

# *Pół wieku innowacji – prace Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu*

*Opracowanie zbiorowe*

*Omówiono główne kierunki prac badawczych w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej, prowadzonych w Oddziale Instytutu Łączności we Wrocławiu od momentu jego powstania. Podkreślono ich pionierski, a jednocześnie użyteczny charakter i szeroki zakres, obejmujący również prace normalizacyjne i konstrukcyjne oraz współpracę międzynarodową.*

*historia Oddziału IŁ we Wrocławiu, kompatybilność elektromagnetyczna, pomiary zakłóceń, normalizacja, anteny, planowanie sieci radiowo-telewizyjnych*

## **Wprowadzenie**

Powstanie i działalność Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu wiążą się z procesem odbudowy kraju. Zdziesiątkowana kadra inżynierska, która przetrwała okres wojny lub ukończyła naukę po wojnie, była zdana w znacznej mierze na własne siły i inicjatywy lokalne. Na Dolnym Śląsku inicjatywę taką w dziedzinie radia podjęli Tadeusz Tomankiewicz (prof. Politechniki Wrocławskiej) oraz Wilhelm Rotkiewicz (prof. Politechniki Wrocławskiej i Politechniki Warszawskiej).

Wilhelm Rotkiewicz od końca 1945 r. zajmował się organizacją Państwowej Fabryki Odbiorników Radiowych w Dzierżoniowie (późniejsza Diora), w której do 1947 r. pełnił funkcję dyrektora naczelnego. Wtedy właśnie stanął na czele Centralnego Laboratorium Konstrukcyjnego. Jako dyrektor Państwowej Fabryki Odbiorników Radiowych uruchomił pierwszą po wojnie produkcję odbiorników radiowych. Były to odbiorniki typu AGA na szwedzkiej licencji. Natomiast w Centralnym Laboratorium Konstrukcyjnym zajęli się konstruowaniem pierwszego polskiego powojennego odbiornika Pionier. Odbiornik ten, produkowany masowo, odegrał wielką rolę w bezprzewodowej radiofonizacji kraju ze względu na prostotę konstrukcji i przystępną cenę.

W 1953 r. Tadeusz Tomankiewicz, dyrektor Zespołu Stacji Nadawczych we Wrocławiu, podjął się adaptacji nie zniszczonej w czasie wojny anteny jedyne lokalnego nadajnika radiofonicznego na falach średnich we Wrocławiu, zlokalizowanego w Żórawinie. Antena ta wymagała dostosowania do pracy na innej częstotliwości niż ta, dla której była zbudowana. Zaprosił swoich czterech studentów-dyplomantów (L. Frydrycha, R. Frydrycha, W. Moronia oraz R. Strużaka) i utworzył Ośrodek Badawczo-Doświadczalny Centralnego Zarządu Radiostacji we Wrocławiu. Ten skromny zespół pod jego kierownictwem wykonał niezbędne pomiary i obliczenia, zaprojektował oryginalne elementy kształtujące właściwy rozkład prądu w antenie oraz uruchomił system antyzanikowy. Adaptację anteny pomyślnie zrealizowano, co dało znaczne polepszenie słyszalności stacji Wrocław, bez dodatkowych kosztów. Uznano to wówczas za duży sukces.

*Autorzy opracowania zbiorowego: Ryszard Strużak, Janusz Sobolewski, Maciej Grzybkowski, Marek Kałuski, Mirosław Pietranik, Stanisław Siczek, Piotr Tyrawa i Dariusz Więcek.*

W 1956 r. Ośrodek Badawczo-Doświadczalny, bez zmiany personelu, tematyki prac i kierownictwa, został przekształcony w Oddział Instytutu Łączności we Wrocławiu, a właściwie w Zakład Anten. Przy tej okazji utworzono nową Pracownię Badania Zakłóceń Radioelektrycznych (pod opieką naukową Wilhelma Rotkiewicza), która później przekształciła się w Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej, istniejący do dzisiaj. Siedziba Oddziału mieściła się przy ul. Wróblewskiego 12.

## Anteny

Prace z dziedziny anten są prowadzone aż do chwili obecnej. W latach 1961–1964 koncentrowały się na zagadnieniach propagacyjnych i badaniu anten TV od I do II zakresu. W kolejnych latach opracowano modele oraz dokumentacje profesjonalnych anten telewizyjnych (nadawczych i odbiorczych) dla sieci stacji retransmisyjnych na zakres I–V. W 1976 r. w Oddziale IŁ we Wrocławiu opracowano i wykonano podzespoły oraz uruchomiono, między innymi w ośrodku nadawczym Śnieżne Kotły, telewizyjne anteny nadawcze dużej mocy na VI zakres częstotliwości. W latach 1994–2000 zbudowano sieć (opracowano, wykonano podzespoły i przeprowadzono montaż urządzeń), w 14 terenowych oddziałach Państwowej Agencji Radiokomunikacyjnej (PAR), nowoczesnych, bezobsługowych i automatycznych stałych stacji kontroli emisji radiowej w zakresie częstotliwości od 100 kHz do 3 GHz. Pokrywają one zasięgiem cały kraj. Opracowano oraz wdrożono system programów do wyznaczania i graficznej wizualizacji rozkładów natężenia pola wokół układów antenowych, szczególnie w polu bliskim (system ANTUKF). W 2008 r. opracowano obiekt nadawczy na potrzeby Centrum Zarządzania Kryzysowego/Centrum Powiadamiania Ratunkowego (CZK/CPR) we Wrocławiu.

## Kompatybilność elektromagnetyczna i ochrona środowiska

Urządzenia elektryczne przyczyniają się do powiększenia poziomu tzw. „smogu” elektromagnetycznego, który zanieczyszcza środowisko, zwłaszcza w rejonach uprzemysłowionych i w skupiskach miejskich. Są one także potencjalnie wrażliwe na oddziaływania elektromagnetyczne, co może prowadzić do zakłóceń w działaniu wielu systemów i decyduje o niezawodności, bezpieczeństwie, wierności, zasięgu oraz koszcie przesyłania informacji za pośrednictwem sygnałów elektrycznych. Stefan Manczarski i Wilhelm Rotkiewicz podjęli pionierskie prace nad tymi zagadnieniami w Polsce jeszcze w latach dwudziestych ubiegłego stulecia.

Druga wojna światowa przerwała te prace na ponad piętnaście lat. Problematyką zakłóceń radiowych zainteresowano się ponownie z chwilą utworzenia w Instytucie Łączności we Wrocławiu, wcześniej wspomnianej, Pracowni Badania Zakłóceń Radioelektrycznych, która następnie została przekształcona w istniejący obecnie Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej. Była to pierwsza i – przez długi czas – jedyna w Polsce placówka powołana do prowadzenia prac badawczych i rozwojowych nad ochroną przed zakłóceniami, a także do koordynowania, finansowanych z budżetu państwa, prac naukowo-badawczych i normalizacyjnych w tej dziedzinie.

Wraz z postępującą miniaturyzacją i upowszechnieniem urządzeń elektronicznych wszelkiego rodzaju wzrosło znaczenie problemu ochrony przed zakłóceniami i nastąpiła ewolucja jej koncepcji. Manczarski i Rotkiewicz mówili o przeszkodach radiowych, o zakłóceniach radioelektrycznych (*Radio Frequency Interference* – RFI), o ochronie odbioru radiowego przed nimi i o zakłóceniach przemysłowych (*man-made radio noise*, dla odróżnienia od zakłóceń naturalnych, na generacje których, nie mamy wpływu). Zakłócenia przestały dotyczyć tylko aparatów radiowych, co znalazło odbicie w nowej terminologii: „zakłócenia elektromagnetyczne” (*Electro-Magnetic Interference* – EMI) dla określenia przypadkowych zakłóceń, „zamierzone zakłócenia elektromagnetyczne” (*Intentional Electro-Magnetic*

*Interference* – IEMI) dla określenia zakłóceń wywoływanych celowo (np. przez terrorystów) oraz „kompatybilność elektromagnetyczna” (*Electromagnetic Compatibility* – EMC) lub „koegzystencja”.

W przodujących krajach ochronę przed niepożądanymi emisjami elektromagnetycznymi zaliczono do ważnych problemów ogólnonarodowych, dotyczących ochrony zasobów naturalnych i środowiska człowieka. Przerwanie prac rozwojowych w tej dziedzinie w Polsce doprowadziło do zapóźnienia technologii krajowej w stosunku do poziomu światowego, co poważnie ograniczało możliwości eksportowe polskiego przemysłu elektrotechnicznego i elektronicznego na bogate rynki krajów rozwiniętych.

Najpilniejszym zadaniem w owym czasie było ograniczenie zakłóceń radioelektrycznych, występujących w odbiorze sygnałów radiowych, powodowanych przez różne urządzenia elektryczne. Z uwagi na interdyscyplinarny i międzybranżowy charakter tej działalności, IŁ zainicjował w różnych resortach wiele prac nad ograniczaniem zdolności zakłócającej, odporności na zakłócenia i bezkolizyjnych warunków pracy różnych urządzeń. Ta działalność dała pozytywne skutki: zaktywizowano i wyszkolono wielu specjalistów. Prace dotyczące podstawowych zagadnień, obejmujących więcej niż jedną branżę (takie jak, np. metody i narzędzia pomiarowe, dopuszczalne poziomy zakłóceń, metody planowania) pozostały w Instytucie Łączności we Wrocławiu.

Początkowe prace obejmowały badania niezbędne do:

- ustanowienia Polskich Norm, ograniczających generowania zakłóceń przez urządzenia elektryczne różnego rodzaju;
- ustanowienia Polskich Norm, określających jednolite metody badania urządzeń pod względem wytwarzania zakłóceń;
- ustalenia wymagań na urządzenia stosowane do kontroli zakłóceń, zapewniające porównywalność wyników badań wykonywanych w różnych laboratoriach;
- rozwoju filtrów przeciwzakłóceńowych w Polsce.

Prace te były wykonywane kierunkiem naukowym prof. W. Rotkiewicza. W następnych latach, w odpowiedzi na ówczesne potrzeby resortu łączności, prace Oddziału IŁ we Wrocławiu koncentrowały się na zagadnieniach planowania kompatybilnych systemów radiowych oraz na efektywnym wykorzystaniu zasobów radiowych.

### ***Badania urządzeń wytwarzających zakłócenia***

Badania zakłóceń radioelektrycznych rozpoczęto od urządzeń najbardziej rozpowszechnionych w kraju. Wybrano oświetleniowe lampy jarzeniowe, które masowo produkowano w Polsce już wcześniej, a zakłócenia wytwarzane przez nie były bardzo dokuczliwe przy odbiorze radiowym. Badania prowadzono we współpracy z producentami oraz innymi jednostkami badawczymi. Wyniki przedstawiono w czasopiśmie *Prace Instytutu Łączności* – był to pierwszy artykuł techniczny z tej dziedziny opublikowany w Polsce<sup>①</sup>.

Ta działalność miała duże znaczenie. Umożliwiała nabycie przez młodych pracowników doświadczenia w tej nowej w kraju dziedzinie oraz stanowiła podstawy techniczne, uzasadniające wprowadzane przepisy normalizacyjne.

<sup>①</sup> Rotkiewicz W., Strużak R.: „Zakłócenia odbioru radiowego powodowane przez oświetleniowe lampy jarzeniowe w zakresie częstotliwości od 0,15 do 30 MHz”. *Prace Instytutu Łączności*, 1959, nr 1, s. 53–73.

Obecnie Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej zajmuje się bardzo szerokim zakresem wszelkich problemów EMC, bezpieczeństwem funkcjonalnym urządzeń, zwłaszcza w specjalnych środowiskach (np. wyrobiskach górniczych).

Badania różnych źródeł zakłóceń są kontynuowane do dzisiaj w akredytowanym (przez Polskie Centrum Akredytacji – PCA) Laboratorium Badań EMC, jednym z dwóch laboratoriów Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu (Laboratorium Aparatury Pomiarowej EMC będzie przedstawione w dalszej części artykułu).



AB 666

**Laboratorium Badań EMC** (AB 666) wykonuje typowe badania w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej (zgodnie z dokumentami normalizacyjnymi IEC, CISPR, ETSI, ITU-T (CCITT) i ich krajowymi odpowiednikami): emisji zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia radioelektryczne ciągłe i nieciągłe małych urządzeń (w warunkach laboratoryjnych) oraz dużych urządzeń lub ich systemów (*in situ*).

### ***Badania podzespołów przeciwzakłóceńowych***

Ograniczanie przemysłowych zakłóceń radioelektrycznych nie jest możliwe bez stosowania specjalnych filtrów i podzespołów przeciwzakłóceńowych. W czasie tworzenia specjalistycznej pracowni w Instytucie Łączności przemysł podzespołów przeciwzakłóceńowych praktycznie nie istniał w kraju. Kolejnym ważnym zadaniem o dużym znaczeniu gospodarczym była więc współpraca z przemysłem przy uruchomieniu krajowej produkcji podzespołów przeciwzakłóceńowych. Istotny wkład teoretyczny i metrologiczny Oddziału oraz współpraca z przemysłem niemieckim (NRD) umożliwiły zakładom ZPE UNITRA opanować technologię produkcji nowoczesnych podzespołów i filtrów do zmniejszania zakłóceń, eliminując w znacznym stopniu drogi import i otwierając możliwości eksportowe.

Filtry przeciwzakłóceńowe różnią się istotnie od klasycznych filtrów telekomunikacyjnych. Po pierwsze, muszą być efektywne w bardzo szerokim (idealnie w nieograniczonym) zakresie częstotliwości, podczas gdy filtry telekomunikacyjne, z zasady, pracują w ograniczonym pasmie. Po drugie, filtry telekomunikacyjne pracują w warunkach zdefiniowanego obciążenia impedancyjnego, podczas gdy filtry przeciwzakłóceńowe – między impedancjami niezdefiniowanymi, losowymi. Po trzecie, muszą one spełniać dodatkowe wymagania związane z pracą w sieci zasilającej.

Pierwsza praca badawcza w tej dziedzinie podjęta w Instytucie Łączności dotyczyła popularnego kondensatora przeciwzakłóceńowego, wykonanego w postaci dwóch zwiniętych pasków cienkiej folii metalowej (elektrod), przedzielonych warstwą dielektryka.

Opublikowany w *Pracach Instytutu Łączności* artykuł, referujący wyniki tych badań był pierwszą publikacją na ten temat<sup>①</sup>. Dalsze badania dotyczyły różnych filtrów, włącznie z układami stosowanych do ochrony styków w obwodach telekomunikacyjnych.

Wkład Instytutu Łączności polegał na uogólnieniu teorii obwodów o parametrach skupionych i o parametrach rozłożonych, w sposób niezbędny do ujęcia podstawowych zjawisk fizycznych, które należało uwzględnić. Przyczynki teoretyczne miały na celu bezpośrednie zastosowania praktyczne. Niektóre z nich zostały opatentowane. Opracowania te otrzymały wiele prestiżowych nagród w konkursach na najlepszą pracę naukową, organizowanych przez Polskie Towarzystwo Elektrotechniki

<sup>①</sup> Strużak R.: „Zachowanie się kondensatorów zwijanych pracujących w szerokim pasmie częstotliwości”. *Prace Instytutu Łączności*, 1959, nr 1, s. 74–94.

Teoretycznej i Stosowanej we Wrocławiu. Zostały one przedstawione w serii artykułów w *Archiwum Elektrotechniki* oraz w *Rozprawach Elektrotechniki* Polskiej Akademii Nauk.

Nie mniej znaczące było opracowanie eksperymentalnych metod badania skuteczności elementów i filtrów przeciwzakłóceńowych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy oraz opracowanie oryginalnej aparatury pomiarowej do tego celu. Pierwsza w Polsce publikacja na temat metod pomiaru skuteczności tłumienia zakłóceń również ukazała się w *Pracach Instytutu Łączności*<sup>①</sup>. Niektóre z publikacji pracowników Instytutu w tej dziedzinie były tłumaczone na języki obce, a wyniki badań zostały wykorzystane przy opracowaniu odpowiednich zaleceń technicznych OWŁ, RWPG, IEC i CISPR. Opracowany w Oddziale projekt standardowych metod pomiaru skuteczności filtrów przeciwzakłóceńowych został w całości włączony do oficjalnej publikacji CISPR.

Działalność ta spotkała się z ogólnym uznaniem. Przedstawiciel Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności, prof. Strużak, został zaproszony do Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji Polskiej Akademii Nauk, a potem do jego Prezydium oraz do pełnienia funkcji przewodniczącego Podkomitetu Kompatybilności Elektromagnetycznej w tym Komitecie. Został on również zaproszony do Narodowego Komitetu Nauk Radiowych URSI, gdzie powierzono mu przewodnictwo Komisji E. Zaproponowano mu też prowadzenie wykładów w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej (kierowanym przez prof. Andrzeja Jellonka). Na arenie międzynarodowej, Zgromadzenie Generalne URSI we Florencji powierzyło mu funkcję wiceprzewodniczącego Międzynarodowej Komisji E.

### **Prace normalizacyjne**

Ograniczanie zakłóceń radioelektrycznych w skali kraju wymagało nie tylko ustalenia ich dopuszczalnych poziomów, które nie powinny być przekraczane, ale również uzgodnienia metod ich pomiaru i kontroli oraz wprowadzenia ich do norm państwowych i do zaleceń międzynarodowych. Wynikało to z zasadniczej roli, jaką przepisy normalizacyjne odgrywają w gospodarce kraju i w zapewnieniu konkurencyjności wyrobów polskiego przemysłu na rynku światowym. Z tego powodu ustanowienie odpowiednich norm i wykonywanie niezbędnych do tego badań uznano za działania o znaczeniu priorytetowym, które należy prowadzić we współpracy międzynarodowej. W rezultacie takiego postępowania normy państwowe – opracowane do 1993 r. w zakresie dopuszczalnych poziomów zakłóceń, metod pomiarowych i aparatury pomiarowej – zostały oparte na badaniach wykonanych lub skoordynowanych przez Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej.

Prace badawcze, niezbędne do ustalenia racjonalnych wymagań zawartych w normach, były prowadzone we współpracy dwu- i trójstronnej z instytutami naukowo-badawczymi NIIR<sup>②</sup>, RFZ<sup>③</sup> i VUS<sup>④</sup> oraz we współpracy wielostronnej w ramach organizacji OWŁ<sup>⑤</sup>, RWPG<sup>⑥</sup>, IEC i CISPR<sup>⑦</sup>. Współpraca międzynarodowa obejmowała również badania, sposoby i środki tłumienia zakłóceń u źródeł oraz na

① Strużak R.: „Charakterystyki kondensatorów przy wielkiej częstotliwości i metody ich pomiaru”. *Prace Instytutu Łączności*, 1962, nr 3, s. 41–67.

② NIIRadio – Nauczno-Issledowatielski Institut Radio w Leningradzie (Związek Radziecki), państwowy instytut badawczy, odpowiednik polskiego Instytutu Łączności.

③ RFZ – Rundfunk und Fernseh-technisches Zentralamt w Berlinie-Adlershofie (Niemiecka Republika Demokratyczna), państwowy instytut badawczy, odpowiednik polskiego Instytutu Łączności.

④ VUS – Vyskuumny Ustav Spoju w Pradze (Czechosłowacja), państwowy instytut badawczy, odpowiednik polskiego Instytutu Łączności.

⑤ OWŁ – Organizacja Współpracy Łączności, międzyrządowa organizacja ministerstw łączności państw byłego bloku wschodniego.

⑥ RWPG – Rada Wzajemnej Pomocy Gospodarczej, międzyrządowa organizacja państw byłego bloku wschodniego.

⑦ CISPR – International Special Committee on Radio Interference.

drogach ich rozchodzenia się. Wkład Instytutu polegał na udziale w ustalaniu wspólnego programu prac, prowadzeniu badań oraz na autorstwie lub współautorstwie projektów końcowych dokumentów technicznych, stanowiących podstawę wspólnych norm. W rezultacie krajowe przepisy normalizacyjne (Polskie Normy) w pełni odpowiadały trendom światowym.

Działalność normalizacyjna IŁ spotkała się z dużym uznaniem. Zaangażowani w nią pracownicy Instytutu otrzymywali nagrody oraz wysokie odznaczenia resortowe i państwowe. Komisja Normalizacyjna, powołana w Polskim Komitecie Normalizacyjnym (PKN), do spraw zakłóceń radioelektrycznych (a później kompatybilności elektromagnetycznej) jest od początku jej istnienia kierowana przez ekspertów z Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu<sup>①</sup>. Przewodniczącym Krajowego Komitetu ds. CISPR SubCommittee A został kierownik Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności. Na arenie międzynarodowej działalność ta spotkała się też z dużym uznaniem, które przejawiało się w powierzaniu polskiej stronie przygotowania ważnych dokumentów oraz w wybieraniu delegatów Instytutu Łączności do pełnienia odpowiedzialnych funkcji kierowniczych, najpierw w organizacjach regionalnych OWŁ i RWPG, a później w organizacjach o zasięgu światowym, tj. CISPR i IEC<sup>②</sup>.

Pracownicy Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej brali i biorą nadal aktywny udział w pracach odpowiednich grup roboczych IEC, CISPR oraz ich specjalnych zespołów (tzw. grup *Ad Hoc*), powoływanych do rozwiązania określonego problemu technicznego i opracowania odpowiedniego zalecenia normalizacyjnego.

W nowej sytuacji, jaka nastąpiła po przemianach 1989 r., istotną rolę odegrała Państwowa Agencja Radiokomunikacyjna (PAR), która wspomagała Oddział Instytutu Łączności we Wrocławiu w kontynuacji współpracy z CISPR oraz IEC. Dzięki temu PAR, jako centralna agencja państwowa odpowiedzialna za problemy kompatybilności elektromagnetycznej i gospodarki widmem częstotliwości, miała pełną kontrolę i rozeznanie w aktualnym stanie prac w obu tych organizacjach, tak ważnych dla wszystkich krajów na świecie.

## **Aparatura pomiarowa**

Ograniczanie zakłóceń wiąże się z kontrolą konkretnych urządzeń elektrycznych pod kątem zgodności z wymaganiami norm. Taką kontrolę wykonuje się dla każdego typu wyrobu oraz każdego producenta w branży elektrotechnicznej i elektronicznej. Do tego są niezbędne wyspecjalizowane (i kosztowne) przyrządy pomiarowe. W czasie organizowania Pracowni Badania Zakłóceń takich przyrządów nie produkowano w Polsce. W tej sytuacji uruchomienie w kraju produkcji takiej specjalistycznej aparatury kontrolno-pomiarowej uznano za zadanie o takim samym wysokim priorytecie, jak ustanowienie dopuszczalnych poziomów i metod pomiaru zakłóceń. Prototypy pierwszych urządzeń pomiarowych zostały opracowane na Politechnice Wrocławskiej, pod kierunkiem Wilhelma Rotkiewicza. Analogiczne prototypy (i krótkie serie) specjalistycznej aparatury pomiarowej dla techniki antenowej zostały opracowane pod kierunkiem Tadeusza Tomankiewicza, a później – Stanisława Siczka.

<sup>①</sup> Pierwszym przewodniczącym tej Komisji był Wilhelm Rotkiewicz, jej wiceprzewodniczącym – Ryszard Strużak, a po nim Władysław Moroń, który kieruje Komisją do dzisiaj.

<sup>②</sup> Jednym z przejawów takiego uznania było powołanie, w wyniku otwartego konkursu międzynarodowego, Władysława Moronia na stanowisko kierownika departamentu w Międzynarodowym Instytucie Standaryzacyjnym RWPG w Moskwie oraz zaproszenie Ryszarda Strużaka „ad personam” do Międzynarodowego Komitetu Kierowniczego CISPR (jedyne taki przypadek w historii CISPR) i propozycja powierzenia mu funkcji międzynarodowego przewodniczącego CISPR SubCommittee A – *Measurements and Statistical Methods*.

Prace były rozwijane dalej w Zakładach Produkcji Aparatury Elektronicznej ZPAE INCO we Wrocławiu w ścisłej współpracy z Zakładem Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności.

Kolejnym zadaniem, jakie stało przed zespołem Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej, było zapewnienie w kraju homologacji aparatury pomiarowej. Opracowany wówczas generator impulsów wzorcowych do kalibracji mierników zakłóceń został wdrożony do produkcji seryjnej w zakładach ZPAE INCO, a po zlikwidowaniu tych zakładów, jego udoskonalona wersja była jednostkowo produkowana w Instytucie Łączności we Wrocławiu. Kolejnym osiągnięciem Zakładu było opracowanie generatora impulsów testowych, stosowanego przy sprawdzaniu poprawności działania analizatorów zakłóceń krótkotrwałych. Jest to urządzenie unikatowe, potrzebne tylko w laboratoriach wzorcujących.

Innym urządzeniem, uznanym na międzynarodowych rynkach aparatury pomiarowej, był analizator zakłóceń impulsowych krótkotrwałych (rys. 1), również produkowany seryjnie w ZPAE INCO oraz prezentowany na wystawach międzynarodowych w Londynie i Brukseli.



Rys. 1. 4-kanalowy analizator AZK-44

Wszystkie te urządzenia pomiarowe stanowiły podstawowe wyposażenie laboratoriów kontrolnych Państwowej Inspekcji Radiowej (PIR) i laboratoriów przemysłowych w kraju, a ich kolejne wersje były coraz bardziej udoskonalane. Aktualna wersja zapewnia zautomatyzowane wyniki pomiarów w czasie 8-krotnie krótszym niż podobne rozwiązania firm zagranicznych. Została ona kupiona przez jedno z wiodących laboratoriów specjalistycznych w Japonii. Obecnie działalność w tej dziedzinie koncentruje się w akredytowanym Laboratorium Aparatury Pomiarowej EMC.



AP 016



**Laboratorium Aparatury Pomiarowej EMC (AP 016)** prowadzi wzorcowanie urządzeń pomiarowych stosowanych w miernictwie emisji zaburzeń radioelektrycznych (zgodnie z odpowiednimi normami PN-EN serii 55016-x-x). Uprawnienia do wzorcowania dotyczą: mierników zaburzeń radioelektrycznych, sieci sztucznych, analizatorów zaburzeń krótkotrwałych, pomiarowych cęągów absorpcyjnych (cęągów MDS), anten pomiarowych, generatorów impulsów wzorcowych, mierników mocy, sond napięciowych, sond prądowych i innych.

## Latające laboratorium

W latach siedemdziesiątych w Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności zostało utworzone wielozadaniowe laboratorium kontrolno-pomiarowe na śmigłowcu (rys. 2). Było ono wykorzystywane w różnych celach, m.in. do szybkiego wykrywania źródeł promieniowania radiowego, powodujących zakłócenia, a także do kontroli emisji radiowych.



Rys. 2. Wielozadaniowe laboratorium kontrolno-pomiarowe na śmigłowcu

Innym obszarem zastosowań była diagnostyka i usuwanie awarii systemów antenowych. Były to w większości anteny, składane z indywidualnych paneli połączonych kablami. W trudnych warunkach eksploatacji (wibracje mechaniczne i wahania temperatury) złącza kabli zawodziły. W rezultacie zdarzały się przypadki, że zamiast planowanego maksimum promieniowania na zadanym kierunku występowało minimum, co było natychmiast odczuwane u abonentów, a nie wykrywane przez załogę nadajnika, z uwagi na brak odpowiednio czułych sensorów. Praktycznym sposobem wykrycia tego typu usterek było sprawdzenie charakterystyki promieniowania na kilku kierunkach w rzeczywistych warunkach pracy anteny.

Mobilne laboratorium pomiarowe na śmigłowcu okazało się nieocenione nie tylko w szybkiej diagnostyce takich nieprawidłowości, ale również przy pomiarach zasięgów sygnałów użytecznych i interferencji oraz kontroli obszarów pokrycia, zastępując pomiary naziemne wykonywane z samochodów pomiarowych, zwłaszcza w trudnym terenie (jeziora, obszary górzyste). W latającym laboratorium wykonywano rutynowe pomiary kontrolne pracy anten na terenie całego kraju, emisji radiowych, a także prace badawczo-rozwojowe w dziedzinie techniki antenowej, kontrolę kompatybilności elektromagnetycznej oraz ochrony środowiska. Okazało się ono niezastąpione w badaniach niepożądanych sprzężeń między sąsiednimi antenami i między antenami a pobliskimi obiektami metalowymi, które nie mogły być uwzględniane w modelach teoretycznych ani w pomiarach laboratoryjnych.



Utworzenie latającego laboratorium w Instytucie Łączności było bezprecedensowym przedsięwzięciem, które wymagało rozwiązania wielu problemów natury administracyjno-prawnej, organizacyjnej i naukowej. Potrzebne było wykonanie gruntownej adaptacji helikoptera do zadań pomiarowych oraz opracowanie nowych metod i procedur pomiarowych, systemu komunikacji, rejestracji oraz przetwarzania wyników pomiarów itp. Należało zaprojektować i wykonać specjalne anteny oraz pomocnicze urządzenia pomiarowe, a także rozwiązać problemy precyzyjnej nawigacji i lokalizacji obiektów, ponieważ popularne obecnie systemy satelitarnej nawigacji i lokalizacji (GPS i GLONASS) nie były wówczas dostępne. Oddzielnym problemem była eliminacja wpływu sygnałów odbitych od ziemi na wyniki pomiarów.

## Wykorzystanie widma częstotliwości radiowych

W latach 80. dwaj doktoranci Instytutu Łączności, Wiesław Waszkis i Wiktor Sęga, opracowali – pod kierunkiem prof. R. Strużaka – cyfrową mapę rzeźby terenu Polski (*Digital Elevation Map*), która była na owe czasy jedną z najdokładniejszych scyfryzowanych map wysokości, a jedyną taką mapą, stosowaną do celów cywilnych w państwach byłego bloku wschodniego. Umożliwiała ona przeprowadzanie precyzyjnych analiz: propagacyjno-sieciowych, zasięgów stacji radiowych i telewizyjnych, wzajemnych zakłóceń między systemami oraz międzynarodowej koordynacji stacji polskich i zagranicznych. Mapę cyfrową poprzedziło opracowanie pierwszych systemów informatycznych do analiz propagacyjno-sieciowych: MAPKI MTV (do analiz systemów telewizyjnych) i UKF FM (do analiz sieci UKF FM). W projekcie tym brali udział: P. Adamczyk, Z. Janek, A. Marszałek, J. Sobolewski, T. Stromich i inni pracownicy. Systemy te były wykorzystywane do planowania sieci radiowych i telewizyjnych przez wszystkie urzędy administracji państwowej w Polsce: Ministerstwo Łączności, Państwową Inspekcję Radiową, Państwową Agencję Radiokomunikacyjną, Urząd Regulacji Telekomunikacji (URT), Urząd Regulacji Telekomunikacji i Poczty (URTiP), Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE), Krajową Radę Radiofonii i Telewizji (KRRiT). Mapa cyfrowa Instytutu Łączności i programy IŁ (MAPKI MTV oraz UKF FM) są do dziś wykorzystywane przez obecną administrację (UKE, KRRiT) w bieżących pracach i koordynacji międzynarodowej stacji.

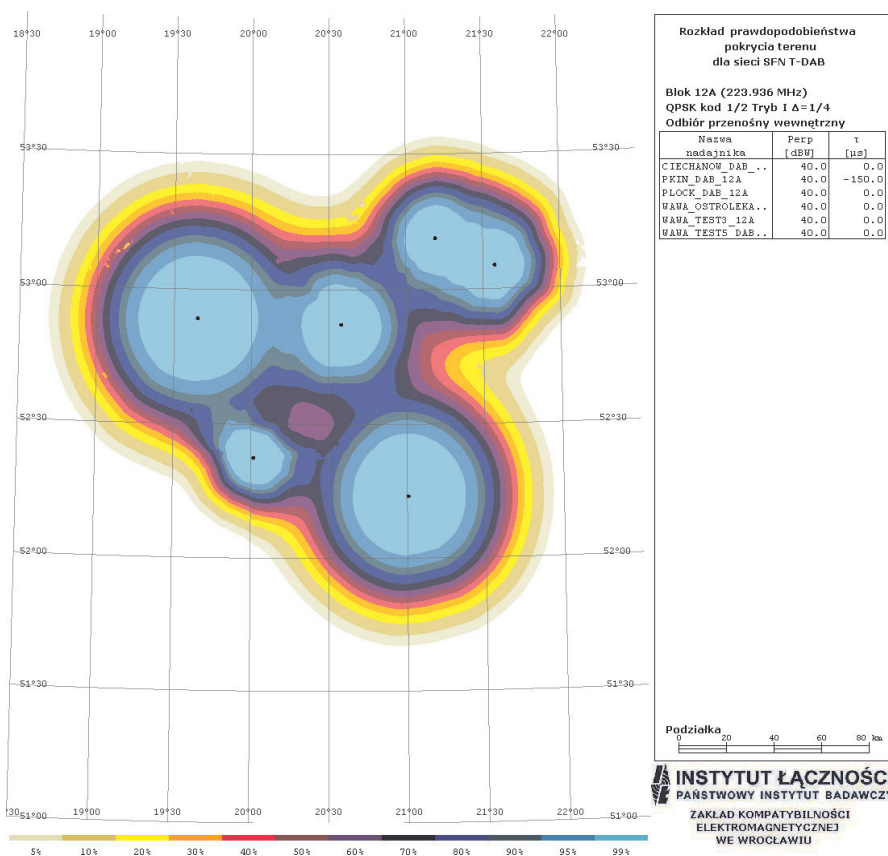
Dzięki pracom prowadzonym w latach 80. i 90. zostały utworzone pierwsze w Polsce plany sieci analogowych UKF FM i telewizji analogowej oraz oprogramowanie do koordynacji służb radiowych (UKF-FM) ze służbami lotniczymi, których częstotliwości sąsiadują z pasmem radiofonicznym.

W Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej powstały plany rozbudowy sieci TV dla 1 i 2 programu oraz projekt budowy trzeciej ogólnopolskiej sieci telewizyjnej dla nadawcy komercyjnego POLSAT. Ponadto zaplanowano i modernizowano sieć stacji TV dla TVN, Telewizja Wisła.

Pracownicy Zakładu, jako pierwsi w Polsce, zajęli się przygotowaniem planów sieci DVB-T (*Digital Video Broadcasting Terrestrial*). Plany sieci 2 multipleksów przejściowych w wariancie MFN (*Multi-Frequency Network*) powstały w 1997 r., później – kolejnych multipleksów.

W latach 90. Oddział IŁ we Wrocławiu zaangażował się we współpracę z PAR, budując od postaw i rozwijając systemy informatyczne do zarządzania widmem częstotliwości radiowych: MOBICOR (do koordynacji służb ruchomych lądowych), NSS (do koordynacji naziemnych stacji satelitarnych) oraz LinRad (do analiz i koordynacji służb stałych). Systemy te umożliwiają tworzenie i zarządzanie bazami danych o stacjach, przeprowadzanie podstawowych analiz kompatybilności sieciowej oraz planowania sieci, tworzenie raportów i dokumentów przydatnych dla administracji w bieżących pracach. Są one wykorzystywane do dnia dzisiejszego przez UKE.

Pod koniec lat 90. rozpoczęto w IŁ intensywne prace nad utworzeniem nowego systemu do analiz propagacyjno-sieciowych w środowisku sieciowym, umożliwiającego szczegółowe analizy systemów radiowych i telewizyjnych oraz innych służb. Powstały wtedy systemy (nadal rozbudowywane) analiz zasięgów stacji i sieci cyfrowych DVB-T, T-DAB, T-DMB, DVB-H, DVB-SH, DRM, UKF FM, TV analogowej, linii radiowych, systemów bezprzewodowych w dowolnej konfiguracji i pasmie (rys. 3). Opracowano pierwszy w Polsce system analiz sieci jednoczęstotliwościowych SFN.NET, umożliwiający ocenę zjawiska zysku sieciowego i zakłóceń własnych sieci SFN (*Single Frequency Network*).



**Rys. 3.** Rozkład prawdopodobieństwa pokrycia terenu dla sieci SFN T-DAB, składającej się z 6 nadajników, pracujących na tej samej częstotliwości

Do dziś z wyników tych analiz korzystają najważniejsi operatorzy RTV (m.in. TP Emitel, PSN, Info-TV-FM), jak również główni nadawcy (m.in. TVP, TVN, TV Puls, Polskie Radio, ESKA, Agora i inni). Pracownicy Oddziału brali czynny udział w tworzeniu planów cyfrowych DVB-T/ DVB-H na potrzeby administracji oraz przygotowaniu planów wdrażania sieci DVB-T i DVB-H w Polsce.

W 2008 r. opracowano plan i harmonogram cyfryzacji telewizji naziemnej, w ramach projektu badawczo-rozwojowego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW). Był to pierwszy

kompletny harmonogram cyfryzacji, zawierający pełną listę i terminy włączanych obszarów cyfrowych oraz listę wyłączanych stacji analogowych.

W 2009 r., we współpracy Oddziału IŁ we Wrocławiu, Polskiego Radia Wrocław i TP Emitel, uruchomiono we Wrocławiu pierwszy w Polsce test radiofonii cyfrowej wysokiej jakości w systemie DAB+. Emisja jest prowadzona w ramach sieci jednocześnieściowej z obiektu TP Emitel Żórawina oraz z obiektu Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu.

Już w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia pracownicy Oddziału brali udział w ważnych konferencjach planistycznych i administracyjnych, takich jak *Regionalna Konferencja Genewa 81* czy *Porozumienie Genewa 1989*. Jednak dopiero od początku lat 90. nastąpiło uaktywnienie współpracy międzynarodowej, objawiające się uczestnictwem pracowników w światowych i regionalnych konferencjach oraz zgromadzeniach radiokomunikacyjnych, jak np. WRC-92, WRC-95, WRC-97, WRC-2000, WRC-03 i WRC-07. Pracownicy Oddziału uczestniczyli we wszystkich konferencjach dotyczących planowania sieci radiodifuzji cyfrowej (Wiesbaden'95, Chester'97, RRC'04, RRC'06), a ponadto – na prawach ekspertów – jako przedstawiciele Polski w dwu- i wielostronnych spotkaniach międzynarodowych, poświęconych transgranicznej koordynacji sieci oraz stacji radiokomunikacyjnych i radiodifuzyjnych. Brali też udział w posiedzeniach zespołów, opracowujących jednolite, zharmonizowane metody obliczeniowe na potrzeby koordynacji transgranicznej w regionie środkowoeuropejskim. Obecnie biorą czynny udział w zebraniach grup i zespołów roboczych Komitetu Komunikacji Elektronicznej ECC CEPT (takich jak Grupa Robocza Gospodarki Widmem, WG FM, Zespół Projektowy ds. Systemów IMT, PT1, Zespół Projektowy ds. Dywidendy Cyfrowej, PT4) oraz w Grupie PT FM45, powołanej – w ramach krajów zrzeszonych w CEPT – do analizy możliwości cyfryzacji radiofonii i telewizji w pasmach fal średnich, UKF, VHF oraz pasma L.

## **Międzynarodowe Sympozjum Kompatybilności Elektromagnetycznej i Krajowe Warsztaty Kompatybilności Elektromagnetycznej**

*International Wrocław Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility* jest najstarszą regularną konferencją w Europie, poświęconą zagadnieniom kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń i systemów. Organizowana jest ona cyklicznie od 1972 r. co dwa lata (w latach parzystych) przez Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności oraz Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, przy współpracy innych organizacji krajowych i międzynarodowych.

Krajowe Warsztaty Kompatybilności Elektromagnetycznej jest to konferencja o charakterze szkoleniowym i naukowym, popularyzująca problematykę zapewniania oraz testowania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń, systemów i instalacji. Warsztaty są forum wymiany wiedzy i doświadczeń dla osób z różnych środowisk (akademickich, naukowych, badawczych i przemysłowych). Sprzyjają nawiązywaniu trwałych kontaktów oraz współpracy przy rozwiązywaniu problemów kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń, systemów i instalacji. Są organizowane wspólnie z Instytutem Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej oraz z UKE od 1999 r., a od 2001 r. cyklicznie co dwa lata.

## Zakończenie

Początki Instytutu sięgają 1934 r., natomiast utworzenie jednego z jego zamiejscowych oddziałów tj. Oddziału we Wrocławiu, przypada na 1956 rok. Wtedy to Ośrodek Badawczo-Doświadczalny Centralnego Zarządu Radiostacji we Wrocławiu – zorganizowany przez prof. Tadeusza Tomankiewicza – został przekształcony w Oddział Instytutu Łączności.

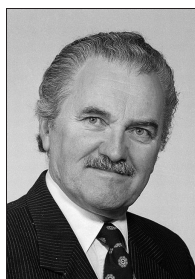
Pierwsze prace Oddziału dotyczyły propagacji oraz anten. Wiele z tych prac wdrożono. Do dziś są one kontynuowane. Oddział IŁ we Wrocławiu był pierwszą i przez pewien czas jedyną placówką, prowadzącą prace w dziedzinie zakłóceń radiowych i ochrony przed zakłóceniami. W Oddziale IŁ we Wrocławiu wykonywano też prace dotyczące specjalistycznej aparatury pomiarowej. Opracowano mapę cyfrową wysokości terenu, która jest używana w obliczeniach propagacyjnych. W Oddziale IŁ we Wrocławiu powstawały pierwsze plany sieci stacji TVA, UKF-FM, DVB-T, a obecnie są opracowywane optymalizacje sieci DVB-H. W 2009 r., wspólnie z Polskim Radiem Wrocław i TP Emitel, uruchomiono pierwsze w Polsce testy radiofonii cyfrowej systemu T-DAB+.

W historii Oddziału IŁ we Wrocławiu były też trudne i dramatyczne wydarzenia.

„Powódź tysiąclecia”, jaka nawiedziła południową i zachodnią Polskę w 1997 r., nie ominęła Oddziału IŁ we Wrocławiu. Zostały zalane piwnice, a w budynku, w którym mieściło się Laboratorium z komorą GTEM (*Gigahertz Transverse Electromagnetic Mode Cell*), woda sięgała 1 m. Zniszczenia były duże, ale dzięki ogromnemu wysiłkowi i zaangażowaniu wszystkich pracowników szybko usunięto skutki powodzi i przystąpiono do kontynuowania przewidzianych prac.

Pierwszym kierownikiem Oddziału IŁ we Wrocławiu był prof. Tadeusz Tomankiewicz (1956–1962), a potem kolejno: Stanisław Siczek (1962–1975), prof. Ryszard Strużak (1975–1985), Włodzimierz Stawski (1985–1996), Tomasz Niewodniczański (1996–2002), Maciej Grzybkowski (2002–2004) i obecnie Janusz Sobolewski (od 2005).

### Ryszard Strużak



Profesor dr hab. inż. Ryszard Strużak (1933) – absolwent Politechniki Wrocławskiej (1956), doktorat (1962) i habilitacja (1968) na Politechnice Warszawskiej; tytuły profesora nadzwyczajnego (1975) i zwyczajnego (1988); nauczyciel akademicki Politechniki Wrocławskiej (1954–1961, 1964–1985 i od 2007) oraz Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie (2004/2005); pracownik naukowy/kierownik Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu (1956–1961, 1964–1985, od 2005); współorganizator/przewodniczący Międzynarodowego Wrocławskiego Sympozjum EMC (od 1972); przewodniczący Podkomitetu EMC KEiT PAN (1975–1985); autor/współautor 10 patentów oraz ponad 200 publikacji; trzykrotny laureat nagród ministerialnych (1974, 1979 i 1983), sześciokrotny laureat konkursów PTETIS O. Wrocław; odznaczony m.in. Złotą Odznaką Zasłużony Pracownik Łączności (1973), Złotą Odznaką Honorową SEP (1981), Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski (1982); członek międzynarodowych organizacji CISPR, ITU-CCIR, URSI, ICTP, CEI, Senior Counselor, Head of Technical Dept. & Acting Assistant Director, ITU/CCIR (1985–1993),

Member/V-Chair ITU Radio Regulations Board (1994–2002), Consultant UN-OCHA, World Bank (1993–2004); Editor-in-Chief „Global Communications” (1996–2000); dwukrotny laureat konkursów międzynarodowych (Montreux 1975, Rotterdam 1977); uhonorowany m.in. Srebrnym Medalem ITU za szczególne zasługi dla rozwoju telekomunikacji na świecie (1998) oraz tytułem IEEE Fellow (1985) i Life Fellow (2007) za wybitne osiągnięcia zawodowe; Member New York Academy of Sciences (1993); Academician, International Telecommunication Academy (1997); zainteresowania zawodowe: nauki radiowe, radiokomunikacja, kompatybilność elektromagnetyczna.  
e-mail: r.struzak@ieee.org

### Janusz Sobolewski



Dr inż. Janusz Sobolewski (1951) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1974), studia doktoranckie w Instytucie Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, doktor nauk technicznych (1980); pracownik naukowy Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (od 1980), kierownik Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej (od 2005); autor licznych publikacji, jednego patentu; kierownik projektu badawczo-rozwojowego MNiSW pt. „Opracowanie metody włączania sieci nadajników naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T i wyłączenia nadajników analogowych w Polsce” (2006–2008); zainteresowania naukowe: planowanie sieci stacji telewizji analogowej, naziemnej telewizji cyfrowej DVB-T, radiofonii UKF FM, kompatybilność systemów radiowych.  
e-mail: j.sobolewski@il.wroc.pl

### Maciej Grzybowski



Dr inż. Maciej J. Grzybowski (1948) – absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (1971); pracownik naukowy i nauczyciel akademicki w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Łączności w Zegrzu (1971–1990) oraz w Politechnice Wrocławskiej (1998–2003), pracownik naukowy Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (1990–1998, od 2002), dyrektor Departamentu Techniki Telekomunikacyjnej w Ministerstwie Łączności, Ministerstwie Gospodarki oraz Ministerstwie Infrastruktury (2001–2002); przedstawiciel Polski na światowych oraz regionalnych konferencjach radiokomunikacyjnych; autor i współautor wielu publikacji, referatów i opracowań; zainteresowania naukowe: systemy radiokomunikacji ruchomej lądowej, gospodarka częstotliwościami radiowymi, inżynieria widma radiowego, koordynacja transgraniczna oraz planowanie systemów radiokomunikacji ruchomej.  
e-mail: mag@il.wroc.pl

**Marek Kałuski**

Mgr inż. Marek Kałuski (1947) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1970); długoletni pracownik Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (od 1970); autor wielu prac konstrukcyjnych i publikacji, autor i współautor wielu patentów; zainteresowania naukowe: metrologia i modelowanie numeryczne źródeł pól EM, sterowanie pomiarowych systemów antenowych.

e-mail: m.kaluski@il.wroc.pl

**Mirosław Pietranik**

Dr inż. Mirosław Pietranik (1936) absolwent Politechniki Wrocławskiej (Wydział Łączności, specjalizacja miernictwo elektronowe, 1961), doktorat (1974); pracownik naukowy Politechniki Wrocławskiej (1961–1966) oraz Oddziału Instytutu Łączności we Wrocławiu (od 1966), obecnie kierownik akredytowanego Laboratorium Aparatury Pomiarowej EMC; członek: komitetu organizacyjnego Międzynarodowego Wrocławskiego Sympozjum EMC (1978–2000), Podkomitetu EMC KEiT PAN (od 1996), podkomitetów i grup roboczych CISPR oraz IEC (współautor ponad 25 dokumentów roboczych); współautor 3 patentów oraz ponad 30 publikacji; odznaczony Odznaką Zasłużony Pracownik Łączności, Srebrną Odznaką Honorową SEP; zainteresowania zawodowe: kompatybilność elektromagnetyczna – urządzenia pomiarowe, bezpieczeństwo funkcjonalne urządzeń w środowiskach specjalnych, zjawiska intermodulacyjne i ich wpływ na jakość odbioru radiowo-telewizyjnego.

e-mail: M.Pietranik@il.wroc.pl

**Stanisław Siczek**

Mgr inż. Stanisław Siczek (1926) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (inż. 1952) i Politechniki Wrocławskiej (mgr 1959), wykładowca w Wieczorowej Szkole Inżynierskiej we Wrocławiu (1952–1955), pracownik Zespołu Radiostacji we Wrocławiu (1952–1955), pracownik Ośrodka Badawczo-Doświadczalnego Centralnego Zarządu Radiostacji we Wrocławiu (1955–1956), pracownik naukowy Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (1956–1975), kierownik Oddziału IŁ i Zakładu Anten (1962–1975), specjalista – projektant w Biurze Studiów i Projektów Łączności we Wrocławiu oraz w Zakładzie Montażu i Konstrukcji ZARAT w Warszawie, pracownik Centrum Badawczo-Rozwojowego TP SA; autor kilkunastu wynalazków i licznych publikacji, współautor książki o liniach przesyłowych w. cz.; zainteresowania naukowe: urządzenia i anteny nadawcze (głównie krótkofalowe), aparatura i metody pomiarowe anten, planowanie sieci stacji DRM.

**Piotr Tyrawa**

Mgr inż. Piotr Tyrawa (1940) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1966); długoletni pracownik Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (od 1966); autor licznych publikacji, kilku norm i 4 patentów; rzeczoznawca SEP w dziale elektroniki; zainteresowania naukowe: modelowanie cyfrowe anten, kompatybilność blisko siebie zlokalizowanych anten, wzorcowanie anten pomiarowych na otwartych poligonach pomiarowych i systemy antenowe do kontroli emisji radiowych w zakresie częstotliwości 100 kHz–3 GHz.

e-mail: p.tyrawa@il.wroc.pl

**Dariusz Więcek**

Dr inż. Dariusz Więcek (1967) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1992); pracownik naukowy Instytutu Łączności Oddziału we Wrocławiu (od 1993), współpracownik CEPT i ITU; zainteresowania naukowe: nowoczesne systemy radiowe i telewizyjne, kompatybilność systemów, zagadnienia planowania sieci radiowych. antenowych.

e-mail: d.wiecek@il.wroc.pl