



# ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

## Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych w sieciach bezprzewodowych w pomieszczeniach wykonanych z różnych materiałów inżynierskich

W. Gąska<sup>a</sup>, M. Mrozek<sup>a</sup>, T. Tański<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
email: wojcgas@gmail.com, lena.mrozek@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład  
email: tomasz.tanski@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule został przedstawiony wpływ różnych materiałów budowlanych na rozkład pola elektromagnetycznego wewnątrz pomieszczeń. Analizie poddane zostały pomieszczenia budynków wykonane z trzech różnych materiałów inżynierskich: cegły, zbrojonego betonu oraz gazobetonu (budownictwo pasywne). Do przeprowadzenia analizy propagacji fal wewnątrz pomieszczeń wykorzystano program Wifi Analyzer oraz program WinProp. Wifi Analyzer tworzy wykres siły sygnału fali bezprzewodowej względem dystansu dzielącego urządzenie od routera. Dzięki temu programowi możemy zmierzyć natężenie sygnału oraz obciążenie konkretnych kanałów, natomiast program Wifi Analyzer tworzy mapę pomieszczenia z symulacją rozchodzenia się sygnału. Celem badania była ocena i porównanie rozkładu pola elektromagnetycznego wewnątrz pomieszczeń wybudowanych z trzech różnych materiałów oraz wybór najkorzystniejszego materiału inżynierskiego do budowy ścian, tak aby lokalizacja routera wewnątrz pomieszczenia umożliwiała jak najlepszą jakość sygnału w całym budynku.

**Abstract:** The article was presented the impact of different building materials distribution of the electromagnetic field inside the premises. Have been analyzed room buildings made from three different engineering materials: bricks, reinforced concrete and aerated concrete (passive construction). To carry out the analysis of wave propagation inside the rooms used program Wifi Analyzer and the program WinProp. Wifi Analyzer creates a graph of signal strength relative to the wave of wireless distance between the machine from the router. Through this program, we can measure the signal strength and load specific channels, and the program Wifi Analyzer creates a map of the room simulation signal propagation. The aim of this study was to evaluate and compare the distribution of the electromagnetic field inside the rooms constructed from three different materials and choose the best material engineering to build the walls, so that the location of the router inside the room allowed the best signal quality throughout the building.

**Słowa kluczowe:** Sieci bezprzewodowe Wi – Fi, fale elektromagnetyczne, propagacja fal, router, materiały budowlane, przenikalność magnetyczna.

## WSTĘP

Rozwój nowych technologii budowlanych oraz systemów komunikacji bezprzewodowej wymaga dokładnej analizy zachodzących zjawisk fizycznych przy propagacji fali elektromagnetycznej przez złożone struktury konstrukcyjne. Stosowanie nowoczesnych systemów komunikacji bezprzewodowej, wymaga uwzględnienia efektów, które mogą pogarszać zakładaną jakość transmisji danych m.in. odbicia, ugięcia i tłumienia fali w obiektach złożonych z różnych materiałów stosowanych w budownictwie. Należy uwzględnić zjawiska nakładania się fal od sąsiednich stacji bazowych, czasowe zmiany w tłumieniu czy zaniki sygnału. Część czynników ma charakter losowy (opady atmosferyczne, burze, inne urządzenia), związany ze zmianą warunków propagacji fal. Jednak konstrukcja odpornych, pewnych sieci komunikacji bezprzewodowej wymusza, już na etapie projektowania systemu, uwzględnienie znanych czynników wpływających na rozkład pola (m.in. geometria i konstrukcja budynków, złożone struktury materiałowe występujące na drodze między nadajnikiem a stacją bazową). Wskazane problemy są szczególnie widoczne w przypadku sieci bezprzewodowych o małym zasięgu WiFi, stosowanych wewnątrz budynków.

**Fala elektromagnetyczna** – inaczej promieniowanie elektromagnetyczne, czyli rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego. Składowa elektryczna i magnetyczna fali indukują się wzajemnie – zmieniające się pole elektryczne wytwarza zmieniające się pole magnetyczne, a z kolei zmieniające się pole magnetyczne wytwarza zmienne pole elektryczne. Własności fal elektromagnetycznych zależą od długości fali elektromagnetycznej. Wśród promieniowania elektromagnetycznego o różnej długości fali można wyróżnić: fale radiowe, mikrofałe, podczerwień, światło widzialne, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie i promieniowanie gamma. W opisie kwantowym fale elektromagnetyczne są traktowane, jako strumień nieposiadających masy cząstek elementarnych zwanych fotonami. Podstawowym parametrem fali, jest liczba pełnych cykli w jednostce czasu. Wartość tę nazywa się częstotliwością ( $f$ ) i wyraża się w hercach (Hz) - 1 Hz oznacza jeden pełny okres na sekundę. Czas, w którym powtarza się sekwencja periodycznych zmian nazywa się okresem ( $T$ ). Parametrem równorzędnym częstotliwości jest długość fali. Jest to odległość, jaką zjawisko (w tym przypadku fala elektromagnetyczna) pokonuje w czasie jednego okresu [1].

**Oddziaływanie fali elektromagnetycznej z materią** - Rozchodzenie się fali w ośrodkach zależy zarówno od właściwości tych ośrodków, jak i częstotliwości fali. Gdy długość fali jest duża (większa niż  $10^{-2}$  m) w porównaniu z odległościami między cząsteczkami ośrodka może on być traktowany, jako ciągły. Gdy jest dielektrykiem, fala się w nim rozchodzi, ale zmienia się jej prędkość i długość. W ośrodkach przewodzących rozchodząca się fala jest tłumiona, tym bardziej, im lepsze jest ich przewodnictwo. Również straty dielektryczne powodują tłumienie fali. W dobre przewodniki (metale) fale o tej długości wnikają jedynie na niewielką głębokość, natomiast silnie odbijają się. Gdy długość fali jest porównywalna z odległościami międzyatomowymi (rzędu nm – promieniowanie rentgenowskie) w jej oddziaływaniu z ośrodkiem zaczynają przeważać efekty dyfrakcyjne. Gdy długość fali jest mała w porównaniu z odległościami międzyatomowymi nazywamy promieniowanie przenikliwym, gdyż ma dużą zdolność penetracji materii. Kwanty

promieniowania o małej długości mają jednak tak dużą energię, że mogą jonizować atomy i rozбивać cząsteczki. W dużym stopniu pochłaniane są również kwanty promieniowania o energii odpowiadającej różnicy poziomów energetycznych elektronów i cząsteczek w materiale [1].

**Fale radiowe** - fale elektromagnetyczne o częstotliwościach mniejszych od 3 GHz, rozprzestrzeniające się w przestrzeni bez pomocy sztucznego przewodnika. Uważa się, że falami radiowymi są fale o częstotliwości 3 kHz – 3 THz ( $3 \cdot 10^3$  –  $3 \cdot 10^{12}$  Hz). W zależności od długości fali, dzielą się one na pasma radiowe. Fale radiowe znajdują bardzo wszechstronne zastosowanie w telekomunikacji, sieciach komputerowych, radiofonii, telewizji, radioastronomii i wielu innych dziedzinach nauki i techniki. W zastosowaniu podstawowym źródłem fal radiowych są anteny zasilane prądem zmiennym o odpowiedniej częstotliwości. Wiele urządzeń generuje także zakłócenia będące falami radiowymi, wymienić tu można urządzenia takie jak: zasilacze impulsowe, falowniki i regulatory tyrystorowe, piece indukcyjne, spawarki, zapłon iskrowy silników samochodowych, iskrzące styki urządzeń elektrycznych [1].

**Fale ultrakrótkie** - Fale ultrakrótkie i mikrofałe obejmują częstotliwości powyżej 30 MHz. Wyróżnia się cztery podzakresy:

- fale metrowe 30 - 300 MHz (10m - 1 m),
- fale decymetrowe 300 - 3000 MHz (1 m - 10 cm),
- fale centymetrowe 3 - 30 GHz (10 cm - 1 cm),
- fale milimetrowe 30 - 300 GHz (10 mm - 1 mm).

W części pasma mikrofalowego od 1 do 40 GHz funkcjonuje jeszcze podział na tak zwane pasma radarowe. Fale ultrakrótkie rozchodzą się w zasadzie prostoliniowo, podobnie jak światło widzialne. Podlegają one odbiciu od obiektów o dużej gęstości, oraz rozpraszaniu i tłumieniu w atmosferze i innych ośrodkach. Gdyby stwierdzenie takie było w stu procentach ściśle ich zasięg powinien ograniczać się do horyzontu optycznego. W rzeczywistości zasięg fal ultrakrótkich jest większy dzięki refrakcji troposferycznej, dyfrakcji, czyli załamaniu toru fali na krawędzi horyzontu czy wzniesień i budynków, no i niekiedy dzięki odbiciom od śladów meteorytów w atmosferze. Natężenie pola dla fal tego zakresu zależy od bardzo wielu czynników [częstotliwość, polaryzacja fali, wysokość zawieszenia anten, parametry elektryczne gruntu] [1].

**Pochłanianie mikrofal** - Promieniowanie mikrofalowe może być pochłaniane przez materię na dwa różne sposoby. Pierwszym z nich jest zjawisko strat dielektrycznych, głównie na skutek polaryzacji orientacyjnej (dipolowej). Jeśli w materiale są cząsteczki chemiczne będące dipolami, to w wyniku działania pola elektrycznego fali elektromagnetycznej starają się ustawić zgodnie z kierunkiem i zwrotem tego pola. Pole elektryczne przekazuje dipolom energię, która jest następnie rozpraszana w materiale w postaci ciepła. Mechanizm polaryzacji orientacyjnej, odpowiada za ogrzewanie tylko tych substancji, których cząsteczki są dipolami, takie jak woda, metanol, DMF, octan etylu, chloroform, chlorek metylenu, kwas octowy. Substancje nieposiadające dipolowych cząsteczek takie jak heksan, benzen, eter dietylowy czy czterochlorek węgla praktycznie nie ogrzewają się pod wpływem promieniowania mikrofalowego. Drugi mechanizm pochłaniania promieniowania mikrofalowego opiera się na przewodnictwie jonowym. Gdy w materiale znajdują się jony, zaczynają one przemieszczać się zgodnie z kierunkiem pola elektrycznego: dodatnie w jedną, a ujemne w przeciwną stronę. Zderzając się przy tym z innymi cząsteczkami, powodują rozprzestrzenianie się energii cieplnej w materiale [1].

**Bezprzewodowa sieć Wi-Fi** - jest to system komunikacji zaprojektowany, jako alternatywa lub uzupełnienie sieci tradycyjnej kablowej. Wykorzystuje ona do transmisji danych fal radiowych o mikrofalowej częstotliwości, minimalizując tym samym konieczność użycia połączeń kablowych. Sieć bezprzewodowa łączy w sobie mobilność użytkownika oraz transmisję danych. Sieć Wi-Fi jest standardem komunikacji pomiędzy urządzeniami, do nawiązania, której nie są wymagane żadne dodatkowe przewody, takie jak RJ 45 czy USB. Dzięki wykorzystaniu specjalnych urządzeń (routery sieciowe z funkcją Wi-Fi lub modemy 3G) możliwe jest, więc nawiązanie połączenia za pomocą fal radiowych, które odbierane, a następnie dekodowane są za pomocą karty sieciowej znajdującej się w jednostce roboczej. Sygnały przesyłane mogą przy wykorzystaniu różnorodnych pasm częstotliwości, z których obecnie najpopularniejszymi są pasma 2,4 Ghz oraz 5 Ghz. Drugie z pasm pozwala na osiągnięcie nawet kilkukrotnie zwiększonej prędkości transmisji danych i może być także wykorzystywane w przypadku, gdy zastosowanie częstotliwości 2,4 Ghz wiązałoby się z powstaniem silnych zakłóceń wywołanych jednoczesnym działaniem kilku lub kilkudziesięciu urządzeń sieciowych pracujących w jednakowym standardzie.

Rozchodzenie się fal wewnątrz budynków jest dosyć charakterystyczna ze względu na to, że jest to teren zamknięty i przedzielony za pomocą ścian. Obecność ludzi i różnorodnego sprzętu w pomieszczeniach ma również wpływ na rozchodzenia się fal. W otoczeniu tym najczęściej nie da się zapewnić warunku bezpośredniej widoczności i bardzo często występuje takie zjawiska jak tłumienie fali przenikającej przez ściany i stropy, odbicia fali od ścian, stropów i sprzętu znajdującego się w pomieszczeniach, a także dyfrakcja na ich krawędziach. Szczególnym zjawiskiem jest tzw. tunelowanie – wielokrotne odbicia fali od ścian najczęściej w długim i wąskim korytarzu, które może nawet zwiększyć zasięg sieci. Z drugiej jednak strony wielokrotne odbicia wpływają na wzrost zjawiska wielodrogowości, które może powodować zakłócenia między symbolowe (Inter-Symbol Interference). W związku z tym planując sieć bezprzewodową w budynku należy zaopatrzyć się w dokładny plan rozkładu pomieszczeń wraz z ich wymiarami. Należy znać grubość poszczególnych ścian i stropów i materiał, z jakiego zostały one wykonane. Oprócz tego powinno się zapoznać z wyposażeniem pomieszczeń, ich umiejscowieniem i materiałem, z jakiego zostały zrobione. Skompletowanie odpowiedniej dokumentacji dotyczącej pomieszczenia, przeanalizowanie jej i określenie problemu jest pierwszym etapem projektowania sieci. Kolejnym krokiem jest umiejscowienie punktów nadawczych. Ostatnim etapem jest wdrożenie systemu, przetestowaniem go i ewentualne wprowadzenie poprawek [2].

### **Współczesne budownictwo a zjawisko przenikalności magnetycznej materiałów budowlanych**

Współczesna technologia budowlana jest oparta głównie na materiałach ceramicznych oraz warstwowości ścian w zależności od stosowanych materiałów i funkcji, jaką ma pełnić konstrukcja. Wielu wiodących producentów ceramiki budowlanej udoskonala swoje wyroby, jednocześnie uwzględniając wciąż rosnące zainteresowanie klientów energooszczędnością powstających konstrukcji. Niemniej jednak, współczesne budownictwo bazuje na materiale ceramicznym. Budynki jednorodzinne zawierają ściany jedno- i wielowarstwowe, złożone głównie z elementów ceramicznych, takich jak cegły, pustaki. Budynki uformowane są z gliny, wapna, piasku lub innych surowców mineralnych. Kolejnym popularnym materiałem wykorzystywanym w budownictwie jest żelbet, kompozyt strukturalny składający się przede wszystkim z betonu, który został uformowany w element konstrukcyjny lub cały obiekt wraz ze

wzmocnieniem w postaci prętów zbrojeniowych lub innym materiałem stalowym zwanym po prostu wkładką stalową. Coraz częściej w budownictwie wykorzystywany jest beton komórkowy. Jest to rodzaj lekkiego betonu otrzymywanego poprzez wprowadzenie gazu, zwykle powietrza pod odpowiednim ciśnieniem do plastycznej mieszanki cementowej, w wyniku czego powstają w nim jednorodne pory, zwane komórkami.

Dodatkowym czynnikiem zmuszającym specjalistów z branży budowlanej do poszukiwania coraz bardziej innowacyjnych rozwiązań jest szybko postępująca redukcja globalnych zasobów surowców naturalnych, a co za tym idzie także i źródeł energii. To właśnie dlatego we współczesnym budownictwie mieszkaniowym tak ogromny nacisk kładzie się na to, by nowo powstające budynki były możliwie najbardziej przyjazne dla środowiska, maksymalnie energooszczędne, a jednocześnie niedrogie w budowie. Dobrym przykładem mogą być dachowe ogniwa fotowoltaiczne, które coraz szerzej stosowane są nie tylko przez osoby budujące swoje wymarzone „cztery kąty”, ale również przez właścicieli już istniejących nieruchomości po to, by zmniejszyć zapotrzebowanie na energię dostarczaną z zewnątrz. Relatywnie nowym pomysłem, który obecnie można już bez większego kłopotu zrealizować w praktyce, są tak zwane domy pasywne, czyli takie, w których konstrukcji zastosowano materiały mające znacząco zmniejszyć zużycie energii przez taki budynek w całym okresie jego eksploatacji. Ściany zewnętrzne budynków nieustannie narażone są na szkodliwe działanie czynników atmosferycznych, biologicznych, chemicznych oraz uszkodzenia mechaniczne. Skuteczną ochronę przed korozyjnym działaniem środowiska zewnętrznego zapewnia prawidłowo wykonana elewacja. Jedną z dziedzin, w których notowane są istotne postępy, jest izolacja termiczna budynków: trwają próby stworzenia systemów izolacji, które nie będą uzależnione od grubości zastosowanej powłoki styropianowej albo wełny mineralnej. Jeśli prace te zostaną uwieńczone sukcesem, to w przyszłości koszty budowy energooszczędnego domu powinny być niższe dzięki zmniejszeniu ilości koniecznych materiałów budowlanych.

Przejście fali elektromagnetycznej przez dielektryk (beton, pełną cegłę) powoduje zmniejszenie wartości pola. Część fali zostaje wytłumiona poprzez przejście przez inny ośrodek i ulega licznym odbiciom wewnątrz ściany, a część zostaje odbita na granicy powietrze – dielektryk. W konstrukcji bez zbrojenia fala elektromagnetyczna rozchodzi się równomiernie zarówno przed ścianą, jak i za nią. W modelach z prętami zbrojeniowymi widoczne są nierównomiernie rozchodzące się liczne strefy cienia w bliskiej odległości od ściany. Również odbicia fali od prętów powodują nakładanie się fal. Skutkuje to pojawieniem się załamania fali z wyraźnymi odchyleniami od równomiernego rozprzestrzeniania się sygnału. Zjawiska odbicia od ścian przyczyniają się do chwilowych wzrostów wartości pola wewnątrz pomieszczenia. Betonowa konstrukcja słupa wprowadza dodatkowe odbicia, natomiast zbrojenie w nim zawarte przyczynia się do powstania złożonych procesów: odbić na granicy słup – powietrze oraz zbrojenie – beton, gdzie zachodzą wielokrotne odbicia i interferencje. Dodatkowo zbrojenie w konstrukcji ścian wpływa na selektywny wzrost wartości pola w wybranych obszarach, głównie przy oknie [3 - 5].

## **1. METODYKA BADAŃ**

Analizie rozkładu pola elektromagnetycznego wewnątrz pomieszczeń poddano trzy pomieszczenia wybudowane z różnych materiałów: cegły, zbrojonego betonu oraz gazobetonu. Grubość ścian pomieszczeń wykonanych z tych trzech różnych materiałów została przedstawiona w tablicy 1. Przy pomocy routera TP-Link TL -WR841N oraz programu Wifi

Analyzer zainstalowanego w telefonie dokonano pomiaru propagacji fal elektromagnetycznych wewnątrz pomieszczeń. W każdym z pomieszczeń wykonano trzy pomiary zmieniając za każdym razem odległość umiejscowienia routera od urządzenia mierzącego – telefonu (LG G4), dzięki czemu program Wifi Analyzer utworzył wykresy siły sygnału fali bezprzewodowej względem dystansu dzielącego go od routera. Pierwszego pomiaru dokonano w odległości 0,5 m od routera, drugiego 10 m (pojedyncza ściana), oraz ostatni pomiar 15 m (dwie ściany) od routera. Za każdym razem podczas przeprowadzania pomiarów przeszkodą były ściany pomieszczeń wybudowane z materiałów poddanych analizie. Umożliwiło to zbadanie jaki wpływ ma dany materiał ścian na siłę i jakość sygnału. Uzyskane wyniki pomiarów zostały przedstawione w postaci wykresów otrzymanych z Wifi Analyzera. Wygenerowane zrzuty z ekranu (printscreens) z programu Wi-Fi analyzer przedstawiają informację w postaci wykresów siły sygnału łącza internetowego wraz zaznaczeniem kanałów na których nadawany jest sygnał.


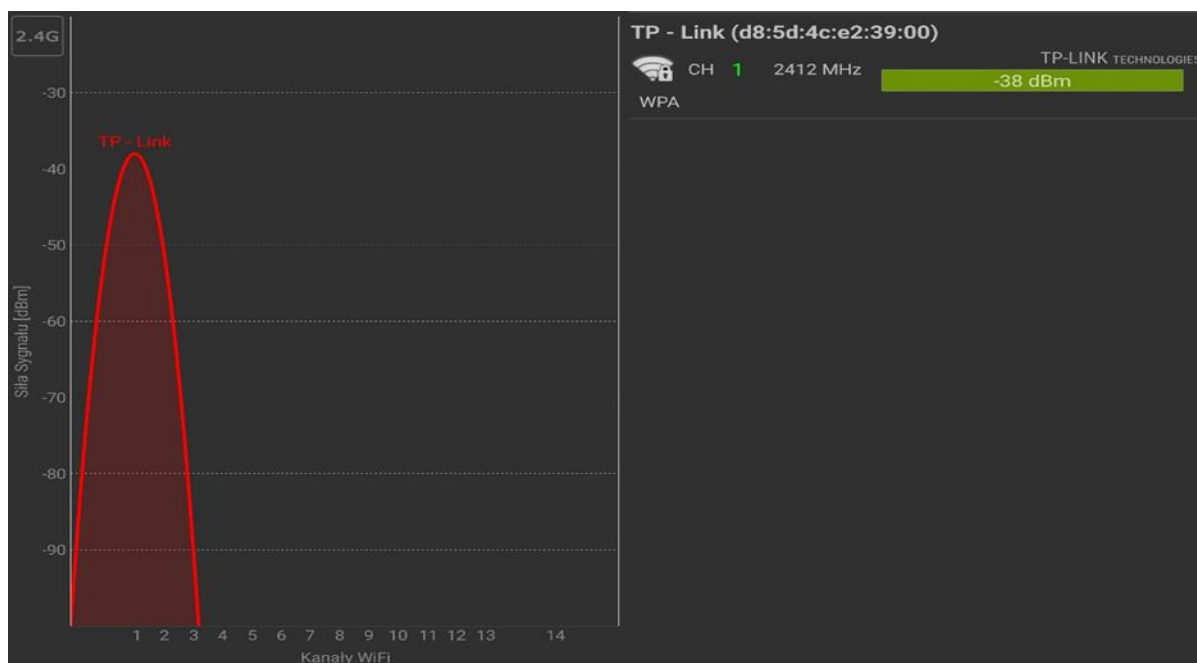
Ikona  przedstawia wcześniej zaprogramowaną wartość przedziału siły sygnału sieci bezprzewodowej w jakie urządzenie aktualnie wykrywa. Każda pojedyncza część fali w ikonie przedstawia zakres siły sygnału jaki dostępny jest w danej lokalizacji. Ustawienia programu definiują skok zakresu dla jednej części na 10 dBm. Przykładowo podświetlone 3 części ikony symbolizują siłę sygnału z zakresu -45 dBm do -55 dBm, gdzie dla 4 podświetlonych części zakres siły sygnału jest większy od -45 dBm. Na zrzutach ekranu można zaobserwować także częstotliwość sygnału wyrażoną w MHz, oraz adres fizyczny routera w 128 bitowym kodzie szyfrującym. W badanych pomieszczeniach grubość tynku wykorzystywanego w budownictwie nie ma znaczenia ponieważ nie wpływa on na jakość sygnału fal sieci bezprzewodowej WiFi. Z uwagi na niewielki wpływ na pomiar wartości sygnału sieci bezprzewodowej ma ilość znajdujących się w zasięgu routerów, pomiar ten jest pomijalny i nie jest uwzględniany w wynikach badań.

Tabela 1. Grubość ścian pomieszczeń z materiałów poddanych analizie

Grubość ścian [cm]	
Ściana wykonana z cegły	6
Ściana wykonana z żelbetu	12
Ściana wykonana z betonu komórkowego (Ytong)	12

### 3. WYNIKI BADAŃ

#### 3.1. POMIAR SIŁY SYGNAŁU SIECI BEZPRZEWODOWEJ WiFi DLA ŚCIAN WEWNĘTRZNYCH WYBUDOWANYCH Z CEGŁY



Rysunek. 1. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 0,5 metra od routera dla ścian wybudowanych z cegły

*Figure. 1 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 0,5 meter from the router for the walls made of brick*



Rysunek. 2. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 10 metrów od routera dla ścian wykonanych z cegły

*Figure. 2 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 10 meters from the router for the walls made of brick*



Rysunek. 3. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 15 metrów od routera dla ścian wykonanych z cegły

Figure. 3 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 15 meters from the router for the walls made of brick

Na rysunku 1 przedstawiono wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 0,5 metra od routera. Przy braku ścian w linii zasięgu sieci bezprzewodowej routera sygnał sieci bezprzewodowej stabilizuje się na poziomie -38 dBm. Rys. 2 przedstawia pomiar wykonany w odległości 10 metrów od routera. W linii zasięgu sygnału znajdowała się pojedyncza ściana działowa wykonana z cegły o grubości 6 mm. Siła sygnału ustabilizowała się na poziomie -44 dBm. Na rys. 3 obserwuje się ustabilizowanie siły sygnału sieci bezprzewodowej na poziomie -53 dBm. W przypadku trzeciego pomiaru odległość od routera wynosiła 15 metrów oraz występowały dwie ściany działowe o grubości 6 mm wykonane z cegły w linii zasięgu sygnału routera.

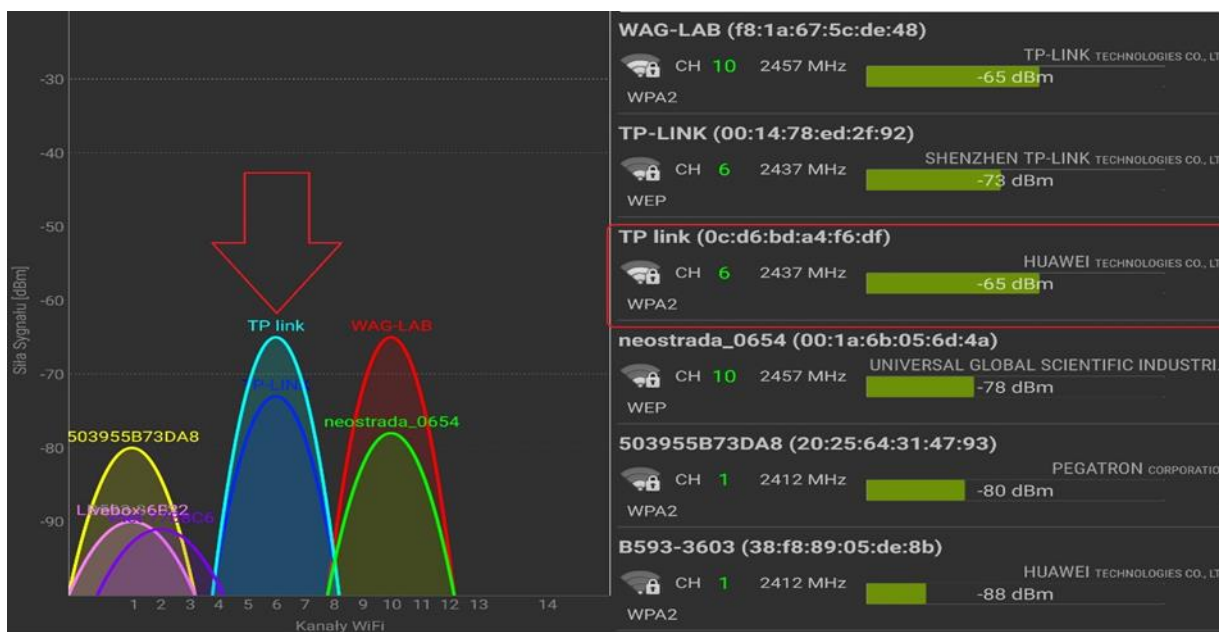
### 3.2. POMIAR SIŁY SYGNAŁU SIECI BEZPRZEWODOWEJ WiFi DLA ŚCIAN WYKONANYCH Z ŻELBETONU



Rysunek. 4. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 0,5 metra od routera dla ścian wybudowanych z żelbetu

Figure. 4 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 0,5 meter from the router for the walls made of reinforced concrete





Rysunek. 5. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 10 metrów od routera dla ścian wykonanych z żelbetu

Figure. 5 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 10 meters from the router for the walls made of reinforced concrete



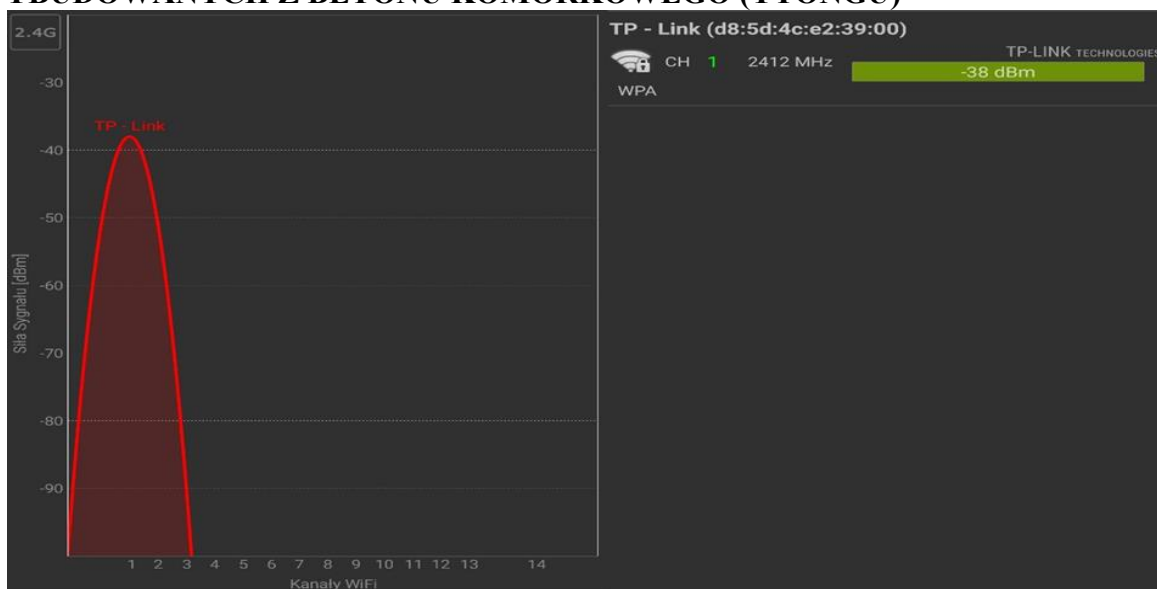
Rysunek. 6. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 15 metrów od routera dla ścian wykonanych z żelbetu

Figure. 6. Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 15 meters from the router for the walls made of reinforced concrete

Na rys. 4 przedstawiono wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 0,5 metra od routera. Przy braku ścian w linii zasięgu sieci bezprzewodowej od routera sygnał sieci bezprzewodowej stabilizuje się na poziomie -30 dBm. Rys. 5 przedstawia pomiar wykonany w odległości 10 metrów od routera, jednocześnie w linii zasięgu sygnału znajdowała się pojedyncza ściana działowa wykonana z żelbetu. Siła sygnału ustabilizowała się na poziomie -

65 dBm. Zdjęcie 6 ujawnia krzywą siły sygnału sieci bezprzewodowej na poziomie -84 dBm. W przypadku trzeciego pomiaru odległość od routera wynosiła 15 metrów oraz występowały: ściana działowa oraz ściana zewnętrzna budynku.

### 3.3. POMIAR SIŁY SYGNAŁU SIECI BEZPRZEWODOWEJ WiFi DLA ŚCIAN WYBUDOWANYCH Z BETONU KOMÓRKOWEGO (YTONGU)



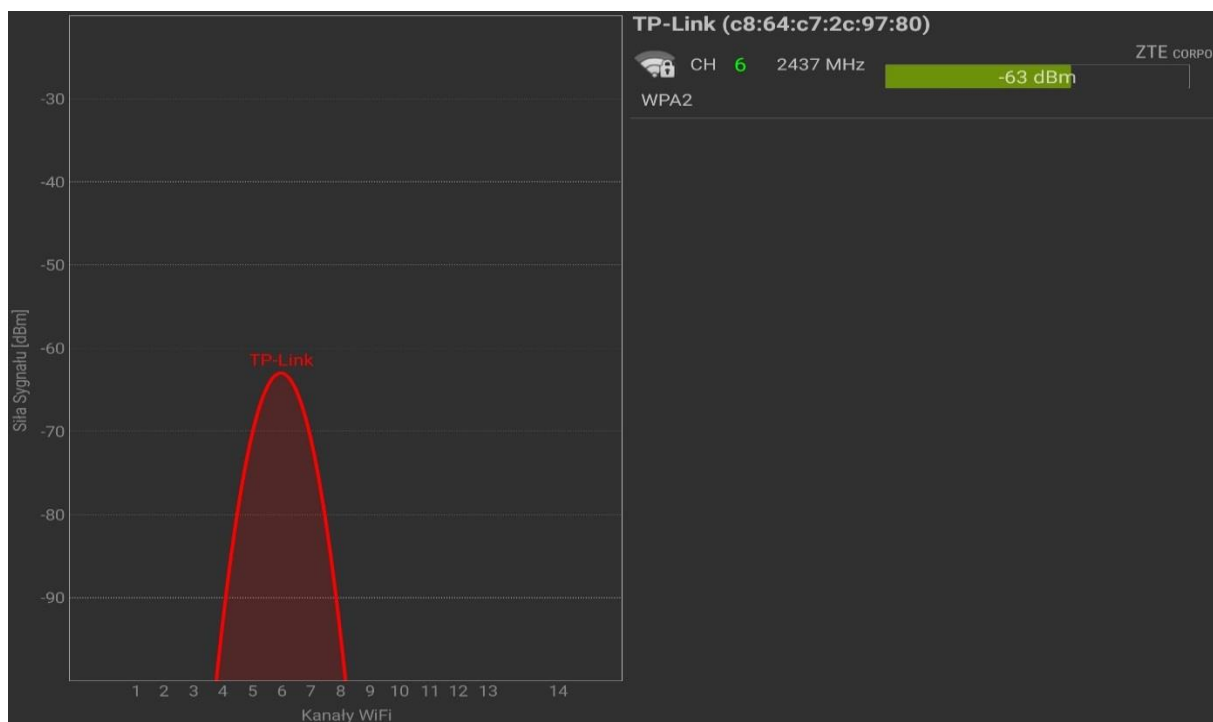
Rysunek. 7. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 0,5 metra od routera dla ścian wybudowanych z betonu komórkowego.

*Figure. 7 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 0,5 meter from the router for the walls made of aerated concrete*



Rysunek. 8. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 10 metrów od routera dla ścian wykonanych z betonu komórkowego

*Figure. 8 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 10 meters from the router for the walls made of aerated concrete*

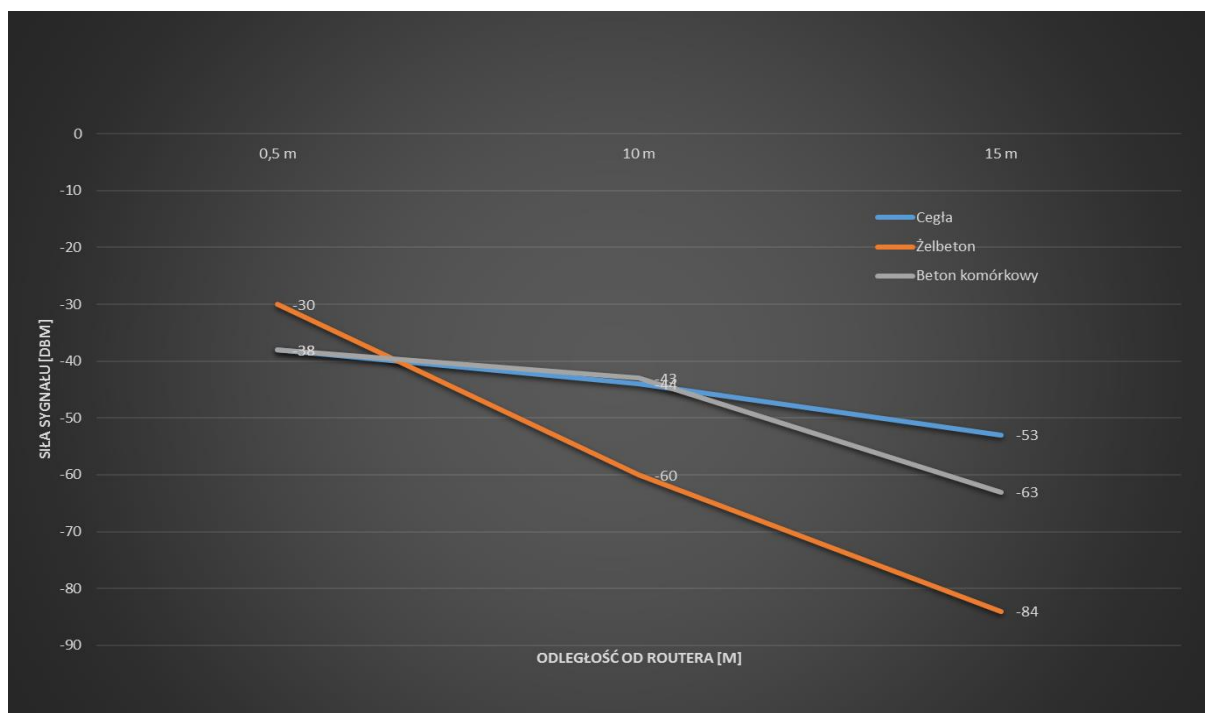


Rysunek. 9. Wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 15 metrów od routera dla ścian wykonanych z betonu komórkowego

*Figure. 9 Graph of Wi-Fi wireless network signal strength taken 15 meters from the router for the walls made of aerated concrete*

Na rysunku 7 przedstawiono wykres siły sygnału sieci bezprzewodowej WiFi w odległości 0,5 metra od routera. Przy braku ścian w linii zasięgu sieci bezprzewodowej od routera sygnał sieci bezprzewodowej stabilizuje się na poziomie -38 dBm. Rys. 8 przedstawia pomiar wykonany w odległości 10 metrów od routera, jednocześnie w linii zasięgu sygnału sieci bezprzewodowej znajdowała się pojedyncza ściana działowa wykonana z betonu komórkowego o grubości 12 mm. Siła sygnału ustabilizowała się na poziomie - 43 dBm. Na rys. 9 obserwuje się ustabilizowanie siły sygnału sieci bezprzewodowej na poziomie - 63 dBm. W przypadku trzeciego pomiaru odległość od routera wynosiła 15 metrów oraz występowały dwie ściany działowe o grubości 12 mm wykonane z betonu komórkowego w linii zasięgu sygnału routera.

### 3.4. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ



Rysunek. 10. Wykres przedstawiający porównanie siły sygnału sieci bezprzewodowej wraz z zastosowanym materiałem na budowę ścian budynku

*Figure.10 Graph showing comparison of wireless signal strength for the material used for the construction of building walls*

Na rys.10 przedstawiono wykres porównujący siłę sygnału sieci bezprzewodowej WiFi wraz z zastosowanym materiałem na wykonanie ścian budynku. Namniejszym stopniem tłumienia sygnału charakteryzują się budynki wybudowane z cegły, gdzie siła sygnału maleje z -38 dBm do -53 dBm. Największym stopniem tłumienia charakteryzują się budynki wykonane z żelbetonu, gdzie siła sygnału sieci bezprzewodowej WiFi maleje z -30 dBm do -84 dBm.

### 4. PODSUMOWANIE

W ramach niniejszej pracy dokonano analizy wpływu wykorzystanego materiału do budowy pomieszczeń na siłę sygnału sieci bezprzewodowej wewnątrz budynku mieszkalnego. Dokonano także przeglądu literatury odnośnie fal radiowych, fal elektromagnetycznych wykorzystywanych w technologii WiFi, oraz przeprowadzono przegląd literaturowy z obszaru dotyczącego materiałów wykorzystywanych w budownictwie mieszkalnym. Na potrzeby pracy przeprowadzono badania z wykorzystaniem oprogramowania WiFi analyzer, a następnie na podstawie wyników uzyskanych z programu dokonano porównania wykorzystywanych technologii budowlanych w aspekcie tłumienia fal sieci bezprzewodowych WiFi. W ramach badaniach dokonano 3 pomiarów natężenia siły sygnału w zależności od odległości od routera dla każdego z wybranych materiałów (żelbet, cegła, beton komórkowy) przeznaczonych na wykorzystanie w budownictwie mieszkalnym. Wyniki badań przedstawiono w formie wykresu

zestawiającego odległość pomiaru od routera z zastosowanym materiałem na konstrukcję ścian znajdujących się w pomieszczeniach, w których wykonywane było badanie.

## **5. WNIOSKI**

- Zastosowana metoda badawcza pozwala w sposób precyzyjny określić wpływ zastosowanego materiału na konstrukcję ścian w budynkach mieszkalnych na sygnał sieci bezprzewodowej WiFi,
- Najbardziej tłumiącym sygnał WiFi materiałem przeznaczonym na konstrukcję ścian w budownictwie mieszkalnym jest żelbet, a najmniej tłumiącym materiałem jest cegła,
- Istotny wpływ na siłę sygnału WiFi ma grubość ścian wykonanych z danych materiałów,
- Z uwagi na niewielki negatywny wpływ na siłę sygnału WiFi ma ilość routerów znajdujących się w badanym obszarze, wpływ ten jest pomijalny dla celów badawczych.

## **LITERATURA:**

1. J. Szóstka: Mikrofale Układy i Systemy, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ.
2. R.J. Katulski: Propagacja fal radiowych w telekomunikacji bezprzewodowej, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ.
3. E. Brylska, P. Murzyn, J. Stolecki: Ceramiczne materiały budowlane, metody badań surowców i wyrobów, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2014.
4. E. Osiecka: Materiały budowlane. Tworzywa sztuczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
5. A. Choroszucho: Wpływ zastosowanej technologii budowlanej na propagację fali elektromagnetycznej, Napędy i sterowanie, nr 12, 2015, s. 88 – 92.