

# Testowanie dźwięku w smartfonach w warunkach domowych

Marcin Ozimek

Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

**Streszczenie.** W artykule opisano testy, przeprowadzone na trzech modelach smartfonów: Galaxy S6, iPhone 6S i Lumia 950. Testy miały na celu wybranie modelu, który najlepiej sobie radzi z przetwarzaniem dźwięku. Badania odbyły się w warunkach domowych, przy użyciu stosunkowo prostego sprzętu. W pracy opisano sposób przeprowadzenia testów, a następnie omówiono wnioski, decydując, który ma najlepsze parametry, jeśli o przetwarzanie dźwięku.

**Słowa kluczowe:** smartfony; pomiary dźwięku; dźwięk

Adres e-mail: marton026@gmail.com

## Smartphone's Sound Testing in Home Setting

Marcin Ozimek

Institute of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

**Abstract.** Quality of sound is one of the most important factors while choosing the perfect smartphone model. This article concerns about domestic sound testing of smartphones. Both ways of examining and the equipment used for it are discussed. These tests have been performed on popular models of smartphones: Galaxy S6, iPhone 6S and Lumia 950 to collect recent data and to achieve the essential aim: establishing the fact which model is the best in terms of sound processing.

**Keywords:** smartphones; audio measurements; sound

E-mail address: marton026@gmail.com

### 1. Wstęp

Trudno wyobrazić sobie życie we współczesnym świecie bez telefonów komórkowych. Obecnie w krajach rozwiniętych zdecydowana część ludzi posiada smartfony, a z roku na rok urządzenia te stają się coraz doskonalsze, posiadają coraz więcej użytecznych funkcji i wykorzystywane są do coraz bardziej zaawansowanych celów.

Najrozmaitsze aplikacje ułatwiają życie człowieka na wiele sposobów: monitorują na przykład miejsca aktualnego pobytu użytkownika (jest to szczególnie ważne m.in. dla rodziców małych dzieci lub opiekunów osób chorych), ułatwiają podróż dzięki mapom oraz wskazówkom werbalnym (funkcja GPS-u), mierzą poziom hałasu w otoczeniu, ostrzegając przed jego nadmiernym natężeniem [1]. Coraz częściej smartfony wykorzystujemy w medycynie głównie do przekazywania danych o naszym zdrowiu. Jest to tzw. system WBAN (Wireless Body Area Network). Każdy pacjent ma swoje IP czyli nr identyfikacyjny [2]. Dane te są odbierane z urządzeń zewnętrznych podłączonych do smartfona i przesyłane przez Internet do bazy, do której wgląd ma nasz lekarz. Większość tych czujników przesyła przetworzone dane na telefon, jednak niektóre wykorzystują smartfony do rejestrowania sygnału dźwiękowego. Przykładem tego są czujniki akustyczne, służące do odsłuchiwania i rejestrowania szmerów tchawicy u pacjenta [3] lub aplikacje służące do wychwytywania nadchodzącego migotania przedsionków[4]. Trudno wymieniać wszystkie możliwości współczesnych smartfonów, gdyż jest ich bardzo wiele we wszystkich dziedzinach życia, a ich skuteczność bywa różna. Przykładowo, podczas badań opisanych w artykule pt. „Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise”[5] stwierdzono, że aplikacja służąca do mierzenia

hałasu (na platformach Android i iOS) nie jest aktualnie lepsza od tradycyjnych urządzeń, choć dla przeciętnego użytkownika byłaby bardzo użyteczna. Jednakże badacze zasugerowali jednocześnie, że szybki rozwój technologiczny może wkrótce obalić prawdziwość wcześniejszego stwierdzenia, gdyż nowsze modele telefonów są coraz bardziej wydajne i posiadają coraz lepsze mikrofony.

W niniejszym artykule uwagę skupiono na możliwościach smartfonów w zakresie przetwarzania dźwięku, sprawdzając czułość ich mikrofonów, zdolność do rejestracji i odtwarzania mowy ludzkiej oraz muzyki.

Współczesne telefony wyposażone są bowiem w bardzo czułe mikrofony (najnowsze urządzenia posiadają co najmniej dwa), dzięki czemu można przy ich użyciu wyeliminować szumy ze ścieżki audio czy nastroić instrumenty muzyczne (służą do tego aplikacje GStrings na Androida lub Cteartune w systemie iOS). Można również wykorzystywać smartfony do tłumaczenia fragmentów tekstu – na przykład stosując aplikację iTranslate Voice (Android, iOS).

Warto jednak wspomnieć, że przeciętny użytkownik, zastanawiając się nad zakupem nowego smartfona, stoi przed nie lada wyzwaniem, gdyż mnogość dostępnych urządzeń oraz różnorodność ich możliwości stanowi dla nich często problem trudny do rozwikłania. Zakładając, że użytkownik potrzebuje smartfona doskonałego pod kątem przetwarzania dźwięku i gdy to jest głównym kryterium jego wyboru, nadal może on mieć trudności w decyzji, gdyż nie ma gotowej odpowiedzi, który telefon spełni jego oczekiwania.

### 2. Metody badawcze

Zdecydowano przeprowadzić serię testów w warunkach domowych, na ogólnodostępnym sprzęcie, by wskazać wady

i zalety smartfonów pod kątem przetwarzania dźwięków. Do badań wybrano metodę eksperymentalną. Testowano trzy wybrane urządzenia mobilne, każde wyposażone w inny system operacyjny: Samsung Galaxy S6 (Android), Nokia Lumia 950 (Windows Mobile) oraz iPhone 6S (iOS). Były to najnowsze modele dostępne podczas testów.

Przeprowadzone badania skupiały się wokół rozpoznawania mowy (zapis mowy do postaci tekstu), rejestracji ścieżki dźwiękowej (tu brane pod uwagę były: dyktafon, rejestrator multimedialny), odczytu dźwięku (odtwarzacz multimedialny) oraz komunikacji głosowej (rozmowa telefoniczna).

W zaproponowanej metodologii posłużono się odpowiednio dobranymi miarami, do których należą m.in.: wielkość opóźnienia, skuteczność rozpoznawania mowy oraz parametry dźwięku: nagrywanych utworów muzycznych, odtwarzanych utworów na wyjściu słuchawkowym oraz głosu generowanego podczas rozmowy telefonicznej. W ramach metodologii przeprowadzono szereg testów, które miały pokazać, że możliwe jest przeprowadzenie dokładnych pomiarów parametrów dźwiękowych w urządzeniach mobilnych nawet w warunkach domowych, niewielkim nakładem środków i przy użyciu prostego sprzętu.

Przygotowując się do badań, postawiono sobie następujące hipotezy badawcze:

- Skuteczność rozpoznawania mowy ukazuje potencjał urządzenia w zakresie przetwarzania dźwięku.
- Wartości parametrów dźwięku i ich charakterystyki podczas testów w typowych operacjach przetwarzania dźwięku takich jak nagrywanie, odtwarzanie, komunikacja między rozmówcami ułatwiają porównanie urządzeń pod względem jakości rejestrowanego przez mikrofony dźwięku, jakości generowanego dźwięku przez głośniki oraz jakości dźwięku generowanego, przekazywanego i odtwarzanego podczas rozmów telefonicznych.

Poziomy parametrów i ich charakterystyki dają ogólną informację o jakości dźwięku, a więc o jakości jego przetwarzania przez urządzenia, a tym samym o zastosowanych w nim rozwiązaniach technicznych i użytych podzespołach oraz zaimplementowanych rozwiązaniach w systemie operacyjnym. Jakość wybranych parametrów dźwiękowych może świadczyć o przydatności urządzenia do zadań przetwarzania dźwięku.

Warto zdać sobie sprawę, że jakość dźwięku w różnych modelach smartfonów różni się, gdyż ma na nią wpływ oprogramowanie, sterowniki oraz użyte podzespoły audio. Współcześnie w telefonach umieszcza się tzw. audio huby, czyli zintegrowane i kompletne rozwiązania audio, w skład których wchodzi: przetwornik DAC, wzmacniacz słuchawkowy i głośnikowy oraz inne komponenty. Zaletą wykorzystywania audio hubów są oszczędność energii oraz miniaturyzacja podzespołów. W smartfonach występują one w postaciach dedykowanych lub zintegrowanych, te dedykowane (zastosowane w Samsung Galaxy S6 oraz w iPhone 6S) montuje się jako dodatkowy układ scalony. Zintegrowane audio huby natomiast zlokalizowane są w chipsecie głównym. Odnajdujemy je np. w Lumii 950.

Jakość dźwięku zależy także, jak już wcześniej wspomniano, od jakości wbudowanych głośników.

System audio w Galaxy S6 zbudowany jest z następujących podzespołów: Wolfson Microelectronics 1840E Audio Codec, wzmacniacz audio Max98505, dwa głośniki oraz dwa mikrofony. Kodek audio w tym smartfonie wyprodukowała firma Wolfson. Wzmacniacz audio tajwańskiej firmy Maxim-Integrated jest wzmacniaczem mono o wysokiej sprawności klasy DG z wbudowanym przetwornikiem analogowo-cyfrowym ADC (Analog to Digital Converter). Generuje on czystsze i głośniejsze brzmienie oraz wydłuża żywotność baterii dzięki stosowaniu różnych napięć zasilania w zależności od poziomu sygnału.

W iPhone 6S jako systemu audio użyto natomiast innowacyjnych układów scalonych dostarczonych przez Cirrus Logic, amerykańskiego producenta wysokiej jakości podzespołów i systemów audio. W skład wyposażenia sprzętowego tego smartfona wchodzi:

- 2 x Apple/Cirrus Logic 338S1285 Audio Codecs
- Apple/Cirrus Logic 338S00105 Audio IC
- 2 x głośniki mono oraz stereo
- 3 x mikrofony firmy Knowles 5280 KSM2
- 1 x mikrofon Goertec 529 GWM1

W iPhone 6S głównym układem elektronicznym jest Smart Codec (wielordzeniowy procesor sygnału audio). Ma on bardzo wysoką wydajność, bo aż 600 MIPS (milion instruction per second) czyli 600 milionów instrukcji na sekundę. Steruje pracą czterech mikrofonów i w zależności od tego, jaki sygnał do nich dochodzi, wykrywa szumy i usuwa je ze strumienia audio. Proces ten zwany ANC (Active Noise Control) czyli aktywna redukcja hałasu, polega na dodaniu do ścieżki oryginalnej ścieżki o tej samej amplitudzie, ale z odwróconymi fazami, pochodzącej z mikrofonu odbierającego szumy. Dzięki temu fale się wzajemnie znoszą i na wyjściu mamy sygnał bez zakłóceń. Wewnątrz tego układu znajduje się 6/8 kanałowy 24-bitowy kodek HiFi o parametrach: 6 ADC(Analog Digital Converter) 100 dB SNR wejście mikrofonowe, 8 DAC(Digital Analog Converter) 115 dB SNR wyjście HP (high power) [6]. Dodatkowo układ ten obsługuje próbkowanie do 192 kHz oraz wspiera ultradźwiękowe akcesoria. Wzmacniacze (Boosted amplifier) użyte w tej architekturze są klasy D i mają wysoką sprawność. Kolejnym podzespołem użytym w Cirrus Logic jest HiFi D/A Converter, czyli konwerter umożliwiający konwersję sygnału cyfrowego na analogowy. Ma on zakres dynamiki 120 dB, również posiada filtry cyfrowe o małej latencji czyli opóźnieniu [7].

System audio w Lumii 950 nie należy do najnowocześniejszych. Zastosowano w nim procesor dźwięku z serii Qualcomm WCD9330 Audio Codec [8], procesor sygnałowy Qualcomm Hexagon QDSP V56, sprzętowy wzmacniacz mono klasy D serii TPA zasilający głośniki, cztery mikrofony oraz głośnik mono i stereo. W smartfonie tym do obsługi dźwięku użyto technologii: "Lumia Rich Recording" rozwijanej od 2007 przez firmę Nokia. Technologia ta ma na celu wyeliminowanie problemu

podczas nagrywania dźwięku o dużej głośności ok. 120 dB, z którą nie radzą sobie inne smartfony, mające mikrofony z małymi membranami. Lumia Rich Recording polega na użyciu specjalnych mikrofonów, składających się na system HAAC (High-Amplitude Audio Capture). System ten wykorzystuje cztery mikrofony, działające w parach. Pierwszy z jednej pary odpowiada za nagrywanie dźwięku jak standardowe mikrofony, czyli do 120 dB. Natomiast drugi przechwytywa dźwięk o natężeniu nawet do 140 dB. w systemie HAAC ważny jest również algorytm odpowiedzialny za łączenie powstałych dwóch ścieżek, redukcję szumów i niechcianych odgłosów, zarejestrowanych z pomocą drugiej pary mikrofonów. Membrana mikrofonu Lumii 950 ma dwa wewnętrzne przedwzmacniacze, mające różną wrażliwość i wykorzystuje jeden z nich w zależności od natężenia dźwięku.

### 3. Przebieg i wyniki testów

Smartfony testowano pod względem jakości audio na różne sposoby. Poszczególne testy telefonów były wykonywane w identycznych warunkach i takich samych ustawieniach. Pierwszy test miał na celu określenie jak urządzenia radzą sobie z rozpoznawaniem mowy. Kolejny test polegał na nagraniu fragmentu utworu przez smartfony, używając systemowych aplikacji i domyślnych ustawień. W trzecim teście analizowano nagrania z wyjścia słuchawkowego poszczególnych modeli. Następny test miał pokazać różnice jakości rozmów telefonicznych mierzoną na wyjściu słuchawkowym. Do testów użyto zestawu kina domowego (amplitunera Onkyo TX-SR702 7.1ch, głośniki PolkAudio) oraz rejestratora wielościeżkowego Korg D888. Wykorzystano również kilka aplikacji takich jak: RightMark Audio Analyzer, Audacity, Spek, SpectraLAB, Praat, MediaInfo oraz Total Commander.

Rozpoznawanie mowy jest ściśle powiązane z wieloma dziedzinami wiedzy: akustyką, lingwistyką, matematyką, statystyką, a także sztuczną inteligencją. Jest ono najczęściej wykorzystywane do komunikacji człowieka z komputerem czy robotem. Na rozpoznawanie mowy wpływ ma bardzo dużo czynników, przez co jest to proces dość złożony, dlatego też jego działanie na urządzeniach elektronicznych nie zyskało jeszcze stuprocentowej skuteczności. Tylko nieznaczna część operacji matematycznych przeprowadzana jest na urządzeniu rozpoznającym mowę, a reszta na serwerach działających w chmurze. Nowe smartfony są coraz wydajniejsze, dlatego też światowy potentat z branży IT - Google ciągle szuka lepszych rozwiązań. Deklaruje, że ich system rozpoznaje mowę z 92 procentową precyzją. Od kilku miesięcy zaczął testować rozpoznawanie mowy offline, czyli bez konieczności połączenia z Internetem. Ten system rozpoznawania mowy ma być 7 razy szybszy od dotychczasowego[9].

Do testów wykorzystano fragmenty dwóch książek w formacie audiobooków: "Apokalipsa" Dean Koontz - po polsku dla Galaxy S6 i iPhone 6S oraz "Odd and the frost giants" Neil Gaiman - po angielsku dla Lumii 950, gdyż w trakcie testowania smartfonów okazało się, że Lumia 950 nie obsługuje rozpoznawania mowy w języku polskim.

Test miał następujący przebieg. Urządzenie ustawiono 20 cm od głośnika centralnego kina domowego, wartość

głośności amplitunera ustawiono na 50 jednostek. Telefon połączono z siecią WiFi a w notatniku uruchomiono rozpoznawanie mowy. Do zobrazowania wyników użyto funkcji "porównaj wg zawartości" w programie Total Commander.



Rys. 1. Test rozpoznawania mowy

Okazało się, że Galaxy S6 najlepiej radzi sobie z rozpoznawaniem mowy. Zamieniona mowa na tekst posiada niewiele literówek czy niewłaściwie podanych wyrazów. Dwa zdania rozpoznane były bezbłędnie. Po policzeniu wszystkich całych nierozpoznanych wyrazów oraz wszystkich wyrazów w tekście poddanym rozpoznawaniu została obliczona skuteczność rozpoznawania i w przypadku tego smartfona wyniosła 97%. Na kolejnym miejscu uplasował się natomiast iPhone 6S, gdyż przetworzony przezeń tekst już ciężko jest zrozumieć. Oprócz tego podczas testu telefon co chwilę zatrzymywał rozpoznawanie mowy i trzeba było go ponownie uruchamiać. W tym przypadku skuteczność rozpoznawania wyniosła 77%. Ostatnie miejsce zajęła Lumia 950. Podczas tego testu prawie połowa tekstu nie została rozpoznana. System rozpoznawania mowy jeszcze częściej zatrzymywał się niż w iPhone i wymagał ponownego uruchomienia. Na uwagę jednak zasługuje wstawianie interpunkcji.

Badaniom podlegało także sprawdzenie jakości nagrań. Rejestrowanie fragmentu utworu muzycznego odbywało się z użyciem domyślnych aplikacji oraz ustawień. Następnie analizowano nagrane ścieżki dźwiękowe za pomocą programu: RightMark Audio Analyzer. Do testu wykorzystano utwór: "Mindfields" - Toto. Smartfon umieszczony był 2 metry od centralnego głośnika kina domowego. Głośność amplitunera ustawiona była na poziomie 50 jednostek.



Rys. 2. Test rejestrowania muzyki

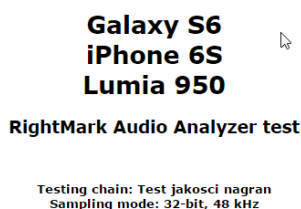
Testowane urządzenia posiadały mikrofony rozmieszczone w różnych miejscach. Galaxy S6 posiada 2 mikrofony, jeden na górnej a drugi na dolnej ścianie telefonu. Natomiast iPhone 6S i Lumia 950 mają po 4 mikrofony. W iPhone dwa z nich umieszczone są na dolnej ścianie, kolejne obok obiektywów aparatów z przodu i tyłu telefonu. W Lumii 950 mamy 2 mikrofony na przednim panelu u góry i u dołu oraz kolejne 2 u góry i u dołu na panelu tylnym.

Do testów użyto RightMark Audio Analyzer (RMAA) w wersji 6.4.1. Jest to darmowy program do użytku niekomercyjnego, przeznaczony do testowania urządzeń audio (karty dźwiękowe, amplitunery, głośniki, mikrofony, odtwarzacze multimedialne) oraz analogowych i cyfrowych ścieżek audio. Za pomocą programu możemy testować częstotliwość dźwięku, składową harmoniczną dźwięku, stosunek poziomu sygnału do szumów, czy poziom zakłóceń dźwięku. Otrzymane wyniki są porównywalne z tymi, które powstają przy użyciu profesjonalnego specjalistycznego sprzętu.

Smartfony testowano poprzez zaimportowanie plików audio do programu RMAA. Pliki audio posiadały rozdzielczość 32 bitów a ich częstotliwość próbkowania wynosiła 48 kHz. Należało przy tym pamiętać, aby ścieżki audio nie były przesterowane lub nagrane zbyt cicho. Program umożliwia wygenerowanie raportu porównania do ośmiu ścieżek audio.

W badaniu jakości nagrań najlepiej spośród wszystkich urządzeń wypadł iPhone. Na wynik ten składają się rozmaite parametry, które przedstawia tabela poniżej.

Tabela 1. Wyniki testu jakości nagrań z użyciem programu RMAA



Summary

Test	Galaxy S6	iPhone 6S	Lumia 950
Frequency response (from 40 Hz to 15 kHz), dB:	+24.63, -14.03	+35.60, -17.64	+26.17, -15.46
Noise level, dB (A):	-23.8	-30.6	-16.0
Dynamic range, dB (A):	19.9	29.6	21.5
THD, %:	4.480	1.871	7.033
IMD + Noise, %:	97.696	98.594	99.096
Stereo crosstalk, dB:	-20.6	-27.5	-28.3

Pod względem testowania częstotliwościowej charakterystyki przenoszenia okazało się, że Galaxy S6 jest najlepszy. Zakłada się, że cały zakres częstotliwości akustycznych występuje między 20Hz a 20kHz, jednak w rzeczywistości od praktycznego punktu widzenia mieści się on w przedziale od 40Hz do 15kHz. W tym też zakresie charakterystyka powinna być jak najbardziej płaska i jak najmniej odbiegać od wartości 0 dB. Wartości takie zaobserwowano dla Galaxy S6 (+24,63, -14,03), podczas gdy największe odchylenia ma iPhone 6S.

W czasie badań zwracano uwagę na poziom szumów. Największy wpływ na ocenę poziomu szumów istotny jest dla

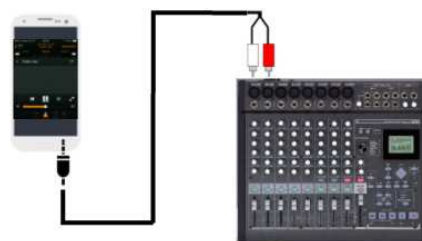
częstotliwości z zakresu od 1-3kHz. w tym teście to iPhone osiągnął najlepszy wynik. Rezultaty testu pokazują, że nagrane ścieżki dźwiękowe za pomocą smartfonów są mocno zaszumione. Dopiero wartości poziomu szumu poniżej -70dB gwarantują słuchanie utworu bez odczucia zaszumienia. Dla standardu CD poziom szumów oscyluje poniżej -90 dB.

Zakres dynamiki (dynamic range) to charakterystyka mierzona z wykorzystaniem sygnału o małej mocy. W idealnym przypadku powinna być ona zbliżona do poziomu szumów. W tym teście wyższa wartość oznacza lepszy wynik, a zatem najlepiej wypadł iPhone 6S.

Total Harmonic Distortion (THD) jest to test polegający na badaniu poziomu zniekształceń harmonicznym sygnału. Powinien być on jak najniższy. Najlepszy wynik uzyskał iPhone (1,871%). Przy czym zadowalający efekt dla ucha uzyskuje się dla wartości pomiarów na poziomie 1% lub niższych. Składowe harmoniczne powstają podczas odtwarzania sygnału o częstotliwości F. Pojawiają się wtedy słabsze sygnały, których częstotliwość jest wielokrotnością F. Sygnały harmoniczne parzyste (2F, 4F,...) są bardziej przyjemne dla ucha niż nieparzyste.

Zniekształcenia intermodulacyjne powstają w momencie kiedy różne sygnały przenoszone są jednocześnie przez układ nieliniowy. Różnią się one znacznie częstotliwością i poziomem mocy. Zniekształcenia te mogą być odbierane przez słuchacza jako dysonanse. Wartości zniekształceń poniżej 1% - 0,1% nie są dokuczliwe dla ucha. Sygnał o częstotliwości większej modulowany jest sygnałem o częstotliwości mniejszej. Wartość poziomu tych zniekształceń powinna być jak najmniejsza. Wyniki testów smartfonów są bardzo zbliżone. Najlepsze uzyskał Galaxy S6.

Test jakości dźwięku na wyjściu słuchawkowym polegał natomiast na nagraniu fragmentu utworu muzycznego odtwarzanego na smartfonie przez rejestrator wielościeżkowy Korg D888. Następnie analizowanie powstałych nagrań stereo za pomocą RMAA. Do testów posłużył utwór "Mad About You" - Toto. Smartfony podłączono przez wyjście słuchawkowe do rejestratora do dwóch oddzielnych kanałów. Głośność w telefonach ustawiono na maksymalną wartość.

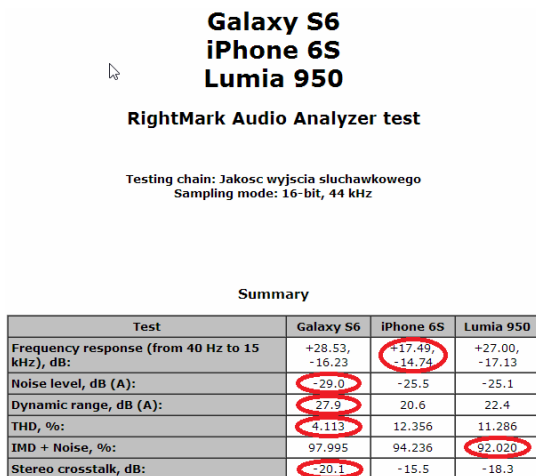


Rys. 3. Test nagrywania na wyjściu słuchawkowym

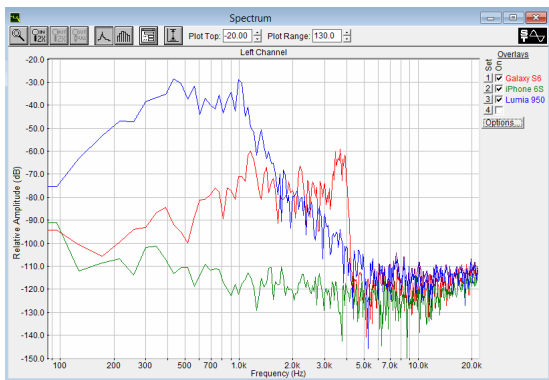
Podczas tego testu liderem okazał się Galaxy S6, jednak wyniki pozostałych urządzeń były dość zbliżone. Jeśli wziąć pod uwagę pasma przenoszenia na wyjściu słuchawkowym, to najwyższe noty uzyskał iPhone 6S, gdyż jego wynik najmniej odbiega od wartości 0 dB. Natomiast najlepszy wynik poziomu szumów, wyliczany przez program na podstawie krzywej ważonej wynosi -29 dB dla urządzenia Galaxy S6. W kolejnych testach zakresu dynamiki oraz całkowitych zniekształceń harmonicznym Galaxy również

uzyskuje najlepsze noty. Tabela poniżej przedstawia dokładne wyniki tego badania.

Tabela 2. Wyniki testu jakości dźwięku na wyjściu słuchawkowym



Jakość rozmów telefonicznych uzależniona jest od kilku czynników m.in. od jakości połączenia, lokalizacji, czasu, w którym ustanowiono połączenie, modelu urządzenia, operatora sieci komórkowej, pogody. Natomiast, aby uzyskać jak największą zrozumiałość mówionego głosu należy wzmocnić odpowiednie jego pasma częstotliwości. Do zilustrowania wzmocnienia poszczególnych pasm częstotliwości skorzystano z aplikacji SpectraLab a wyniki znajdują się na rysunku 4.



Rys. 4. Porównanie zakresu głośności poszczególnych częstotliwości

SpectraLab jest to darmowa aplikacja, uznawana za najlepszy analizator widma, oscyloskop i miernik fazy. Wyróżnia się trzy charakterystyczne pasma częstotliwości w ludzkim głosie. Pierwsze pasmo podstawowe mieści się w zakresie 85-250 Hz. Drugie samogłoskowe mieści się mniej więcej w zakresie 350 Hz - 2 kHz. Pasma te zawierają większość mocy i energii głosu. Po przeanalizowaniu wyników widać, że najwyższą amplitudę w tych dwóch zakresach osiąga Lumia 950. Z kolei trzecie pasmo spółgłoskowe jest najistotniejsze ze względu na zrozumiałość mowy i mieści się w zakresie od ok. 1,5 kHz do 4 kHz. Tutaj można stwierdzić wyższość smartfona Galaxy S6.

Kolejny test polegał na nagraniu fragmentu audiobooka: "Apokalipsa" Koontz Deana na rejestratorze wielościeżkowym. Jeden telefon umieszczono 10 cm od centralnego głośnika i nawiązano połączenie telefoniczne ze

smartfonem, podłączonym do rejestratora przez wyjście słuchawkowe.



Rys. 5. Test jakości rozmów telefonicznych

Na rejestratorze nagrywano te same fragmenty audiobooka, następnie przeanalizowano je wykorzystując program Praat. Jest to darmowy program, służący do zaawansowanej analizy i syntezy mowy z uwzględnieniem fonetyki. Pozwala on na analizę mowy pod kątem sprawdzania tonacji, odchylenia sygnału, intensywności, załamania drgań oraz przerw w głosie. Praat umożliwia również edytowanie plików audio oraz generowanie wykresów oraz raportu w postaci pliku tekstowego. Rozpoczęcie pracy z programem sprowadza się do zacytowania dowolnego pliku dźwiękowego stereo lub mono w jednym z popularnych formatów.

Rezultatem tego testu może być stwierdzenie, że Samsung Galaxy S6 osiąga najlepsze wyniki pod względem jakości głosu, a biorąc pod uwagę parametr Noise-To-Harmonics Ratio (NHR), określający zawartość szumu w podanym sygnale akustycznym, iPhone 6S wyprzedza konkurencję.

#### 4. Wnioski

W pracy zostały postawione hipotezy. Pierwsza z nich wiązała skuteczność rozpoznawania mowy z potencjałem urządzenia mobilnego w zakresie przetwarzania dźwięku. W badaniach korzystano z domyślnych aplikacji służących do tego celu. Przeprowadzone badania nie potwierdzają tej hipotezy. Z testów wynika, że z rozpoznawaniem mowy najlepiej radził sobie Samsung Galaxy S6. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa jednak jakość aplikacji, ich poziom zaawansowania, zastosowane algorytmy i rozwiązania. Podejście producenta do zagadnień związanych z problematyką dźwiękową skutkuje niewielkim zainteresowaniem inżynierów i programistów zajmujących się tą dziedziną. Efektem tego jest mały postęp w tym zakresie. W przeprowadzanych badaniach założono sobie, że rozpoznawanie mowy dotyczyć będzie polskiego języka. Okazało się jednak, że na urządzenie mobilne z systemem

Windows nie istniało na tamtą chwilę oprogramowanie rozpoznające język polski.

Ostatnia hipoteza odnosiła się do kwestii, czy dzięki parametrom dźwiękowym określającym jakość dźwięku można ocenić przydatność urządzenia do zadań przetwarzania dźwięku. Na podstawie przeprowadzonych badań trudno jednoznacznie to stwierdzić. Badania zostały przeprowadzone na najpopularniejszych urządzeniach mobilnych jakimi są smartfony. Analiza porównawcza dotyczyła trzech urządzeń, reprezentujących różne systemy operacyjne. Do testów wybrano smartfony o zbliżonych parametrach technicznych, reprezentujących trzy najpopularniejsze mobilne systemy operacyjne. System Android reprezentował Samsung Galaxy S6, iOS - iPhone 6S oraz system Windows 10 Mobile zainstalowany w Lumii 950. Wnioski jakie się nasuwają po badaniach jakości dźwięku w tych smartfonach to takie, że Galaxy i iPhone prześcigają się wynikami w poszczególnych testach. Jednak są dwie rzeczy, które przemawiają za wyborem iPhone'a jako najlepszego smartfona wśród testowanych. Są to po pierwsze wartość opóźnienia audio na poziomie 10 ms, uzyskiwany już w pierwszych modelach Apple. Drugą istotną rzeczą jest wsparcie sprzętowe audio do obsługi MIDI. Dzięki tym dużym różnicom smartfony te można używać do profesjonalnych zastosowań związanych z miksowaniem, czy obróbką dźwięku w czasie rzeczywistym. Dlatego też producenci profesjonalnego sprzętu muzycznego jak Apogee produkują urządzenia tylko dla produktów Apple.

## Literatura

- [1] E. Murphy i E. A. King, „Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping process”, *Sci. Total Environ.*, t. 562, ss. 852–859, 2016.
- [2] N. Bradai, L. C. Fourati, i L. Kamoun, „Investigation and performance analysis of MAC protocols for WBAN networks”, *J. Netw. Comput. Appl.*, t. 46, ss. 362–373, 2014.
- [3] N. Reljin, B. A. Reyes, i Ki H. Chon, „Tidal Volume Estimation Using the Blanket Fractal Dimension of the Tracheal Sounds Acquired by Smartphone”, *Sens. 14248220*, t. 15, nr 5, ss. 9773–9790, 2015.
- [4] J. Lee, B. A. Reyes, D. D. McManus, O. Maitas, i K. H. Chon, „Atrial Fibrillation Detection Using an iPhone 4S”, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, t. 60, nr 1, ss. 203–206, 2013.
- [5] E. Murphy i E. A. King, „Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise”, *Appl. Acoust.*, t. 106, ss. 16–22, 2016.
- [6] „Android Marshmallow edges closer to «Pro Audio» with lower audio latency”, *Android Authority*, 2016. <http://www.androidauthority.com/android-6-0-marshmallow-audio-latency-670727/>. [11.06.2016].
- [7] „Flagship Smartphone” <https://www.cirrus.com/en/applications/app/detail/APP17.html>. [26.06.2016].
- [8] „Snapdragon 808 and 810 unveiled: 20-nm, 64-bit beasts coming early next year”, *Android Authority*, 2014. <http://www.androidauthority.com/snapdragon-808-810-specs-features-365530/>. [25.02.2016].
- [9] A. Li, „Google has created offline voice recognition that is 7x faster than an online system”, *9to5Google*, 11-mar-2016. <https://9to5google.com/2016/03/11/google-accurate-offline-voice-recognition/>. [10.07.2016].