

**Autor:**

dr inż. Dariusz Bursztynowski  
dr hab. inż. Jordi Mongay Batalla  
dr inż. Fernando Solano Donado

**SIECI BEZPRZEWODOWE  
KOMÓRKOWE, LOKALNE I SENSOROWE (SBKLS)  
Cellular, Local and Sensor Wireless Networks**

**Poziom kształcenia:** I stopień

**Forma i tryb prowadzenia przedmiotu:** stacjonarna

**Kierunek studiów:** Cyberbezpieczeństwo

**Specjalność:**

**Grupa przedmiotów:**

**Poziom przedmiotu:** podstawowy

**Status przedmiotu:** obieralny

**Język przedmiotu:** polski

**Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):**

**Minimalny numer semestru:** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** Komutacja i Routing w Internecie, Sieci i Chmury Internetu

**Limit liczby studentów:** 60

**Powód zgłoszenia przedmiotu:** program studiów na nowym kierunku Cyberbezpieczeństwo

**Cel przedmiotu:**

Przedmiot poświęcono podstawom sieci bezprzewodowych z uwzględnieniem głównych typów tych sieci, ich architektury, ważniejszych realizacji technicznych i obszarów zastosowań. Uwzględniono przy tym całościowe podejście do zagadnienia integracji różnych rodzajów sieci bezprzewodowych charakterystyczne dla najnowszych generacji sieci komórkowych. Celem laboratoriów jest pogłębienie wiedzy o ważniejszych aspektach działania sieci bezprzewodowych na drodze symulacyjnej oraz opanowanie podstawowych umiejętności w zakresie konfigurowania wybranych rozwiązań technicznych z wykorzystaniem fizycznych urządzeń. Celem projektu jest przybliżenie studentom złożonych zadań związanych z budową i eksploatacją sieci komórkowych, jak np. planowanie i realizacja sieci i usług czy projektowanie i analiza wybranych mechanizmów sieciowych.

**Treść kształcenia:**

**WYKŁADY:**

Treść wykładu obejmuje następujące zagadnienia.

Sieci komórkowe. Uogólniona specyfikacja systemów komunikacji ruchomej poprzez przykłady użycia i wymagania, problematyka łącza radiowego, mechanizmy wielodostępu, funkcje płaszczyzny sygnalizacyjnej systemów komunikacji ruchomej (grupy zarządzania zasobami radiowymi, zarządzania mobilnością, sterowanie zgłoszeniami), architektura sieci dostępu radiowego oraz sieci szkieletowej na przykładzie usług, architektur i wybranych rozwiązań technicznych sieci 2G, 3G, 4G, 5G:

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

- 2/2.5G jako podwalina dla sieci mobilnych. Istota mobilności, styk radiowy - kanały logiczne, kanały fizyczne, kanoniczne kroki związane z nawiązywaniem komunikacji w sieci (dostęp do sieci i informacja systemowa, uzyskiwanie dostępu do kanału sygnalizacyjnego, rezerwacja kanału ruchowego, żądanie realizacji usługi, zwalnianie zasobów, zasady obsługi ruchu pakietowego), obsługa zgłoszeń, zarządzanie mobilnością i przekazywanie połączeń (*handover*). Architektura sieci radiowej i sieci szkieletowej, aspekty bezpieczeństwa.
- 3G jako pierwsza sieć komórkowa szerokopasmowa dla multimediiów. Organizacja dostępu radiowego WCDMA i transmisji w sieci radiowej, architektura sieci radiowej i sieci szkieletowej, główne procedury sygnalizacyjne, ewolucja transmisji szerokopasmowej (HSDPA/HSPA+), ewolucja multimediiów i podsystem IMS.
- 4G jako wyraz ewolucji w kierunku coraz wyższych przepływności i wyższych wymagań jakościowych usług – nowe usługi sieci komórkowych (usługi dla biznesu, usługi krytyczne). Organizacja dostępu radiowego OFDMA i transmisji w sieci radiowej, architektura sieci radiowej i sieci szkieletowej, główne procedury sygnalizacyjne, ewolucja IMS i VoLTE.
- 5G jako podstawa integracji usług w architekturze end-to-end. Wymagania nowych usług odnośnie dostępu radiowego (małe opóźnienia, pełna niezawodność, dostęp ultra-szerokopasmowy) i siecią szkieletową (elastyczność, samozarządzanie). Klasy usługowe dla 5G (*Massive IoT*, *Enhanced mobile-broadband*, *Ultra-reliable low-latency*) i przypadki użycia. Kluczowe rozwiązania 5G: MIMO, sterowanie ruchem, zarządzanie zasobami. Architektura sieci RAN i sieci transportowej. Zarządzanie siecią i orkiestracja – rola technik SDN/NFV, sieci wydzielone (*network slicing*). Stan wdrożenia i perspektywy rozwojowe.

### Sieci lokalne:

- Obszary zastosowań sieci Wireless LAN.
- Znaczenie nielicencjonowanego pasma (ze szczególnym uwzględnieniem 2.4 GHz i 5 GHz).
- Standard WiFi: Zasady technologii radiowej, protokoły i mechanizmy (np. zasady dostępu do radia). Protokoły tworzące standard WiFi: funkcjonalności i zasada działania.
- Rozszerzenia 802.11.x: wymagania usługowe, mechanizmy rozszerzeń 802.11.n, 802.11.w oraz 802.11.ac.
- Jakość obsługi i mobilność w sieciach WiFi wg 802.11e i 802.11.r.
- Bezpieczeństwo sieci WiFi (unsecure WEP vs. WPA).
- Nowe zastosowania sieci WiFi, np. WiFi direct i ad-hoc p2p w sieciach bezprzewodowych.
- Sieci bezprzewodowe Ad-hoc p2p (ze szczególnym uwzględnieniem sieci WiFi Direct).

### Sieci sensorowe:

- Węzły wbudowane i ich łączność. Wprowadzenie do systemów wbudowanych i BSS. Łączy w systemach IoT: LoRa, Sigfox, NB-IoT oraz integracja w 5G.
- Bezprzewodowe sieci sensorów (BSS). Łączy LPWAN: Standard IEEE 802.15.4, architektura, tryby działania, usługi. Bluetooth: Standard IEEE 802.15.1, topologie,

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

warstwa łącza, architektura hardware'a, L2CAP, ATT, GATT, GAP, mechanizmy bezpieczeństwa. Współprawca z Internetem: Zastosowanie: 1) mechanizmu autokonfiguracji adresów sieciowych (SLAAC), 2) IPv6 (6LoWPAN) oraz 3) protokołu NDP do BSS.

ĆWICZENIA: –

LABORATORIA:

Laboratorium (7 ćwiczeń, każde 4 godziny albo 2x2 godziny):

Sieci komórkowe. Laboratoria dotyczą trzech głównych aspektów sieci komórkowych: struktury sygnału radiowego, procedur sygnalizacyjnych na tle architektury systemu i zarządzania zasobami w sieci na podstawie symulacji systemowych. W ćwiczeniach wykorzystywany jest Matlab:

- Struktura sygnału LTE. Ramka radiowa, multipleksacja OFDM, rozdział na kanały i sygnały fizyczne, informacje systemowe, przydział zasobów radiowych.
- Architektura systemu LTE i procedury sygnalizacyjne. Elementy architektury EPC (MME, PGW, SGW), eNB, UE, HSS. Podstawowe interfejsy, sygnalizacja i wybrane procedury sygnalizacyjne.
- Zarządzanie zasobami radiowymi i symulacje systemowe. Podstawowe algorytmy przydziału zasobów, agregacja nośnych, sieci heterogeniczne; makro i piko komórki, modelowanie sieci LTE i analiza wydajności.

Lokalne sieci bezprzewodowe. Zajęcia ilustrują ważniejsze aspekty dostępowych sieci bezprzewodowych: w ujęciu praktycznym - poprzez pracę ze sprzętem sieciowym, w ujęciu teoretycznym - poprzez symulacje wybranych mechanizmów sieciowych:

- Instalacja, konfiguracja i testowanie (zasięg, odporność na interferencje) routerów Wi-Fi, mechanizmy mobilności w sieci WiFi.
- Symulacja mechanizmów dostępu do zasobów radiowych w protokołach 802.11.x, symulacja mechanizmów bezpieczeństwa (WPA, WPA2, WPA3).

Sieci sensorowe. Zajęcia laboratoryjne są ilustracją podstawowych aspektów warstwy łącza radiowego: usługi do warstw wyższych, zasad działania protokołów w łączu radiowym oraz wydajności tych protokołów. Studenci pracują z dostarczonymi przez prowadzących węzłami BSS komunikującymi się za pomocą wybranych protokołów:

- Technologia LoRa/Sigfox lub NB-IoT. Za pomocą stosownych interfejsów użytkownika (GUI, linia komend), studenci skonfigurują węzeł kliencki (modem LoRa/Sigfox lub NB-IoT) i serwer oraz inicjują wymiany wiadomości między komunikującymi się węzłami.
- Analiza protokołu LPWAN. Za pomocą stosownych interfejsów użytkownika (GUI, linia komend), studenci inicjują wymiany wiadomości między komunikującymi się węzłami, a następnie analizują przesyłane wiadomości i interpretują je, poznając mechanizmy odpowiednich protokołów z uwzględnieniem aspektów wydajności.

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

### PROJEKT:

Zadanie o charakterze implementacyjnym lub analitycznym, związane z tematyką wykładu. Przykłady: analiza mechanizmu zarządzania zasobami w warstwie MAC/4G w Matlab, analiza wydajnościowa sieci dostępu radiowego 4G z użyciem Matlab, projekt sieci zadanej klasy (*Massive IoT, Enhanced mobile-broadband, Ultra-reliable low-latency*) wg założeń architektury 5G. Projekt jest kończony krótką prezentacją.

### ZAJĘCIA ZINTEGROWANE: –

### Treść kształcenia - streszczenie w jęz. angielskim:

The course aims at providing knowledge and basic skills in the domain of wireless networks including the types wireless networks, their architectures and related applications. Special emphasis is put on the unifying approach to the integration of various wireless networks as offered by the new generation of cellular networks. During lab exercises, students enhance their knowledge about major mechanisms used in wireless networks through simulation, and acquire basic skills in configuring and monitoring selected technical realisations using physical infrastructure. The project aims at presenting complex tasks related to wireless network design and operation, e.g. planning cellular network services or design and analysis of selected mechanisms in wireless networks.

### Egzamin: tak

### Literatura i oprogramowanie:

#### Literatura:

- E. Perahia, R. Stacey, "Next Generation Wireless LANs", Cambridge Eds., 2013
- J. Geier, "Designing and Deploying 802.11ac Wireless Networks", CiscoPress Eds., 2010
- W. Lemstra, V. Hayes, "The Innovation Journey of Wi-Fi: The Road to Global Success", Cambridge Eds., 2010
- M. Sauter, "From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband", John Wiley & Sons, 2011
- P. Marsch, Ö. Bulakçı, O. Queseth, M. Boldi (red.), "5G System Design: Architectural and Functional Considerations and Long Term Research", John Wiley & Sons, 2018
- K. Townsend, C. Cufi, Akiba, R. Davidson, "Getting Started with Bluetooth Low Energy", O'Reilly, 2014
- Wybrane materiały, w szczególności dotyczące LoRa, IEEE.802.15, IPv6, przekazywane przez prowadzącego na bieżąco.

#### Oprogramowanie:

- Matlab
- Linux
- Wireshark.

#### Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P
30	-	30	15

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

**Wymiar w jednostkach ECTS: 5**

### **Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu:**

Wykłady z wykorzystaniem prezentacji. Materiały z wykładów udostępnione w formie slajdów. Zajęcia laboratoryjne wykorzystujące infrastrukturę informatyczną ZSUT (w tym systemy instalowane w formie maszyn wirtualnych), oceniane w skali punktowej (łącznie 35% punktów). Możliwe krótkie testy sprawdzające przygotowanie studenta do ćwiczeń laboratoryjnych. Projekt oceniany w skali do 30% punktów. Egzamin w formie testu (35% punktów). Zaliczenie części laboratoryjnej i projektu wymagane do przystąpienia do egzaminu. Ocena końcowa na podstawie łącznej punktacji.

### **Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot:**

Podstawowa wiedza na temat funkcjonowania sieci teleinformatycznych, protokołu IP oraz protokołów routingu w Internecie - wymagany poprzednik w postaci przedmiotu „Sieci i chmury Internetu”. Zalecany poprzednik w postaci przedmiotu „Komutacja i routing w Internecie”, a także „Usługi i aplikacje Internetu”.

### **Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):**

1. liczba godzin kontaktowych – 80 godz., w tym:
  - obecność na wykładach: 30 godz.
  - obecność na ćwiczeniach laboratoryjnych: 30 godz. (7x4 godz.)
  - obecność na zajęciach projektowych: 15 godz.
  - obecność na egzaminie: 2 godz.
  - konsultacje: 3 godz.
2. praca własna studenta – 65 godz., w tym:
  - analiza literatury, materiałów i przykładów z wykładu: 10 godz.
  - przygotowanie do ćwiczeń lab.: 15 godz.
  - przygotowanie protokołów z ćwiczeń lab.: 5 godz.
  - przygotowanie projektu oraz jego dokumentacji: 20 godz.
  - przygotowanie do egzaminu: 15 godz.

**Łączny nakład pracy studenta wynosi 145 godz., co odpowiada 5 pkt. ECTS**

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 3 pkt. ECTS, co odpowiada 80 godz. kontaktowym**

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 2.5 pkt. ECTS**

# Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

## Efekty kształcenia / uczenia się i formy ich weryfikacji:

Efekty kształcenia/uczenia się	Forma zajęć / technika kształcenia	Sposób weryfikacji (oceny)	Odniesienie do efektów uczenia się dla programu
Student, który zaliczył przedmiot:			
<b>WIEDZA</b>			
w01: ma wiedzę w zakresie bezpieczeństwa sieci lokalnych (w pasmie nielicencjonowanym) oraz konfliktów między bezpieczeństwem oraz otwartością sieci i łatwością zarządzania siecią	wykład projekt	egzamin projekt	W06, W07
w02: ma wiedzę o sieciach lokalnych na temat działania protokołów niższych warstw i o zagrożeniach bezpieczeństwa występujących w tych warstwach	wykład projekt laboratorium	egzamin projekt laboratorium	W03, W06, W07
w03: ma wiedzę o działaniu sieci komórkowych w dostępie radiowym oraz w sieci szkieletowej z uwzględnieniem architektury funkcjonalnej i na tle ewolucji tych sieci	wykład laboratorium	egzamin laboratorium	W03, W06
w04: ma wiedzę w zakresie mechanizmów zarządzania zasobami dla połączeń w sieciach komórkowych z uwzględnieniem aspektów wydajnościowych i bezpieczeństwa tych mechanizmów	wykład laboratorium	egzamin projekt laboratorium	W04, W06
w05: ma podstawową wiedzę z zakresu telefonii komórkowych przyszłej generacji z uwzględnieniem potencjalnych zagrożeń bezpieczeństwa i cyberprzestępstw	wykład projekt	egzamin projekt	W06, W08, W12
w06: ma podstawową wiedzę na temat systemów wbudowanych i bezprzewodowych sieci sensorów z uwzględnieniem takich aspektów jak usługi, architektura, topologie sieciowe, bezpieczeństwo tych systemów	wykład laboratorium	egzamin laboratorium	W06, W08
w07: ma wiedzę na temat zapewnienia współpracy systemów wbudowanych i BSS z Internetem przy użyciu mechanizmów takich jak autokonfiguracja adresów i bramy do	wykład laboratorium	egzamin laboratorium	W06, W08
<b>UMIEJĘTNOŚCI</b>			
u01: potrafi zaimplementować mechanizmy bezpieczeństwa w sieci WiFi (w routerach) oraz potrafi identyfikować działania niestandardowe (ang. <i>anomaly detection</i> )	wykład laboratorium	egzamin laboratorium	U01, U05
u02: potrafi testować łącze WiFi oraz analizować powody spadku dostępnego pasma	wykład laboratorium	laboratorium	U02, U03, U06
u03: potrafi zaimplementować sieć IPv6 do komunikacji w łączach WiFi, wykorzystując możliwości rozszerzonego bezpieczeństwa	wykład projekt laboratorium	projekt laboratorium	U05, U07, U11
u04: potrafi konfigurować wybrane mechanizmy sieciowe systemów komórkowych	wykład laboratorium	laboratorium	U07, U08
u05: potrafi analizować poprawność funkcjonalną protokołów i wydajność sieci dostępu radiowego sieci komórkowych	projekt laboratorium	projekt laboratorium	U03, U08, U09
u06: potrafi (w uproszczeniu) planować sieć komórkową z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa	wykład laboratorium	laboratorium	U03, U06, U08
u07: potrafi konfigurować, monitorować pracę i analizować wydajność węzłów sieci sensorowych	laboratorium	laboratorium	U03, U08, U10
<b>KOMPETENCJE SPOŁECZNE</b>			
ks01: ma świadomość, jacy aktorzy są obecni na rynku telefonii komórkowej oraz jakie są ich	wykład	egzamin	KS02, KS04

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

interesy i priorytety			
ks02: ma orientację zawodową w obszarze ochrony użytkowników w sieciach nielicencjonowanych.	wykład projekt	n/d	KS03
ks03: ma świadomość konieczności komunikowania się z otoczeniem, także pozazawodowym, w sposób zrozumiały dla odbiorcy	projekt laboratorium	projekt laboratorium	KS05

**Uwagi:**

**Data i podpis autora (kierownika zespołu autorskiego): później**