

## **AUTOREFERAT**

### **1. IMIĘ I NAZWISKO**

Kamil Staniec

### **2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE — Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

- Dyplom magistra inżyniera w zakresie telekomunikacji i informatyki (z wyróżnieniem), na kierunku Elektronika i Telekomunikacja, Wydział Elektroniki i Elektrotechniki, Politechnika Łódzka, 2001 r.
- Stopień doktora nauk technicznych w zakresie telekomunikacji (z wyróżnieniem), Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska, 2006 r., tytuł rozprawy: „Modelowanie propagacji fal elektromagnetycznych we wnętrzach budynków w pasmach ISM wykorzystywanych przez szerokopasmowe systemy bezprzewodowe”.

### **3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH**

- 17.10.2006–31.01.2008, asystent, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska
- 01.02.2008–31.05.2013, adiunkt, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska
- 01.06.2013–obecnie, adiunkt, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska

### **4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.):**

W ramach wykazu osiągnięć, w niniejszym rozdziale zawarłem następujące elementy:

- jednotematyczny cykl publikacji, w tym 7 w czasopismach z Listy Filadelfijskiej, posiadających *Impact Factor*;
- omówienie celu naukowego w/w publikacji i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Tytuł jednotematycznego cyklu publikacji, obejmującego pozycje [1]–[7], brzmi:

**„BADANIA WYDAJNOŚCI ORAZ WEWNĄTRZSYSTEMOWEJ KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ BEZPRZEWODOWYCH SIECI SENSORYCZNYCH OPARTYCH NA SPECYFIKACJI IEEE 802.15.4”.**

- [1] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: Interference mitigation in WSN by means of directional antennas and duty cycle control. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2012, vol. 12, nr 16, pp. 1481–1492. **Impact Factor: 0,863**.
- [2] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: Evaluation of topological planarity and reliability for interference reduction in radio sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2012, nr 56, pp. 1-23. **Impact Factor: 0,540**.
- [3] **Staniec Kamil**, Miedziński Bogdan: A concise interference model for wireless sensor networks using directional antennas. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 2012, vol. 122, nr 6, pp. 59-64. **Impact Factor: 0,411**.
- [4] Pomianek Adam J, **Staniec Kamil**, Jósiewicz Zbigniew: Practical remarks on measurement and simulation methods to emulate the wireless channel in the reverberation chamber. *Progress in Electromagnetics Research-PIER*. 2010, vol. 105, s. 49-69. **Impact Factor: 3,745**. Liczba cytowań wg Web of Science (bez autocytoowań): **6**
- [5] **Staniec Kamil**: Evaluation of the ZigBee transmission repetition mechanism in the variably-loaded reverberation chamber. *Progress in Electromagnetics Research-PIER*. 2012, vol. 132, pp. 297-314. **Impact Factor: 5,298 (2011)**. Liczba cytowań wg Web of Science (bez autocytoowań): **2**
- [6] **Staniec Kamil**, Habrych Marcin, Rutecki Krzysztof G, Miedziński Bogdan: Practical remarks on designing a local segment in a wide-area wireless sensor network for measuring factors hazardous to the environment. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 2012, vol. 18, nr 9, pp. 109-112. **Impact Factor: 0,411**.
- [7] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: An optimal sink nodes number estimation for improving the energetic efficiency in wireless sensor networks, *Elektronika ir Elektrotechnika*. 2013, vol. 19, nr 8, pp. 115-118. **Impact Factor: 0,411**.

Moje główne zainteresowania naukowe skoncentrowane były na badaniu rozmaitych aspektów związanych z planowaniem i wydajnością Bezprzewodowych Sieci Sensorycznych WSN (*Wireless Sensor Networks*) w tzw. segmencie lokalnym, czyli na styku sieci teleinformatycznej z warstwą czujnikową. Działalność badawcza w tym zakresie pokryła się jednocześnie z pełnieniem roli kierownika sekcji „Teleinformatyka” oraz członka Rady Naukowej w projekcie „Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środowisku – modelowanie i monitoring zagrożeń” (POIG.01.03.01-02-002/08-00), którego celem było opracowanie rozległej sieci sensorycznej do zbierania danych z czujników rozlokowanych na terenie kraju (w tym gazów organicznych i nieorganicznych, smogu elektromagnetycznego i akustycznego, zjawisk burzowych, jakości wód wodociągowych itp.),

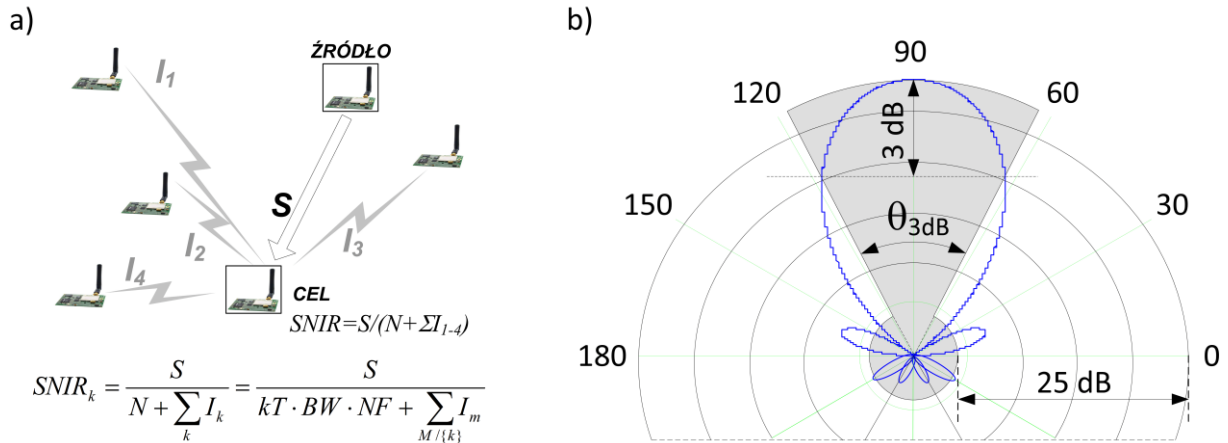
jak opisałem bardziej szczegółowo w rozdz. 5. autoreferatu. Choć system ZigBee – na którym się skupiłem – nie jest jedynym z możliwych do realizacji segmentu lokalnego, jednakże z uwagi na jego elastyczność w kontekście rozbudowy istniejącej sieci o nowe węzły, zdolności do autokonfiguracji i niewielki pobór mocy, jest obecnie wiodącym systemem wykorzystywanym do tworzenia spontanicznych sieci czujnikowych typu *ad-hoc* czy MANET o niewielkiej przepustowości. Jak podpowiada praktyka, łatwość konfiguracji oraz uniwersalność systemu komunikacyjnego – szczególnie bezprzewodowego – może się okazać jednocześnie jego słabością, gdyż obniża motywację zwykłych użytkowników (ale też administratorów) do poznania jego ograniczeń funkcjonalnych niejednokrotnie obniżających sprawność transmisyjną znacznie poniżej danych zawartych w specyfikacji technicznej produktu. Z uwagi na popularność aplikacyjną systemu ZigBee, postanowiłem przebadać osiągi systemu oraz na tej podstawie wystosować rekomendacje dot. instalacji i oczekiwanego zachowania sieci kratowej zbudowanej na bazie urządzeń IEEE 802.15.4, ze szczególnym uwzględnieniem trzech aspektów:

- 1) **wewnętrznej kompatybilności elektromagnetycznej bezprzewodowych sieci sensorycznych WSN;**
  - 2) **wpływu wielodrogowości na pracę urządzeń IEEE 802.15.4 (ZigBee);**
  - 3) **transmisji informacji w trybie wieloskokowym w sieciach WSN opartych na urządzeniach IEEE 802.15.4 (ZigBee).**
- 

#### **Ad. 1) – badania wewnętrznej kompatybilności elektromagnetycznej bezprzewodowych sieci sensorycznych WSN**

Ze zdolności ZigBee do samoorganizacji wynika także inna cecha, tj. potencjał do tworzenia przeżywalnych topologii kratowych (*mesh*), dynamicznie trasujących pakiety alternatywnymi ścieżkami, wskutek awarii węzła (lub węzłów), co zapewnia nieprzerwane świadczenie usługi transmisji danych. Moje zainteresowania skupiły się na ogólnym przypadku rozmieszczenia wielu urządzeń ZigBee na danym obszarze, stanowiących jedną złożoną sieć sensoryczną, w której każdy ze składowych węzłów transmituje niezależnie od pozostałych, wykorzystując uprzednio zestawione trasy połączeń. Na potrzeby badań, opracowałem w środowisku C++Builder 6.0 symulator programistyczny umożliwiający rozpinanie na zadanym obszarze roboczym sieci kratowej ZigBee, z wykorzystaniem trzech algorytmów rozpinających: MST (*Minimum Spanning Tree*), LMST (*Local MST*) oraz tzw. „planarnego” zaprezentowanego w [Debita Grzegorz, „Metody optymalizacji planowania sieci kratowych z uwzględnieniem warunków związanych z niezawodnością”, praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2010]. Do symulowania warunków propagacyjnych wykorzystałem natomiast model Podwójnego Promienia (*Two Ray model*). Celem podjętych działań badawczych było określenie stopnia, w jakim różne zagęszczenie węzłów wpływa (jak na rys. 1a) na średni poziom stosunku SNIR (*Signal-to-Noise and Interference*) statystycznego węzła sieciowego. Poziom ten, jak wiadomo,

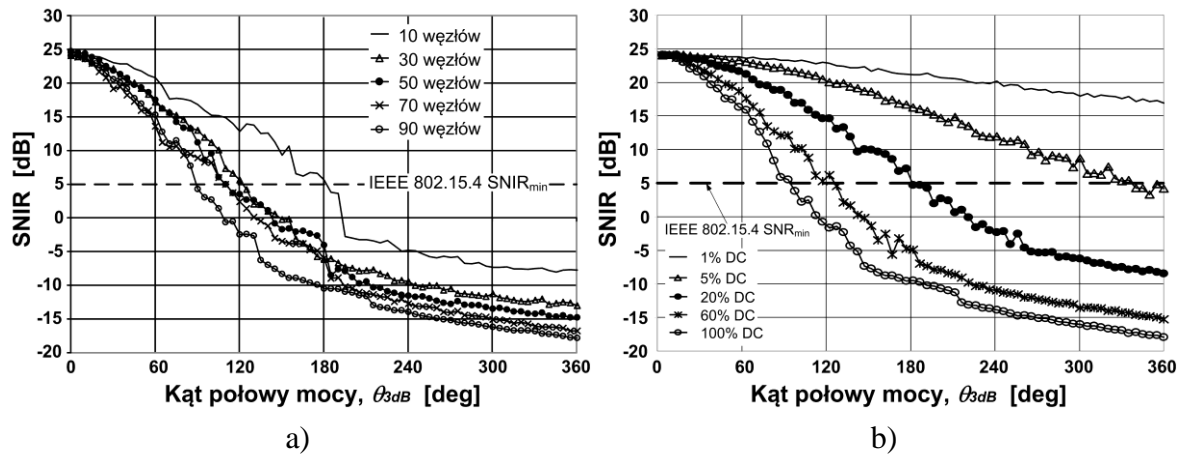
w systemach cyfrowych warunkuje możliwość realizacji transmisji z określonymi parametrami jakościowymi. Do analiz dołączyłem dwa czynniki mogące znacznie wpłynąć na wartość SNIR: kierunkową charakterystykę promieniowania anteny (rys. 1b), zmienianą w pełnym zakresie  $0^\circ$ – $360^\circ$ , oraz cykl pracy DC (*duty cycle*) zmieniany w zakresie 10%–100% [1].



Rys. 1 a) Przykładowy scenariusz zakłócenia transmisji pomiędzy źródłem a celem, ze strony innych węzłów; b) model anteny kierunkowej (na szaro) użytej w badaniach

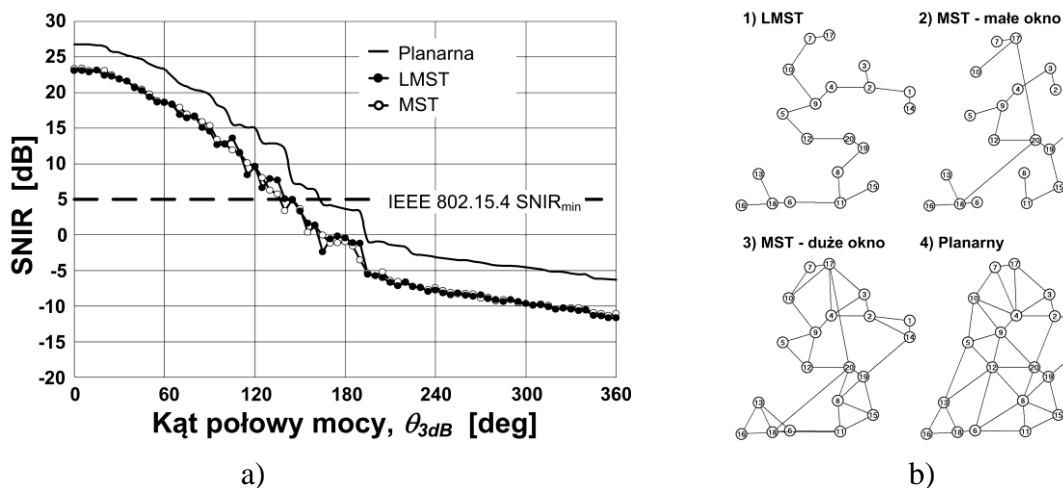
O ile kontrola DC jest prosta do uzyskania w węzłach, o tyle do podjęcia analiz pierwszego czynnika (kierunkowości anteny) zmotywowała mnie z jednej strony dojrzałość technik antenowych (w kontekście miniaturyzacji gabarytów oraz kontroli szerokości wiązki) oraz sygnałowych (w kontekście kierunkowania wiązki i jej dynamicznego sterowania), z drugiej brak znanych mi z dostępnej literatury zastosowań anten kierunkowych do redukcji interferencji w sieciach WSN. Dobrze opisane są natomiast inne liczne zastosowania na wyższych poziomach modelu referencyjnego OSI/ISO, np. do realizacji inteligentnego trasowania czy wielodostępu do kanału radiowego. Do najważniejszych osiągnięć i konkluzji, do których doszedłem na drodze badań obliczeniowo-symulacyjnych, zaliczam:

- Określenie w [1] wpływu szerokości wiązki anteny  $\theta_{3dB}$  oraz cyklu pracy DC na wypadkowy SNIR statystycznego węzła sieciowego, dla sieci rozpiętych za pomocą różnych algorytmów rozpinania drzewa MST, LMST. Dynamika zmian SNIR w reakcji na zmianę  $\theta_{3dB}$  mieści się w zakresie od 33-43 dB dla sieci o skrajnych licznosciach (rys. 2);



Rys. 2 Przykładowy wpływ kąta połowy mocy ( $\theta_{3dB}$ ) na wartość SNIR statystycznego węzła sieciowego: a) dla różnych licznosci sieci; b) dla różnych cykli pracy DC

- Oszacowanie w [2] wpływu topologii sieci WSN na uzyskany profil SNIR w funkcji szerokości wiązki anteny oraz cyklu pracy DC (rys. 3). Wykazano, że topologia planarna (tj. taka, w której wytyczone połączenia pomiędzy poszczególnymi węzłami sieciowymi nie przecinają się) pozwala na utrzymanie wartości SNIR statystycznego węzła sieciowego na poziomie ok. 5 dB wyższym niż w sieciach WSN rozpiętych za pomocą popularnych algorytmów MST i LMST implementowanych powszechnie w dostępnych urządzeniach ZigBee. Wynika to z obserwacji (także wykazanej w [2]), iż w przypadku topologii planarnej liczba węzłów zakłócających statystyczne węzeł jest o średnio 9% mniejsza niż w pozostałych analizowanych przypadkach (tj. MST i LMST).

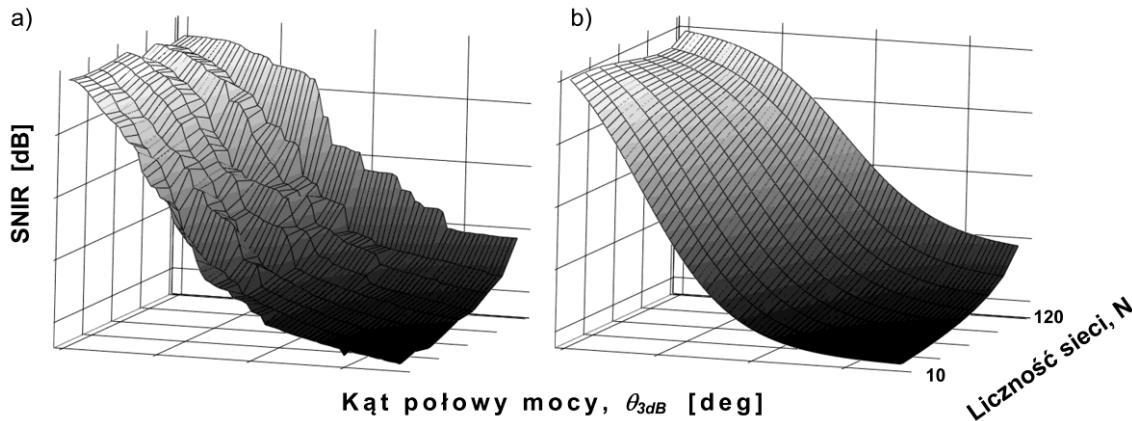


Rys. 3 a) Przykładowy wpływ połowy mocy ( $\theta_{3dB}$ ) na wartość SNIR statystycznego węzła sieciowego dla różnych topologii sieciowych oraz b) przykłady 20-węzłowej sieci WSN rozpiętej za pomocą różnych algorytmów rozpinania sieci

- Wykazanie w [3] powtarzalnej regularności w profilu SNIR wykreślonego w funkcji szerokości wiązki anteny oraz opracowanie jego matematycznego modelu w ogólnej postaci odwróconej funkcji logistycznej zadanej ogólnym wzorem (1). Model pozwala wyznaczyć oczekiwaną wartość SNIR w funkcji licznosci  $N$  sieci WSN oraz kąta połowy mocy  $\theta_{3dB}$  anteny kierunkowej a także rozmiaru obszaru roboczego. Uzyskane

symulacyjnie oraz wykreślone na podstawie opracowanego modelu matematycznego profile SNIR pokazano na rys. 4.

$$SNIR(\theta_{3dB}, N) = \frac{\hat{a}_0(N)}{1 + \hat{a}_1 \cdot \exp[\hat{a}_2 \cdot \theta_{3dB} + \hat{a}_3(N)]} + \hat{a}_4(N) \quad (1)$$

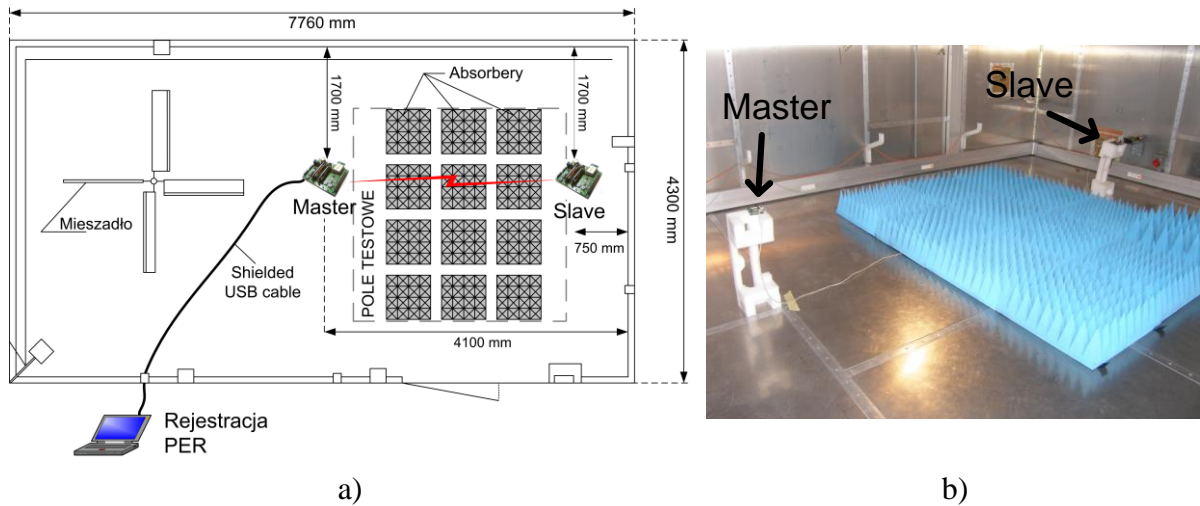


Rys. 4 Wpływ połowy mocy ( $\theta_{3dB}$ ) na wartość SNIR statystycznego węzła sieciowego:  
a) symulacje oraz b) wyznaczone za pomocą zaproponowanego modelu matematycznego

#### Ad. 2) – badania wpływu wielodrogowości na pracę urządzeń IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Wielodrogowość jest zjawiskiem polegającym na propagowaniu się sygnału radiowego wieloma ścieżkami wskutek wielokrotnych odbić oraz ugięć, których doznaje podczas propagacji pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. W najogólniejszym ujęciu, w rezultacie wielodrogowości, odbiornik rejestruje wielokrotne kopie tego samego sygnału, które nakładają się w czasie powodując powstawanie tzw. Interferencji Międzysymbolowych. Popularną metryką opisu tego swoistego rozproszenia sygnału w dziedzinie czasu jest tzw. rozmycie opóźnienia  $\tau_{RMS}$  (*delay spread*) będące w istocie drugim momentem centralnym odpowiedzi impulsowej kanału. Ze względu na dobrze udokumentowany degradujący wpływ wielodrogowości na działanie cyfrowych systemów bezprzewodowych, dokonano licznych pomiarów i opublikowano w literaturze fachowej wiele stabelaryzowanych zestawień, w których odwzorowano typowe zakresy  $\tau_{RMS}$  na konkretne typy środowisk propagacyjnych (np. wewnątrzbudynkowe, miejskie z gęstą zabudową, podmiejskie, kaniony uliczne, tereny wiejskie itp.). Do badań pracy sieci opartych na systemie ZigBee, w rozmaitych środowiskach, wykorzystalem komorę rewerberacyjną stanowiącą wyposażenie Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej PWr. W postaci nieobciążonej, komora reprezentuje środowisko skrajnie odbiciowe (o wartości  $\tau_{RMS}=1,6 \mu s$ ), zaś dociążanie jej, na drodze wstawiania kolejnych paneli absorpcyjnych, pozwala na dynamiczne sterowanie wielodrogowości (schemat oraz zdjęcie układu pomiarowego pokazano na rys. 5). Stwarza to tym samym możliwość odwzorowania warunków wielodrogowych w dość szerokim zakresie, co wymagało wykonania szeregu pomiarów i symulacji opisanych w [4]. W wyniku tych badań

doprowadzono do określenia przełożenia między liczbą paneli absorpcyjnych a uzyskanymi w ten sposób zakresami rozmycia opóźnienia  $\tau_{RMS}$ . Zakresy te dopasowano następnie do odpowiadających im typów środowisk propagacyjnych. Wyniki tych badań stworzyły bazę do pomiarowych analiz wydajności transmisyjnej urządzeń ZigBee w szerokim zakresie docelowych środowisk pracy.

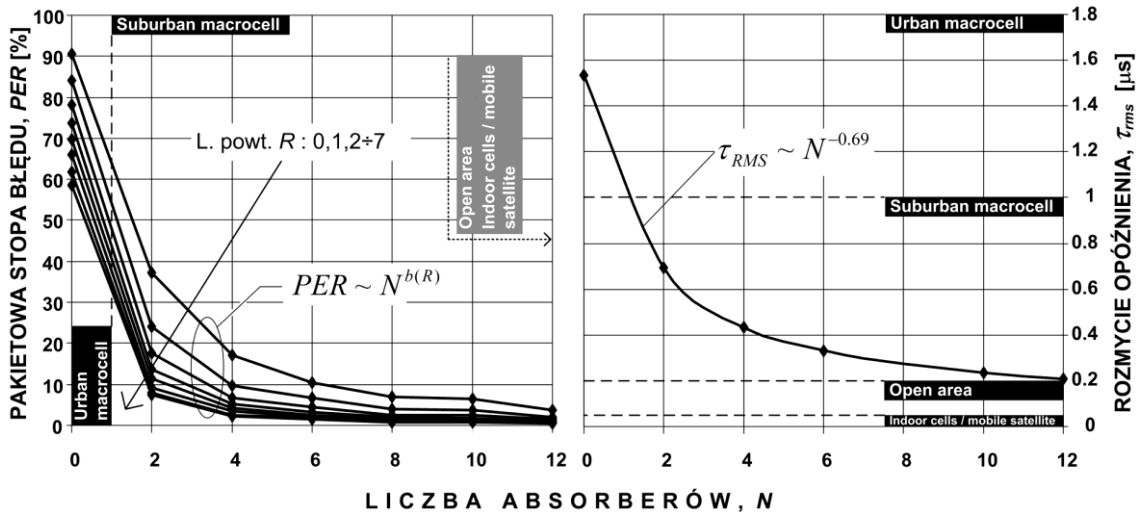


Rys. 5 Układ pomiarowy do badań wpływu wielodrogowości na pracę systemu ZigBee: a) schemat układu; b) zdjęcie układu pomiarowego w komorze rewerberacyjnej

Do najważniejszych ustaleń, opisanych głównie w [5], w przedmiotowym zakresie badań zaliczam:

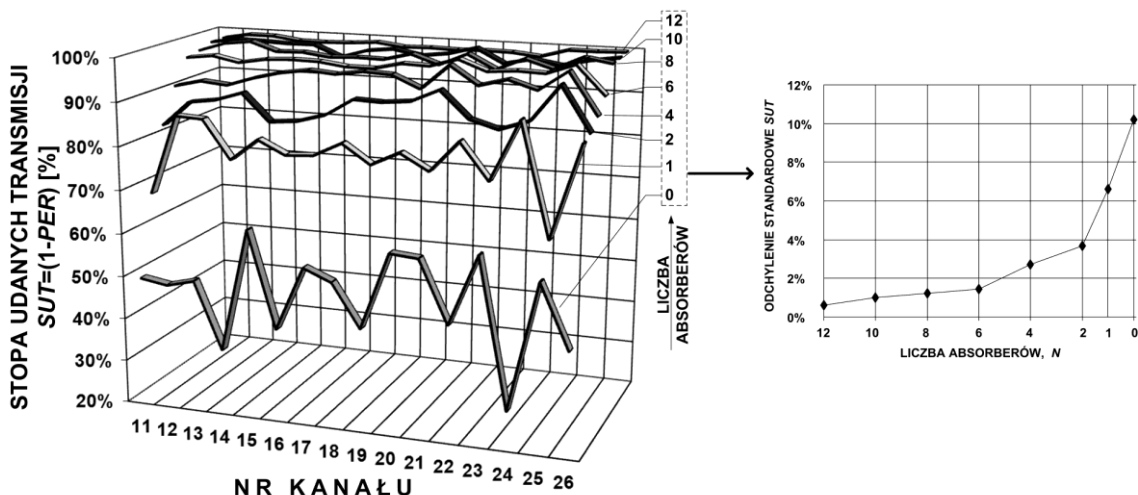
- Wyznaczenie pomiarowe wykładniczej odpowiedzi urządzeń ZigBee – w postaci  $N^{b(R)}$  – na liniowo zmieniające się obciążenie komory (prowadzące do wykładniczej reakcji rozmycia opóźnienia  $\tau_{RMS}$  w komorze), z wykładnikiem  $b$  będącym funkcją liczby powtórzeń  $R$ , zadany wzorem (2). Podsumowanie rezultatów pomiarów pokazano na rys. 6. Pozwalają one na oszacowanie spodziewanej Pakietowej Stopy Błędów urządzeń ZigBee pracujących w sieci WSN rozmieszczonej w określonym typie środowiska propagacyjnego (na rysunku zachowano anglojęzyczne nazwy typów komórek, z uwagi na ich powszechne stosowanie także w polskojęzycznej literaturze).

$$b(R) = -0,0399 \cdot R - 1,2042 \quad (2)$$



Rys. 6 Zmierzony wpływ obciążenia komory rewerberacyjnej na: a) PER urządzeń ZigBee (wg [5]) oraz b) profil rozmycia opóźnienia  $\tau_{RMS}$  (najlepsze dopasowanie wg [4])

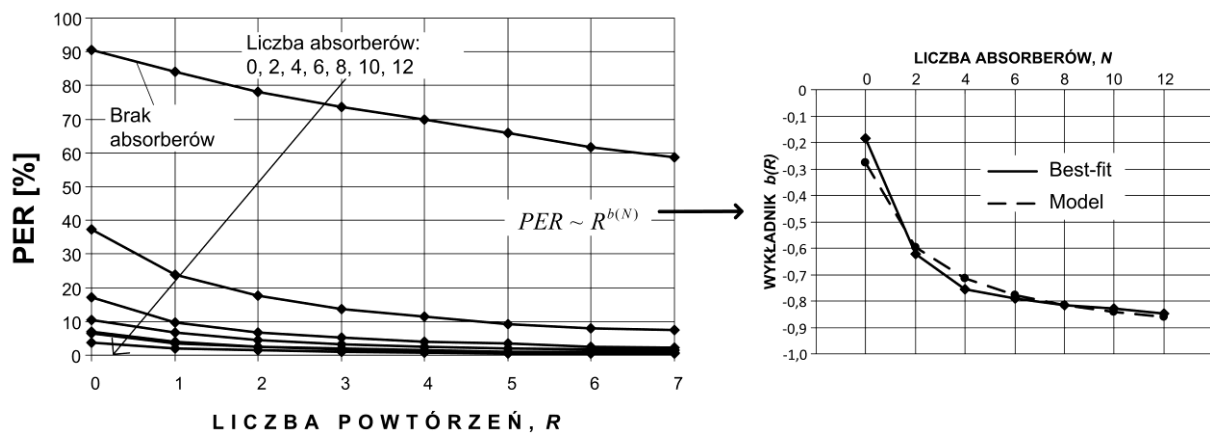
- Pomiarowe oszacowanie spodziewanego rozrzutu w mierzonych wartościach  $PER$  na różnych (łącznie 17) kanałach pracy ZigBee dostępnych w paśmie ISM 2,4 GHz. Jak widać na rys. 7 (po lewej), maksymalna bezwzględna różnica pomiędzy  $PER$  na różnych kanałach wynosi ok. 35%, różnice te jednak ulegają widocznemu zmniejszeniu w miarę przyrostu obciążenia komory rewerberacyjnej. Przyjmując za metrykę oceny odchylenie standardowe (liczone dla wszystkich kanałów przy danej liczbie absorberów) ustalono, że zmienia się ono wykładniczo od ok. 10% w komorze nieobciążonej (emulującej warunki panujące w komórkach typu ‘Urban macrocell’) do poniżej 1% w komorze będącej na granicy przeciążenia (co odpowiada warunkom wielodrogowości panującym m.in. w otwartych przestrzeniach oraz wnętrzach budynków)



Rys. 7 Po lewej) pomiar  $SUT$  (czyli  $1-PER$ ) [5] oraz po prawej) jego odchylenie standardowe na różnych kanałach pracy, przy zmiennym obciążeniu komory rewerberacyjnej



- Pomiarowe określenie (rys. 8) wpływu liczby powtórzeń  $R$  na Pakietową Stopę Błędów  $PER$  w transmisji ZigBee. Ustalono, że zmiana wartości  $R$  wpływa wykładniczo na uzyskaną  $PER$ , przy czym sam wykładnik jest także wykładniczą funkcją liczby absorberów (obciążenia komory rewerberacyjnej). W pracy [5] przypomniano jednak, zgodnie z wynikami zaprezentowanymi w [6] (omówionymi szerzej w dalszej części rozdziału), że pozytywny wpływ zwiększania liczby powtórzeń na  $PER$  powoduje jednak dodatkowe opóźnienia dostarczeniu informacji do celu o  $(\tau_R \cdot R)$  milisekund, wywołane koniecznością retransmisji tego samego pakietu  $R$ -krotnie. Ponadto, uwzględniając pracę urządzeń sieci WSN w trybie wieloskokowym ( $M$  – liczba przeskoków), należy się liczyć ze kolejnym zwiększeniem opóźnienia o  $[\tau_h \cdot (M-1)]$ . Sumaryczne opóźnienie wyniesie zatem  $(\tau_R \cdot R)[\tau_h \cdot (M-1)]$ . Zmierzone wartości parametrów  $\tau_R$  oraz  $\tau_h$  zaprezentowano i omówiono w [6].



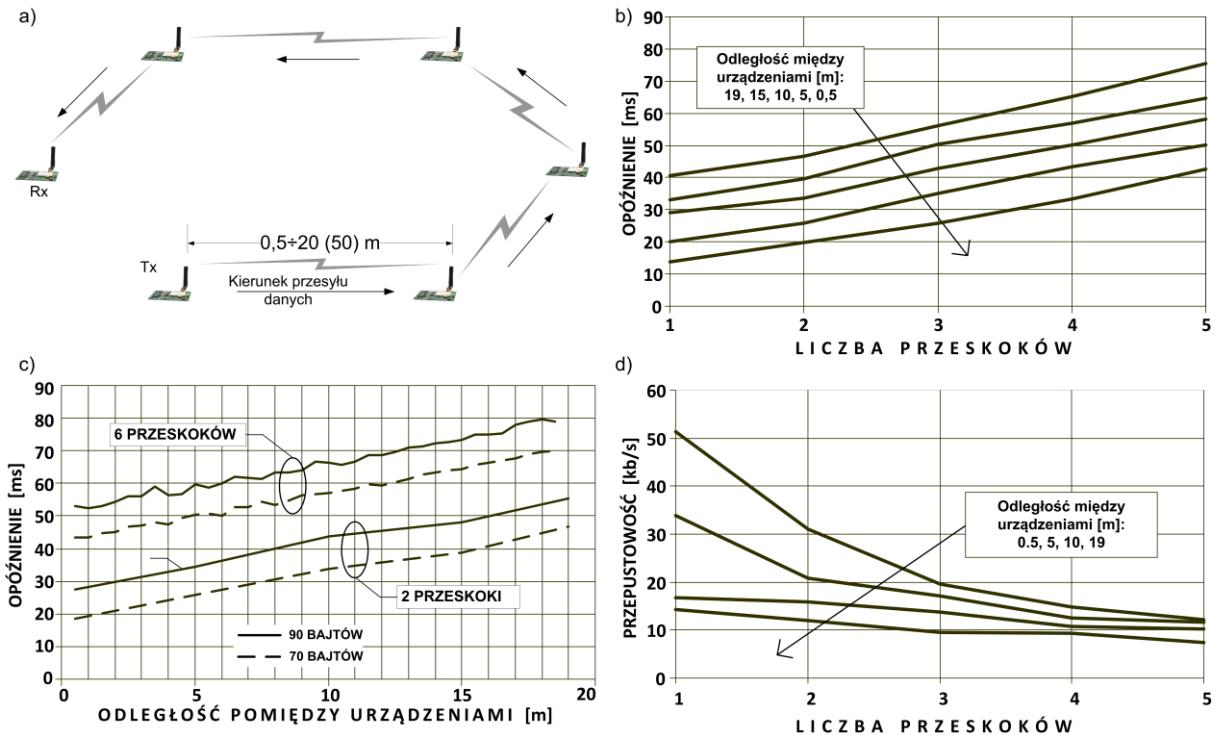
Rys. 8 Pomiar  $PER$  w funkcji liczby powtórzeń  $R$  (po lewej stronie) oraz wykres zmienności wykładnika  $b$  w funkcji liczby absorberów (po prawej stronie)

### Ad. 3) – badania transmisji informacji w sieciach WSN opartych na urządzeniach IEEE 802.15.4 (ZigBee), w trybie wieloskokowym

Jak wspomniałem we wstępie do niniejszego rozdziału, cechą systemu ZigBee czyniącą go odpowiednim do zastosowań w bezprzewodowych sieciach sensorycznych, jest jego zdolność do samoorganizacji i pracy w warunkach wieloskokowych. W pracy [6] zademonstrowałem wyniki pomiarów dla urządzeń rozstawionych w pierścieniu (rys. 9a), w którym dodawanie dodatkowych elementów służyło badaniom wpływu kolejnego przeskoku na opóźnienie transmisyjne i przepustowość, natomiast analiza wyników pomiarów pozwoliła wykazać ilościowo i jakościowo koszty (w sensie wzrostu narzutu opóźnienia i spowolnienia szybkości przesyłu danych) związane z transmisją wieloskokową, a w tym:

- stałą zależność pomiędzy liczbą przeskoków a opóźnieniem (oznaczonym jako  $\tau_h$ ) wynoszącą 8,13 ms (rys. 9b), przy czym konieczność retransmisji danego pakietu powoduje  $\tau_R = 9,1$  ms (rys. 9c);

- liniowy wzrost opóźnienia transmisyjnego o ok. 15 ms na każde 10 metrów (rys. 9c), podczas sukcesywnego zwiększania odległości pomiędzy urządzeniami w pierścieniu;
- wykładniczo malejącą przepustowość urządzeń ZigBee wraz ze wzrastającą liczbą przeskoków, przy czym dla dużej ich liczby, przepustowości dążą do podobnych wartości, niezależnie od odległości pomiędzy urządzeniami (rys. 9d).



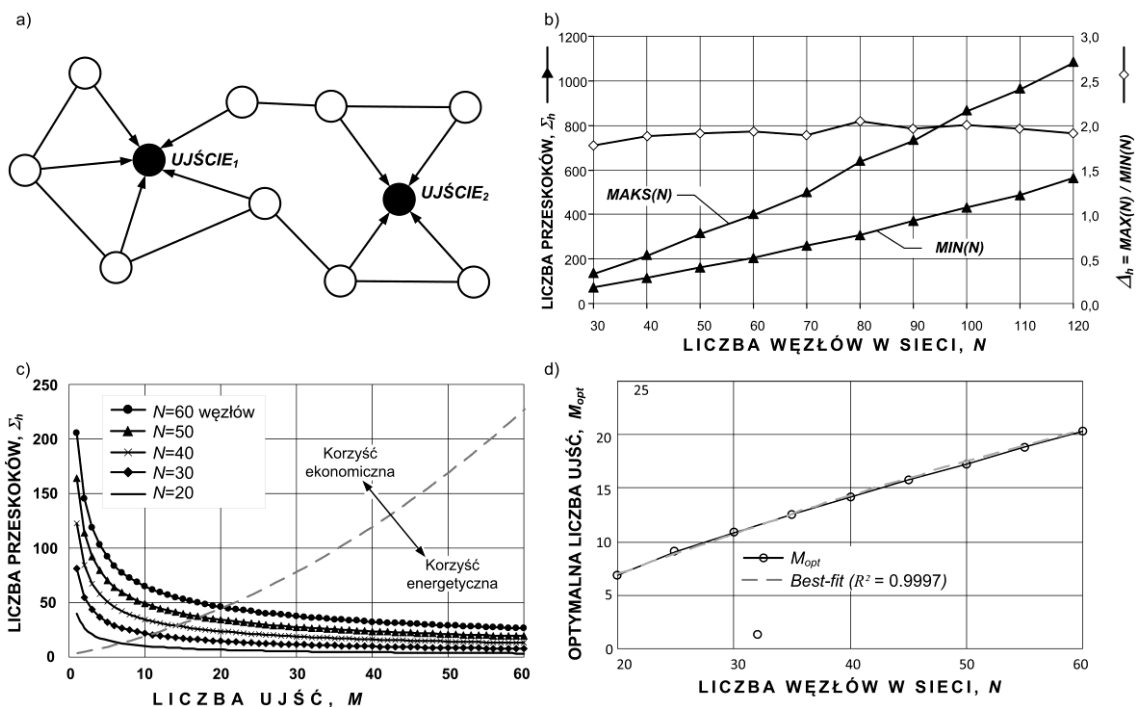
Rys. 9 Pomiar wydajności transmisyjnej systemu ZigBee w trybie wieloskokowym

Wyniki omówione w [6] zostały uzyskane na drodze pomiarów fizycznie przeprowadzonych przez M. Nowackiego w ramach pracy dyplomowej pt. „Analiza wydajności transmisyjnej bezprzewodowych sieci sensorycznych opartych na specyfikacji IEEE 802.15.4” (Politechnika Wroclawska, 2011). Moim autorskim wkładem było: zgłoszenie pomysłu, szczegółowe opracowanie koncepcji badań oraz scenariuszy pomiarowych, skompletowanie niezbędnej aparatury oraz promowanie i nadzór nad przebiegiem prac pomiarowych.

Oprócz zagadnień wspomnianych powyżej, znalazłem także zależność pomiędzy średnią licznością sieci  $N$ , liczbą ujęć  $M$  a liczbą przeskoków wykonanych przez statystyczny węzeł sieciowy WSN celem przekazania informacji do najbliższego ujęcia (opisane w [7]). Badania te związane są z zagadnieniem energooszczędności w sieciach WSN jako jednym z kluczowych dla tej dziedziny, szczególnie w kontekście systemu ZigBee, gdzie poszczególne urządzenia zasilane są bateryjnie. Oczywiście, najbardziej wskazaną byłaby sytuacja, gdyby każdy węzeł był oddalony o jeden skok od najbliższego ujęcia (rys. 10a). Oznaczałoby to jednak konieczność instalacji zbyt wielu ujęć (zazwyczaj implementowanych w formie dualnych modemów,

znacznie droższych niż zwykle węzły sieciowe ZigBee). W związku z tym zaproponowałem nieco zmodyfikowane podejście, w postaci podziału na obszary: „ekonomiczny” i „energooszczędny”, omówione bardziej szczegółowo poniżej. W rozważanych scenariuszach zakładałem  $N$ -liczną WSN rozpiętą na określonym terenie z zadaną liczbą  $M$  ujść. Do najważniejszych uzyskanych wniosków zaliczam:

- wykazanie na drodze symulacji, iż dla sieci składającej się z dowolnej liczby  $N$  węzłów oraz pojedynczego (tj.  $M=1$ ) ujścia, stosunek pomiędzy sumą przeskoków  $\Sigma_h$  wykonanych w całej sieci do ujścia o najgorszej z możliwych lokalizacji (pod względem  $\Sigma_h$  wymaganej dla dotarcia do celu) a sumą przeskoków wykonanych do ujścia (ang. *sink*) ulokowanego optymalnie, wynosi ok. 2, niezależnie od  $N$  (rys. 10b). Wynik ten może stanowić istotną wskazówkę planistyczną uzmysławiającą, że świadomy dobór lokalizacji ujścia może znacząco (bo nawet dwukrotnie) wpłynąć na sumaryczną ilość energii zużytej w sieci WSN w skutek transmisji wieloskokowej;



Rys. 10 a) Przykład sieci z węzłami oddalony o jeden przeskok od najbliższego ujścia; b) stosunek  $\Sigma_h$  dla najgorszej i dla optymalnej lokalizacji pojedynczego ujścia; c) ilustracja podziału na obszar ekonomiczny i energooszczędny; d) linia podziału dla obu obszarów

- co do sumarycznej liczby przeskoków w sieci  $\Sigma_h$ , zaproponowałem podział na obszar korzyści ekonomicznej (z mniejszą liczbą ujść ale większą liczbą przeskoków) oraz energetycznej (o mniejszej liczbie przeskoków, lecz kosztem podrożenia sieci WSN). Granicą podziału pomiędzy tymi obszarami jest krzywa poprowadzona poprzez punkty największej krzywizny na rodzinie krzywych  $\Sigma_h(N, M)$ , zaznaczona linią przerywaną na rys. 10c;
- estymację parametrów krzywej  $M_{opt}$  rozgraniczającej oba w/w obszary, opisaną wzorem (3) dającym bardzo dobrą zbieżność z krzywą wykreśloną na podstawie wyników

uzyskanych na drodze symulacji ( $R^2=0,9997$  na rys. 10d). Dopasowana zależność pozwala określić liczbę ujęć, będącą swoistym kompromisem pomiędzy energooszczędnością a oszczędnością kosztów wdrożeniowych i eksploatacyjnych sieci WSN.

$$M_{opt}(N) = [-0,0014 \cdot N^2 + 0,4466 \cdot N - 1,3199] \quad (3)$$

---

Zagadnienia opisane powyżej stanowią podsumowanie i zestawienie głównych osiągnięć moich prac badawczych z dziedziny wydajności transmisyjnej, kompatybilności elektromagnetycznej oraz wpływu wielodrogowości na działanie bezprzewodowych sieci sensorycznych w segmencie lokalnym. Poza wymienionymi pracami [1]÷[6], tematowi temu poświęcone są także inne publikacje moje autorstwa lub współautorstwa [8]÷[17] zawierające wnioski o mniejszym znaczeniu bądź zawierające rozwinięcie czy komentarze do w/w problemów. Ich podział, ze względu na typ publikacji, prezentuje się następująco:

- w czasopiśmie – pozycje [8], [11], [16]
- w książce – pozycja [14]
- w bazie IEEExplore – pozycje [9], [12], [13]
- w materiałach konferencyjnych – pozycje [10], [15], [17].

#### BIBLIOGRAFIA

- [8] Debita Grzegorz, **Staniec Kamil**: Wymiarowanie i niezawodność bezprzewodowych sieci kratowych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2008, R. 81, nr 4, s. 375-380.
- [9] Debita Grzegorz, **Staniec Kamil**: Methodology of the wireless networks planning in mesh topology. W materiałach konferencyjnych International Conference on Dependability of Computer Systems, DepCoS - RELCOMEX 2008, Szklarska Poręba, Poland, 26-28 June, 2008, pp. 375-382. IEEExplore 978-0-7695-3179-3/08, DOI 10.1109/DepCoS-RELCOMEX.2008.61.
- [10] Debita Grzegorz, **Staniec Kamil**: Reliable mesh network planning with minimization of intra-system interference. W materiałach konferencyjnych BROADBANDCOM'09, July 15-18, 2009, Wrocław, Poland: selected papers on Broadband Communication, Information Technology & Biomedical Application / [eds Tomasz Janiczek i in.]. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2009. s. 243-244.
- [11] Debita Grzegorz, **Staniec Kamil**: Algorithms for reliable networks deployment in mesh topology with flow control. International Journal of Electronics and Telecommunications. 2010, vol. 56, nr 1, s. 73-80.
- [12] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: Antenna beamwidth control for improving signal-to-noise ratio in wireless sensor networks. W materiałach konferencyjnych 14th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2010, INES 2010

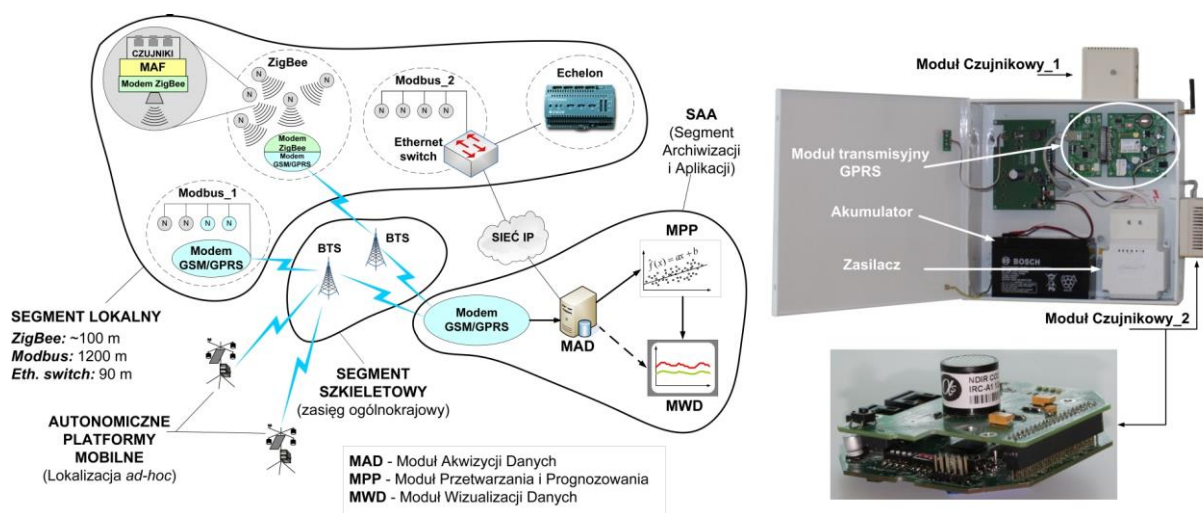
- [Dokument elektroniczny], Las Palmas of Gran Canaria, Spain, May 5-7, 2010. IEEEExplore ISBN 978-1-4244-7650-3. DOI 10.1109/INES.2010.5483866
- [13] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: Studies on the planarity, reliability and energetic efficiency in wireless sensor networks. W materiałach konferencyjnych 2011 IEEE Symposium on Computers and Informatics, ISCI 2011 : Kuala Lumpur, Malaysia, 20-22 March, 2011, pp. 593-598. IEEEExplore 978-1-61284-691-0/11, DOI 10.1109/ISCI.2011.5958983.
- [14] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: Novel modifications in WSN network design for improved SNR and reliability. Rozdział w książce pt. "Recent advances in intelligent engineering systems". Editors: János Fodor, Ryszard Klempous, Carmen Paz Suárez Araujo. Berlin; Heidelberg: Springer, 2011. s. 243-259. ISBN 978-3-642-23228-2
- [15] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz: The impact of optimal establishment of sink nodes on energetic efficiency in a mesh network. W materiałach konferencyjnych the Fifth European Conference on the Use of Modern Information and Communication Technologies, ECUMICT 2012, Gent, 22nd and 23rd of March 2012 / ed. Lieven De Strycker. [B.m.] : Nevelland Graphics, cop. 2012. s. 283-294.
- [16] Debita Grzegorz, Jasiński Łukasz, **Staniec Kamil**: Metody planowania i optymalizacji bezprzewodowych sieci sensorycznych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2012, R. 85, nr 4, s. 276-279.
- [17] **Staniec Kamil**: Selected aspects of the topology impact on the energetic efficiency in wireless mesh network. W materiałach konferencyjnych 5th WSEAS International Conference on Sensors and Signals (SENSIG '12), Sliema, Malta, September 7-9, 2012.

## 5. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE

Poza pracami badawczymi w dziedzinie bezprzewodowych sieci sensorycznych, moje zainteresowania naukowe obejmowały także: 1) opracowywanie koncepcji, planowanie i wdrażanie rozległych sieci telemetrycznych, 2) zagadnienia planowania sieci oraz wydajności transmisyjnej WLAN, 3) kompatybilność elektromagnetyczną w kontekście badań nad parametrami kanału radiowego w komorze rewerberacyjnej a także 4) modelowanie propagacji fal radiowych w środowiskach górniczych oraz 5) modelowanie promieniowania od stacji bazowych systemów komórkowych. Dziedziny 1)–4) wiążą się ściśle z tematami projektów badawczych, w których realizację byłem zaangażowany w latach 2007-2013 (przedstawione w rozdz. 5., Zał. 5).

### • OPRACOWYWANIE KONCEPCJI, PLANOWANIE I WDRAŻANIE ROZLEGŁYCH SIECI TELEMTRYCZNYCH

Badania w omawianym zakresie są związane z realizacją projektu POIG 01.03.01-02-002/08-00 pt. „Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środowisku – modelowanie i monitoring zagrożeń”. Projekt, od strony organizacyjnej był podzielony na dwie główne sekcje: *Sensory* oraz *Teleinformatyka*. W skład tej ostatniej, której przez cały okres realizacji projektu byłem kierownikiem, wchodziły następujące podzespoły: „Interfejsy” (zad. 6.), „Teletransmisja, sieć i protokoły” (zad. 7.), „Bazy danych” (zad. 8.), „Statystyka i prognozy” (zad. 9.) oraz „Analiza on-line” (zad. 10.). Z kolei celem działań sekcji *Sensory* było opracowanie nowatorskich czujników z pięciu obszarów: „Czujniki pól elektromagnetycznych”, „Czujniki akustyczne”, „Czujniki gazów”, „Czujniki odpadów przemysłowych” oraz „Czujniki biologiczne”. Zadaniem postawionym wszystkim zespołom realizatorskim było stworzenie uniwersalnej platformy do pomiaru szeroko pojętego stanu środowiska naturalnego, w skład której wchodzić miały czujniki różnego typu rozlokowane na terenie województwa dolnośląskiego (choć ostatecznie dokonano także demonstracyjnej instalacji grupy czujników także w Ustce, w woj. Pomorskim). Od strony teleinformatycznej, nadzorowane przeze mnie zespoły odpowiedzialne były za stworzenie sieci zbierającej dane od wspomnianych czujników, poddającej ich odpowiedniej konwersji oraz przesłanie wyników do tzw. Segmentu Akwizycji i Archiwizacji (SAA na rys. 11), z wykorzystaniem rozmaitych dostępnych technik telekomunikacyjnych – bezprzewodowych i przewodowych. W segmencie lokalnym wykorzystywane są techniki takie jak: ModBus, ZigBee i Echelon. Do realizacji segmentu szkieletowego wykorzystano sieć operatora komórkowego oraz, jeśli pozwalała na to lokalna infrastruktura sieciowa i regulacje administracyjne, przewodowa transmisja w sieci Ethernet. Moje osobiste zaangażowanie, poza rolą kierownika sekcji „Teleinformatyki”, w prace merytoryczne zespołu „Teletransmisja, sieć i protokoły”, zaowocowało powstaniem szeregu publikacji [18]÷[26], w którym w większości wystąpiłem w charakterze pierwszego autora i redaktora.



Rys. 11 (Po lewej) architektura teleinformatyczna opracowanej w ramach projektu „Czujniki i Sensory” rozległej sieci telemetrycznej; po prawej) autonomiczny koncentrator czujnikowy jako podstawowy element strukturalny opracowanej sieci telemetrycznej

## BIBLIOGRAFIA

- [18] Miedziński Bogdan, **Staniec Kamil**, Rutecki Krzysztof G, Debita Grzegorz, Majewski Jacek: Sieci sensoryczne w układach monitorowania zagrożeń środowiskowych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2010, R. 83, nr 8/9, s. 778-786.
- [19] **Staniec Kamil**, Habrych Marcin, Miedziński Bogdan: Telecommunication platforms for transmitting sensor data over communication networks. W materiałach konferencyjnych Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne [COE 2012] : XII konferencja naukowa, Karpacz, 24-27 czerwca 2012.
- [20] **Staniec Kamil**, Habrych Marcin, Rutecki Krzysztof G, Miedziński Bogdan: Rozwiązania teleinformatyczne na potrzeby tworzenia rozległych sieci czujnikowych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2012, R. 85, nr 8/9, s. 1286-1291.
- [21] Grzebyk Waldemar, **Staniec Kamil**: Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środowisku, Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2012, R. 85, nr 8/9, s. 1270-1274.
- [22] **Staniec Kamil**, Habrych Marcin, Rutecki Krzysztof, Miedziński Bogdan: Wielkoobszarowa uniwersalna sieć telesensoryczna do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia dla środowiska. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne, 2013, nr 8/9, s. 1175-1180.
- [23] Habrych Marcin, **Staniec Kamil**, Rutecki Krzysztof G, Miedziński Bogdan: Multi-technological transmission platform for a wide-area sensor network. Elektronika i Elektrotechnika. 2013, nr 1, pp. 93-98. **Impact Factor: 0,411.**
- [24] **Staniec Kamil**, Więckowski Tadeusz: Bezprzewodowe sieci sensoryczne - charakterystyka, zastosowania, interfejsy radiowe. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2008, R. 81, nr 4, s. 119-126.

- [25] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz, Majewski Jacek, Habrych Marcin, Rutecki Krzysztof G, Miedziński Bogdan: Raport 22.: Modelowanie przepływu pakietów i wyznaczanie tablic routingu dla systemów sensorycznych (WSN). Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środowisku: monografia projektu POIG.01.03.01-02-002/08 : [praca zbiorowa]. Cz. 2 / pod red. Waldemara E. Grzebyka. Wrocław : Politechnika Wrocławska ; Włocławek : EXPOL P. Rybiński J. Dąbek, cop. 2013. s. 379-389
- [26] **Staniec Kamil**, Debita Grzegorz, Majewski Jacek, Habrych Marcin, Rutecki Krzysztof G, Miedziński Bogdan: Raport 23.: Porównanie i ocena wydajności działania protokołów komunikacyjnych stosowanych w sieciach WSN oraz prezentacja działania własnego protokołu komunikacyjnego. W: Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środowisku: monografia projektu POIG.01.03.01-02-002/08 : [praca zbiorowa]. Cz. 2 / pod red. Waldemara E. Grzebyka. Wrocław : Politechnika Wrocławska; Włocławek : EXPOL P. Rybiński J. Dąbek, cop. 2013. s. 391-408

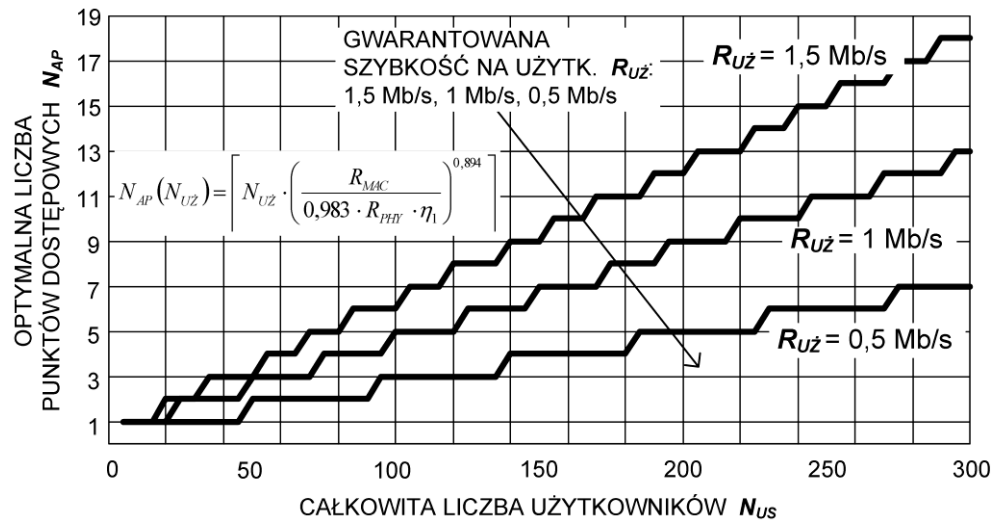
- **BEZPRZEWODOWE SIECI LOKALNE WLAN**

Badania nad systemami WLAN stanowiły kontynuację i rozszerzenie prac wykonanych w ramach grantu promotorskiego KBN (3 T11D 012 26, w latach 2004-2006) oraz Specjalnego Programu Badawczego (119/E-366/SPB/COST/T-11/DWM 725/2003-2006) kontynuowanego i zakończonego w 2007 r. Prace te zaowocowały konkretnymi wnioskami dotyczącymi planowania sieci WLAN w kontekście wykorzystania optymalnego rozmieszczenia punktów dostępowych z uwzględnieniem miejsc wykluczonych dla ich lokalizacji, z wykorzystaniem algorytmów dla sztucznych sieci neuronowych: *Hard Cooperative Learning*, *Competitive Hebbian Learning* oraz *Growing Neural Gass* [27] oraz mojego autorskiego symulatora propagacji fal radiowych w budynkach. Inne badania w tym zakresie objęły badania nad priorytetyzacją klas dostępu wg specyfikacji IEEE 802.11e [28]. Z kolei publikacje [29] (**IF=5,298**) oraz [30] stanowią pomiarową weryfikację zasadności wykorzystania rodziny modeli kanału TGn WLAN. Najważniejszym wnioskiem płynącym z uzyskanych wyników jest obserwacja, iż dla dwóch przebadanych najpopularniejszych pod-modeli (tj. TGn B, D), w obliczeniowym szacowaniu oczekiwanej przepustowości, wyniki bliższe zmierzonym daje zastąpienie tych pod-modeli macierzą z czysto losowymi elementami. Moim najważniejszym autorskim wkładem było opracowanie programistycznej platformy do symulacji kanału radiowego w dziedzinach czasu oraz kąta (parametry *Angle-of-Arrival*, *Angle-of-Departure*).

Ostatnia publikacja z omawianego zakresu [31] (**IF=0,411**) zawiera analizę wydajności transmisyjnej bezprzewodowych punktów dostępowych, z uwzględnieniem dwóch typów wydajności: związanej z narzutem warstw wyższych ( $\eta_1$ ) oraz związanej z metodą wielodostępu CSMA/CA ( $\eta_2$ ). Zaprezentowane w [31] analizy kończą się demonstracją prostej formuły pozwalającej wyznaczyć niezbędną liczbę punktów dostępowych  $N_{AP}$  na danym



obszarze, w celu zapewnienia każdemu z  $N_{UZ}$  użytkowników gwarantowanej, ustalonej przepustowości powyżej podwarstwy MAC (warstwa łącza) modelu OSI/ISO, jak pokazano na rys. 12.



Rys. 12 Wyznaczone liczebności punktów dostępowych  $N_{AP}$  na podstawie wyprowadzonego wzoru

#### BIBLIOGRAFIA

- [27] Debita Grzegorz, Wilke Łukasz, **Staniec Kamil**, Iskrzyński Miłosz: Planowanie sieci WLAN przy pomocy algorytmów optymalizacyjnych. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Radiokomunikacja, Radiofonia i Telewizja. 2007, nr 1, s. 73-78.
- [28] **Staniec Kamil**: Wydajność priorytetyzacji klas dostępu jako metody kontroli QoS w sieciach WLAN / Kamil Staniec. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2011, R. 84, nr 8/9, s. 1350-1355.
- [29] **Staniec Kamil**, Kowal Michał P: Measurement evaluation of the TGn radio channel models usefulness in predicting WLAN performance. Progress in Electromagnetics Research-PIER. 2013, vol. 137, s. 311-333. *Impact Factor: 5,298 (2011)*.
- [30] Kowal Michał P, **Staniec Kamil**: Przydatność modelu kanału radiowego TGN do wyznaczania wydajności sieci WLAN. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2013, R. 86, nr 6, s. 230-233.
- [31] **Staniec Kamil**, Kowal Michał P: A simple method for determining an optimal number of access points in distributed WLAN networks. Elektronika ir Elektrotechnika. 2013, vol. 19, no. 9, pp. 101-104. *Impact Factor: 0,411 (2012)*.

• **KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA ORAZ MODELOWANIE KANAŁU RADIOWEGO W KOMORZE REWERBERACYJNEJ**

Moja działalność naukowa w tym zakresie powiązana jest z realizacją – w charakterze głównego wykonawcy – projektu zamawianego PBZ – MNiSW – 02/II/2007 zatytułowanego „Usługi i sieci teleinformatyczne następnej generacji – aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe – kompatybilność elektromagnetyczna”. Celem zadania realizowanego przez Politechnikę Wrocławską w ramach Projektu było poznanie właściwości komory rewerberacyjnej pod kątem jej wykorzystania do emulacji wybranych środowisk propagacyjnych. Dzięki określeniu procedur dostosowywania komory do osiągnięcia wymaganej charakterystyki wielodrogowej, uzyskano możliwość wykonywania pomiarów wrażliwości bezprzewodowych systemów komunikacyjnych na zróżnicowany poziom wielodrogowości. Skrócono tym samym wielokrotnie czas pomiarów w porównaniu do pomiarów w rzeczywistych środowiskach, przy jednoczesnym zapewnieniu dużej stabilności statystycznej efektu wielodrogowego – nieosiągalnej zazwyczaj podczas pomiarów w realnym otoczeniu. W ramach realizacji projektu, byłem osobiście odpowiedzialny wykonanie następujących zagadnień:

1. opracowanie programistycznego symulatora deterministycznego rozchodzenia się fal radiowych w komorze rewerberacyjnej, do symulacji kanału radiowego w dziedzinie amplitudy, czasu i kąta, w pasmach 0,9 GHz, ISM 2,4 GHz oraz UNII 5 GHz, z uwzględnieniem małej komory zagnieżdżonej w komorze właściwej;
2. opracowanie procedur strojenia deterministycznego modelu propagacyjnego opartego na technice *Ray Launching* do emulacji kanału radiowego w komorze rewerberacyjnej. W procedurach zawarłem rekomendacje dotyczące nastaw następujących parametrów:
  - liczby obrotów mieszadła;
  - liczby uwzględnionych odbić;
  - wartości współczynnika odbicia od ścian komory oraz paneli mieszadła;
  - rozmiaru symulowanej sondy pomiarowej;
3. zbadanie wpływu następujących parametrów na symulowane wartości rozkładu amplitudowego i parametrów czasowych kanału radiowego:
  - wymiarów geometrycznych komory rewerberacyjnej (na drodze jej liniowego skalowania);
  - rozkładu paneli absorpcyjnych;
  - wielkości prześwitu (szczeliny) na torze pomiędzy anteną nadawczą a sondą odbiorczą, uzyskanego za pomocą ekranu przewodzącego o zmiennej wysokości;
  - rozmiaru apertury w małej komorze zagnieżdżonej.

Niektóre publikacje, tj. [32] i [4], opracowane na podstawie wyników powyższych prac, posłużyły mi następnie także do badań nad wpływem wielodrogowości na pracę urządzeń IEEE

802.15.4 (ZigBee), opisanych w rozdz. 4 niniejszego referatu. Pozostałe publikacje z tego zakresu, w tym jedną ([34]) znajdującą się bazie IEEExplore, zestawilem poniżej.

#### BIBLIOGRAFIA

- [32] **Staniec Kamil**, Pomianek Adam J: On simulating the radio signal propagation in the reverberation chamber with the ray launching method. Progress in Electromagnetics Research B-PIER B. 2011, vol. 27, s. 83-99. Liczba cytowań wg Web of Science (bez autocytowań): 4
- [33] Pomianek Adam J, **Staniec Kamil**, Jóskiewicz Zbigniew: On the use of reverberation chamber to simulate the Power Delay Profile of a wireless channels. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2010, R. 83, nr 11, s. 1678-1682.
- [34] **Staniec Kamil**: Notes on the tuning of a deterministic propagation model in the reverberation chamber. W materiałach konferencyjnych 2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, April 1-16, 2010, Beijing, China, s. 893-896. IEEExplore 978-1-4244-5621-5, DOI 10.1109/APEMC.2010.5475593.

#### • MODELOWANIE PROPAGACJI FAL RADIOWYCH W ŚRODOWISKACH GÓRNICZYCH

Moja działalność naukowa w tym zakresie powiązana jest z realizacją – w charakterze wykonawcy projektu – samodzielnego zadania pt.: „Opracowanie i weryfikacja modeli propagacyjnych, opracowanie i adaptacja metody wystrzeliwania promieni do środowiska typowego dla wyrobisk górniczych, przeprowadzenie pomiarów i analiza porównawcza”, w projekcie wykonywanym dla Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 0516/R/2/T02/07/02, pt. „Studium wykonalności sieci komunikacji bezprzewodowej w oparciu o badania warunków propagacyjnych w środowiskach zamkniętych typowych dla górniczych wyrobisk przy zastosowaniu rozwiązań zgodnych ze standardem WiMAX”. Podjęte przeze mnie badania miały charakter zarówno symulacyjny jak i pomiarowy. Wykonane przeze mnie badania obejmowały:

1. opracowanie programistycznego symulatora deterministycznego rozchodzenia się fal radiowych w wyrobiskach kopalnianych, do symulacji kanału radiowego w dziedzinie amplitudy, czasu i kąta, w pasmach 0,9 GHz, 1,5 GHz, ISM 2,4 GHz oraz 3,5 GHz z uwzględnieniem:
  - różnych statystycznych modeli rozpraszania, w tym obwiedni izotropowej oraz  $\cos^2(\cdot)$ ;
  - różnych kategorii powierzchni ociosów ( $G_P$ ,  $G_F$ ,  $H_P$ ,  $H_F$ );
  - różnych wartości kryterium rozpraszania Rayleigh'a;
  - przeszkód na drodze propagacji, np. w postaci pojazdów mechanicznych czy zawałisk;
2. przeprowadzenie serii pomiarów propagacyjnych w udostępnionych przez KGHM fragmentach kopalni miedzi w Lubinie w celu pozyskania danych do późniejszego dostrojenia opracowanego symulatora programistycznego. Wykonane pomiary pozwoliły

także na określenie stopnia wprzęgnięcia sygnału w korytarze boczne, zależnie od pasma pracy, co dostarczyło przydatnych danych m.in. do opracowania, przez inny zespół wykonawców, efektywnych reflektorów biernych służących do przedłużania zasięgu transmisji.

Napisane przeze mnie, w wyniku powyższych prac, publikacje ( w tym jedna znajdująca się bazie IEEExplore [39]) przedstawiłem poniżej.

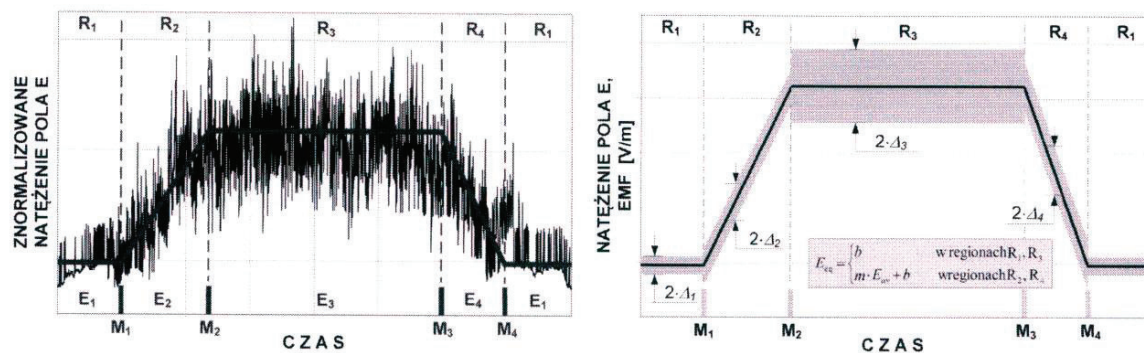
#### BIBLIOGRAFIA

- [35] **Staniec Kamil**: Deterministyczny model propagacji fal elektromagnetycznych w budynkach. Zeszyty Naukowe Wydz. Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Radiokomunikacja, Radiofonia i Telewizja. 2007, nr 1, s. 455-458.
- [36] **Staniec Kamil**: Wrażliwość deterministycznego modelu propagacyjnego na parametry EM wnętrza budynku. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, Radiokomunikacja, Radiofonia i Telewizja. 2007, nr 1, s. 459-462.
- [37] **Staniec Kamil**: Analiza porównawcza modeli propagacyjnych dla środowisk kopalnianych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2008, R. 81, nr 4, s. 509-512.
- [38] **Staniec Kamil**: Rozchodzenie się fal radiowych w rzeczywistym środowisku kopalnianym. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2009, R. 82, nr 6, s. 482-485.
- [39] **Staniec Kamil**: Modeling the influence of walls shapes on radio signal properties in mines. W materiałach konferencyjnych 2009 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Charleston, SC USA, June 1-5 2009. Piscataway, NJ : IEEE, cop. 2009. pp. 1-4. IEEExplore 978-1-4244-3647-7/09, DOI 10.1109/APS.2009.5171921.

- **MODELOWANIE PROMIENIOWANIA OD STACJI BAZOWYCH SYSTEMÓW KOMÓRKOWYCH**

Moje prace w przedmiotowym zakresie wpisują się w szeroką dziedzinę badań nad wpływem pola elektromagnetycznego na organizmy żywe. W ramach współpracy z dr. hab. Pawłem Bieńkowskim (PWr), dokonałem analizy profili dobowych promieniowania od szeregu stacji bazowych zmierzonych przez P. Bieńkowskiego. Ze względu na powtarzającą się i przewidywalną regularność radiacyjną BTS, zaproponowałem prosty model matematyczny służący do kompresji pełnego profilu dobowego danej stacji bazowej, zawierającego 2880 próbek (dla pomiaru co 0,5 min w celu uwzględnienia zmian krótkoterminowych), do zestawu 14 parametrów charakteryzujących cztery wyodrębnione regiony  $R_1 \div R_4$ , jak pokazano na rys. 13. Model ten posłużył m.in. do opracowania symulatora wchłoniętej dozy promieniowania

przez człowieka przemieszczającego się w danym środowisku miejskim (wykonany w ramach pracy magisterskiej promowanej przeze mnie, pt. „Zastosowanie modeli propagacyjnych oraz map wysokościowych do badań ekspozycji ludności na promieniowanie od stacji bazowych”, Kamil Kołodziejczyk, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2010) w określonym odcinku doby na wyznaczonej trasie, z wykorzystaniem różnych modeli propagacyjnych.



Rys. 13 Po lewej) przykładowy rzeczywisty profil dobowy zmierzonego promieniowania od BTS; po prawej) ten sam profil zamodelowany za pomocą zaproponowanego modelu matematycznego

Publikacje, w tym jedna [41] w czasopiśmie z Listy Filadelfijskiej, opracowane na podstawie opisanych badań, zamieściłem poniżej.

#### BIBLIOGRAFIA

- [40] Bieńkowski Paweł, **Staniec Kamil**: EMF variability in the surrounding of typical cellular system base stations. W materiałach konferencyjnych 7th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Malta, 8-12 October 2012.
- [41] Bieńkowski Paweł, **Staniec Kamil**: A model for approximating the EMF variability from cellular telephony base stations. Przegląd Elektrotechniczny. 2012, R. 88, nr 12b, s. 262-264. *Lista filadelfijska* (2012).
- [42] Bieńkowski Paweł, **Staniec Kamil**: Model aproksymacji czasowej zmienności natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu stacji bazowych telefonii komórkowej. W: Zastosowania elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i informatyce : [XXII Sympozjum Środowiskowe PTZE], Sandomierz, 9-12 września 2012. Warszawa: Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu, 2012. s. 36-38.

Oprócz wyżej opisanych pięciu pobocznych obszarów badań, jestem także współautorem publikacji dotyczącej działań popularyzatorskich [43].

- [43] Zieliński Ryszard, **Staniec Kamil**: Bezprzewodowe systemy teleinformatyczne. Technologie IT na Dolnym Śląsku - potencjał i szanse rozwoju. [Red. Katarzyna Janicka]. Wrocław : Oficyna Wydaw.-Reklamowa Hanna Wolska, [2007]. s. 27-40. ISBN 987-83-60885-32-1.

Dr inż. Kamil Staniec