fot. Thinkstock

Projektowanie zakładu diagnostyki obrazowej

– nadążyć za tempem rozwoju technologii

Dziedzina medycyny związana z obrazowaniem w tej chwili przeżywa bardzo szybki rozwój, jednak nie ma to dużego odzwierciedlenia w ogólnym opisie wymogów dla pomieszczeń, w których dany sprzęt rentgenodiagnostyczny ma się znajdować. Projektantom należy zalecać uzyskiwanie przed przystąpieniem do projektowania jak największej ilości informacji na temat przyszłego aparatu i przeprowadzanych w nim badań.

Aniela Złotkowska
technolog medyczny,
EDAN Usługi projektowe
i konsulting

Przez wiele lat większość projektantów technologii medycznych korzystała z ogólnodostępnych schematów funkcjonalnych pracowni diagnostyki obrazowej. W schematach tych królowały dwie metody obrazowania organizmów żywych: diagnostyka, czyli rozpoznawanie choroby występującej u pacjenta na podstawie obrazu powstającego w trakcie badań za pomocą specjalistycznego urządzenia opartego na promieniowaniu jonizującym, oraz badanie – wraz z równoczesnym wykonywaniem leczenia – na podstawie promieniowania uzyskanego na aparacie ze źródłem promieniowania.

Podstawą tego podziału były dwa rodzaje źródeł promieniowania występującego w ówczesnej medycynie – źródła zamknięte (aparaty RTG, a konkretnie lampy RTG) oraz źródła otwarte, oparte na promieniowaniu uzyskanym z izotopów promieniotwórczych, głównie kobaltu (akceleratory), gdzie źródłem jest urządzenie wytwarzające promieniowanie jonizujące w wyniku przyspieszania cząstek naładowanych. Z kolei aparaty bazujące na zamkniętych źródłach promieniowania były przeznaczone do dwóch rodzajów diagnostyki – zdjęć i prześwietleń. Każda z metod wymagała innego typu aparatu i innego rodzaju rozplanowania pracowni.

Ówczesne dawki promieniowania pochłaniane zarówno przez pacjenta, jak i personel w porównaniu z dzisiejszymi były ogromne i wymagały bardzo dużych zabezpieczeń tych pomieszczeń – tak, aby ochronić pozostałą część budynku i przebywających w nim ludzi przed promieniowaniem jonizującym.

Do dziś projekty osłon dla pomieszczeń zarówno diagnostycznych, jak i diagnostyczno-zabiegowych są wykonywane zgodnie z obowiązującymi przepisami tylko i wyłącznie dla konkretnego urządzenia. Przy zamianie na inne urządzenie, a często i zamianie osłony ścian, sufitów i drzwi, obliczenia należało wykonać ponownie.

Biorąc pod uwagę fakt, iż zabezpieczenia były wykonywane z dwóch podstawowych rodzajów materiałów – blachy ołowianej i tynku barytobetonowego (tynku, w którym w miejsce piasku stosowane było kruszywo ze zmielonej skały barytowej o różnej granulacji), każda taka zmiana była kosztowna oraz wymagała zamknięcia pracowni na kilka tygodni. Osłony dla otwartych źródeł promieniowania wymagały budowania rzeczywistych bunkrów otaczających źródło, wykonywanych ze zbrojonego betonu oraz wykonywania labiryntów utrudniających penetrację przez promieniowanie rozproszone w kierunku wejścia do pracowni.

Nieodłącznym elementem takiej pracowni była także ciemnia, czyli zespół pomieszczeń do wywoływania naświetlonych klisz. Dzielona była na tzw. ciemnię mokrą i ciemnię suchą, wymagającą wywoływania w warunkach ograniczonego oświetlenia, z systemem do wywoływania zużywającym bardzo dużo wody w trakcie tego procesu oraz wyrzucającym do kanalizacji sporą ilość pochodnych srebra (dopiero w czasach późniejszych udało się srebro wytrącać ze ścieków). Wywoływanie było wykonywane ręcznie, w budowanych basenach betonowych.

Jeśli chodzi zaś o aparaty diagnostyczne, praktycznie dostępne były tylko te produkowane na obszarze tzw. bloku demokratycznego, głównie w NRD (aparaty TUR) i na Węgrzech.

Rozwój nowych technik

W latach 70. ubiegłego wieku Polska uzyskała dostęp do bardziej nowoczesnych technik obrazowania. Zmieniły się technologie, a z nimi także urządzenia służące diagnostyce. Na rynku pokazały się urządzenia z krajów tzw. zachodnich. Teoretycznie urządzenia te można było już kupić, jednak ze względu na funkcjonowanie tzw. centralnego rozdzielnika, czyli sposobu zakupów centralnych dla szpitali poprzez Ministerstwo Zdrowia, aparatura była kupowana wyłącznie do budowanych nowych, dużych jednostek finansowanych przez budżet.

Ponieważ postęp technologiczny w tej dziedzinie nastąpił nagle, polskie przepisy nie nadążały za rozwojem. Efektem tego był fakt, iż projektanci uczyli się nowych technologii na schematach montażu dostarczanych przez producentów, przekazujących te instrukcje nie zawsze w języku polskim. Oczywistym skutkiem takiej sytuacji była pewna liczba popełnianych przez projektantów błędów. Nawiasem mówiąc – otrzymywane od producenta instrukcje montażu i zawarta w nich ilość informacji była zwykle niewystarczająca, tak więc każdy z nas, technologów, ma w zanadrzu kilka mrożących krew w żyłach przypadków związanych z tego typu realizacjami, jak np. wsadzenie opakowanego 1,5-tonowego fragmentu aparatu do dźwigu szpitalnego i „puszczenie" go do góry – w sytuacji, gdy dźwig miał nośność o 500 kg mniejszą.

Lata 80. i 90. ubiegłego wieku przyniosły prawdziwą lawinę nowości – pojawiły się pierwsze tomografy komputerowe, aparaty do angiografii i koronarografii, mammografy, a pod koniec tego okresu również rezonansy magnetyczne (MRI). Pojawiły się też – najpierw jako całkowita nowość – aparaty RTG cyfrowe, pozwalające obejrzeć wynik badania za pomocą komputera, bez konieczności stosowania wywoływarek do zdjęć, a jedynie powielanych za pomocą zwykłej drukarki.

Także lekarze radiolodzy mogli częściej wyjeżdżać do znanych placówek zagranicznych, bardziej nowoczesnych niż nasze, a to przełożyło się na bardziej świadome planowanie tej gałęzi diagnostyki w polskich szpitalach i przychodniach.

Wszystko to spowodowało, iż większość inwestorów zaczęła już na etapie projektowania wymagać od projektantów zaprojektowania nowoczesnej pracowni rentgenodiagnostyki obrazowej, w tym także diagnostyki obrazowej, połączonej z jednoczesną możliwością prowadzenia zabiegu.

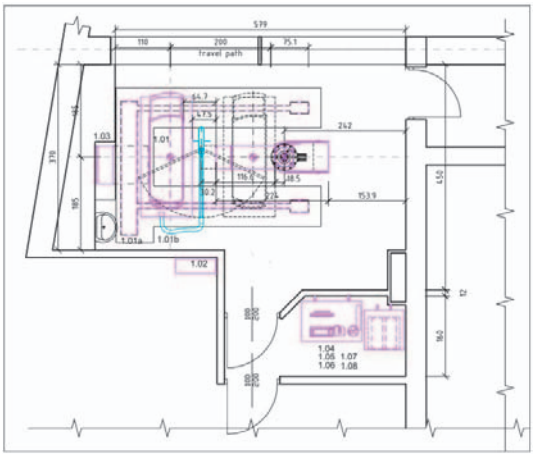
W latach 90. weszła do stosowania metoda leczenia nowotworów za pomocą bezpośredniego podawania pacjentom niewielkich dawek preparatu promieniotwórczego (głównie technetu), zarówno w celach diagnostycznych, jak i w wypadku leczenia (jod lub stront). Źródłem promieniowania jest wtedy nie urządzenie diagnostyczne, a pacjent.

Metoda ta wymaga zaprojektowania pracowni medycyny nuklearnej, opierającej się na urządzeniu zwanym gammakamerą, oraz zabezpieczeniu całości powierzchni pracowni, gdzie potencjalnie przebywa pacjent, przed szkodliwym promieniowaniem.

Techniki i działy z obrazowaniem

Obecnie istnieją następujące rodzaje diagnostyki obrazowej:

- pracownie diagnostyki RTG, diagnostyczne, tzw. klasyczne (aparaty RTG, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny),
- pracownie radiologii zabiegowej, radioterapii (np. angiografia, angioplastyka, nóż wodny),
- pracownie diagnostyki i terapii radioizotopowej (brachyterapia, teleradioterapia, radioterapia izotopowa),
- pracownie medycyny nuklearnej (terapia izotopowa, leczenie radiofarmaceutykami),
- inne rodzaje pracowni, powiązanie z działem medycyny, lecz nieprzeznaczone do badań ciała ▷



Ryc. 1. Tomograf bez pomieszczenia technicznego

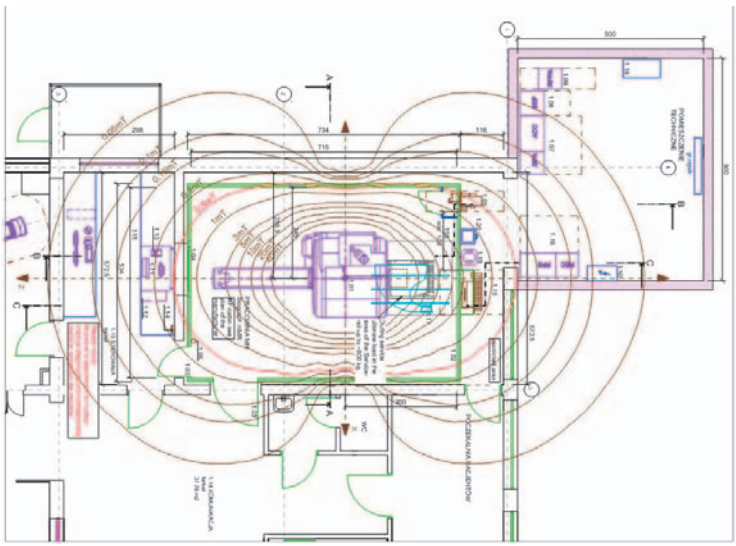
ludzkiego, głównie pracownie RTG tzw. przemysłowe, używane np. do pomiaru badań gęstości cieczy lub materiału (stosowane głównie w laboratoriach badawczych).

Niniejszy podział jest obecnie wysoce umowny, gdyż nieustannie powstają nowe techniki stanowiące kompilację różnych sposobów diagnozowania i leczenia, czego najlepszym przykładem jest badanie aparatem SPECT, łączące w jednym badaniu technikę tomografii komputerowej z funkcją gammakamery.

W niniejszym opracowaniu nie zostaną omówione inne techniki służące obrazowaniu, a nieoparte na źródłach promieniotwórczych, jak np. USG lub endosonografia.

Projektowanie pracowni diagnostyki obrazowej

Dziedzina medycyny związana z ogólnie pojętym obrazowaniem wnętrza ciała ludzkiego w tej chwili przeżywa bardzo szybki rozwój, jednak praktycznie nie ma to żadnego odzwierciedlenia w ogólnym chociażby opisie wymogów dla pomieszczeń, w których dany sprzęt rentgenodiagnostyczny ma się znajdować.



Ryc. 2. Rezonans magnetyczny

Producenci urządzeń zwykle są zainteresowani sprzedażą sprzętu – co jest zrozumiałe – lecz nie do końca rozumieją uwarunkowania polskich przepisów w tej dziedzinie i nie zawsze dostarczają wszystkich koniecznych informacji, co nie ułatwia projektowania tych działów.

Liczba technik i technologii zwiększyła się znacznie, a przepisy dotyczące tej dziedziny są bardzo skąpe. Przy projektowaniu można oprzeć się jedynie na trzech rozporządzeniach (1, 2, 3) oraz *Prawie atomowym* (4), a w wypadku pracowni rezonansu – także na normie dotyczącej pola elektromagnetycznego (5).

W dziedzinie materiałów pomocniczych dla projektantów nie zmieniło się nic – do tej pory nikt nie publikuje zaktualizowanych wytycznych dotyczących projektowania tych działów. Dużą przeszkodą w sporządzaniu samych projektów jest też fakt, iż aby projekt był sporządzony prawidłowo oraz w sposób na tyle szczegółowy, aby wykonawca nie miał problemów podczas realizacji pracowni, projektant powinien posiadać dwie podstawowe informacje przed przystąpieniem do projektowania:

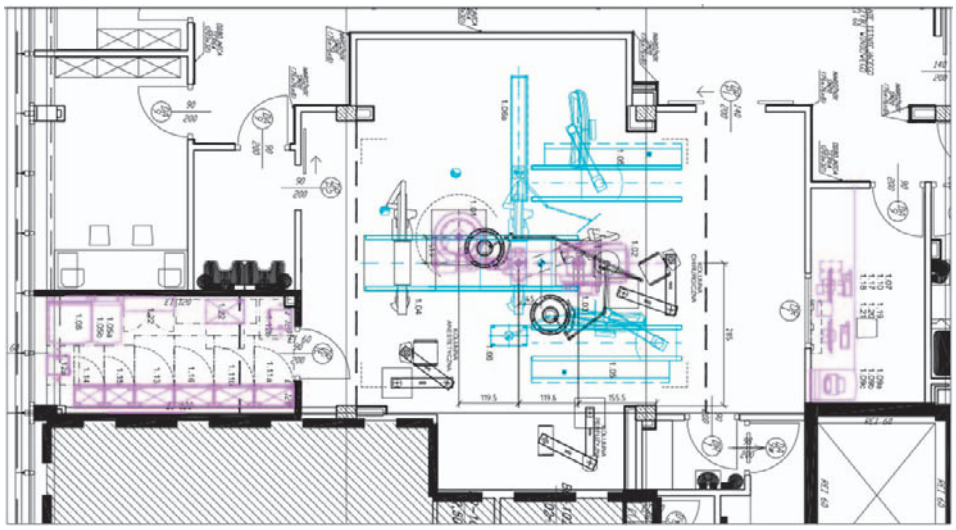
- jaki rodzaj badań przyszły użytkownik ma zamiar wykonywać w pracowni,
- jaki aparat ma się w niej znajdować.

Niestety, uzyskanie obu tych informacji przed przystąpieniem do projektowania jest zadaniem trudnym, z dwóch powodów:

- inwestor ogranicza się dość często do wyliczenia typu: „chciałbym mieć aparat RTG, mammograf i tomograf komputerowy". Na pytanie, np. ilorzędowy ma być ten tomograf i jakie funkcje ma posiadać aparat RTG oraz ile tesli ma mieć rezonans – nie zawsze uzyskuje się odpowiedź. Nie zawsze też inwestor wie, szczególnie w wypadku nowego obiektu, jakiego typu badania powinny być w przyszłej jednostce wykonywane, gdyż po prostu nie ma jeszcze obsady medycznej, a inwestorem jest urząd;
- dobranie aparatu jest także problemem z innego powodu – w Polsce nie można przyjąć konkretnego typu aparatu, nawet posiadając pełną wiedzę na temat tego, jaki powinien on być, gdyż jak wiadomo, musi się odbyć przetarg.

Efektem tej sytuacji jest to, iż zwykle projektuje się zespół pomieszczeń diagnostycznych z uwagą „pozostawić w stanie niewykończonym do czasu wyboru konkretnego aparatu". Oznacza to, iż wykonawca wchodzi po kilku miesiącach od obioru końcowego ponownie na budowę, aby wykonać osłony radiologiczne, kanały w posadzce, montaż tablic ściennych, montaż samej aparatury oraz podłączenie wentylacji w odpowiednim miejscu.

Problem jest jeszcze większy, gdy trzeba zaprojektować urządzenie na rynku polskim unikalne, np. nóż gamma (*gamma knife*) stosowany w operacjach



Ryc. 3. Ramię C sufitowe

neurochirurgicznych, które znajduje się tylko w Warszawie i w Katowicach, lub też uwzględnić promowaną przez obecnego ministra zdrowia Mariana Zembalę metodę leczenia za pomocą terapii protonowej.

Z ostatnio wchodzących na rynek technik diagnostycznych na bazie promieniowania RTG, związanych z konkretnym aparatem, można wymienić metody:

- angiografię i tomografię okulistyczną (OCT),
- angiografię mózgową,
- arteriografię (badanie tętnic, aorty, naczyń mózgowych),
- SPECT – tomografię trójwymiarową z użyciem radiofarmaceutyków i gammakamery,
- PET – pozytronową emisyjną tomografię komputerową podobną w działaniu do SPECT, lecz bardziej precyzyjną.

Jako metody diagnostyczne oparte na diagnozowaniu za pomocą pola magnetycznego lub pól radiowych, lecz często łączone z elementami promieniowania RTG, wchodzące obecnie w skład pracowni diagnostycznych, można wymienić:

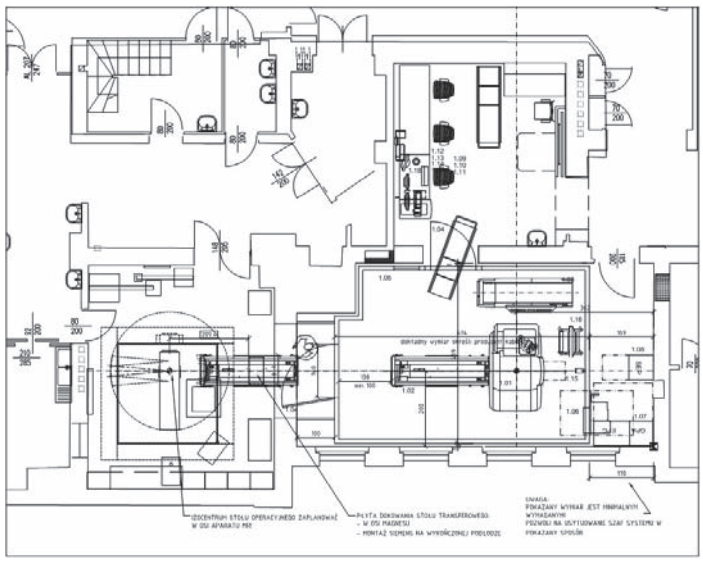
- MRI – badanie za pomocą rezonansu magnetycznego,
- NMRI – rezonans magnetyczny jądrowy,
- MRT – badanie za pomocą tomografii i rezonansu magnetycznego,
- fMRI – funkcjonalny rezonans magnetyczny, przeznaczony głównie do badań behawioralnych.

Zwykle oznacza to dla przyszłego projektanta uruchomienie zdolności iście detektywistycznych w tropieniu danych dotyczących aparatury oraz potwierdzania warunków dla pomieszczeń, w których ma się sprzęt znajdować.

Jak widać projektanci stoją przed nie lada wyzwaniem. Jedyną metodą, którą można im polecić, jest uzyskiwanie przed przystąpieniem do projektowania jak największej ilości informacji na temat przyszłego aparatu i przeprowadzanych w nim badań.

Najogólniej można przyjąć podział na dwa rodzaje pracowni, które mają bezpośredni wpływ na projektowany budynek:

- aparaty lub badania ze źródłem promieniotwórczym,
- aparaty oparte na promieniowaniu magnetycznym.



Ryc. 4. Tomograf jezdny (na 2 sale zabiegowe)

Aparaty ze źródłem promieniotwórczym

Przy ich projektowaniu należy zadbać o wykonanie zarówno odpowiedniej dla urządzenia funkcji zespołu pomieszczeń, nie zapominając o pomieszczeniach technicznych dla urządzenia, jak i odpowiednie wykończenie i doprowadzenie instalacji. Trzeba też wziąć pod uwagę konieczność wykonania zabezpieczeń przegród budowlanych – ścian, stropów oraz drzwi i okien przed promieniowaniem. Zabezpieczenia te czasami pomniejszają kubaturę pomieszczeń, a ciężar drzwi z osłoną z ołowiu jest znacznie większy niż drzwi tradycyj-

nych. Obecnie zamiast kosztownych i pracochłonnych tynków barytobetonowych stosuje się ścianki systemowe z blachą ołowianą, warstwowe, które są montowane na systemie listew ściennych, tak więc ich ewentualna wymiana nie jest tak trudna jak poprzednio. Zamiast zbrojonych bunkrów dla akceleratorów można zastosować także system warstwowych ścian osłonowych, łatwych w montażu i niewymagających rozbiórki za pomocą dynamitu.

W tych pomieszczeniach występuje także dodatkowa ilość instalacji związanych z montażem samego urządzenia – konieczne jest doprowadzenie instalacji 430 V, instalacji komputerowej, a także specjalistycznej, np. konieczność doprowadzenia instalacji do lasera pionizującego tomograf. Urządzenia te emitują zwykle dużą ilość ciepła do pomieszczenia, a lampa w niektórych urządzeniach wymaga bezpośredniego chłodzenia, co musi wziąć pod uwagę projektant wentylacji.

Jeżeli występuje w pracowni – a dzieje się to coraz częściej – tomograf lub inne urządzenie w wersji mobilnej, to należy przewidzieć to w danych do obliczeń oraz przy przyjmowaniu obciążeń stropu.

Co warte uwagi, nowsza generacja aparatów, głównie do tomografii komputerowej, może już nie posiadać pomieszczeń technicznych – rozwiązania takie zostały przedstawione na zdjęciach.

Aparaty oparte na promieniowaniu magnetycznym

Specyfika ich działania polega na oddziaływaniu pola magnetycznego poprzez ciało pacjenta. Źródłem tego pola jest tzw. magnes, będący częścią składową aparatu. Jest to potężny nadajnik fal radiowych wytwarzający pole elektromagnetyczne. Trzeba więc mieć na uwadze, iż obiekty ferromagnetyczne są przyciągane do środka magnesu – tak więc w polu działania takiego urządzenia nie mogą się znajdować żadne urządzenia metalowe. Dotyczy to zarówno samego pacjenta (np. nie można badać pacjentów z rozrusznikiem serca), jak i pomieszczenia – nie można stosować metalowych elementów wykończenia pomieszczenia, takich jak kratki wentylacyjne, gniazda gazów medycznych, klamki itp. w zasięgu działania pola. Samo centrum badań, czyli miejsce ze stołem, na którym leży pacjent, jest izolowane, bowiem znajduje się w tzw. klatce Faradaya. Zasięg pola magnetycznego jest jednak większy, co należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu także pomieszczeń pod i nad pracownią MRI.

Magnes aparatu wymaga chłodzenia cieczą kriogeniczną, zwykle helem, co wymusza konieczność zapewnienia awaryjnego wyrzutu czynnika chłodzącego na zewnątrz (tzw. *shut-down*) – wyrzutu wrzącego helu w bardzo krótkim czasie na zewnątrz ▷

R E K L A M A