

Andrzej Materka

## Elektrotechnika dla medycyny: od prądów „silnych” do „słabych”

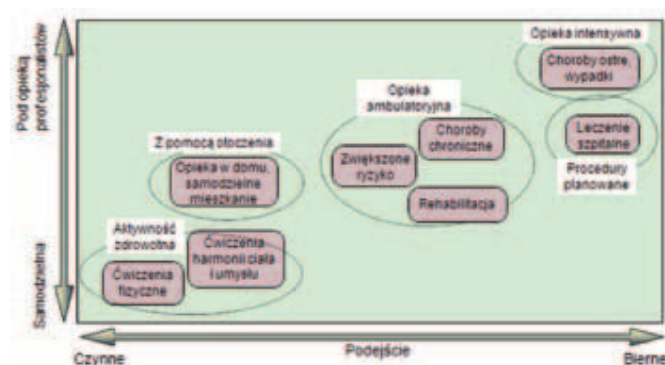
### 1. Wstęp

W roku 2011 mija 50 lat od czasu powstania Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS). Jubileusz ten tworzy okazję do retrospekcji – przywołania osiągnięć środowiska elektryków, ich wkładu do rozwoju nauki i techniki oraz codziennego życia, a także do zastanowienia się nad rolą tego środowiska we współczesnym świecie. Organizatorzy uroczystego, jubileuszowego posiedzenia Oddziału Łódzkiego PTETiS (28 czerwca 2011) zaproponowali przygotowanie referatów charakteryzujących dwie dziedziny elektrotechniki, których rozwój, jak się wydaje, ma i będzie miał znaczący wpływ na możliwości rozwoju gospodarki i stan zdrowia oraz jakość życia obywateli. Dziedziny te to elektroenergetyka i technika medyczna. Niniejszy artykuł jest omówieniem zasadniczych tez referatu poświęconego udziałowi elektrotechniki w projektowaniu urządzeń wspomagających lekarzy w ich pracy, w szczególności urządzeń wspomagające ocenę stanu zdrowia obiektywnymi informacjami – dla bardziej dokładnej i trafnej diagnozy oraz skutecznego leczenia. Przedstawione zagadnienia zilustrowano przykładami wybranych opracowań i wdrożeń pracowników Zakładu Elektroniki Medycznej Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej [1, 2, 3, 14].

### 2. Medycyna a technika i elektrotechnika

Powodzenie badań naukowych w dziedzinie biologii i medycyny, a także skuteczność ochrony zdrowia zależą w dużej mierze od dostępu do technologii i urządzeń technicznych. Spektakularnym przykładem tej zależności jest obserwowana obecnie zmiana paradygmatu diagnozy medycznej i leczenia. Jest nią przejście od jakościowego do ilościowego – bardziej obiektywnego i dokładnego – opisu stanu organizmu. Medycynę w ujęciu klasycznym cechują badania bardzo wnikliwe i uważne, ale opisowe i subiektywne. Tylko niewielka część wiedzy nagromadzona przez lekarza-eksperta w okresie jego pracy zawodowej może być przekazana następcom. W ostatnich dekadach sztuka leczenia podlega szybkim zmianom – staje się ona „medycyną opartą na faktach” (ang. *evidence-based medicine*) [4]. W coraz większym stopniu lekarze wykorzystują wyniki obiektywnych pomiarów i analiz. Do praktyki klinicznej są wdrażane procedury i metody o naukowo dowiedzionej skuteczności, bezpieczeństwie i odpowiedniości. Zmiana ta jest możliwa dzięki rozwojowi nieinwazyjnych, wyrafinowanych technik pomiaru sygnałów i obrazów biomedycznych oraz parametrów odwzorowujących własności tkanek, a także zaawansowanych metod przetwarzania i numerycznej analizy danych z pomiaru, wykonywanej w czasie rzeczywistym. Miniaturyzacja, olbrzymi wzrost funkcjonalności, szybkości i niezawodności układów

elektronicznych są źródłem postępu w zakresie projektowania urządzeń technicznych wspomagających wszystkie tradycyjne działy medycyny.



Rys. 1. Ochrona zdrowia wg [5]

Na rys. 1 przedstawiono schematycznie różne sytuacje, których może się znaleźć człowiek w kontekście dotyczących go działań systemu ochrony zdrowia [5]. Oś rzędnych odwzorowuje umownie zaangażowanie pacjenta w tę działalność. Składają się na nią działania samodzielne w przypadku człowieka zdrowego starającego się zapobiec chorobom, ale biorą w nich udział profesjonaliści (np. lekarze) w przypadku ludzi zdrowych wymagających opieki. Podobnie, punktom osi odciętych przypisano umownie podejście pacjenta – po lewej stronie diagramu człowiek sam planuje i wykonuje potrzebne czynności, zaś prawa strona odpowiada akcjom, w których człowiek biernie poddaje się potrzebnym badaniom, zabiegom i operacjom. Połączenie stopnia zaangażowania i podejścia człowieka wyznacza różne obszary charakteryzujące jego sytuację i rolę w systemie ochrony zdrowia. W lewym dolnym rogu mamy do czynienia z profilaktyką – w rezultacie samodzielnych ćwiczeń człowiek stara się utrzymać dobrą kondycję, sprzyjającą zdrowiu. Prawy górny obszar odwzorowuje przypadki (i wypadki) ludzi chorych, wymagających intensywnej opieki. Część środkowa to obszar ludzi częściowo sprawnych – w wyniku postępującej, przedłużającej się choroby albo wracających do zdrowia po obciążającym organizm okresie leczenia, bądź też pozbawionych sprawności niektórych organów i zmysłów – od urodzenia lub w rezultacie nieszczęśliwych zdarzeń.

Każdemu z zaznaczonych na rys. 1 obszarów odpowiadają specyficzne potrzeby w odniesieniu do środków technicznych, bez których system ochrony zdrowia nie może funkcjonować. Są to urządzenia osobiste, jak „kijki norweskie” dla osób aktywnie zażywających ruchu, czy biała laska albo telefon komórkowy z syntezatorem mowy dla osób niewidomych. Lekarze używają stetoskopów, ale także bardzo skomplikowanych stacjonarnych i drogich urządzeń diagnostycznych, jak tomografy rezonansu

magnetycznego. Prawie wszyscy korzystają wspólnie komputerów oraz Internetu do zbierania, edycji i przetwarzania danych o zdrowiu, chorobach, ich zapobieganiu i leczeniu. Lista potrzebnych urządzeń jest bardzo długa. Współczesna medycyna nie może obejść się bez techniki.

Realizacja ważnego celu, którym jest doskonalenie środków technicznych dla ochrony zdrowia, wymaga prowadzenia interdyscyplinarnych badań naukowych i ich wdrażania do praktyki. Opracowanie nowych metod i urządzeń dla medycyny jest zwykle dużym wyzwaniem. Dla przykładu, podstawą powodzenia w postępowaniu lekarskim jest dobra diagnoza, która wymaga dokładnego opisu stanu organizmu. To przedsięwzięcie jest jednak bardzo trudne, ponieważ:

- narządy wewnętrzne są niewidoczne,
- tkanki są niedostępne (bez działań inwazyjnych jak biopsja, mogących zagrażać zdrowiu),
- organy wewnętrzne cechuje złożona struktura i skomplikowane wzajemne oddziaływania,
- procesy zachodzące wewnątrz organizmu zmieniają się szybko w czasie i przestrzeni.

Ponadto, poznaniu właściwości tkanek oraz zjawisk związanych z ich funkcjonowaniem nie sprzyja tradycyjna metodyka badania lekarskiego. Cechują ją obserwacje bardzo wnikliwe i uważne, ale opisowe – z dużym udziałem subiektywnej oceny. Jednocześnie obserwuje się znaczący postęp, szczególnie w zakresie fizyki, matematyki i techniki, który dostarcza nowych teorii i technologii pozwalających przełamać bariery i trudności w określeniu stanu organizmu człowieka [6].

Wśród potrzeb medycyny należy wymienić nieinwazyjne wspomaganie profilaktyki, diagnostyki, leczenia, protetyki oraz rehabilitacji, a także narzędzia (metody i urządzenia) do badań poznawczych. Wiele z tych potrzeb można zaspokoić wykorzystując osiągnięcia szeroko rozumianej elektrotechniki, jak:

- zasilanie urządzeń i aparatury (energiją elektryczną),
- wytwarzanie pól, prądu elektrycznego i różnego rodzaju promieniowania (układy dużej mocy, wysokiego napięcia, dużej częstotliwości, lasery),
- sterowanie urządzeń laboratoryjnych i szpitalnych (systemy automatyki),
- zbieranie danych (aparatura pomiarowa, czujniki, układy analogowe i cyfrowe),
- przetwarzanie, przesyłanie, przechowywanie i wizualizacja danych (metody przetwarzania i analizy sygnałów oraz obrazów, szybkie procesory, pamięci, sieci komputerowe, „rzeczywistość wirtualna”).

Według tradycyjnej definicji, elektrotechnika obejmuje podstawy teoretyczne i zastosowanie zjawisk fizycznych z zakresu elektryczności i magnetyzmu. Podstawowe obszary specjalizacji w ramach elektrotechniki to aparaty elektryczne, urządzenia elektryczne, instalacje elektryczne, techniki zabezpieczeń, maszyny elektryczne, metrologia, elektronika, automatyka, telemechanika i telemechanika, napęd elektryczny, elektroenergetyka, technika świetlna, elektrotermia i elektrotechnologia. Specjalności te znajdują odzwierciedlenie w strukturze organizacyjnej wydziałów „elektrycznych” politechnik – w nazwach instytutów, katedr i zakładów. Współcześnie, w rezultacie ewolucyjnego rozwoju – postępu wiedzy i korzystania ze wspólnych teorii, metod badawczych oraz metod projektowania i wytwarzania urządzeń – definicja podstawowa została de facto poszerzona. Obecnie uważa się, że domeną elektrotechniki są nie tylko teoria i zastosowania elektryczności oraz magnetyzmu, ale też:

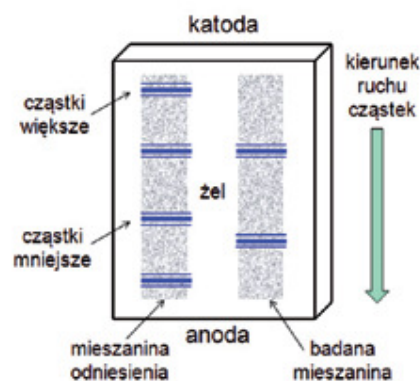
- wytwarzanie, przetwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej,

- pozyskiwanie, przetwarzanie, przesyłanie i analiza sygnałów.

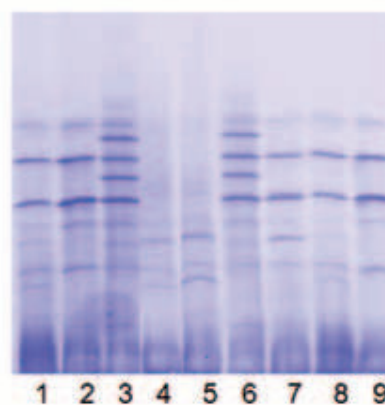
Tak określone obszary aktywności w ramach elektrotechniki są w wielu aspektach dopasowane do potrzeb medycyny.

### 3. Od prądów „silnych” do „słabych”

Naturalnym, oczywistym zadaniem elektrotechniki w odniesieniu do zaspokajania potrzeb ochrony zdrowia jest zasilanie w energię elektryczną [7]. Nawet bardzo krótki zanik lub zaburzenie (np. impuls) napięcia zasilającego urządzenia diagnostyczne, oświetlenie czy narzędzia chirurgiczne może być przyczyną błędu prowadzącego do pogorszenia stanu zdrowia, a w niefortunnym przypadku zagrożenia życia pacjenta. Instalacje elektryczne muszą być bezpieczne, zasilanie musi być ciągłe, a parametry prądu i napięcia dostarczanego do szpitali muszą spełniać szczególnie rygorystyczne wymagania jakościowe. Pewność działania i bezpieczeństwo systemów elektroenergetycznych są podstawowym warunkiem prawidłowego funkcjonowania wszystkich oddziałów szpitala i ambulatoriów, a w szczególności oddziałów intensywnej opieki medycznej.



Rys. 2. Elektroforeza – ruch naładowanych cząstek w polu elektrycznym



Rys. 3. Przykład rozdzielania elektroforetycznego próbek osocza ludzkiego [10]; eksperyment pozwolił zidentyfikować kilka odmian fenotypowych badanych próbek (linie 1 i 8, 2 i 9, 3 i 6, 4 i 5 oraz 7)

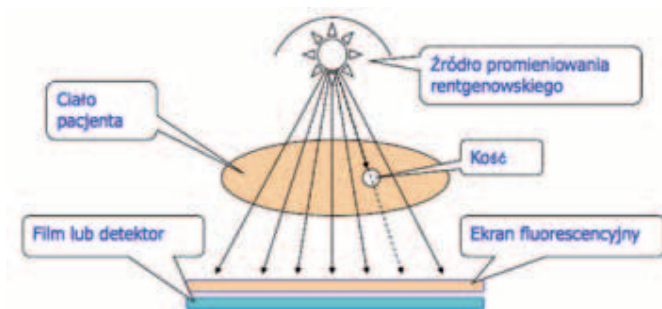
Innym przykładem techniki diagnostycznej szeroko wykorzystywanej w medycynie i mającej swoje podstawy teoretyczne w elektrotechnice jest elektroforeza [8]. Jest to zjawisko elektrokinetyczne. Pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego w odpowiednio dobranym środowisku (np. koloidalnym) przemieszczają się makrocząsteczki obdarzone niezerównoważonym ładunkiem elektrycznym (rys. 2). Prędkość przemieszczania się

naładowanej elektrycznie makrocząsteczki zależy od jej ładunku, rozmiaru, kształtu oraz oporów ruchu w środowisku. Wykorzystując te zależności można dokonać szybkiego rozdzielania różnych makrocząsteczek badanej ich mieszaniny, przy zastosowaniu stosunkowo prostych urządzeń i niskim nakładzie kosztów. Te względy zdecydowały o powszechności zastosowań technik elektroforetycznych. Jednym z ostatnich, bardzo ważnych aplikacji elektroforezy jest rozdzielanie cząsteczek DNA o różnej długości. Daje to podstawę do diagnostyki predyspozycji genetycznych i wykrywania oraz leczenia chorób mających podłoże w dziedziczności. Na rys. 3 przedstawiono przykład różnych odmian białka zidentyfikowanych w próbkach osocza za pomocą elektroforezy [9].

Zbadanie i opisanie promieniowania rentgenowskiego jest uważane za jedno z największych odkryć naukowych. Długość fali tego promieniowania znajduje się w przedziale od 10 pm do 10 nm (w przedziale między ultrafioletem i promieniowaniem gamma). Ze względu na tak małą długość fali, promieniowanie to ma zdolność „przenikania” przez ciało człowieka. Załóżmy, że na drodze wiązki promieniowania o natężeniu  $I_0$  znajduje się próbka o grubości  $w$ . Część promieniowania zostaje pochłonięta przez próbkę, a natężenie  $I$  pozostałej części promieniowania jest opisane równaniem absorpcji Beera

$$I = I_0 e^{-\mu w}$$

gdzie  $\mu$  jest liniowym współczynnikiem absorpcji. Współczynnik ten zależy od rodzaju materiału absorbującego promieniowanie. Materiały zawierające atomy o dużej liczbie atomowej  $Z$  (np. kości) pochłaniają kwanty promieniowania rentgenowskiego efektywniej niż substancje składające się z pierwiastków o małej liczbie atomowej (np. mięśnie).



Rys. 4. Ilustracja zasady działania aparatu rentgenowskiego

Na rys. 4 przedstawiono schematycznie sposób wykorzystania zjawiska absorpcji promieniowania rentgenowskiego do budowy aparatu rentgenowskiego. Urządzenie to zawiera źródło promieniowania – lampę rentgenowską. Wewnątrz takiej lampy, strumień elektronów jest rozpędzany w silnym polu elektrycznym. Rozpędzone cząstki uderzają w anodę, co jest przyczyną emisji promieniowania rentgenowskiego. Promieniowanie to przechodzi przez ciało pacjenta, a następnie pada na ekran fluorescencyjny, który zamienia je na promieniowanie widzialne, naświetlające błonę fotograficzną. Przykładowy obraz zapisany na błonie fotograficznej pokazano na rys. 5. Energia wiązek promieniowania przecinających obszary o dużej gęstości (np. kości) jest mniejsza od energii wiązek przechodzących przez tkanki słabo pochłaniające (np. płuca). Silnie naświetlone obszary błony fotograficznej są ciemniejsze od obszarów słabo naświetlonych. Zdjęcia takie są wywoływane i analizowane przez radiologów.

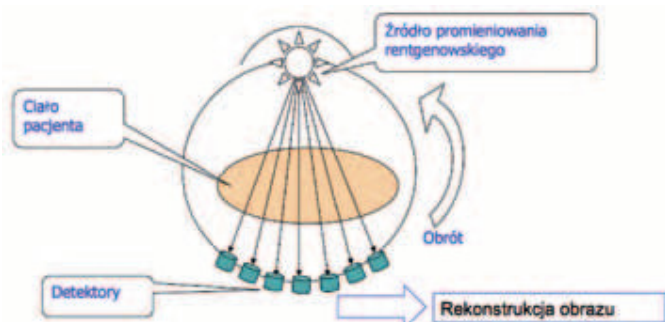
Badanie rentgenowskie jest tanie i bardzo rozpowszechnione. Pozwala ono na zobrazowanie wnętrza organizmu bez

interwencji chirurgicznej. Zarówno koncepcja tego badania jak i budowa oraz eksploatacja aparatu rentgenowskiego są domeną elektrotechniki (i fizyki technicznej). Badanie to nie jest jednak całkowicie nieinwazyjne. Promieniowanie generowane przez lampę rentgenowską jest promieniowaniem jonizującym – destrukcyjnie oddziałuje na żywą materię. Całkowita dawka promieniowania pochłoniętego przez ciało człowieka nie może przekroczyć dopuszczalnej wartości w określonym czasie. Inna wada zdjęcia rentgenowskiego tkwi w jego naturze – jest ono rzutem (projekcją) obiektu trójwymiarowego na płaszczyznę. Nie jest możliwe rozróżnienie kształtu elementów obiektu, które znalazły się na drodze pojedynczej wiązki promieniowania. Dla przykładu, obrysy żeber w przedniej i tylnej części klatki piersiowej na rys. 5 nakładają się na siebie. Mimo użyteczności rozwiązania zilustrowanego na rys. 4, trwałe i ciągle trwają poszukiwania metod zobrazowania, które byłoby pozbawione tych wad.



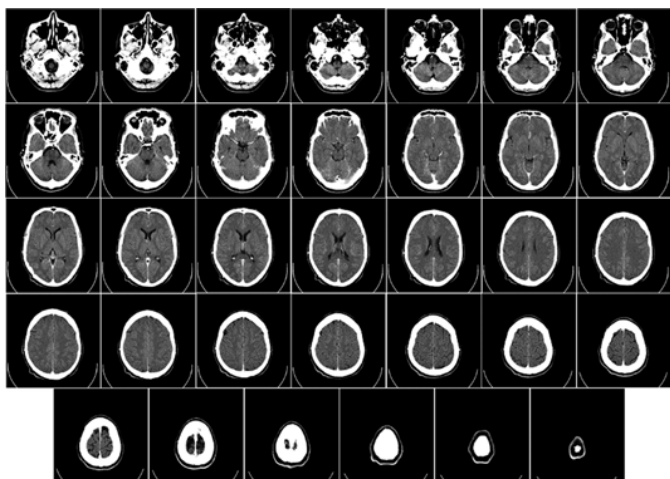
Rys. 5. Przykład rentgenogramu klatki piersiowej (autora)

Tomografia komputerowa jest metodą diagnostyczną, która co prawda wykorzystuje promieniowanie rentgenowskie, ale pozwala na uzyskanie przekrojów ciała człowieka (a nie tylko projekcji). Każdy przekrój odpowiada gęstości tkanek w jego płaszczyźnie, uśrednionej wewnątrz prostopadłościanu o małych rozmiarach, np. 0,5 mm x 0,5 mm x 2 mm. Każdy taki element jest nazywany wokselem (ang. *voxel* – *volume element*). Przekroje takie mogą być złożone dla otrzymania obrazu trójwymiarowego, w którym poszczególne obszary tkanek nie przesłaniają się wzajemnie. Zasada działania tomografu rentgenowskiego została zilustrowana na rys. 6. Podobnie, jak w aparacie rentgenowskim, tomograf zawiera źródło promieniowania, jednak błona fotograficzna jest zastąpiona zespołem detektorów. Źródło i detektory są umocowane na obwodzie okręgu, wewnątrz którego znajduje się badany obiekt. W czasie badania zespół źródło-detektory obraca się. Dla każdego z wielu kątów obrotu rejestruje się sygnały odczytane przez detektory, odpowiadające mapie absorpcji promieniowania przez ciało człowieka dla danego kąta. Zarejestrowana dla każdego kąta projekcja jest zapisywana w pamięci szybkiego komputera. Współczesne tomografy zapisują nawet kilka milionów projekcji w czasie jednego badania. Zgromadzone dane są wykorzystywane do rekonstrukcji obrazu, która polega na numerycznym rozwiązaniu równań odwrotnych – danymi są zmierzone sygnały detektorów rentgenowskiego pochłoniętego przez woksele w przestrzeni trójwymiarowej (dla kolejnych przekrojów w płaszczyznach obrotu zespołu źródło-detektory).



Rys. 6. Ilustracja zasady działania tomografu komputerowego

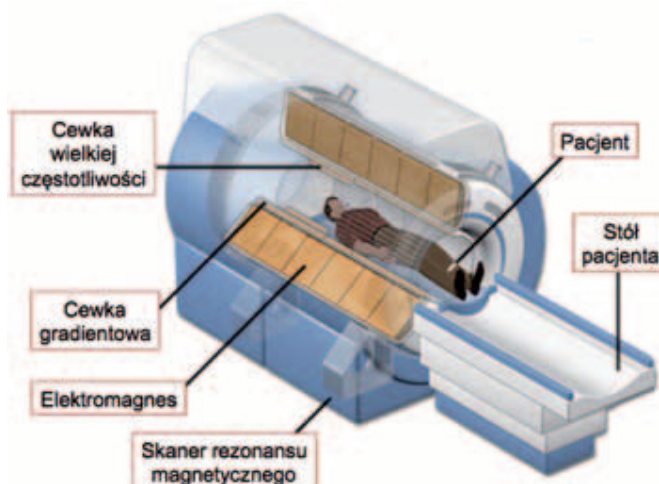
Na rys. 7 przedstawiono przykładowy ciąg tomogramów – przekrojów głowy od podstawy czaszki (lewy górny obraz) do czubka głowy (prawy dolny obraz). Ilość informacji diagnostycznej uzyskiwanej za pomocą badania znacznie przekracza możliwości tradycyjnego badania rentgenowskiego. Tomografia komputerowa jest obecnie podstawowym badaniem obrazowym pozwalającym na uwidocznienie struktur śródczaszkowych. Zbudowanie tomografu wymagało uzupełnienia aparatu rentgenowskiego o precyzyjny napęd, szybki komputer oraz elementy elektroniczne pełniące funkcję detektorów.



Rys. 7. Przykład ciągu kolejnych przekrojów głowy w płaszczyźnie poprzecznej ciała pacjenta zarejestrowanych za pomocą tomografu komputerowego [10]

Pełną nieinwazyjność oraz trójwymiarowe odwzorowanie budowy i właściwości tkanek zapewnia tomografia rezonansu magnetycznego (RM). Do obrazowania tą metodą wykorzystuje się zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego – oddziaływania spinów jądrowych z polami magnetycznymi. Różne od zera spiny jądrowe posiadają atomy o nieparzystej liczbie elektronów, a więc między innymi woda, która w różnych proporcjach stanowi główną część tkanek organizmu człowieka. Dzięki temu tomograf RM pozwala na zobrazowanie właściwości tkanek miękkich – z dużym kontrastem, nieosiągalnym w przypadku tomografii komputerowej.

W czasie badania przy użyciu tomografu RM, pacjent znajduje się wewnątrz cewki elektromagnesu (rys. 8) wytwarzającego bardzo silne pole magnetyczne – o natężeniu  $B_0$  od 1,5 T do 7 T w skanerach klinicznych. Pole to powoduje ustawienie spinu atomów wody znajdujących się wewnątrz tkanek w kierunku równoległym do osi elektromagnesu. Tworzenie obrazu polega na wzbudzeniu spinów jądrowych znajdujących się w obszarze pola magnetycznego poprzez szybkie zmiany tego pola, a następnie



Rys. 8. Budowa tomografu (skanera) rezonansu magnetycznego [11]

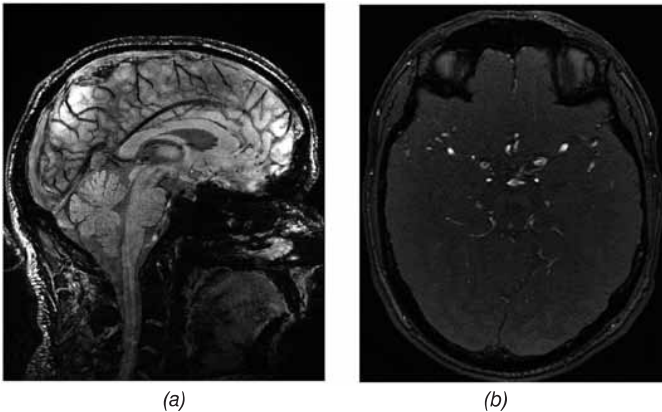
pomiar promieniowania elektromagnetycznego emitowanego na skutek zjawisk relaksacji, czyli powrotu układu spinów jądrowych do stanu równowagi termodynamicznej.

Do wzbudzenia spinów używa się impulsów promieniowania elektromagnetycznego, wytwarzanego przez cewki wielkiej częstotliwości (rys. 8), pobudzone sygnałem z nadajnika radiowego wchodzącego w skład tomografu. Atomy, które pochłonęły energię tego promieniowania oddają ją w postaci promieniowania elektromagnetycznego o zanikającej amplitudzie, przy częstotliwości rezonansowej Larmora

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} B,$$

przy czym współczynnik magnetogiryczny  $\gamma$  ma wartość zależną od rodzaju jądra atomowego. Dla atomów wody  $^1\text{H}$  częstotliwość Larmora ma wartość 42,6 MHz/T. Emitowane przez atomy wody promieniowanie jest odbierane przez cewki wielkiej częstotliwości dołączone do wejścia odbiornika radiowego, również będącego częścią tomografu RM. Amplituda odpowiedzi atomów na pobudzenie impulsem o częstotliwości rezonansowej  $f$  jest proporcjonalna do liczby atomów w obszarze o polu  $B$ . Czas zaniku odpowiedzi zależy od oddziaływania pobudzonych atomów z otaczającymi je tkankami.

Częstotliwość rezonansowa zależy od lokalnej wartości pola magnetycznego  $B$ . Dodatkowe cewki, tzw. cewki gradientowe (rys. 8), wprowadzają zmianę wartości pola magnetycznego,  $B = B_0 + \Delta B$ , wewnątrz obszaru, w którym znajduje się pacjent. Tym samym każda płaszczyzna poprzeczna charakteryzuje się inną częstotliwością Larmora. Jeszcze inne cewki gradientowe, pobudzone w czasie pomiaru, dają możliwość wprowadzenia zmiany natężenia pola magnetycznego w płaszczyźnie poprzecznej. Odpowiednie pobudzenia cewek gradientowych oraz cewek wielkiej częstotliwości pozwalają na zdekodowanie położenia wokselu, którego odpowiedź jest w danej chwili mierzona [12]. Pomiar amplitudy, czasu zaniku, przesunięcia fazy, a w niektórych przypadkach zmiany częstotliwości odpowiedzi w odniesieniu do pobudzenia niesie informacje, które pozwalają obliczyć wartości obrazu RM. W wyniku obliczeń można zrekonstruować trójwymiarowe obrazy wnętrza ciała pacjenta, np. przedstawiające gęstość protonów, stałą czasową relaksacji (różną dla różnych tkanek) czy obrazy o jasności zależnej od prędkości przepływu krwi w tętnicach.



Rys. 9. Obrazy rezonansu magnetycznego naczyń krwionośnych mózgu: a) przekrój pokazujący naczynia żyłne (ciemne, technika SWI), b) przekrój pokazujący tętnice (jasne, technika ToF) [13]

Dla przykładu, odtworzenie struktury sieci naczyń krwionośnych pacjenta odgrywa istotną rolę w diagnozowaniu wielu chorób i dysfunkcji układu krwionośnego, np. mózgu czy serca. Znalazienie związku pomiędzy parametrami geometrycznymi sieci naczyń i określonymi stanami chorobowymi ma zasadnicze znaczenie w diagnostyce i leczeniu. Tomografia rezonansu magnetycznego umożliwia obrazowanie krwi w tętnicach i żyłach wieloma metodami, np. pozwala na niezależne uwidocznienie żył i tętnic [13]. Krew żylna zawiera mniej tlenu związanego z żelazem cząstek hemoglobiny i cechuje ją inną podatność magnetyczna, a krew tętnicza płynie z większą prędkością. Wykorzystanie tych zjawisk pozwala na akwizycję niezależnych obrazów żył i tętnic, np. mózgu (rys. 9). Obrazy te są uzyskiwane w czasie jednej sesji pomiarowej, są w związku z tym idealnie do siebie dopasowane w trzech wymiarach, co dodatkowo ułatwia ich analizę ilościową.

Przykład zobrazowania naczyń krwionośnych techniką RM ilustruje jej olbrzymie możliwości. Przez zmianę sekwencji sygnałów sterujących cewki gradientowe i cewki wielkiej częstotliwości uzyskuje się uwidocznienie subtelnych różnic między tkankami wewnątrz organizmu. Badanie jest całkowicie nieinwazyjne i staje się coraz bardziej popularne w miarę jak koszt aparatury maleje. Tomografia rezonansu magnetycznego jest uważana za rewolucyjną technikę, wspierającą nie tylko diagnostykę i leczenie, ale badania podstawowe zmierzające do poznania zasady działania mózgu człowieka (tzw. funkcjonalny rezonans magnetyczny). Zastosowania techniki obrazowania RM obejmują nie wszystkie narządy i obszary ciała człowieka – mięśnie, serce, wątrobę, nerki, a nawet płuca.

#### 4. Podsumowanie i dyskusja

Omówione w poprzednim rozdziale przykłady technik diagnostycznych ilustrują pewną ogólną prawidłowość. Warto na nią zwrócić uwagę, szczególnie przy okazji jubileuszu Towarzystwa zrzeszającego elektryków. Jak każdy jubileusz, tak i ten jest okazją do ogólnych refleksji. Otóż poszukiwanie coraz bardziej dokładnych i jednocześnie nieinwazyjnych metod wizualizacji tkanek przynosiło coraz bardziej złożone urządzenia. Przejście od aparatu rentgenowskiego do tomografu komputerowego wymagało powiększenia zespołu projektantów o specjalistów od napędu elektrycznego, informatyków (metody numeryczne, programowanie) i elektroników (systemy komputerowe, przyrządy półprzewodnikowe). Kolejne bardziej doskonałe urządzenie – tomograf rezonansu magnetycznego – wymagało zaangażowania radiotechników (nadajnik i odbiornik fal ultrakrótkich), a ponadto

elektryków specjalizujących się w nadprzewodnictwie (cewki elektromagnesu są chłodzone ciekłym helem).



Rys. 10. Interdyscyplinarność w projektowaniu aparatury medycznej

Obserwowany obecnie postęp w dziedzinie aparatury medycznej (np. wprowadzenie na trwałe do klinik rewolucyjnej, nieinwazyjnej metody zobrazowania wnętrza organizmu człowieka za pomocą zjawiska rezonansu magnetycznego) nie byłby możliwy bez ścisłej współpracy specjalistów z różnych dziedzin – lekarzy, biologów, fizyków, elektroników i informatyków. Opracowanie nowych metod na potrzeby „medycyny opartej na faktach” wymaga dogłębnej analizy problemu z uwzględnieniem, między innymi (rys. 10):

- fizjologii badanego organu lub zespołu tkanek,
- celu zastosowania metody (np. profilaktyka, diagnostyka, leczenie, rehabilitacja),
- zjawiska fizycznego wykorzystanego do pomiaru własności tkanek (np. emisja promieniowania elektromagnetycznego w zakresie fal podczerwonych na powierzchni skóry, zależna od temperatury tkanek położonych bezpośrednio pod skórą),
- właściwości elementów składowych urządzenia pomiarowego (np. kamery termowizyjnej),
- metod obliczeniowych wykorzystanych do przetwarzania i analizy danych z pomiaru (algorytmy przetwarzania i analizy sygnałów, modelowanie matematyczne badanego zjawiska, oraz funkcjonowania badanego organu).

Naszkicowana powyżej tendencja dotyczy innych zastosowań, nie tylko medycyny. Do opracowania prawdziwie funkcjonalnej konstrukcji inżynierskiej potrzebna jest współpraca specjalistów z różnych dziedzin. Jednocześnie, dziedziny podstawowe jak elektrotechnika zaczynają obejmować swoim obszarem coraz więcej specjalności, dotąd autonomicznych. Ta integracja jest możliwa dzięki spójności narzędzi (np. wspólne podstawy teoretyczne z zakresu teorii sygnałów i systemów, symulacja komputerowa poprzedzająca budowę prototypu) i jest napędzana oraz ukierunkowana dobrze określonym celem – dążeniem do perfekcyjnego działania budowanego rozwiązania jako całości. Istotnym elementem jest sprawna komunikacja między członkami interdyscyplinarnego zespołu, którzy z natury rzeczy mają inne przygotowanie edukacyjne i doświadczenie zawodowe. Inną bardzo ważną sprawą jest włączanie przyszłych użytkowników opracowywanej konstrukcji do zespołu projektantów [2, 6, 14].

Wskaźnikiem dostosowania organizacji zawodowych do potrzeb współczesności jest otwartość na zmiany i adaptacja do trendów rozwojowych. Na tle powyższych rozważań można postawić tezę, że w przypadku elektrotechniki wskaźnikiem takim może być zakres tematyczny obszarów aktywności członków

organizacji. Analiza zarówno specjalności i osiągnięć członków PTETiS jak i tematów zebrań oraz dyskusji w jego Oddziale Łódzkim jasno pokazują, że organizacja ta w pełni reprezentuje i wdraża w życie poszerzoną definicję terminu „elektrotechnika” (patrz rozdział 2). Świadczy to o dopasowaniu Jubilatowi to wymagań XXI wieku. PTETiS jest organizacją dojrzałą – z niemalym 50-letnim doświadczeniem – ale też młodą i prężną, otwartą na nowe wyzwania. Z okazji jubileuszu, wraz z moimi Koleżankami i Kolegami z Instytutu Elektroniki PŁ życzę Zarządowi PTETiS oraz wszystkim P.T. Członkom i Sympatykom Towarzystwa kolejnych półwieczy skutecznej integracji Polaków wokół problematyki elektryczności i magnetyzmu oraz wywodzących się z niej nowych zagadnień.

## Literatura

1. Pec M., Strumiłło P., Pełczyński P., Bujacz M., *O słyszeniu obrazów – systemy wspomaganie osób niewidomych w percepcji otoczenia*, Biuletyn Techniczno-Informacyjny Zarządu Oddziału Łódzkiego SEP, nr 6, 2006, str. 6 – 11.
2. Strumiłło P., Materka A., Królak A., *Systemy interakcji człowiek-komputer dla niepełnosprawnych*, Biuletyn Techniczno-Informacyjny Zarządu Oddziału Łódzkiego SEP, nr 1, 2011, str. 2 – 8.
3. <http://amaterka.pl/ptetis/50lecie.pdf> (28/8/2011).
4. Mrukowicz J., *Podstawy evidence based medicine (EBM), czyli o sztuce podejmowania trafnych decyzji w opiece nad pacjentami*, Medycyna Praktyczna Ginekologia i Położnictwo 2004/06 (15 stron), <http://www.mp.pl/artykuly/?aid=25574>.
5. IEEE Technical Committee on Information Technology for Health, *Scope*, <http://tc-it-health.embs.org/> (11/11/2009).
6. Materka A., Strumiłło P., Strzelecki M., *Systemy elektroniczne dla ochrony zdrowia i wspomaganie osób o ograniczonej sprawności*, W. Janke (red.), Wybrane zagadnienia współczesnej elektroniki, Komitet Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Wydział Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 2011, 379 – 403.
7. Sałasiński M., *Bezpieczne zasilanie szpitali w energię elektryczną*, Wiadomości Elektrotechniczne, 2007, r. 75, nr 5, str. 12 – 17.
8. Walkowiak B., Kochmańska V. (red.), *Elektroforeza – przykłady zastosowań*, Politechnika Łódzka, 2002, <http://www.biofizyka.p.lodz.pl/elektroforeza.pdf> (28/8/2011).
9. Piłacik B., *Ocena fenotypów alfa-1antytrypsyny*, [8] str. 52 – 54.
10. [http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray\\_computed\\_tomography](http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_computed_tomography) (29/8/2011).
11. <http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/magnetacademy/mri/> (29/8/2011)
12. Westbrook C., Kaut-Roth C., Talbot J., *MRI In Practice*, Blackwell Publishing, 2005.
13. Strzelecki M., Materka A., Kociński M., Sankowski A., Dwojakowski G., Deistung A., Reichenbach J., *Segmentacja trójwymiarowych obrazów ToF-SWI RM naczyń krwionośnych mózgu z wykorzystaniem filtracji wieloskalowej*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, 2010, nr 4, str. 367 – 371.
14. Strumiłło P., Materka A., *Systemy teleinformatyczne i urządzenia elektroniczne dla niewidomych*, Przegląd Telekomunikacyjny, nr 8 – 9, 2011, str. 710 – 712.

**prof. dr hab. inż. Andrzej Materka**  
Zakład Elektroniki Medycznej  
Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej

Władysław Mielczarski

## Nowoczesna energetyka<sup>1</sup>

Energetyka to obecnie jeden z głównych obszarów aktywności Unii Europejskiej obejmujący: politykę klimatyczną, bezpieczeństwo energetyczne, redukcję emisji, odnawialne źródła energii oraz inteligentne sieci. Energetyka może również oddziaływać negatywnie na gospodarkę. Znaczny wzrost cen energii elektrycznej może spowodować ucieczkę przemysłu do krajów o tańszej energii, a w wyniku tego stagnację gospodarki. Wysokie ceny energii mogą być jednak także impulsem do rozwoju nowych energooszczędnych technologii. W nowoczesnej energetyce, w dynamicznie zmieniającym się społeczeństwie obywatelskim, miejsce ekspertów technicznych zajmują multidyscyplinarnie wykształceni specjaliści.

W przyszłej energetyce będziemy mieli do czynienia z zastosowaniami różnych dziedzin elektrotechniki i mechaniki, a także procesów przetwarzania energii. Potrzeba będzie nowoczesnych maszyn i aparatów elektrycznych oraz przyrządów pomiarowych.

Konieczne będą nowe metody obliczania rozptyłów mocy, sterowania systemem elektroenergetycznym, a także nowe metody optymalizacji. Zastosowanie będzie miała elektronika, informatyka i telekomunikacja.

### Cechy systemu elektroenergetycznego

System elektroenergetyczny to jeden z największych systemów sterowanych na bieżąco (*on-line*), kluczowy dla życia i rozwoju społeczeństwa. Na przykład w europejskim systemie UCTE, do którego należy też Polska, pracuje synchronicznie 6000 dużych i średnich generatorów utrzymując precyzyjnie częstotliwość z dokładnością do setnych części herca.

System ten posiada wyjątkowe cechy, jak na przykład brak możliwości magazynowania energii. W tej sytuacji, bilansowanie odbiorców energii i produkcji musi następować w czasie rzeczywistym z zachowaniem wszystkich kryteriów technicznych pracy urządzeń wytwórczych i sieci przesyłowej. Łatwo o awarię, a duża awaria systemowa, zwana Black-out może mieć nieobliczalne skutki.

<sup>1</sup> W artykule wykorzystano materiały z prezentacji pod tym samym tytułem wygłoszonej na seminarium z okazji 50 rocznicy Oddziału Łódzkiego PTETiS w dniu 28 czerwca 2011 na Politechnice Łódzkiej.