

Katedra Systemów i Urządzeń Radiokomunikacyjnych – historia i perspektywy rozwoju badań oraz dydaktyki

1. Zakres badań i kształcenia w latach 1952-1983

Historia obecnej Katedry Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej sięga 1952 r., gdy powstał Wydział Łączności, na którym powołano m.in. Katedrę Radiotechniki Nadawczej kierowaną przez prof. Leonarda Knocha. Z upływem czasu w Katedrze poszerzano zakres badań i kształcenia, który stopniowo objął również radiową technikę odbiorczą oraz opanowywano i wdrażano nowe technologie, od analogowych układów elektronicznych opartych na lampach elektronowych w początkowym okresie, poprzez analogowe, dyskretne układy półprzewodnikowe, a następnie cyfrowe układy scalone. Poszerzano też zakresy częstotliwości, w których prowadzono badania, wdrożenia i laboratoria dydaktyczne. Katedra od chwili powstania prowadziła kształcenie kadr inżynierskich na specjalności Radiotechnika.

W tym okresie rozwoju Katedry, tj. od 1952 r. do przełomu lat 60. i 70., można odnotować wiele znaczących osiągnięć naukowych i wdrożeniowych, zarówno w zakresie radiowej techniki nadawczej jak i odbiorczej. Radiowa technika nadawcza występowała początkowo w pracach badawczych związanych z teorią generacji i stabilizacji częstotliwości generatorów, modulacji i konstrukcji nadajników dla radiokomunikacji morskiej w pasmie 40 MHz, konstrukcji falomierzy heterodynowych w zakresie do 400 MHz i budowy radiolinii do przesyłania sygnałów telewizyjnych. Pod koniec lat 50. zespół pracowników Katedry pod kierunkiem prof. L. Knocha opracował technikę półprzewodnikowych wzmacniaczy mocy do nadajników radiowych na pasmo kilkunastu MHz, wprowadził technikę jednowstęgową do radiokomunikacji morskiej i stał się jednostką wiodącą w zakresie tranzystoryzacji morskiego sprzętu radiokomunikacyjnego. W 1959 r. został zbudowany prototyp radiotelefonu UKF dla Ministerstwa Zdrowia, a następnie została zaprojektowana sieć łączności UKF dla Przedsiębiorstwa Transportu Budownictwa Przemysłowego w Katowicach. Zespół prof. L. Knocha brał także udział w modernizacji i rozbudowie radiostacji Odra-Port Radio w Szczecinie. W latach 60. były m.in. prowadzone prace badawcze nad redukcją promieniowania niepożądanego przez radiostacje, generacją i stabilizacją częstotliwości generatorów dla Zakładów Radiowych RADMOR w Gdyni, pozahoryzontową propagacją fal metrowych oraz propagacją fal w środowiskach niezjonizowanych z uwzględnieniem wpływu troposfery. W tym czasie zostały również skonstruowane radiotelefony dla kopalni odkrywkowej węgla brunatnego w Koninie i zaprojektowano sieć radiokomunikacji ruchomej dla przedsiębiorstw gospodarki komunalnej we Wrocławiu.

Badania oraz dydaktyka w zakresie radiowej techniki odbiorczej dotyczyły w omawianym okresie techniki układów parametrycznych oraz klasycznej techniki odbioru radiowego, obejmującej analizę i projektowanie odbiorników radiowych, a więc dotyczącej filtrów wielkiej i pośredniej częstotliwości, minimalizacji szumów własnych stopni wielkiej częstotliwości, przemiany częstotliwości, demodulacji oraz układów automatycznej regulacji wzmacnienia i częstotliwości.

Wdrożenia prac badawczych w zakresie radiowej techniki odbiorczej dotyczyły m.in. zaprojektowania w latach 60. radiolinii na pasmo 2 GHz, przeznaczonej dla łączności wewnątrzwojewódzkiej, konstrukcji falomierzy, wzmacniaczy tunelowych i mieszaczy diodowych. Do procesu dydaktycznego wprowadzono wykłady i laboratoria z propagacji fal radiowych, techniki antenowej i miernictwa radiokomunikacyjnego.

W rezultacie tego rozwoju wysiłek badawczy i kształcenie kadr inżynierskich w coraz większym stopniu zaczęły koncentrować się na systemach radiokomunikacyjnych i na początku lat 70. powstał Zakład Systemów i Urządzeń Radiokomunikacyjnych, kierowany przez prof. L. Knocha, w ówczesnym Instytucie Telekomunikacji.

Odtąd Zakład prowadził prace badawcze i wdrożeniowe w zakresie wzmacniaczy mocy do radiostacji okrętowych produkowanych przez Zakłady UNIMOR w Gdańsku, terminala okrętowego morskiego systemu łączności satelitarnej INMARSAT na pasmo 1645 MHz oraz teorii i techniki anten, zwłaszcza anten spiralnych, short-backfire i yagi. Pod koniec lat 70. zostały opublikowane przez pracowników Zakładu dwie książki: "Modulacja i detekcja" (L. Knoch, T. Ekiert, WKiŁ, 1979) oraz "Systemy radiokomunikacji satelitarnej" (praca zbiorowa pod redakcją L. Knocha, WKiŁ, 1980).

2. Tematyka badawcza i kształcenie w latach 1983-2006

Po przejściu prof. L. Knocha na emeryturę w 1983 r., kierownictwo Zakładu objął autor tej pracy. Nastąpiła wtedy reorientacja działalności badawczej, wdrożeniowej i dydaktycznej Zakładu w kierunku cyfrowych systemów

radiokomunikacyjnych. Oprócz kształcenia kadr inżynierskich w specjalności *Systemy Radiokomunikacyjne*, Zakład podjął się również kształcenia w nowej specjalności *Radiokomunikacja i Telewizja*.

Prace badawcze i rozwojowe pod kierunkiem doc. dr hab. inż. D. Rutkowskiego w latach 1983-1989 objęły początkowo opracowywanie i wdrażanie metod cyfrowego przesyłania sygnałów w systemach radiokomunikacyjnych, w tym metod cyfrowej modulacji i detekcji, kodowania i dekodowania kanałowego oraz wprowadzanie nowoczesnego podejścia do analizy i optymalizacji cyfrowego odbioru sygnałów, opartego na modelach probabilistycznych, gdy w grę wchodzi szum, zakłócenia i zaniki w kanałach. Były też kontynuowane prace z zakresu propagacji fal radiowych i techniki antenowej. Ponadto prace badawcze objęły również teleinformatykę, a w tym technikę radiowych sieci komputerowych oraz kryptografię komputerową, protokoły komunikacyjne i stosowne oprogramowanie. Z upływem czasu zostały też podjęte prace nad sterowaną przez mikroprocesor syntezą częstotliwości w systemach radiokomunikacyjnych i sterowanym przez mikroprocesor odbiornikiem telewizyjnym.

W ramach wdrożeń w Zakładzie zostały zaprojektowane i wykonane dla Zakładów UNIMOR urządzenia i oprogramowanie do lokalnej sieci mikrokomputerowej, opartej na protokole komunikacyjnym I^2C , do odbiornika telewizji kolorowej dla potrzeb sterowania syntezą częstotliwości i balansem bieli. Opracowano także urządzenia do cyfrowego systemu zdalnego sterowania znakami nawigacyjnymi na polskim Wybrzeżu dla Urzędu Morskiego w Gdyni. Zakład wykonał ponadto urządzenia i oprogramowanie do celów szyfracji i deszyfracji, oparte na własnych, oryginalnych rozwiązaniach, dla Narodowego Banku Polskiego.

W roku 1989 autor tej pracy otrzymał tytuł naukowy profesora i stopniowo ukierunkowywał prace badawcze i dydaktyczne w latach 1989-2000 na zagadnienia systemów i sieci komórkowych oraz trankingowych i ich projektowania, w tym adaptacyjne odbiorniki cyfrowe, kodowanie źródłowe sygnałów mowy, komputerowe modelowanie kanału radiokomunikacyjnego z zanikami, szumem i efektem Dopplera, analizę i badania symulacyjne jakości transmisji w systemie komórkowym GSM i systemie trankingowym TETRA, systemy komórkowe z rozpraszaniem widma sygnałów i dynamiczne sterowanie mocą oraz cyfrowy odbiór wielodrogowy sygnałów w takich systemach w oparciu o odbiornik RAKE. Były też w dalszym ciągu rozwijane badania z zakresu techniki antenowej, propagacji fal i kompatybilności elektromagnetycznej. Liczne publikacje zagraniczne autora tej pracy sprawiły, że został laureatem międzynarodowego konkursu i w 1990 r. został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego w Uniwersytecie w Aalborgu, Dania. Warto wspomnieć, że podczas kilkuletniej pracy w Uniwersytecie w Aalborgu autor tej pracy opracował nowatorski odbiornik adaptacyjny RAKE, który został z dużym sukcesem zrealizowany jako układ scalony VLSI w koncernie Ericssona w 1994 r.

Zakład Systemów i Urządzeń Radiokomunikacyjnych przekształcił się ponownie w 1991 r. w Katedrę Systemów i Urządzeń Radiokomunikacyjnych i po powrocie prof. D. Rutkowskiego z Danii i powołaniu go na stanowisko profesora zwyczajnego w Politechnice Gdańskiej w 1996 r. zostały podjęte, przez kierowany przez niego zespół pracowników Katedry, jeszcze bardziej ambitne tematy badawcze oraz nastąpiło przyspieszenie procesu modernizacji kształcenia. Przyznane Katedrze granty KBN na badania naukowe i aparaturę, a także krajowe i zagraniczne dary sprzętowe oraz oprogramowanie i dary literaturowe, pozwoliły osiągnąć wysoki poziom badań i kształcenia. W krótkim czasie prowadzona przez Katedrę specjalność *Systemy Radiokomunikacji Ruchomej*, stała się najbardziej popularną na Wydziale i 5-krotnie wzrosła na niej liczebność studentów. W roku akademickim 1995/96 przybył do Katedry prof. Kurt Kosbar z Missouri University, USA, jako *visiting professor* w ramach programu Fulbrighta, co umożliwiło studentom specjalności oswojenie się z kształceniem w j.angielskim, zwłaszcza że większość z nich była zatrudniana po ukończeniu studiów przez duże międzynarodowe koncerny. Dalsza współpraca naukowa Katedry z Uniwersytetem w Aalborgu i kilkakrotne, długoterminowe wyjazdy zagraniczne dr inż. R. Katulskiego do tego Uniwersytetu w celu skorzystania z bardzo kosztownej i unikatowej bazy pomiarowej, niedostępnej w kraju, przyspieszyły dokończenie jego rozprawy habilitacyjnej z techniki antenowej i uzyskanie stopnia doktora habilitowanego w 1999 r.

Badania naukowe i wdrożenia w Katedrze w latach 2000-2006 były organizowane w oparciu o szereg grantów naukowo-badawczych, promotorskich i aparaturowych. Nastąpiło w tym czasie dalsze poszerzenie i pogłębienie badań prowadzonych dotychczas w Katedrze oraz podjęcie nowej atrakcyjnej tematyki. W szczególności podjęto badania nad efektywnością jednej z metod rozpraszania widma sygnałów, jaką jest powolny hopping częstotliwościowy i jego wykorzystanie w systemie GSM. Na tej podstawie określono ilościowo poprawę jakości transmisji oraz wpływ na zasięgi i projektowanie topologii sieci, jaką zapewnia ta metoda. Były także prowadzone prace nad jakością transmisji dla kolejnych ulepszeń systemu GSM, a mianowicie podsystemów HSCSD, GPRS, EGPRS i EDGE. Podjęto też badania podstawowe z zakresu metody szybkiego hoppingu częstotliwościowego, jej realizacji i oceny osiągniętej jakości transmisji. Metoda ta jest bardzo odporna na zakłócenia oraz zaniki i jest szczególnie cenna w radiostacjach wojskowych najnowszej generacji.

Największy wysiłek badawczy w latach 2000-2006 został jednak skupiony na systemie UMTS i jego rozwoju. Trzeba tu wymienić w szczególności analizę i badania symulacyjne nad wymiennością jakości transmisji, osiąganych zasięgów i pojemności. W rezultacie tych badań powstały uniwersalne rodziny krzywych, odzwierciedlające zależności zasięgów i pojemności dla różnych rodzajów usług i niezbędnej dla nich jakości. Stanowi to duże osiągnięcie z uwagi na brak metod projektowania sieci UMTS z powodu ogromnej złożoności jej funkcjonowania i wzajemnych, uwikłanych powiązań między różnymi charakterystykami potrzebnymi do jej projektowania. Dlatego też do tej pory projektowano sieć UMTS na podstawie doświadczeń w zakresie projektowania sieci GSM, które są z podanych powodów obarczone znacznymi błędami, co znajduje potwierdzenie w licznych publikacjach w literaturze światowej. Dodatkową trudność w projektowaniu sieci UMTS stanowi wielowarstwowa (tzw. parasolowa) struktura sieci komórkowej tego systemu. Wpływ tej struktury na projektowanie sieci został również podjęty i uzyskano już cenne wyniki dla struktury dwuwarstwowej. Badania nad systemem UMTS objęły też inne zagadnienia. Należy do nich turbokodowanie, które zapewnia najwyższą jakość transmisji, zwłaszcza w przypadku usług transmisji danych z wykorzystaniem protokołu IP. W toku tych badań osiągnięto znaczną redukcję złożoności algorytmu turbodekodowania, która stanowiła dotąd przeszkodę w praktycznej implementacji turbokodowania. W omawianym okresie pogłębiono także badania w zakresie odbiornika RAKE i dynamicznego sterowania mocą w systemie UMTS, opracowując ulepszony algorytm sterowania mocą, zapewniający wyższą jakość odbioru oraz zbadano wpływ długości ciągu pilotowego na szacowanie odpowiedzi impulsowej kanału i poprawę jakości odbioru wielodrogowego. W latach 2000-2006 zbadano także zagadnienia kompatybilności między systemami GSM i UMTS, pracującymi w tym samym zakresie częstotliwości. Uzyskane wyniki pokazują, że można ogromnie zwiększyć efektywność wykorzystania pasma, tj. można osiągnąć dużą dodatkową pojemność dla systemu UMTS, bez degradacji jakości systemu GSM, pomimo użytkowania tego samego pasma przez obydwa systemy.

Odrębną tematykę rozwijaną w Katedrze stanowi tematyka wyznaczania położenia terminala w sieciach komórkowych. W tym zakresie zostały w Katedrze opracowane 3 nowe metody wyznaczania położenia terminala przeznaczone dla sieci UMTS, które znalazły duży oddźwięk międzynarodowy.

W Katedrze były w tym czasie prowadzone również badania nad modelem propagacji fal w środowisku miejskim dla potrzeb projektowania radiowych łączy dostępowych, w wyniku których uzyskano nowy model na podstawie rozległych badań pomiarowych. Na uwagę zasługuje ponadto opracowany w Katedrze nowatorski model topologiczny okrętowego środowiska elektromagnetycznego dla potrzeb badań uwarunkowań elektromagnetycznych. W dalszym ciągu są w Katedrze kontynuowane badania and rozwojem teorii i techniki systemów antenowych, w tym anten adaptacyjnych

Zespół pracowników Katedry jest szczególnie znany w kraju i za granicą z prac badawczych w zakresie teorii i techniki rozpraszania widma sygnałów. Do niedawna całe sesje na corocznej Krajowej Konferencji Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji były obsadzone wyłącznie pracami autorów wywodzących się z Katedry. Stało się to możliwe dzięki zaangażowaniu zespołu pracowników Katedry w zagadnienia optymalizacji odbioru i nieustanny rozwój uniwersalnego, programowego narzędzia symulacji kanału radiokomunikacyjnego z zanikami, szumem i efektem Dopplera.

Obok kilku grantów promotorskich realizowanych w ostatnim czasie, na uwagę zasługują granty naukowo-badawcze i prace wdrożeniowe, m.in. prace nad radiowym systemem monitorowania ładunków kontenerowych w morskim porcie handlowym, systemem lokalizowania terminali komórkowych w strefie przybrzeżnej na morzu, uniwersalnym miernikiem stopy błędów dla torów światłowodowych dla firmy Vector i mobilnym systemem radiowym monitoringu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, który powstaje przy współpracy z Wydziałem Chemicznym Politechniki Gdańskiej.

Osiągnięcia naukowe Katedry w ostatnich 6 latach obejmują ok. 250 publikacji, w tym kilkanaście z listy filadelfijskiej oraz 10 wypromowanych doktorów, w tym 8 przez prof. D. Rutkowskiego i 2 przez dra hab. inż. R. Katulskiego, spośród ogólnej liczby 24 doktorów, którzy uzyskali doktoraty pod kierunkiem samodzielnych pracowników naukowych Katedry, w tym pod kierunkiem prof. L. Knocha – 5 osób, prof. D. Rutkowskiego – 17 osób i dra hab. inż. R. Katulskiego – 2 osoby. Pięciu doktorów z tej liczby osiągnęło później tytuły lub stanowiska profesora, w tym 2 osoby za granicą (Australia i Niemcy). Pracownicy Katedry uzyskali w ostatnich kilku latach 8 nagród Rektora za prace naukowo-badawcze.

O randze osiągnięć Katedry w kraju świadczy wybór prof. D. Rutkowskiego do Rady Naukowej Instytutu Łączności w Warszawie i Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN oraz wybór dra hab. inż. R. Katulskiego, prof. nadzw. PG, w skład Komisji Astronautyki i Technik Kosmicznych Komitetu Badań Kosmicznych PAN i na przewodniczącego Rady Naukowej Centrum Techniki Morskiej w Gdyni.

3. Stan aktualny i perspektywy rozwoju

Wobec bardzo gwałtownego rozwoju systemów radiokomunikacyjnych i ich wielorakich zastosowań, są i będą w dalszym ciągu w Katedrze prowadzone badania nad rozwojem systemu UMTS, zwłaszcza w zakresie szybkiej transmisji danych w łączu w dół i w górę, tj. podsystemów HSDPA i HSUPA. Powstaje też komputerowy system ekspertowy do projektowania sieci UMTS w oparciu o własne rozwiązania. Rozwijają się badania w zakresie wieloantenowej techniki nadawczej i odbiorczej (MIMO), zapewniające równoległą transmisję danych w kanale oraz badania nad systemami bezprzewodowymi dotyczącymi m.in. UWB i mobilnego systemu WiMAX. Kontynuowane są prace badawcze nad nową generacją systemu TETRA. Ponadto zintensyfikowane zostały badania nad optymalizacją funkcji nadawczo-odbiorczych i usług telekomunikacyjnych oraz redukcją złożoności obliczeniowej algorytmów przetwarzania realizujących te funkcje i usługi, co umożliwi budowę wielosystemowych i wielousługowych terminali programowalnych. Prowadzone są także prace nad rozwojem teorii i techniki rozwiązań antenowych oraz uwarunkowaniami propagacyjnymi w systemach telekomunikacji bezprzewodowej i systemami bezprzewodowego monitoringu różnego rodzaju zagrożeń. Katedra otrzymała też z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego duży grant aparaturowy na budowę środowiskowego laboratorium badawczego Cyfrowych Szerokopasmowych Technologii Mobilnych. Na ukończeniu jest zespołowa monografia pt. „UMTS – globalny system radiokomunikacji ruchomej” i przygotowuje się monografia z zakresu propagacji fal w systemach radiokomunikacyjnych. W poważnym stopniu jest zaawansowana rozprawa habilitacyjna dra inż. Jacka Stefańskiego.

Zespół pracowników Katedry zwracał zawsze szczególną uwagę na nieustanne unowocześnianie dydaktyki. Dotyczyło to także ostatniego 6-letniego okresu. Przede wszystkim pracownicy Katedry zaprojektowali w tym czasie i wykonali ogółem 33 układy do laboratoriów kierunkowych i specjalistycznych oraz opracowali do nich towarzyszące oprogramowanie. Wszystkie wykłady są prowadzone przez Katedrę w oparciu o starannie przygotowane i nieustannie unowocześniane materiały wykładowe, prezentowane za pomocą rzutników komputerowych. Do laboratorium *Technika bezprzewodowa* został przygotowany skrypt. Także duży wysiłek został włożony w przygotowanie nowoczesnych projektów grupowych i dyplomowych. W rezultacie pracownicy Katedry uzyskali wysokie oceny za projekty grupowe, w tym 4 nagrody i wyróżnienia Dziekana, a dyplomanci otrzymali 13 dyplomów z wyróżnieniami oraz 7 dyplomów za wybitne prace dyplomowe. Specjalność Systemy Radiokomunikacji Ruchomej i specjalność Systemy i Usługi Radiokomunikacyjne, która stanowi jej kontynuację, jest w ostatnich 6 latach najbardziej popularna spośród 9 specjalności na kierunku studiów Elektronika i Telekomunikacja.

Katedra otrzymała w ostatnich kilku latach szereg pisemnych podziękowań za wysoki poziom kształcenia inżynierów, w tym m.in. z firm Lucent Technology, Nokia i Radmor, a także kilkunastu absolwentów otrzymało indywidualne wyróżnienia zawodowe, m.in. złotą statuetkę i tytuł „Engineer of the year 2005” w koncernie Nokia w USA. Pracownicy Katedry otrzymali też 9 nagród dydaktycznych Rektora Politechniki Gdańskiej.

Podsumowując, można stwierdzić, że zarówno naukowy jak i dydaktyczny rozwój Katedry przebiega pomyślnie, pomimo niewielkiej liczbowo kadry nauczycieli akademickich w niej zatrudnionych.



Mgr inż. Małgorzata Gajewska przy pomiarach charakterystyk filtra pasmowo-przepustowego



Studenci IV roku studiów w laboratorium z *Miernictwa radiokomunikacyjnego* prowadzonym pod kierunkiem dr inż. Grażyny Perskiej



Zespół pracowników Katedry

Od lewej do prawej stoją: mgr inż. Bronisława Rauhut-Sobczak, dr inż. Kazimierz Walewski, dr inż. Grażyna Perska, mgr inż. Jarosław Sadowski, dr hab. inż. Ryszard Katulski, prof. nadzw. PG – Prorektor PG ds. Nauki i Wdrożeń, mgr inż. Andrzej Białowas, prof. dr hab. inż. Dominik Rutkowski, prof. zw. PG – kierownik Katedry, dr inż. Andrzej Marczak, mgr inż. Małgorzata Gajewska, dr inż. Wiktor Pawłowski, dr inż. Sławomir Gajewski, dr inż. Jacek Stefański, dr inż. Bogdan Gościcki