

Technologia 5G jako etap rozwoju komunikacji bezprzewodowej

Streszczenie: W artykule przedstawiono w zarysie historię rozwoju łączności bezprzewodowej, a w szczególności telefonii komórkowej. Wykazano, że kolejne generacje telefonii komórkowej są naturalnym rozwojem tej dziedziny techniki i technologia 5G (piąta generacja) jest tylko elementem tego ciągu. Stwierdzenie takie jest panaceum na krytykę tej technologii, wyrażanej w emocjonalnej dyskusji, jak toczy się w Polsce oraz, mniej lub bardziej podobnie, w świecie.

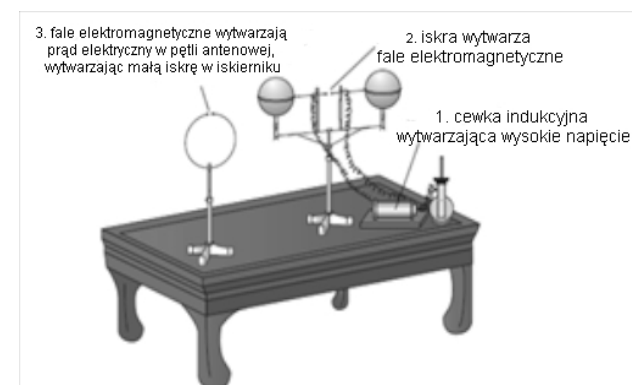
Abstract. The paper aims at showing the history and development of wireless telecommunication, especially the history of mobile telephony. The paper is to show that the 5G technology is the continuation of technological process and then the results of previous investigations can be extended to 5G technology (5G technology as a stage of development of wireless communication).

Keywords: wireless communication, cellular telephony, 5G.

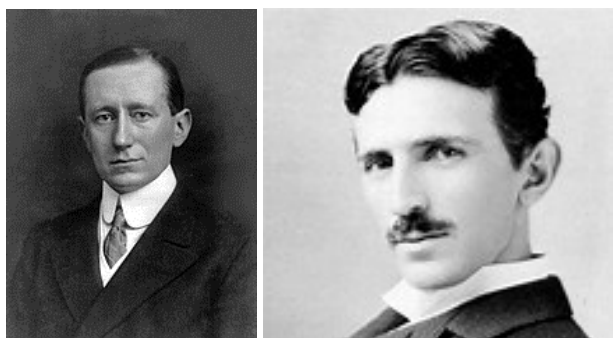
Słowa kluczowe: komunikacja bezprzewodowa, telefonia komórkowa, 5G.

Wprowadzenie

Telefonia mobilna (komórkowa, bezprzewodowa) jest wynikiem odkryć w dziedzinie elektromagnetyzmu dokonanych w XIX wieku przez James C. Maxwella w połowie XIX wieku oraz Heinricha Rudolpha Hertza w końcu XIX wieku. Maxwell wywiódł teoretycznie istnienie fali elektromagnetycznej, a Hertz wykazał to eksperymentalnie.



Rys. 1. Zestaw eksperymentalny Hertza [1]



Rys. 2 Twórcy radia: Guglielmo Marconi (z lewej) and Nicola Tesla (z prawej) [2]

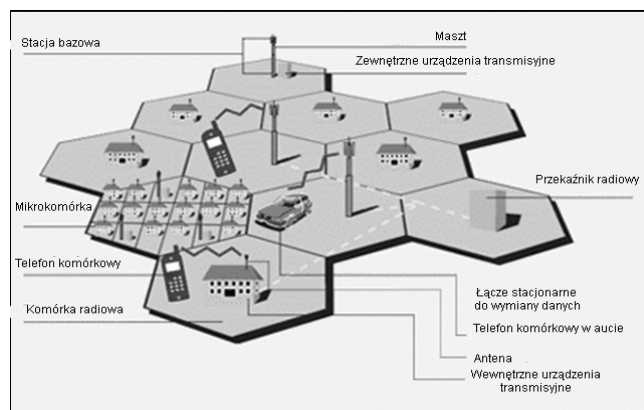
Działalność obu tych uczonych zamknęła okres tworzenia teorii elektromagnetyzmu, którą współtworzyli tacy uczeni, jak Oerstead, Ampere i Faraday. Odkrycie możliwości przesyłu bezprzewodowego informacji otworzyło historię telekomunikacji bezprzewodowej. Jej pionierami stali się Nicola Tesla i Guglielmo Marconi, którzy na przełomie wieków zrealizowali pierwsze

transmisje radiowe. Długotrwały spór o to, który z nich był pierwszy w tym działaniu, został ostatecznie rozstrzygnięty w 1943 roku przez sąd amerykański, przyznający Tesli pierwszeństwo.

W dwudziestym wieku nastąpił gwałtowny wzrost zastosowań telekomunikacji bezprzewodowej. Rozwinęły się takie dziedziny jak transmisja głosu, transmisja obrazu, monitorowanie obiektów (radar!), telemedycyna, technologie kosmiczne, łączność satelitarna, GPS, czy wreszcie telefonia mobilna, reprezentowana ostatnio przez technologię 5G [3-6]. W zasadzie od początku tego typu łączność spotykała się z niepokojem społecznym, a to za sprawą pola elektromagnetycznego, będącego głównym podmiotem tej łączności. Również emocje związane z wprowadzaniem 5G biorą się z tego powodu. Z tego powodu wiele badań naukowych dotyczy wpływu pola elektromagnetycznego na organizmy żywe [7-13].

Początek telefonii komórkowej

Początkiem telefonii komórkowej były proste radiotelefony, używane głównie do łączności zawodowej (policja, pogotowie, taksówki, ciężarówki etc.). Byłyby to urządzenia na tyle duże, że mogły być używane stacjonarnie bądź w dużych mediach mobilnych, biorąc też pod uwagę konieczność dostarczania energii do tych urządzeń. Pewnym krokiem do przodu był system dostarczenia energii z akumulatora bądź alternatora samochodu poprzez elektryczną zapalniczkę samochodową.



Rys. 3 Schemat obszaru transmisji bezprzewodowej w początkowym etapie jej rozwoju.

W grudniu 1947 inżynierowie z Laboratorium Bella, zaproponowali podział obszaru transmisji bezprzewodowej na sześciokątne podobszary, ustawiając w wierzchołach tych sześciokątów anteny transmisyjne. Sześciokąty te zostały nazwane komórkami (*cells*), i stąd powstała nazwa telefonia komórkowa (*cellular telephony*). Anteny były kierunkowe, nadające i przyjmujące sygnały w trzech kierunkach na obszarze trzech sprzężonych ze sobą sześciokątów. Taka technologia nie była dotąd stosowana, co stanowiło od początku lat sześćdziesiątych wyzwanie naukowe i techniczne dla Bella.

Dwóch amerykańskich inżynierów, Martin Cooper i J.S. Engelpr pracujących, pierwszy z nich w Motoroli, a drugi w AT&T Bell Lab, zbudowali w początku kwietnia 1973 roku pierwszy mobilny telefon komórkowy I odbyli pierwszą rozmowę telefoniczną, wykorzystującą opracowany przez nich sprzęt [14].

Rozwój telefonii mobilnej

Wspomniane w poprzednim rozdziale urządzenie może zostać wpisane do historii telefonii komórkowej jak urządzenie pierwszej generacji. Od tego momentu rozpoczął się burzliwy rozwój systemu telefonii komórkowej, którego końcowym akcentem jest wprowadzana obecnie technologia 5G.

1G – pierwsza generacja

Pierwsza generacja telefonii komórkowej powstała w początku lat osiemdziesiątych jako nowa technologia i nikt nie pokusił się wtedy o nadanie jej odpowiedniej numeracji. W związku z tym w literaturze przedmiotu, symbol 1G się nie pojawia. Dopiero wprowadzenie następných generacji spowodowało wprowadzenie nazwy 1G. System telefonii komórkowej pierwszej generacji miał charakter analogowy. Terminale w systemie 1G były bardzo duże co miało swój skutek w nazwie sprzętu. Były określane jako „cegły”. Prototyp terminala zbudowany przez Dr Coopera ważył 1,1 kg oraz miał wymiary: długość 23 cm, głębokość 13 cm i szerokość 4.45 cm (Rys. 4). Jego funkcjonalność ograniczała się do przekazu głosowego; były też bardzo nieefektywne energetycznie: rozmowa 30-minutowa powodowała konieczność 10-godzinnego ładowania.



Rys. 4 Terminal w technologii 1G [15]

W połowie lat osiemdziesiątych Bell Labs skomercjalizował używanie technologii komórkowej, wprowadzając zmultiplikowane, centralnie sterowane stacje bazowe, służące poszczególnym komórkom. Obszary komórkowe miałyby być tak ustawiane, żeby na siebie nachodziły. Sygnał pomiędzy anteną bazową a terminalem użytkownika potrzebował i nadal potrzebuje

tylko takiej mocy, żeby utrzymać połączenie, tak żeby ten sam kanał mógłby być wykorzystany jednocześnie do przeprowadzenia innej rozmowy z wykorzystaniem innego aparatu komórkowego.

W miarę rozwoju i zbliżania się do granic pojemności system należało rozbudować o nowe komórki, co pozwoliło na zwiększenie pojemności systemu.

2G – druga generacja

Druga generacja telefonii komórkowej została wprowadzona w początkach lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Z wprowadzeniem systemu 2G wiąże się zmiana o charakterze rewolucyjnym, jakim było przejście z systemu analogowego na system cyfrowy. Tym sposobem wszystkie wady systemu 1G zostały automatycznie usunięte. System 1G przestał istnieć. Dodatkowo w systemie 2G wprowadzono system GSM (europejski standard: Groupe Spéciale Mobile, później zmieniony na nazwę angielską: Global System for Mobile Communications). Była to pierwsza próba standaryzacji działania telefonii komórkowej w ujęciu globalnym. Technologia 2G przyniosła możliwość przesyłania wiadomości tekstowych, tzw. sms-ów (Short Message Service). W ten sposób telefon stał się nie tylko przekazywaczem głosu na odległość, na co wskazuje etymologia „telefon”, ale też innej formy komunikacyjnej.



Rys. 5 Terminal w systemie 2G [16]

Nowe podejście cyfrowe znacznie zwiększyło jakość komunikacji głosowej oraz zwiększyło znacznie szybkość transmisji, zarówno danych głosowych, jak i tekstowych. W technologii 2G szybkość ta początkowo wynosiła 9,6 kB/s, później wzrosła do 57,6 kB/s.

W trakcie prac nad techniką 2G powstała jej modernizacja, nazwana technologią 2,5G. Technologia ta używa standardu GPRS (General Packet Radio Service). Standard ten przewiduje transmisję danych w ramach system GSM. Postęp w stosunku do 2G przejawia się w pakietowaniu transmisji danych – w technologii 2G dane przesyłane były w sposób ciągły. Ten sposób przesyłu spowodował zwiększenie szybkości przesyłu do 80 kB/s. Zmieniony został też system płatności za usługę – w 2,5G użytkownik płaci za przesłane kilobity, a nie za czas połączenia. Można było wprowadzić nową usługę, a mianowicie przesył obrazu, czyli MMS (Multimedia Messaging Service).

Następnym standardem był EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), nazywany czasami EGPRS – (Enhanced GPRS). Modyfikacja ta znacząco zwiększyła szybkość transmisji.

3G – trzecia generacja

Trzecia generacja telefonii komórkowej została wprowadzona w początku pierwszej dekady XXI wieku. Główną różnicą pomiędzy wspomnianymi wyżej, kolejnymi generacjami 2G i 3G jest prędkość transmisji danych. W systemie 2G wynosiła ona kilkadziesiąt kb/s, podczas gdy w technologii 3G osiąga się prędkości 40-5- Mb/s. Z powodu tak dużej prędkości technologia 3G stworzyła możliwość efektywnego i płynnego komunikowania się z wykorzystaniem Internetu. Technologia 3G przyniosła też dużą zmianę na rynku terminali, mianowicie pojawiły się nowe odbiorniki telefonii komórkowej potocznie nazywane smartfonami.



Fig. 6 Smartfony pracujące w systemie 3G [17]

4G – czwarta generacja

Komercyjne wykorzystanie sieci 4G rozpoczęło się pod koniec pierwszej dekady XXI wieku. Zmieniony został standard z GSM na LTE (Long Term Evolution). Technologia 4G zapewniła kolejny wzrost szybkości transmisji danych:

- dla mobilnego Internetu szybkość ta wynosi 100 Mb/s,
- transmisja pakietowa prowadzona jest z szybkością większą niż 25 Mb/s.

Zapewnia to o wiele szybszy dostęp do Internetu, a także do nowoczesnych serwisów mediów multimedialnych.

Prędkość transmisji danych w technologii 4G:

- mobilny Internet osiągnął prędkość 100 MB / s,
- prędkość transmisji pakietów - ponad 25 MB/s.

5G – piąta generacja

Piąta generacja telefonii mobilnej, jak dotąd, w jej rozwoju, jest ostatnim etapem. System 5G powinien spełniać rekomendacje Międzynarodowej Unii Telekomunikacji (ITU – International Telecommunication Union). Wprowadzenie tych rekomendacji ma znakomicie polepszyć efektywność systemu, jak też tych aplikacji, które są przez system obsługiwane.

Kluczowe rekomendacje są następujące:

- Szybkość transmisji danych otrzymywanych przez odbiorcę (downlink) nie powinna być mniejsza od 20 Gb/s, a transmisja danych, wychodzących od odbiorcy (uplink) nie mniejsza niż 10 Gb/s.
- Opóźnienia w transmisji danych nie powinny przekraczać 4 ms w idealnych warunkach emisji (w standardzie LTE 4G wielkość ta wynosi 20 ms)

Wymagania te są możliwe do zrealizowania ze względu na nowe właściwości techniczne sieci 5G [18,19]:



Rys. 7 Porównanie prędkości przesyłu danych w systemach telefonii komórkowej

Komunikacja za pomocą sieci milimetrowych (większa częstotliwość)

Używając wyższej częstotliwości otrzymuje się szerszy kanał częstotliwościowy. Możliwe jest osiągnięcie pracy w zakresie częstotliwości 1-2 GHz. W sieci 5G rozważało się jednakże wykorzystanie częstotliwości około 50GHz. Wartość ta nastrocza kłopoty technologiczne (mały zasięg i wysoka tłumienność w obiektach napotykanym na drodze wiązki), powodując, że tak wysokie częstotliwości nie są oczekiwane.

Wielodostęp

Aczkolwiek różnorodne nowe schematy dostępu są badane w systemie 5G, najbardziej prawdopodobne jest użycie standardu OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access).

Masywne anteny MIMO ze sterowaniem wiązkami

Pomimo tego, że anteny MIMO są już używane w technologii 4G w standardzie LTE, w systemach WiFi itp., to w technologii 5G odgrywają ona specjalną rolę. Parametry i właściwości anteny MIMO podane są w Tabeli 1. Wprowadzenie wysokiej częstotliwości daje możliwości użycia wielu anten w ramach jednego urządzenia. Małe rozmiary anteny i duża gęstość ich rozmieszczenia dają takie możliwości. To umożliwia też sterowanie wiązkami w celu poprawy skuteczności anteny [20].

Table I. Parametry anteny massive MIMO

Parametr	Wartość
Liczba anten	64-128
Częstotliwość pracy	1,2-6 GHz
Zakres kanałów	20 MHz
Częstotliwość próbkowania	30.72 MS/s
Maksymalna liczba uczestników	10

Gęstość sieci

Redukcja wymiarów anteny czyni możliwym o wiele efektywniejsze wykorzystanie dostępnego obszaru częstotliwości. Wymagane są techniki zapewniające satysfakcjonujące działanie małych anten w makrosieci, Stanowi to duże wyzwanie technologiczne – rozwijane są metody umożliwiające dodanie do sieci ogromnej liczby małych stacji bazowych.

Planuje się, że technologia 5G zostanie wprowadzona do komercyjnego użytkowania w pierwszej połowie trzeciej dekady dwudziestego pierwszego wieku. W ostatnich kilku latach sieć 5G została wprowadzona w wybranych miastach w Europie i na świecie, głównie jako instalacje testowe. W Polsce, po przeprowadzeniu testów o charakterze laboratoryjnym, sieć 5G będzie zainstalowana w kampusie Politechniki Łódzkiej.

Główne korzyści społeczne i gospodarcze z wprowadzenia technologii 5G są następujące:

- Szybsza transmisja danych
- Dostępność portal multimedialnych
- Internet Rzeczy
- Inteligentny dom
- Inteligentne miasto
- Opieka zdrowotna i misje krytyczne
- Pojazdy autonomiczne

Technologia 5G jest najbardziej wyrafinowaną technologią w komunikacji bezprzewodowej, jaką do dzisiaj wprowadzono. Zrewolucjonizuje ona cały obszar sieci bezprzewodowych, dając możliwości skutecznej i bezpiecznej komunikacji. Wszędzie tam, gdzie łączność bezprzewodowa jest niezastępowalna, technologia 5G będzie miała ogromny wpływ.

Wnioski

Celem tego artykułu było pokazanie, w jaki sposób dokonywał się rozwój telefonii mobilnej. Wziąwszy pod uwagę fizyczny aspekt tego rozwoju, czyli przekazywanie informacji za pomocą pola elektromagnetycznego, można stwierdzić z całą odpowiedzialnością, że rozwój ten ma charakter ewolucyjny i technologia 5G jest elementem tego rozwoju. Dlatego opinie, że technologia 5G jest nowym bytem w technice telekomunikacyjnej są całkowicie nieuzasadnione. To, że trwa proces ewolucyjny w telefonii komórkowej potwierdzają doniesienia o zaawansowanych badaniach nad technologią 6G. Rewolucyjny jest obszar zastosowań systemu 5G, ale to akurat dotyczyło wprowadzania wszystkich kolejnych generacji.

Autorzy: dr inż. Ewa Korzeniewska Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, Politechnika Łódzka ul. Stefanowskiego, 90-924 Łódź., E-mail: ewakorz@matel.p.lodz.pl; prof. dr hab. inż. Andrzej Krawczyk, Uniwersytet Ekonomii i Innowacji, Wydział Transportu i Informatyki, ul. Projektowa 4, Lublin email: ankra.new@gmail.com, dr inż. Ewa Łada-Tondyra, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: e.lada-tondyra@el.pcz.czest.pl; dr inż. Jolanta Plewako Zakład Elektrodynamiki i Systemów Elektromaszynowych, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Rzeszowska ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, E-mail: jplewako@prz.pl

LITERATURA

- [1]. <http://www.labexbicocca.it>
- [2]. www.bing.com
- [3]. Rymarczyk T.; Adamkiewicz P.; Sikora, J.: Implementation Image Analysis and Optimization Techniques in e-Medicus System, *Przeglad Elektrotechniczny* 2018, vol. 94 no 1 pp: 93-96
- [4]. Rymarczyk T.; Szumowski J.; Adamkiewicz P., Tchorzewski P., Sikora J.: Moisture Wall Inspection Using Electrical Tomography Measurements, *Przeglad Elektrotechniczny* 2018, vol. 94 no 1 pp: 97-100
- [5]. Korzeniewska, E., Duraj, A., Konecny, C., Krawczyk, A.: Thin film electrodes as elements of telemedicine systems *Przeglad Elektrotechniczny* 2015, vol. 91 no 1 pp: 162-165
- [6]. Jozwik J., Tofil A., Michalowska J., Pytka J., Budzynski P., Korzeniewska E.: Investigation of the Effect of the Measuring Probe Orientation on the Wireless Radio Signal Transmission in Measurements on a CNC Machine Tool, *Proceedings Of The 2018 IEEE 4th International Symposium On Wireless Systems Within The International Conferences On Intelligent Data Acquisition And Advanced Computing Systems (Idaac-Sws)*, pp. 179-183
- [7]. Sztafrowski D.; Gumiela J.: Analysis of technical possibilities of reduction of the corona effect based on digital simulations of the electric field intensity by phase wires of overhead power lines, *Przeglad Elektrotechniczny*, 2018 vol. 94 no. 1, pp 113-116
- [8]. Bienkowski P.; Zubrzak B.: Electromagnetic fields from mobile phone base station - variability analysis, *Electromagnetic Biology And Medicine*, 2015, vol.: 34 no. 3 pp: 257-261
- [9]. Drozd T., Bienkowski P; Kielbasa P., Nawara P., Popardowski, E.: The research stand to stimulation of biological materials by the various electromagnetic field, *Przeglad Elektrotechniczny* 2019, vol. 95 no 3 pp 66-69
- [10]. Koziorowska A., Koziol K., Gniady, S., Romerowicz-Misielak, M.: An electromagnetic field with a frequency of 50 Hz and a magnetic induction of 2.5 mT affects spermatogonia mouse cells (GC-1spg line), *Przeglad Elektrotechniczny* 2018, vol. 94 no: 6 pp: 132-135
- [11]. Drzymala P., Welfle H. Analysis of electromagnetic phenomena and losses in the power transformer clamping-rods, , *Przeglad Elektrotechniczny* 2012, vol. 88 no 4A pp 82-85
- [12]. Krawczyk A., Korzeniewska E., Lada-Tondyra E.: Magnetophosphenes - history and contemporary implications, *Przeglad Elektrotechniczny* 2018, vol. 94 no 1 pp 61-64
- [13]. Kaczmarek M.; Szczesny A.: Selected aspects of the electromagnetic compatibility of the current transformers, *Przeglad Elektrotechniczny* 2008, vol. 84 no 10 pp 53-56
- [14]. Nebeker F.: Dawn of Electronic Age: Electrical Technologies in the Shaping of the Modern World. 1914 to 1945, IEEE 2009
- [15]. <https://temsasite.wordpress.com/2016/09/14/motorola-dynatac-el-primer-celular-del-mundo/>
- [16]. <https://www.gizmodo.co.uk>
- [17]. <https://mobily.hledjency.cz>
- [18]. Marsch P. et al. (Eds), 5G System Design: Architectural and Functional Considerations and Long Term Research Wiley, 2018
- [19]. <https://www.src.org/program/jump/comsenter/>
- [20]. Costa, H. J. B., Roda, V. O.: A scalable soft richardson method for detection in a massive MIMO system, *Przeglad Elektrotechniczny* 2016, vol. 92 no: 5 pp: 199-203
- [21]. Miaskowski A., et al.: SAR Calculations for Titanium Bar-Implant Subjected to Microwave Radiation, 2016 17th International Conference Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), 2016, pp. 1-4.