


**Prof. Zbigniew Nawrat**

jest fizykiem.  
 Doktorat nauk  
 medycznych obronił  
 z zakresu sztucznego  
 serca, habilitacja  
 dotyczyła robotów  
 chirurgicznych.  
 Dyrektor Instytutu  
 Protez Serca  
 Fundacji Rozwoju  
 Kardiologii  
 im. prof. Zbigniewa  
 Religi w Zabrze.  
 Pracuje w Katedrze  
 Kardiologii  
 i Transplantologii  
 Śląskiego Uniwersytetu  
 Medycznego.  
 Założyciel  
 Międzynarodowego  
 Stowarzyszenia  
 na rzecz Robotyki  
 Medycznej.  
 Współtwórca  
 polskiego systemu  
 wspomagania  
 serca oraz robota  
 chirurgicznego  
 Robin Heart.  
 nawrat@frk.pl

Ludzie łączą moje nazwisko z pierwszą transplantacją serca w Polsce. Ale wiem, że gdybym ja nie spróbował, to może cztery, a może pięć lat później inni zrobiliby tę operację. Jestem natomiast przekonany, że nikt nie zająłby się tworzeniem polskiego sztucznego serca. Gdybym nie walczył o stworzenie tego urządzenia, dziś kilkaset osób już by nie żyło, bo nie byłoby sztucznych komór, które uratowały im życie i zdrowie.

*Zbigniew Religa*



# MASZYNY

**prof. Zbigniew Nawrat**

Fundacja Rozwoju Kardiologii  
 im. prof. Zbigniewa Religi

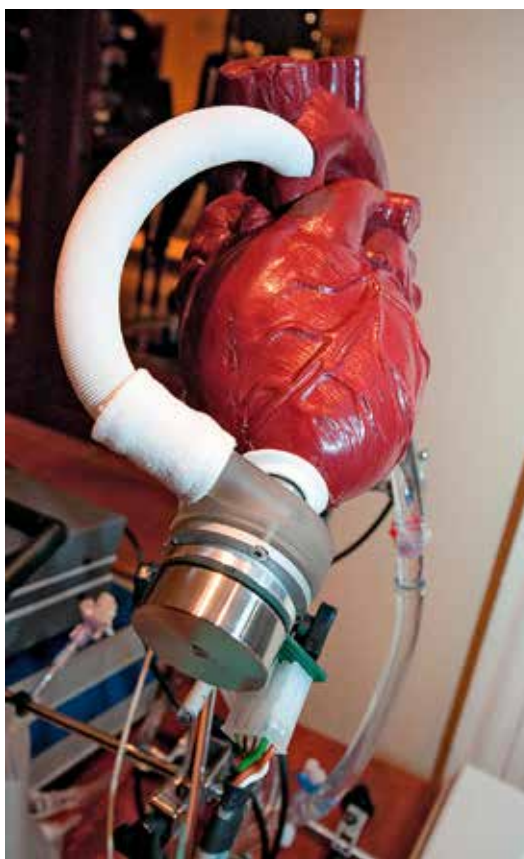
**Z**jemy coraz dłużej – mężczyźni przeciętnie 73,8 lat (4 lata krócej niż średnia długość życia w UE), kobiety 81,6 lat (1,4 roku krócej). Według raportu Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego „Sytuacja zdrowotna ludności Polski i jej uwarunkowania” rocznie umiera ok. 1% populacji Polski, przy czym 45% zgonów następuje w wyniku chorób układu krążenia, 25% na skutek nowotworów, a 7% jest związanych z urazami i zatruciami. W rankingu Europejskiego Konsumentckiego Indeksu Zdrowia (EHCI) oceniającego jakość usług zdrowotnych Polska znalazła się w 2016 r. na 31. miejscu na 37 analizo-

wanych krajów. W praktyce oznacza to, że pacjenci cierpiący na pewne schorzenia żyją w Polsce znacznie krócej niż w innych krajach, chociażby w sąsiednich Czechach. Naszej służbie zdrowa brakuje transparentności, otwartości, oceny skuteczności leczenia u świadczeniodawców, mamy natomiast nadmiar kolejek i zmarnowanych szans na przywrócenie zdrowia wielu chorym.

## Nauczyciele

Zastanawiałem się wiele razy, jak dzisiejszy stan służby zdrowia skomentowałby mój najważniejszy nauczyciel, prof. Zbigniew Religa. Poznałem go w czasie, gdy mógł niemal wszystko. Kiedy zaplanował wszczepienie człowiekowi świńskiego serca, co było wtedy jedynym ratunkiem, zadzwonił najpierw do księdza Tischnera, a dopiero później do odpowiedniego ministra. Dla mnie jednak jego najważniejszą nauką pozostanie to, że pokazał mi chorego z jego ludzką słabością i ludzką wielkością. Nie zgadzał się na śmierć pacjentów, cho-

## POLSKIE SZTUCZNE SERCE



Komory POLVAD:  
-EXT, -ROT oraz -ROT2.

Na str. 36:  
Robin Heart.

# DLA ŻYCIA

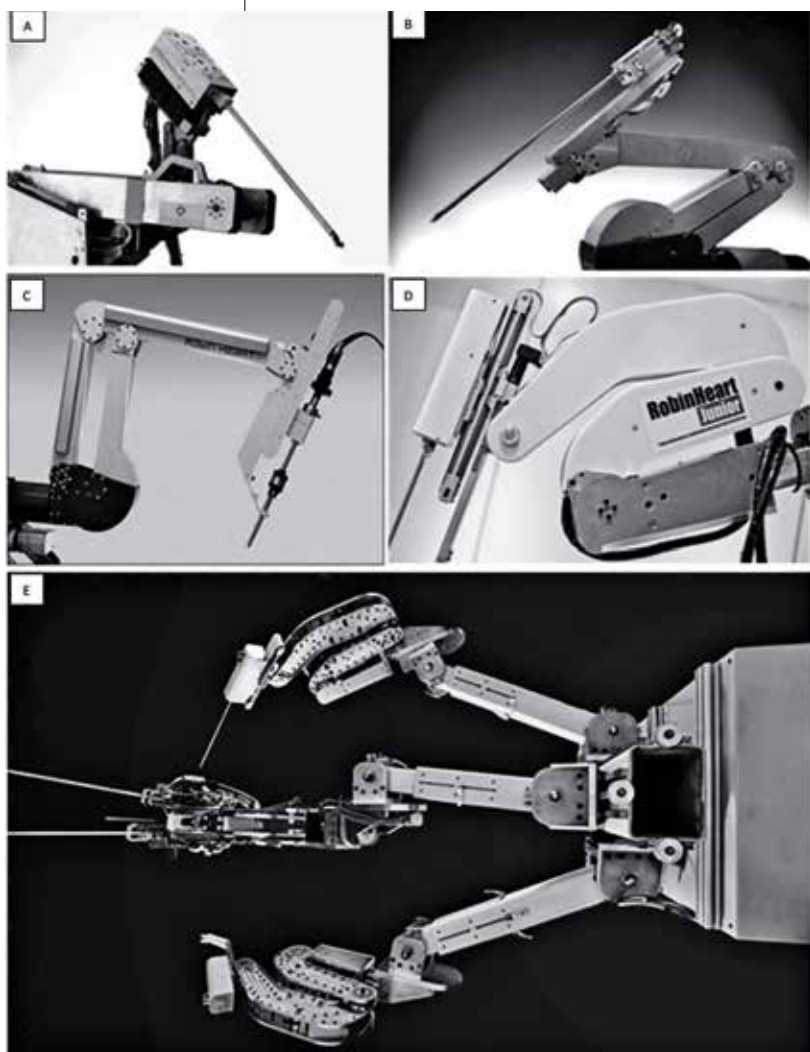
ciaż pomóc im można było jedynie poza obowiązującymi standardami, sięgając granic ówczesnej wiedzy i możliwości technicznych. To jego podejście zmieniło i mnie, i wiele innych osób, które miały szczęście znaleźć się w kręgu jego oddziaływania.

Skończyłem studia w zakresie fizyki teoretycznej, ale swoją ścieżkę zawodową skierowałem w stronę nauk o życiu i rozpocząłem pracę w Katedrze Biofizyki Śląskiej Akademii Medycznej (obecnie Śląski Uniwersytet Medyczny). W tym czasie do Zabrze trafił docent Zbigniew Religa. Jego pacjenci oczekujący na transplantację serca potrzebowali pompy krwi – urządzenia, które byłoby w stanie przez wiele miesięcy zastępować szwankujące serce, do czasu, gdy znajdzie się dawca przeszczepu. I tak właśnie rozpocząłem pracę nad polskim sztucznym sercem, we współpracy z inż. Romanem Kustoszem. Do naszego zespołu ściągnąłem też kolegę ze studiów, fizyka Zbigniewa Małotę, specjalistę w dziedzinie laserów, bo chcieliśmy „podglądać” przepływ krwi, by nasze pompy jej nie szkodziły. Nie spodziewałem się, że wkrótce po-

tem znajdę się obok lekarzy na sali operacyjnej, gdzie następnie spędziłem tysiące godzin, odpowiadając za sterowanie pompami wspomagającymi lub zastępującymi serce.

## Fundacja

Amerkańskie doświadczenia prof. Religi zaowocowały pomysłem fundacji, która umożliwiłaby realizację marzeń o tworzeniu i wdrażaniu nowych urządzeń i technologii w kardiologii. W ten sposób w 1991 r. powstała Fundacja Rozwoju Kardiologii, instytucja umożliwiająca pozyskiwanie środków finansowych i twórczą pracę w niezwyklej, swobodnej atmosferze. Fundacją kieruje od początku dr Jan Sarna, a obecnie nosi ona imię swego twórcy. Jest ona właścicielem ośrodka badawczo-wdrożeniowego o nazwie Instytut Protez Serca, gdzie w trzech pracowniach: Sztucznego Serca, Bioinżynierii oraz Biocybernetyki, inżynierowie, fizycy, chemicy i biologowie opracowują materiały i urządzenia potrzebne do leczenia pacjentów z nie-



wydolnym sercem. Do Instytutu przenieśliśmy prace nad polskim sztucznym sercem i w nim rozpoczęliśmy pracę na protezami zastawek serca, biotechnologicznymi sposobami ratowania serca, symulacjami operacji chirurgicznych i robotami medycznymi.

## Protezy serca

Na początku mojej kariery naukowej pracowałem w zespole Katedry Biofizyki Śląskiej Akademii Medycznej nad równaniami transportu membranowego, które miały potencjalne zastosowania w opracowaniu sztucznej nerki. Współpracę z Katedrą Kardiologii prof. Zbigniewa Religi podjąłem, kiedy pojawiła się potrzeba stworzenia urządzenia podtrzymującego przy życiu pacjentów czekających na przeszczep. W ten sposób trafiłem do Pracowni Sztucznego Serca, a później utworzyłem Pracownię Bioprzepływów, nazywaną później Pracownią Biocybernetyki. W Pracowni Sztucznego Serca zaprojektowałem pompy krwi, czyli sztuczne serce i komory wspomaganie serca. Prace nad sztucznym sercem rozpoczęliśmy od prostych

modeli i badań anatomicznych. Opracowaliśmy system testowania naszych modeli i po eksperymentach na zwierzętach zaczęliśmy wdrażanie kliniczne tych rozwiązań. Taki sam schemat miały prace nad nowego typu zastawką. Niewydolność serca spowodowaną nieprawidłowym działaniem zastawek serca, które kierują przepływem krwi w sercu, można uleczyć, naprawiając lub wymieniając je na protezy. Protezy zastawek serca rozwijane są od prawie 60 lat na świecie w dwóch kierunkach: jako zastawki mechaniczne (jedno- lub dwudyskowe, które zastąpiły pionierskie zastawki kulowe) lub biologiczne. Materiał do tworzenia biologicznych zastawek serca można pozyskać ze zwierząt (wtedy musimy stosować chemiczną obróbkę materiału, by pokonać bariery immunologiczne) lub ze zwłok. Zastawki mogą być w specjalnej oprawie zwanej stentem, który ułatwia implantację, lub w formie naturalnej, bez tej konstrukcji podtrzymującej płatkę. Naszym szczególnym osiągnięciem jest stentowa zastawka mitralna, w której zastosowano świeży homografit, rozwiązanie unikatowe na świecie.

Sztuczne serce wszywa się w miejsce usuniętego serca człowieka, musi więc być specjalnie dopasowane anatomicznie i jego działanie odpowiada w 100% za przepływ krwi w organizmie. Komory wspomaganie serca mogą być implantowane (np. elektryczne małe pompy rotacyjne) lub stosowane jako pozaustrojowe, czyli połączone za pomocą specjalnych kaniul z sercem i układem krążenia, ale znajdujące się na zewnątrz pacjenta. Pompy mogą być zasilane elektrycznie (np. pompy wirnikowe) lub pneumatycznie. Pulsacyjne pompy membranowe krwi zasilane i sterowane pneumatycznie odegrały nie tylko w Polsce ważną funkcję, pokazując, że można ratować pacjentów z niewydolnym sercem w czasie oczekiwania na transplantację lub dla regeneracji serca. Dopóki nie mieliśmy możliwości wspomaganie serca w długim czasie (kilku miesięcy), nie wiedzieliśmy, że w ogóle jest taka szansa, że serce można czasem przywrócić do efektywnej hemodynamicznej pracy. W każdej historii wynalazcy i lekarza naprawdę bohaterem jest pacjent. Dobrze pamiętam historię jednego z pacjentów Tomasza Gruszczyńskiego z Bielawy, który z niewydolnością serca spowodowaną powikłaniami po grypie trafił do kliniki w Zabrze. Jego stan był tak ciężki, że istniało uzasadnione ryzyko, że nie doczeka pojawienia się dawcy. Specjalnym transportem sprowadzono dla niego pompę Berlin Heart z Niemiec i dzięki jej wspomaganie doczekał transplantacji, którą zespół prof. Religi przeprowadził w nocy z 28 na 29 maja 1991 r. Ta historia wywarła na mnie ogromny wpływ i zainspirowany niemieckimi doświadczeniami stworzyłem komorę POLVAD. Jest to unikatowe urządzenie o niesymetrycznej geometrii, optymalnej dla przepływu krwi (w jego konstrukcji pomogło nasze doświadczenie w zakresie wizualizacji laserowej przepływu). Po przeprowadzeniu serii testów na zwierzętach

wprowadziliśmy komory POLVAD do codziennego użytku w klinice kardiologii. Od tamtego czasu pozwoliły doczekać transplantacji niemal 400 pacjentom, z czego u jednej osoby działały prawie dwa lata.

Kiedy Tomasz Gruszczyński po 24 miesiącach wrócił do kliniki, bo przeszczep został odrzucony, został pierwszym pacjentem, który miał skorzystać z komór POLVAD. Z niepokojem oczekiwałem tego sprawdzianu, ponieważ od pierwszego projektu do gotowego produktu minęły niecałe dwa lata. Niestety, chociaż komory się sprawdziły, Tomek nie przeżył operacji. Jego historia i jego udział w rozwoju komór POLVAD na zawsze pozostanie w mojej pamięci. O tej pierwszej operacji w gazetach napisano później „Sukces inżyniera, porażka lekarza”. Nie jest to prawdą. W przypadku transplantacji serca można mówić albo o sukcesie pacjenta, albo o porażce nas wszystkich.

Gdy umierał prof. Zbigniew Religa, kolejni pacjenci mieli szansę doczekać przeszczepu dzięki wspomaganemu komorami POLVAD. W ramach Narodowego Programu Sztucznego Serca zmodyfikowaliśmy pulsacyjne pompy zasilane pneumatycznie – dziś pod nazwą Religa Heart produkuje je Fundacja Rozwoju Kardiologii. W Śląskim Centrum Chorób Serca w Zabrzu i pięciu innych klinikach w Polsce w każdej chwili kilkunastu pacjentów może przeżyć kolejny dzień w oczekiwaniu na przeszczep właśnie dzięki komorom POLVAD, wykorzystywane są też amerykańskie HeartMate czy HeartWare i pediatryczne Berlin Heart.

## Robin Heart

W 1999 r. prof. Religę odwiedził prof. Friedrich Mohr z Lipska, który wykonał drugą po Francuzach na świecie operację robotem da Vinci. Zapytałem wtedy, czy nie powinniśmy zacząć prac nad polskim robotem. Prof. Religa przyjął pomysł z entuzjazmem. Robot zwany Robin Heart był pierwszym narzędziem, nad jakim pracował mój zespół w Fundacji, które miało wykorzystać dla poprawy efektywności doświadczenie z symulacji operacji chirurgicznych. Wykorzystanie robota pozwalało na przeprowadzanie zabiegów o minimalnej inwazyjności, w których nie otwiera się klatki piersiowej, ale wprowadza narzędzia przez niewielkie otwory i steruje nimi zza specjalnej konsoli. Żeby stworzyć takie narzędzie, wygodne dla lekarza i skuteczne, najpierw przez wiele miesięcy nagrywaliśmy operacje i analizowaliśmy szczegółowo ruchy chirurgów.

W pierwszej fazie projektu powstały trzy modele robota: Robin Heart o, 1 i 2. Następnie opracowaliśmy prototyp Robin Heart Vision służący do sterowania położeniem endoskopowego toru wizyjnego, a w 2010 r. wprowadziliśmy multizestawowy, modułowy Robin Heart mc2. Pełna wersja robota zastępuje przy stole operacyjnym trzy osoby: pierwszego i drugiego chirurga oraz asystenta trzymającego tor

wizyjny. Wprowadziliśmy też mechatroniczne narzędzia Robin Heart Uni System, które można w szybki sposób zdemontować z ramienia robota i sterować nimi ze specjalnego uchwytu w dłoni. Przeprowadzone w latach 2009–2010 eksperymenty na zwierzętach wykazały poprawność wprowadzonych rozwiązań konstrukcyjnych i metod sterowania robotami. Robot toru wizyjnego spełnił wszystkie oczekiwania zespołu medycznego i trwają prace nad jego wdrożeniem klinicznym. Ten jednoramienny lekki przenośny robot toru wizyjnego nazwaliśmy Robin Heart.

Oprócz robotów nasz zespół jako pierwszy w Polsce zastosował w medycynie technologię przestrzeni wirtualnej. Stworzyliśmy wirtualną salę operacyjną, która służy do planowania i treningu operacji z wykorzystaniem robota. Kontynuujemy również prace nad symulacjami komputerowymi operacji oraz edukacyjnymi i treningowymi stanowiskami dla adeptów chirurgii małoinwazyjnej i robotowej.

„Robot” to jedno z niewielu słowiańskich słów, które weszły do międzynarodowego języka techniki. Po raz pierwszy użył go w 1921 r. czeski pisarz Karel Čapek. Mamy nadzieję, że polskie roboty medyczne staną się znakiem rozpoznawczym naszego wysokiego poziomu technologicznego i dbałości o pacjenta. Nazwą „robot” można określić zarówno sztuczne narządy, jak i urządzenia wspomagające lub zastępujące człowieka. Polskie sztuczne serce i roboty Robin Heart wskazują na wartość działania multidyscyplinarnych zespołów badawczych dla rozwiązywania problemów współczesnej medycyny. Roboty są niezbędne też wszędzie tam, gdzie odbywają się operacje na odległość, kiedy chirurg znajduje się w innym miejscu niż pacjent, a zabieg przeprowadzany jest za pomocą telemanipulatorów. Roboty stanowią także jedyną praktyczną szansę na wprowadzanie standaryzacji zabiegów chirurgicznych. Dzięki małej inwazyjności mogą stanowić jedyną szansę skutecznej pomocy dla pewnych grup pacjentów. Po sukcesach telekomunikacji, czyli przesyłania na odległość informacji (np. telemedycyna), nadchodzi czas na teleakcję, przesyłanie naszego działania na odległość (a do tego niezbędne są roboty).

Długość i jakość życia ciągle rośnie i od naszej pracy zależy, czy to samo będą mogły powiedzieć o sobie nasze wnuki. Chcemy dążyć do codziennego szczęścia i radości, a technologie medyczne mają to umożliwić. Odkrycia biorą się z ciekawości, ale te naprawdę przełomowe powstają z potrzeby pomocy drugiemu człowiekowi. Czasem, jak w moim przypadku, można mieć szczęście i łączyć te dwa powołania.

**ZBIGNIEW NAWRAT**

Prace badawczo-wdrożeniowe były finansowane z funduszy KBN, a następnie NCBIR oraz z kilku projektów europejskich, np. Stiff Flop oraz INCITE.

Chcesz wiedzieć więcej?

- A. Ślęzak, B. Turczyński, Z. Nawrat (1989). Modification of the Kedem-Katchalsky-Zelman Model-Equations of the Transmembrane Transport. *Non-Equilib. Thermodyn.* Vol. 14, p. 205–218.
- Z. Nawrat, R. Kustosz, Z. Religa, B. Stolarzewicz (1993). Pierwsze polskie sztuczne serce. *Polski Przegląd Chirurgiczny*, 65, 9, s. 856–869.
- Z. Nawrat (2004). Pierwszy europejski robot kardiologiczny – Robin Heart, rodem z Zabrza, gotowy do pierwszych operacji na zwierzętach. *Kardiochir. Torakochir. Pol.* T. 1 nr 2 s. 136–138.
- Z. Małota, Z. Nawrat, P. Kostka (2007). Computer and physical modeling of blood circulation pump support for a new field of application in palliative surgery. *Int. J. Artif. Organs*. Vol. 30 No 12, p. 1058–1074.
- Zbigniew Nawrat Innowacje – próba manifestu. Postępy technologii biomedycznych. Red. Z. Nawrat 2007.