

Praca magisterska

Aplikacja do pomiarów parametrów łącza sieciowego  
dla urządzeń z systemem operacyjnym Android

Tomasz Łakomy

## **Streszczenie**

## **Abstract**

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Transmisja danych w sieciach komórkowych</b>	<b>5</b>
2.1	GSM i EDGE . . . . .	5
2.2	UMTS i HSDPA . . . . .	8
2.3	LTE . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Transmisja danych w Internecie</b>	<b>12</b>
3.1	Protokół TCP . . . . .	12
3.2	Protokół HTTP . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Opis realizacji programowej</b>	<b>13</b>
4.1	Założenia projektowe . . . . .	13
4.2	Cechy charakterystyczne programowania urządzeń z systemem Android .	14
4.3	Opis aplikacji na smartfon z systemem Android . . . . .	15
4.4	Opis aplikacji pełniącej funkcję serwera na komputer PC . . . . .	15
4.5	Opis realizacji transmisji poprzez protokół TCP/IP . . . . .	15
4.6	Sposób pomiaru rejestracji czasu przesyłania pakietu . . . . .	15
4.7	Sposób pomiaru położenia terminala mobilnego . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Wyniki pomiarów</b>	<b>16</b>
5.1	Pomiar nieruchomego terminala mobilnego . . . . .	16
5.2	Pomiar ruchomego terminala mobilnego w środowisku miejskim . . . . .	16

# **1 Wstęp**

## 2 Transmisja danych w sieciach komórkowych

### 2.1 GSM i EDGE

#### 2.1.1 GSM

GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*) jest standardem telefonii komórkowej, który powstał dzięki europejskiej inicjatywie stworzenia jednego, otwartego standardu telefonii komórkowej. Jest to najstarsza wykorzystywana dziś technologia radiokomunikacji ruchomej, na obszarze europejskim rozpoczęto uruchamianie GSM w roku 1989, rok po opublikowaniu pierwszej wersji standardu. Polska na uruchomienie pierwszej sieci GSM czekała kolejne 7 lat, została ona uruchomiona w roku 1996.

GSM jest aktualnie najpowszechniej wykorzystywanym standardem telefonii komórkowej na świecie, jest on dostępny w 219 państwach. Pierwotnie był to standard pozwalający jedynie na transmisję mowy, jednakże po latach ewolucji pojawiły się bazujące na GSM technologie transmisji danych takie jak GPRS (ang. *General Packet Radio Service*) czy jego następca, EDGE (ang. *Enhanced Data Rates for GSM evolution*). W przypadku, gdy użytkownik terminala mobilnego wybrał korzystanie np. z sieci LTE (ang. *Long Term Evolution*) do transmisji danych i z jakiś powodów transmisja ta nie jest możliwa (przykładowo z powodu zbyt słabego zasięgu sieci LTE), transmisja może być przeprowadzona za pomocą technologii EDGE, która jest dostępna niemalże wszędzie tam, gdzie dostępna jest sieć GSM.

Istnieje pięć głównych standardów sieci GSM, różniących się od siebie wykorzystywanym pasmem radiowym oraz liczbą dostępnych pasm częstotliwości, co przedstawia tabela 1

Na terenie Unii Europejskiej używany jest standard GSM 900/1800, który polega na uruchomieniu obu sieci jednocześnie na danym obszarze. Na terenach, gdzie spodziewany ruch jest niezbyt duży (np. tereny wiejskie) uruchamiana jest tylko sieć GSM 900, jednakże w miastach, gdzie ruch ten jest zdecydowanie większy, dodatkowo wdrażany jest także standard GSM 1800, który dzięki większej liczbie jednocześnie oferowanych

Standard	Częstotliwości wykorzystywane w łączu w górę [MHz]	Częstotliwości wykorzystywane w łączu w dół [MHz]	Liczba dostępnych pasm częstotliwości
GSM 400	450.4 - 457.6 lub 478.8 - 486	460.4 - 467.6 lub 488.8 - 496	35
GSM 850	824 - 849	869 - 894	124
GSM 900	880 - 915	925 - 960	174
GSM 1800	1710 - 1785	1805 - 1880	374
GSM 1900	1850 - 1910	1930 - 1990	299

Tabela 1: Tabela porównująca standardy sieci GSM

częstotliwości jest w stanie obsłużyć większy ruch.

Aktualnie niemalże wszystkie telefony komórkowe pozwalają na pracę w obydwu zakresach częstotliwości, co sprawia, że użytkownik nie musi się obawiać o utratę zakresu np. sieci GSM 1800. GSM zakłada możliwość rozmowy w trakcie przemieszczania się pomiędzy stacjami bazowymi.

### 2.1.2 EDGE

Standard EDGE (ang. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) powstał jako odpowiedź na zapotrzebowanie użytkowników na większe niż w przypadku GPRS prędkości transmisji danych pakietowych. Obecnie jest to najbardziej podstawowa technika przesyłania danych w sieciach komórkowych, wykorzystywana, gdy sieci UMTS oraz LTE nie są dostępne.

Zarówno EDGE jak i GPRS działają na bazie istniejącej infrastruktury sieci komórkowej, więc wdrożenie ich nie stwarzało konieczności budowania nowej sieci radiowej. EDGE nie oferował nowych usług, ale za to oferował użytkownikom możliwości dostarczania takich usług jak Internet, korzystanie z transmisji strumieniowych audio/video czy też wideorozmowy.

W systemie GSM, transmisja jest zorganizowana na pasmach o szerokości 200 kHz, a czas podzielony jest na 8 kolejno następujących szczelin czasowych, z których każda trwa 577 mikrosekund. Szczeliny te są ponumerowane od 1 do 8 i następują cyklicznie. W przypadku transmisji mowy, kontroler stacji bazowej przypisuje terminalowi mobilnemu jedną szczelinę czasową na częstotliwości używanej w transmisji. Oznacza to, że na 1 częstotliwości można jednocześnie prowadzić do 8 rozmów telefonicznych.

Ze względu na to, że EDGE został zbudowany jako rozszerzenie standardu GSM, wykorzystuje on szczeliny czasowe na potrzeby transmisji danych. W przeciwieństwie do transmisji mowy, nie odbywa się rezerwacja szczelin czasowych na cały czas korzystania z sieci pakietowej (np. w trakcie przeglądania stron internetowych na telefonie komórkowym) - szczelina czasowa jest rezerwowana tylko na potrzeby przesłania danej paczki pakietów danych. Teoretycznie w sieci EDGE możliwe jest rezerwowanie wszystkich 8 szczelin czasowych na potrzeby transmisji pakietów, jednakże w praktyce rezerwuje się do 4 szczelin dla transmisji od terminala mobilnego i 5 szczelin dla transmisji w kierunku terminala. Wszystkie rezerwowane szczeliny dla danej transmisji muszą znajdować się na tej samej częstotliwości.

EDGE dla celów modulacji danych wykorzystuje modulację GMSK (podobnie jak GSM dla transmisji mowy), jednakże możliwe jest także wykorzystanie nowszego rozwiązania, jakim jest modulacja 8-PSK (ang. *8 Phase Shift Keying*), która oferuje większą przepływność, kosztem wrażliwości na warunki transmisji. EDGE zakłada 9 różnych schematów transmisji, z których każdy charakteryzuje się inną szybkością danych, co wynika z zastosowanej modulacji oraz ilości zastosowanych nadmiarowych danych (tzw. *code rate*). Tabela 2 przedstawia możliwe schematy transmisji. Schematy transmisji są podzielone na trzy rodziny A, B i C, których zastosowanie sprowadza się do tego, że gdy warunki dla przeprowadzenia danej transmisji są nieodpowiednie, wybierany jest inny schemat transmisji pochodzący z danej rodziny.

Z powyższej tabeli wynika, że maksymalną prędkość transmisji można osiągnąć wybierając schemat MCS-9, który przy zastosowaniu 5 szczelin czasowych umożliwia transmisję do 296 kilobitów na sekundę. W praktyce prędkość ta jest zdecydowanie niższa, ze względu na warunki panujące w kanale radiowym.

Schemat	Code rate	Modulacja	Transfer	Rodzina
MCS-1	0.53	GMSK	8.8 kbit/s	C
MCS-2	0.66	GMSK	11.2 kbit/s	B
MCS-3	0.85	GMSK	14.8 kbit/s	A
MCS-4	1	GMSK	17.6 kbit/s	C
MCS-5	0.37	8-PSK	22.4 kbit/s	B
MCS-6	0.49	8-PSK	29.6 kbit/s	A
MCS-7	0.76	8-PSK	47.8 kbit/s	B
MCS-8	0.92	8-PSK	54.4 kbit/s	A
MCS-9	1	8-PSK	59.2 kbit/s	A

Tabela 2: Tabela przedstawiająca schematy transmisji w sieci EDGE

## 2.2 UMTS i HSDPA

### 2.2.1 UMTS

UMTS (ang. *Universal Mobile Telecommunications System*), jest to standard sieci komórkowej trzeciej generacji będący następcą systemu GSM. UMTS został zbudowany na bazie GSM, co oznacza, że nie zakłada on zmian w sieci szkieletowej, jednakże wprowadzono gruntowne zmiany w sieci radiowej. Dzięki tym zmianom (takim jak zaimplementowanie technologii HSDPA - ang. *High Speed Downlink Packet Access*) udało się uzyskać prędkości transmisji danych pakietowych dochodzące do 21.6 Mbit/s w transmisji w łączu w górę, oraz do 5.76 Mbit/s w łączu w dół.

Prędkości transmisji danych w sieciach trzeciej generacji są zdecydowanie większe od prędkości mierzonych w sieciach poprzedniej generacji ze względu na rosnące zapotrzebowanie użytkowników na korzystanie z usług internetowych w terminalach mobilnych. W czasach, gdy strumieniowanie filmów w wysokiej rozdzielczości przez Internet jest pożądaną przez użytkowników telefonów komórkowych funkcjonalnością, EDGE nie jest wystarczający dla zaspokojenia ich potrzeb.

W dzisiejszych czasach UMTS jest najpopularniejszą siecią komórkową trze-



kiej generacji, a polscy operatorzy komórkowi objeli jej zasięgiem niemalże cały kraj.  
[4][5][6][7]



Rysunek 1: Zasięg sieci 3G operatora T-Mobile w wrześniu 2015 roku

### 2.2.2 WCDMA

WCDMA (ang. *Wideband Code Division Multiple Access*) jest to technika szybkiego przesyłania danych pakietowych zaimplementowana w standardzie UMTS. Pierwszy raz została ona zaimplementowana w 2001 roku, a aktualnie jest to najpopularniejsze rozwiązanie stosowane w sieciach 3G, oferujące prędkości transmisji danych do 384 kbit/s.

WCDMA bazuje na technice wielodostępu z podziałem kodowym (CDMA - *Code Division Multiple Access*), spotykanej w systemach z poszerzonym widmem [2]. W przeciwieństwie do GSM/EDGE, nie istnieje tutaj pojęcie pasm częstotliwości przydzielanych dla danej transmisji. Zamiast tego, wszystkie transmisje odbywają się na wspólnym szerokim paśmie, wykorzystywanym przez wszystkich użytkowników jednocześnie. W specyfikacji standardu szerokość tego pasma wynosi 4.68 MHz, w praktyce jednak wykorzystuje się pasmo 5 MHz, aby zminimalizować efekty interferencji z innymi jednocześnie odbywającymi się transmisjami.

W systemach wykorzystujących CDMA, transmisje pochodzące od poszczególnych użytkowników sieci są przetwarzane w nadajniku za pomocą wyznaczonych kodów, które poszerzają pasmo nadawanego sygnału. Dzięki temu można umieścić wiele transmisji na jednakowym paśmie, kody te są ortogonalne wobec siebie, tak więc możliwe jest wyobrébnienie danego sygnału w odbiorniku spośród wielu innych, jednocześnie nadawanych. Ponadto, ciągi danych są modulowane z zastosowaniem modulacji cyfrowej QPSK, co także poprawia odporność transmisji na błędy.

### 2.2.3 HSDPA

HSDPA (ang. *High Speed Downlink Packet Access*) pojawiło się ze względu na wciąż rosnące zapotrzebowanie na szybką transmisję danych, prędkości oferowane przez WCDMA nie były już wystarczające dla użytkowników XXI wieku. Technologia ta powstała na bazie WCDMA, co sprawia, że operatorzy komórkowi przy jej wdrażaniu nie muszą ponosić kosztów związanych z wymianą sieci szkieletowej, a jedyne zmiany dotyczą sieci radiowej.

System HSDPA oferuje prędkości transmisji sięgające 21.6 Mbit/s w łączu w

dół. Tak dużą prędkość transmisji danych udało się osiągnąć poprzez m.in. zastosowanie modulacji 16QAM (gdy warunki panujące w kanale radiowym na to pozwalają, ze względu na to, że modulacja ta jest bardziej wrażliwa na zakłócenia niż QPSK), wyodrębnienie osobnego kanału transportowego dla transmisji w łączu w dół - HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Channel*), oraz dzięki zmniejszeniu okresu, w którym przesyłana jest ramka danych, co pozwala na lepsze reagowanie na zmieniające się w czasie właściwości kanału radiowego.

## 2.3 LTE

Technologia LTE (ang. *Long Term Evolution*) powstała jako odpowiedź konsorcjum 3GPP (ang. *3rd Generation Partnership Project*) na rosnące zapotrzebowanie użytkowników na przepustowość łącza danych. Z racji tego, że jest ona następcą takich rozwiązań telekomunikacyjnych jak WCDMA i HSPA bywa ona bardzo często omyłkowo nazywana "technologią 4G", co nie jest do końca prawdą. W tym miejscu warto zaznaczyć, że pomimo wielu nieprawdziwych informacji docierających z mediów standard LTE nie spełnia wymogów stawianych przez ITU dla technologii 4G/IMT-Advanced. Wymogi te spełnia dopiero następca standardu LTE o nazwie LTE-Advanced.

Pierwszą implementację standardu opisuje dokument 3GPP LTE Release 8, opublikowany w grudniu 2008 roku. Opisano w nowym standardzie oraz przedstawiono jego specyfikację. Kolejny dokument (Release 9) został wydany rok później, a wydanie Release 10 zawierającego opis LTE-Advanced pozwoliło 3GPP na spełnienie wymagań dotyczących sieci 4G. W Release 8 zostały opisane podstawowe właściwości systemu LTE, które przedstawiono w tabeli

Aby uzyskać właściwości systemu przedstawione w tabeli 3 wykorzystano szereg technik:

- **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) - technika umożliwiająca korzystanie z wielu anten zarówno po stronie nadawczej jak i odbiorczej.
- **SC-FDMA** (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*) - metoda wie-

Parametr	Standard LTE
Max przepływność - łącze w dół	300 Mb/s
Maksymalna przepływność - łącze w górę	50Mb/s
Maksymalne opóźnienie pakietu	ok. 10ms
Wykorzystana metoda wielodostępu - downlink	OFDMA
Wykorzystana metoda wielodostępu - uplink	SC-FDMA

Tabela 3: Podstawowe właściwości systemu LTE

lodostępu stosowana w łączu w górę pozwalająca użytkownikom na współdzielenie zasobów czasowo-częstotliwościowych.

- **HARQ** (*Hybrid Automatic Repeat reQuest*) - protokół polegający na retransmisji danych w przypadku wystąpienia trudnych warunków propagacyjnych.
- **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) - modulacja stosowana w łączu w dół, polegająca na transmisji na wielu podnośnych, które są względem siebie ortogonalne.
- **SAE** (*System Architecture Evolution*) - poprawienie struktury szkieletowej sieci, która jest łatwa w modyfikacji i dopasowana do potrzeb przyszłego standardu LTE-Advanced.
- **SON** (*Self-Organizing Networks*) - rozwiązania pozwalające na samokonfigurację oraz samooptymalizację sieci LTE.

## **3 Transmisja danych w Internecie**

### **3.1 Protokół TCP**

Protokół TCP (ang. *Transmission Control Protocol*) jest połączeniowym, niezawodnym, strumieniowym protokołem stanowiącym podstawę działania dzisiejszego Internetu. Jest to protokół czwartej warstwy modelu OSI. Po raz pierwszy został on zdefiniowany w dokumencie RFC 793 z 1981 roku zatytułowanym ”*Transmission Control Protocol. Darpa Internet Program protocol specification*” [8].

Protokół TCP jest częścią stosu TCP/IP, korzystającego z protokołu IP (ang. *Internet Protocol*) do przeprowadzania bezbłędnej transmisji danych w obu kierunkach.

### **3.2 Protokół HTTP**

## 4 Opis realizacji programowej

### 4.1 Założenia projektowe

Celem pracy jest stworzenie środowiska pomiarowego do pomiaru czasu transmisji danych w sieciach komórkowych pod kątem zastosowania tych sieci w systemach pomiarowych. W tym celu należało opracować aplikację dla urządzeń z systemem Android, a także dedykowane dla niej serwery napisane w języku Python. Serwery te umożliwiają komunikację z aplikacją zainstalowaną na terminalu mobilnym z wykorzystaniem zapytań HTTP jak i za pomocą gniazd protokołu TCP/IP.

Należało dokonać pomiaru dla nieruchomego terminala mobilnego oraz dla terminala, którego użytkownik pozostaje w ruchu. Przy założeniu, że aplikacja posiada dwa możliwe sposoby komunikacji, oznacza to cztery możliwe sposoby przeprowadzania pomiaru:

- Pomiar terminala nieruchomego z wykorzystaniem zapytań HTTP
- Pomiar terminala nieruchomego z wykorzystaniem protokołu TCP/IP
- Pomiar terminala przemieszczającego się z wykorzystaniem zapytań HTTP
- Pomiar terminala przemieszczającego się z wykorzystaniem protokołu TCP/IP

Aplikacja posiada także możliwość wyboru pracy sieci telefonu komórkowego, wybór ten przedstawia się następująco:

- LTE/WCDMA/GSM (automatyczne połączenie)
- WCDMA/GSM (automatyczne połączenie)
- Tylko WCDMA
- Tylko GSM

Pojedynczym pomiarem nazywamy pomiar czasu wykonania następujących czynności:

1. Przesłanie pakietu danych o zadanej długości z terminalu mobilnego do serwera
2. Odebranie pakietu danych przez serwer
3. Odesłanie identycznego pakietu danych do terminala mobilnego
4. Odebranie pakietu danych w terminalu mobilnym

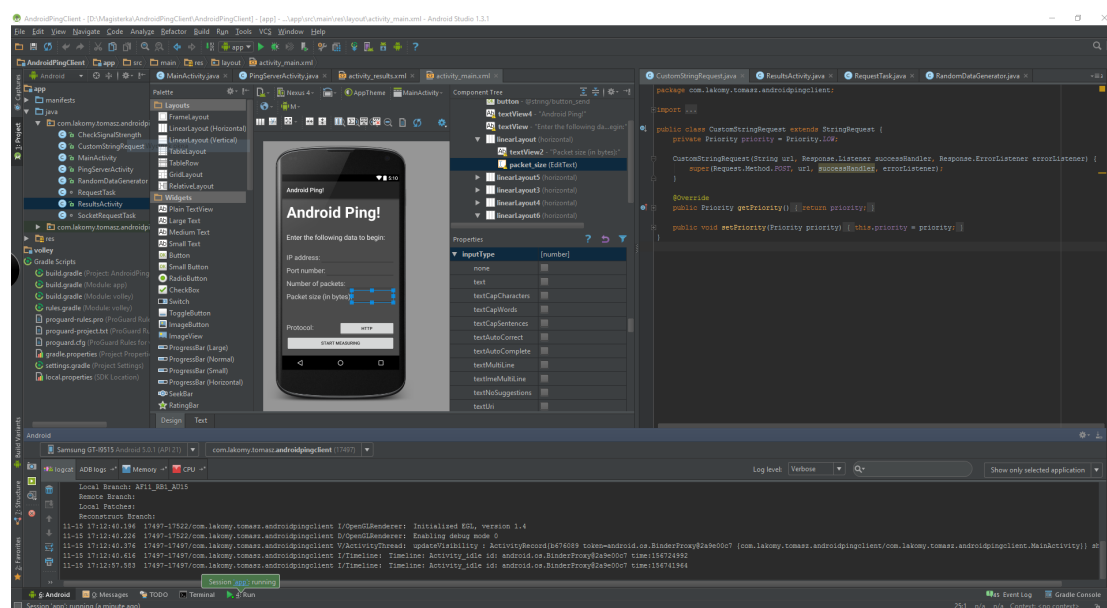
Przygotowana aplikacja na system operacyjny Android posiada możliwość wyświetlenia wykresu prezentującego czasy transmisji zarejestrowane w czasie pomiaru. Ponadto, wszystkie pomiary są zapisywane w postaci pliku .csv w pamięci telefonu, co pozwala na ich późniejszą analizę z wykorzystaniem innych narzędzi.

## **4.2 Cechy charakterystyczne programowania urządzeń z systemem Android**

Android jest systemem operacyjnym z jądrem Linux przeznaczonym dla urządzeń mobilnych takich jak telefony komórkowe, smartfony, tablety oraz przykładowo w inteligentnych telewizorach (technologia Android TV). Obecnie jest to najbardziej popularny system operacyjny na telefony komórkowe (dane na rok 2015), a w mowie potocznej określenie "smartfon" jest utożsamianie z telefonem z panelem dotykowym, na którym zainstalowany jest system operacyjny Android.

Android jest rozwiązaniem typu Open Source[9], co oznacza, że jego kod źródłowy jest powszechnie dostępny. Jest to jeden z elementów otwartej polityki aktualnego właściciela systemu operacyjnego Android - firmy Google, która rozwija Androida jako otwartą platformę zarówno dla programistów jak i dla użytkowników.

Najczęściej używanym środowiskiem programistycznym do pisania aplikacji na system operacyjny Android jest program Android Studio, przedstawiony na rysunku 2.



Rysunek 2: Tworzenie aplikacji na system operacyjny Android w środowisku Android Studio



```
1 import os
2 from flask import Flask, render_template, request
3
4 app = Flask(__name__)
5
6
7 @app.route('/', methods=['GET', 'POST'])
8 def hello():
9     if request.method == 'POST':
10         return request.args.get('data', '')
11     else:
12         return 'Hello World!'
13
14 app.debug = True
15 app.run(host='0.0.0.0', port=int(os.environ['PORT']))
```

Rysunek 3: Kod źródłowy aplikacji pełniącej funkcję serwera na komputer PC

- 4.3 Opis aplikacji na smartfon z systemem Android**
- 4.4 Opis aplikacji pełniącej funkcję serwera na komputer PC**
- 4.5 Opis realizacji transmisji poprzez protokół TCP/IP**
- 4.6 Sposób pomiaru rejestracji czasu przesyłania pakietu**
- 4.7 Sposób pomiaru położenia terminala mobilnego**

## **5 Wyniki pomiarów**

### **5.1 Pomiar nieruchomego terminala mobilnego**

### **5.2 Pomiar ruchomego terminala mobilnego w środowisku miejskim**

## Literatura

- [1] *Podstawy cyfrowych systemów telekomunikacyjnych* - Krzysztof Wesołowski, WKŁ, Warszawa 2006
- [2] *Systemy radiokomunikacji ruchomej* - Krzysztof Wesołowski, WKŁ, Warszawa 2006
- [3] Źródło internetowe: *"MIMO transmission schemes for LTE and HSPA networks"*  
[http://www.3gamericas.org/documents/  
Mimo\\_Transmission\\_Schemes\\_for\\_LTE\\_and\\_HSPA\\_Networks\\_June-2009.pdf](http://www.3gamericas.org/documents/Mimo_Transmission_Schemes_for_LTE_and_HSPA_Networks_June-2009.pdf)
- [4] Źródło internetowe: *Zasięg sieci trzeciej i czwartej generacji operatora Play*  
<http://internet.playmobile.pl/maps/>
- [5] Źródło internetowe: *Zasięg sieci trzeciej i czwartej generacji operatora Orange*  
<http://zasieg-orange.wp.pl/?ticaid=1c93f>
- [6] Źródło internetowe: *Zasięg sieci trzeciej i czwartej generacji operatora T-Mobile*  
[http://www.t-mobile.pl/pl/indywidualni/stali\\_klienci/uslugi\\_do\\_telefonu/mapa\\_zasiegu](http://www.t-mobile.pl/pl/indywidualni/stali_klienci/uslugi_do_telefonu/mapa_zasiegu)
- [7] Źródło internetowe: *Zasięg sieci trzeciej i czwartej generacji operatora Play*  
[http://www.plus.pl/mapa\\_zasiegu\\_plusa](http://www.plus.pl/mapa_zasiegu_plusa)
- [8] Źródło internetowe: *Dokument RFC793 definiujący protokół TCP*  
<http://tools.ietf.org/html/rfc793>
- [9] Źródło internetowe: *Android Open Source Project*  
<https://source.android.com/>