

## WYKORZYSTANIE SYSTEMU BLUETOOTH DO WYKRYWANIA STRUMIENI POJAZDÓW I PIESZYCH

*W pracy autorzy dokonali oceny możliwości wykorzystania systemu detekcji aktywnych urządzeń Bluetooth do wykrywania strumieni pieszych i pojazdów. W ramach pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych z wykorzystaniem urządzeń i systemów poligonu ITS, który funkcjonuje na terenie kampusu Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. W ramach analiz wyznaczono parametry zarejestrowanych potoków na wybranych odcinkach ruchu drogowego oraz dokonano próby estymacji potoków pojazdów i potoków pieszych.*

### WSTĘP

Popularyzacja koncepcji Smart City na obszarach zurbanizowanych, pociągnęła za sobą konieczność efektywnego i elastycznego zarządzania zarówno ruchem pojazdów, jak i ciągami pieszych. Tym samym zaobserwowano rosnące zapotrzebowanie na aktualną informację na temat warunków ruchu. Nieodzownym elementem pozyskiwania danych o charakterze ruchu drogowego, stało się zaangażowanie inteligentnych systemów transportowych (ITS). Przez lata transformacji uległo również samo oprzyrządowanie pomiarowe. Popularne pętle indukcyjne osadzone w nawierzchni drogowej, coraz częściej ustępują miejsca rozwiązaniom bardziej mobilnym, umożliwiającym łatwą zmianę lokalizacji detektora. Poszukiwanie alternatywnych, efektywnych i ekonomicznych metod pomiarowych oraz rozwój koncepcji Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things, IoT) umożliwił implementację nowoczesnych metod pomiarowych, działających w oparciu o bezprzewodowe sieci czujnikowe (ang. Wireless Sensor Network, WSN). W tego typu systemach sieć bezprzewodowych czujników przesyła dane o detekcji użytkowników ruchu do jednostki centralnej odpowiedzialnej za zbieranie i przetwarzanie danych. Przykładem WSN są rozwiązania bazujące na wykrywaniu aktywności urządzeń wyposażonych w moduł Bluetooth lub Wi-Fi [1,2].

Zastosowanie bezprzewodowej sieci czujnikowej, opartej na technologii Bluetooth jest rozwiązaniem integrującym grupę detektorów z dedykowanym oprogramowaniem (rys. 1). Celem systemu jest wykrywanie aktywnych urządzeń Bluetooth, jakie posiadają użytkownicy ruchu drogowego m.in.: zestawy słuchawkowe, zestawy głośnomówiące oraz urządzenia mobilne. Detekcja wykorzystuje unikalne dla każdego urządzenia adresy MAC (ang. Medium Access Control). Dodatkowe zastosowanie algorytmu filtrującego umożliwia pozyskanie danych o [3]:

- natężeniu ruchu pojazdów,
- średniej prędkości przejazdu przez zdefiniowane punkty pomiarowe,
- średnim czasie przejazdu przez zdefiniowane punkty pomiarowe,
- wystąpieniu utrudnień w ruchu.



Rys. 1. Schemat funkcjonowania systemu detekcji Bluetooth [4]

Obecnie szacuje się, iż system oparty o detekcję Bluetooth, zaimplementowany na miejskiej sieci komunikacyjnej, jest w stanie wykryć od 10% do 35% wszystkich pojazdów [4,5]. Możliwość jednoznacznej identyfikacji tego samego urządzenia w kilku punktach pomiarowych, dostarcza informacji zarówno o najczęściej wybieranych trasach pojazdów oraz ciągów pieszych, jak i średnim czasie przebywania pojazdu lub pieszego na terenie obiektu.

### 1. POLIGON ITS

#### 1.1. Opis stanowiska

Przykładem pilotażowego wdrożenia systemu detekcji aktywności Bluetooth, może być dydaktyczno-badawczy poligon ITS, oddanych do użytku w 2016r. na terenie kampusu Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Poligon swoim zasięgiem obejmuje następujące elementy infrastruktury drogowej [5]:

- tablicę zmiennej treści typu RGB,
- skaner 3D umożliwiający klasyfikację oraz detekcję obrysu pojazdu,
- wagę dokonującą preselekcji pojazdów w ruchu (ang. Weigh in motion, WIM),
- zespół pętli indukcyjnych do klasyfikacji i określania prędkości pojazdów,
- stację pogodową,
- zestaw kamer poglądowych,
- system czujników aktywności Bluetooth.

Przestrzenne rozmieszczenie infrastruktury poligonu zaprezentowane zostało na rysunku 2.



**Rys. 2.** Polygon ITS – rozmieszczenie przestrzenne komponentów[5]

## 1.2. System detekcji Bluetooth

Opisane środowisko badawcze, umożliwia dokonanie wiarygodnej walidacji efektywności i specyfiki działania systemu detekcji Bluetooth OnDynamic, poprzez odniesienie się do danych pochodzących z pozostałej zintegrowanej infrastruktury poligonu. Na potrzeby analizy efektywności detekcji Bluetooth wykorzystano dane pobrane ze stacji ważenia pojazdów w ruchu. Waga oraz sprzężone z nią pętle indukcyjne i kamera ANPR, wykrywają i identyfikują, każdy pojazd wjeżdżający na teren kampusu. Na rys. 2 lokalizacja wagi oznaczona została cyfrą 2.

Dostarczony w ramach systemu OnDynamic interfejs użytkownika umożliwia wyświetlanie położenia czujników (wraz z ich zasięgiem) oraz zdefiniowanych wcześniej odcinków pomiarowych. Architektura systemu detekcji Bluetooth prezentuje rys. 3. W analizowanej wersji systemu zdefiniowane zostały 3 odcinki pomiarowe, a dane pobiera 6 czujników Bluetooth. Wyróżnić można 2 zasadnicze elementy systemu, każdy z nich dostarcza innych danych pomiarowych. Czujniki aktywności Bluetooth pełnią funkcje węzłów sieci WSN, dostarczają one informacji na temat zarejestrowanej w danym punkcie liczby urządzeń Bluetooth. Natomiast odcinki łączące czujniki w sieć pomiarową, mają za zadanie obliczać podstawowe statystyki dotyczące prędkości i czasu pokonywania szlaku komunikacyjnego przez użytkownika danego urządzenia.

## 2. ANALIZA POTOKÓW RUCHU

Istotnym czynnikiem doboru przedmiotu badań, jest sposób organizacji ruchu na terenie kampusu akademickiego (rys. 3).



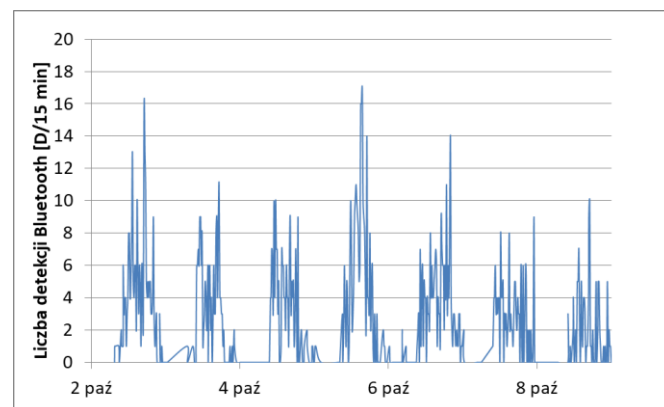
**Rys. 3.** Architektura systemu detekcji Bluetooth wraz z organizacją ruchu pojazdów

Wjazd na teren obiektu możliwy jest jedynie od strony ul. Wilkowej, natomiast wyjazd prowadzi wyłącznie do ul. Czolgistów. Tym samym z dużym prawdopodobieństwem wnioskować można, iż zarejestrowane w systemie szlaki komunikacyjne pokonane przeciwnie do kierunku ruchu pojazdów, to potoki pieszych. Wybrane do analizy odcinki systemu detekcji Bluetooth scharakteryzowano w tabeli 1.

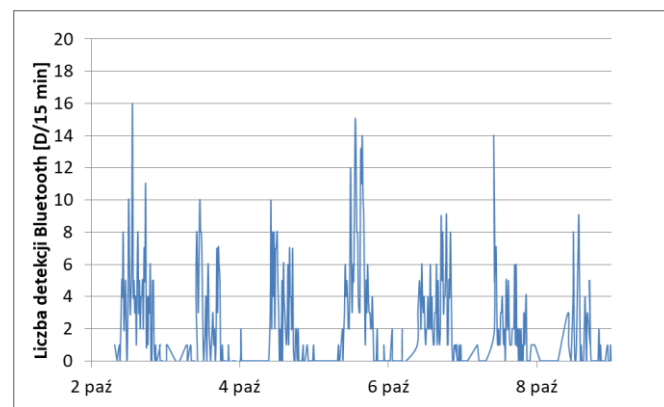
**Tab. 1.** Wybrane do analizy odcinki systemu Bluetooth

Nr odcinka	Kierunek połączenia	Szacunkowa długość odcinka [m]	Występujące potoki ruchu
840	parking - wyjazd z kampusu	230	piesi i pojazdy
841	wyjazd z kampusu - parking	230	piesi
915	parking - wjazd na kampus	100	piesi
916	wjazd na kampus - parking	100	piesi i pojazdy

W pierwszym kroku analizy określono wielkości rejestrowanych potoków ruchu na poszczególnych odcinkach pomiarowych. Okres analizy danych obejmował przedział od 2 do 8 października 2017 roku. Uzyskane dane przedstawiono na rysunkach od 4 do 7.



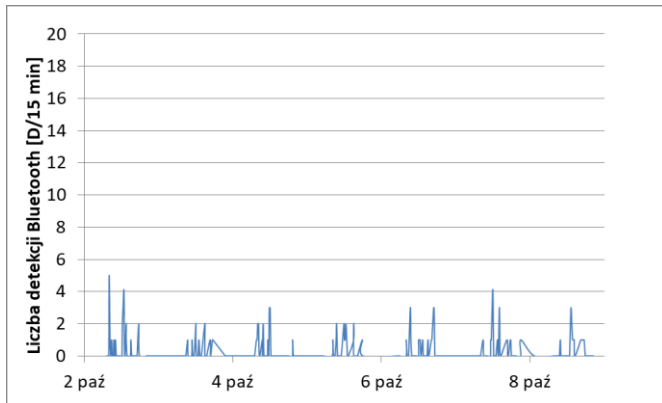
**Rys. 4.** Liczba detekcji urządzeń Bluetooth na odcinku nr 840



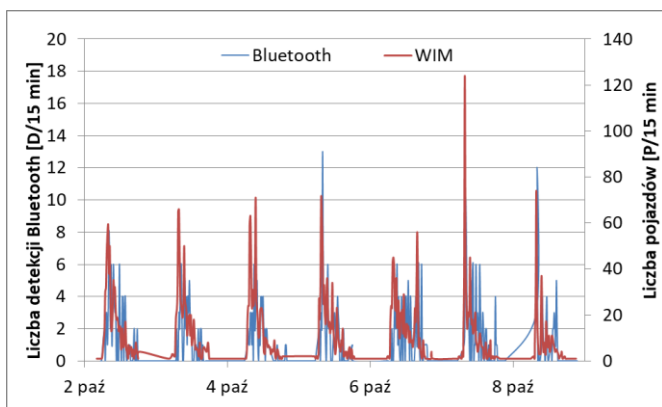
**Rys. 5.** Liczba detekcji urządzeń Bluetooth na odcinku nr 841

Dla odcinków 840 oraz 841, które cechują się przeciwnymi kierunkami ruchu, można zaobserwować zbliżone poziomy detekcji aktywnych urządzeń wykorzystujących komunikację Bluetooth. W przypadku połączenia 840 (rys.4) dominują wartości rejestrowane w godzinach popołudniowych co jest wynikiem wzmożonego ruchu związanego z godzinami pracy pracowników uczelni oraz studentów. Na tym odcinku, ze względu na organizację ruchu, rejestrowane są zarówno potoki piesze jak i strumienie pojazdów przemieszczające się w kierunku bramy wyjazdowej. Dla połączenia nr 841 (rys.5) można zaobserwować dominujące szczyty poranne, co z kolei wynika ze wzmożonego ruchu pieszego związanego z rozpoczęciem pracy pracowników i studentów. Wyjątek stanowi dzień 6

października, kiedy to zaobserwowano dominujący ruch popołudniowy związany ze zjazdem studiów niestacjonarnych.



Rys. 6. Liczba detekcji urządzeń Bluetooth na odcinku nr 915



Rys. 7. Liczba detekcji urządzeń Bluetooth na odcinku nr 916

Kolejne dwa analizowane odcinki o wzajemnie przeciwnym kierunku ruchu stanowi połączenie nr 915 i 916. Dla odcinka 915 (rys. 6), ze względu na organizację ruchu, powinny zostać zarejestrowane wyłącznie potoki piesze przemieszczające się od parkingu do bramy wjazdowej na teren kampusu. Jak można zaobserwować liczba detekcji aktywnych urządzeń jest na relatywnie niskim poziomie i w momentach szczytowych osiąga wartość 4-5 detekcji w interwale 15 minut. Szczególnie istotne znaczenie ma analiza ilości detekcji na odcinku o przeciwnym kierunku ruchu, na którym występują piesi użytkownicy ruchu oraz pojazdy. Dodatkowo na przedmiotowym odcinku jest zainstalowana stacja ważenia WIM, która zapewnia detekcję pojazdów z dokładnością powyżej 95%. Na rysunku 7 zestawiono wyniki uzyskane z systemu Bluetooth oraz wyniki zarejestrowane w ramach systemu WIM. Przedstawione charakterystyki pokazują zbieżność w zakresie dominowania liczby detekcji Bluetooth i liczby pojazdów w godzinach porannych co jednoznacznie wynika z przejazdów i przejść związanych z godzinami rozpoczęcia pracy pracowników i studentów. Należy w tym miejscu podkreślić, że nie można ocenić skuteczności detekcji Bluetooth, gdyż stacja WIM wykrywa wyłącznie pojazdy samochodowe.

Następny krok analizy stanowiło wyznaczenie rozkładu czasu przejazdu poszczególnymi odcinkami i próba rozgraniczenia potoków pieszych i strumieni pojazdów. W tym celu dla wykrytych urządzeń Bluetooth przyjęto następujące warunki brzegowe:

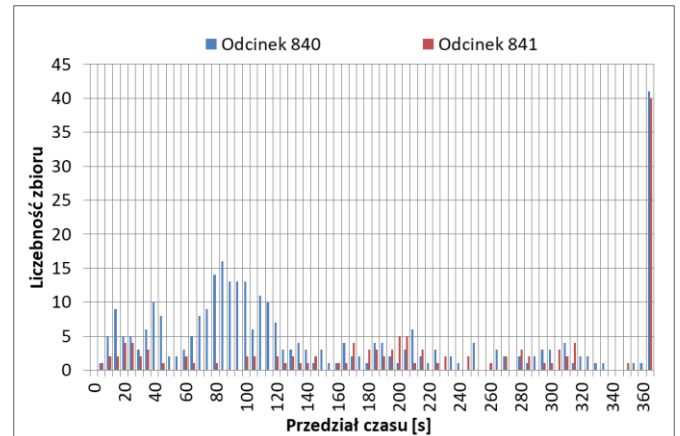
- czas obecność w poszczególnych obszarach detekcji musi zawierać się w przedziale <2;240> sekund – warunek ten ogranicza sytuacje związane z dłuższym przebywaniem obiektów w obszarze źródła lub celu np. oczekiwanie na przystanku ko-

munikacji zbiorowej lub przed budyniem kampusu oraz eliminuje obiekty, które przypadkowo znalazły się w obszarze detekcji

- czas przejazdu od źródła do celu musi zawierać się w przedziale <2;600> sekund

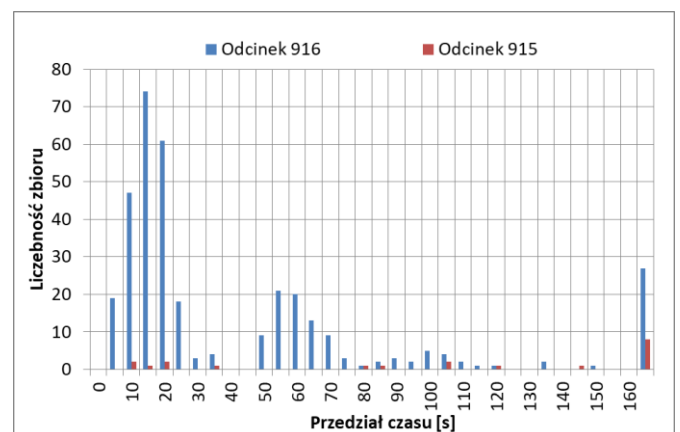
- czas przejazdu wyliczony jest jako różnica czasu pomiędzy pierwszą detekcją w obszarze źródła i pierwszą detekcją w obszarze celu.

Zbiór danych został dodatkowo zawężony do obiektów rejestrowanych w godzinach od 7:00 do 20:00. Wyniki przeprowadzonych analiz zostały przedstawione na rys. 8 oraz 9.



Rys. 8. Histogram czasu przejazdu dla odcinków nr 840 oraz 841

Przetawiony na rysunku 8 rozkład wartości wskazuje na dojmującą grupę wartości z zakresu od 60 do 120 sekund dla odcinka 840, czyli odcinka z występującym ruchem pojazdów i potokami pieszych. Biorąc pod uwagę szacunkową długość odcinka można przyjąć, że dominującą grupę stanowią pojazdy, dla których prędkość przejazdu odcinka waha się w granicach od 7 do 14 km/h. W ramach odcinka można również zaobserwować grupę detekcji w okolicy wartości 200 sekund. Grupa ta występuje również dla odcinka przeciwnego czy 841, co może potwierdzać wartości zarejestrowane dla strumieni pieszych. W rozkładzie, zarówno dla odcinka 840 i 841 występują również wartości z zakresu od 10 do 20 sekund. Wartości te najprawdopodobniej wynikają z nieregularnych obszarów zasięgu stacji pomiarowych.



Rys. 9. Histogram czasu przejazdu dla odcinków nr 915 oraz 916

Rozkład czasu przejazdu dla odcinków 915 i 916 przedstawiony na rysunku 9 wskazuje na dużą dysproporcję wielkości zarejestrowanych urządzeń dla przeciwnych kierunków ruchu. Dysproporcja ta wynika z przewagi aktywnych urządzeń Bluetooth wykorzystanych w ramach pojazdów w stosunku do urządzeń używanych przez pieszych. Dodatkowo, w odniesieniu do wartości przedsta-

wionych na rys.6 i 7 została ograniczona przez przyjęte warunki brzegowe. Dla odcinka 916 dominują dwa przedziały wartości. Pierwszy z nich z wartością szczytową w okolicy 15 sekund to prawdopodobnie przejazdy dla okresów o większej swobodzie ruchu. Drugi przedział z wartościami z przedziału do 50 do 70 mógłby sugerować potoki pieszych aczkolwiek nie znajduje potwierdzenia dla wartości zarejestrowanych na przeciwnym przedziale ruchu. Dodatkowo analiza pierwszych 3 bajtów wybranych adresów mac wskazała na przynależność urządzeń do grupy producentów zestawów głośnomówiących i komputerów pokładowych co świadczy o występowaniu pojazdów w przedmiotowej grupie danych.

### PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych prac autorzy wskazali na możliwość rejestracji wybranej grupy potoków pieszych z wykorzystaniem systemu OnDynamic. Przedstawione w pracy analizy wskazują na dominujący udział pojazdów w wykrywanych przez stacje Bluetooth potokach ruchu. Precyzyjne rozgraniczenie strumieni wymaga prowadzenia dalszych prac, ze szczególnym uwzględnieniem zasięgów detekcji oraz określeniem ich wpływu na rejestrowane wartości. W ramach dalszych działań autorzy zakładają przeprowadzenie między innymi eksperymentów z udziałem pojazdów testowych i pieszych wyposażonych w lokalizator położenia i aktywne urządzenie Bluetooth. Kolejne eksperymenty będą miały również na celu oszacowanie udziału pieszych w strumieniu ruchu oraz opracowanie metody estymacji reprezentatywnej grupy obiektów.

### BIBLIOGRAFIA

1. Fernández-Lozano J., Martín-Guzmán M., Martín-Ávila J., García-Cerezo A., *A wireless sensor network for urban traffic characterization and trend monitoring*, "Sensors" 2015, nr. 15(10)
2. Fernandez Ares A., Gajda D., *Comparing Wireless Traffic Tracking with Regular Traffic Control Systems for the Detection of Congestions in Streets*, „Smart Cities”, Springer 2016, str. 42- 51
3. Brzozowski K., Maczyński A., Ryguła A., Wyniki monitoringu jakości powietrza w warunkach porannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego dla obszaru miasta Bielsko-Biała, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” 2016, r.17, nr.11
4. Konior A., Brzozowski K., Maczyński A., Ryguła A., A concept of extension of the OnDynamic system with module for monitoring road traffic impact on the urban environment, “Archives of Transport System Telematics” 2016, tom 9, nr. 2
5. Grabara A., Płosa J., Ryguła A., The evaluation of the efficiency of determining traffic volume using bluetooth systems, “Transport Problems'2015 : VII International Scientific Conference, IV International Symposium of young researchers : proceedings” 2015, s.149-156
6. Ryguła A., *Poligon ITS – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej*, Katalog branży ITS 2017, dostępne on-line: <http://utn.pl/8S8i1> [dostęp: 30.10.2017]

### Bluetooth-based traffic and pedestrian detection system

*Authors of the research evaluated the usefulness of Bluetooth technology detection system to tracking the pedestrian and traffic streams. The results of measurement presented in the study, were obtained due to devices and systems integrated by ITS testing ground located in University of Bielsko-Biała. The research enabled to find specific traffic parameters and to estimate the vehicle and pedestrian flow on discussed area.*

Autorzy:

dr inż. **Artur Ryguła** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu, [arygula@ath.eu](mailto:arygula@ath.eu).

mgr inż. **Wiktoria Loga** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu, [wloga@ath.eu](mailto:wloga@ath.eu).