08.05. w sprawie bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej. Dziennik Ustaw Nr 194, poz. 1624, 1625 .
18. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 7.04.06. w sprawie minimalnych wymagań dla zakładów opieki zdrowotnej, ubiegających się o wydanie zgody na prowadzenie działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące w celach medycznych, polegającej na udzielaniu świadczeń zdrowotnych z zakresu radioterapii onkologicznej. Dziennik Ustaw z dnia 4.05.06.
19. Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego. Program specjalizacji w dziedzinach mających zastosowanie w ochronie zdrowia. Warszawa: CMKP, 2004.
20. Rostkowska J, Kania M, Iżewska J i wsp. Krajowe zalecenia dotyczące kontroli aparatów stosowanych w teleradioterapii. Aparat terapeutyczny ze źródłem Co-60. *Pol J Med Phys & Eng* 1995; 2 (4): 73-130.
21. Kania M, Rostkowska J. Krajowe zalecenia dotyczące kontroli aparatów stosowanych w teleradioterapii. Medyczny akcelerator liniowy. *Pol J Med Phys & Eng* 2001; 7 (3): 199-278.
22. Morawska M. Testy kontroli jakości dawkomierzy z komorami płaskimi. *Nowotwory* 2000; 50: 294-302.
23. Waliński M, Lesiak J, Rozwadowska-Bogusz B i wsp. Krajowe zalecenia dotyczące kontroli aparatów stosowanych w brachyterapii: Aparat Selectron LDR/MDR+. *Pol J Med Phys & Eng* 2002; 8 (Suppl).
24. PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
25. PN-EN ISO 9001/2001. Systemy zarządzania jakością – Wymagania.
26. Jaervinen H. Clinical audit versus regulatory control. Proceeding of the International Symposium on Practical Implementation of Clinical Audit for Medical Exposure. *Tampere* Finland, 2003; 26-30.
27. Gwiazdowska B, Bulski W. The role of the Polish Secondary Standard Dosimetry Laboratory in view of the requirements of the EC Directive 97/43 Euratom. *Nowotwory J Oncol* 2004; 54: 323-32.
28. Iżewska J, Gajewski R, Gwiazdowska B i wsp. TLD postal dose intercomparison for megavoltage units in Poland. *Radioth Oncol* 1995; 36: 143-52.
29. Iżewska J, Rostkowska J, Kania M, Gwiazdowska B, Hliniak A. External audit on output calibration for photon beams (Polish participation in pan-European Radiation Oncology Project for Assurance of Treatment Quality). *Polish J Med Phys & Eng* 1995; 1: 11-23.
30. Bulski W, Gwiazdowska B, Kania M, Rostkowska J. The results of the TLD postal dosimetry audit in radiotherapy centres in Poland (period 1991-2001). *Nowotwory J Oncol* 2003; 53: 531-6.
31. Stefanik P. Onkologia – radioterapia – raport: Skracamy ten dystans. *Rynek Zdrowia* styczeń 2007; Nr 1 (18).
32. IAEA Secretariat. Background Paper for Regional Profile and Strategy in Europe for 2009-2013. Vienna, 2007.
33. Ulkowski P, Bulski W, Gwiazdowska B. Analiza współczynników wzorcujących płaskich komór jonizacyjnych (w druku).

Otrzymano i przyjęto do druku: 20 września 2007 r.