



LOKALIZACJA WEWNĄTRZBUDYNKOWA

Axel Szmidt 132504



2020/2021

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
axel.szmidt@student.put.poznan.pl

Spis treści

1	Abstrakt	2
2	Wykaz oznaczeń i skrótów oraz słownik	2
3	Analiza źródeł wtórnych	2
3.1	Stan zagadnienia	2
3.2	Kierunek rynku lokalizacji	3
3.3	Postęp technologii	4
3.4	Omówienie wybranych technologii	5
3.5	Zapotrzebowanie na odpowiednie mapy	7
3.6	Omówienie OSM jako potencjalnego źródła danych	7
3.7	Wizualizacja implementacji danych w OSM na przykładzie Centrum Wykładowego Politechniki Poznańskiej	7
4	Wskazanie zastosowań technologii lokalizacji wewnątrzbudynkowej	13
5	Wnioski	14
6	Bibliografia	15

1 Abstrakt

Celem opracowania jest przeanalizowanie aktualnego stanu technologii lokalizacji wewnątrzbudynkowej, omówienie jej kierunku oraz wskazanie zastosowania. W szczególności analizie poddane zostały technologie dostępne w telefonach komórkowych. Przedstawiono również zastosowanie platformy OpenStreetMap w kontekście źródła danych do systemów lokalizacji wewnątrzbudynkowej. Ostatecznie wskazano potencjalne zastosowania omawianej technologii. Całość rozważań została osadzona w ramach analizy źródeł wtórnych oraz dotychczasowych doświadczeń autora w mapowaniu wnętrza budynków.

2 Wykaz oznaczeń i skrótów oraz słownik

Skrót	Znaczenie
OSM	OpenStreetMap
JOSM	Program do edycji map OSM
RFID	Radio-frequency identification
UWB	Ultra WideBand
BT	Bluetooth
CW	Centrum Wykładowe Politechniki Poznańskiej

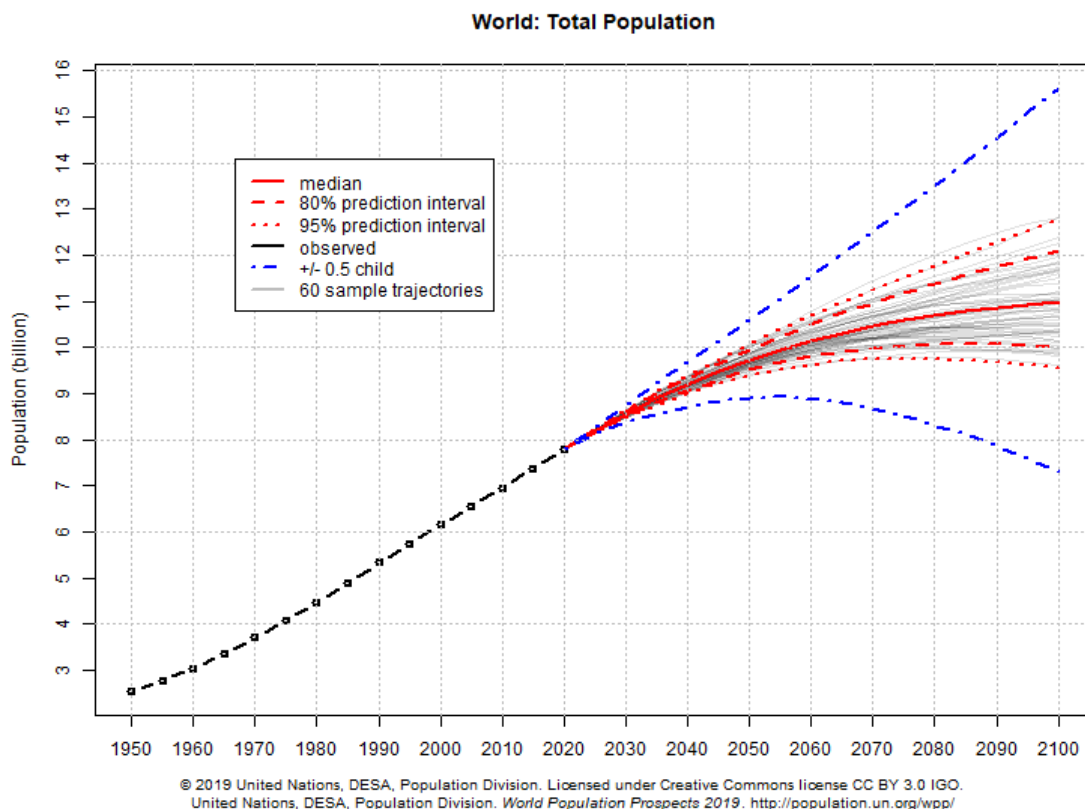
3 Analiza źródeł wtórnych

3.1 Stan zagadnienia

W roku 2020 do najpopularniejszych technologii wykorzystywanych do określania lokalizacji urządzenia należały: GPS, sieci komórkowa, Wi-Fi, Bluetooth, Ultra wideband, RFID oraz inteligentny monitoring. Wszystkie media poza ultra wideband, RFID i inteligentnym monitoringiem ustalają pozycje urządzenia lokalizowanego przy pomocy analizy czasów dotarcia sygnałów z urządzeń nadających. Warto zauważyć, że lokalizacja satelity GPS oraz stacji sieci komórkowej jest znana przez nadawcę. W przypadku Wi-Fi oraz Bluetooth, jeżeli urządzenie odbierające sygnał zna lokalizację nadajników to na podstawie siły sygnału może próbować oszacować swoje położenie przy pomocy triangulacji. Do innych form należą Ultra wideband, RFID i inteligentny monitoring. Ultra wideband pozwala na nie tylko określenie czasu drogi sygnału pomiędzy urządzeniem nadającym a odbierającym, ale również na określenie kąta nadania i odebrania sygnału. Przy odpowiedniej implementacji pozwala na dokładność do 5mm (Techquickie, 2019). Należy zauważyć, że zastosowanie już powszechnie dostępnej technologii Bluetooth 5.0, w odpowiednich warunkach, pozwala na dokładność do 1m natomiast Bluetooth 5.1, również w odpowiednich warunkach, wprowadza dokładność do 1 cm oraz zdolność określenia dokładnego kierunku nadawanego i odbieranego sygnału (Core Specification Working Group, 2019). RFID działa podobnie do kodu QR, wymaga zeskanowania a na podstawie zeskanowania wraz z lokalizacją skanera potrafimy określić położenie przedmiotu. Inteligentny monitoring, aktualnie stosowany w Chinach, pozwala na identyfikowanie obywatela korzystając z systemu kamer, sztucznej inteligencji oraz bazy danych obywateli (Roth & Wang, 2019).

3.2 Kierunek rynku lokalizacji

Według firmy Gartner rynek smartphonów, czyli personalnych urządzeń zdolnych do między innymi lokalizowania swojego położenia, co prawda przestał rosnąć, ale nie mniej trzyma się na poziomie wysokim poziomie sprzedaży. Analiza firmy Gartner mówi, że w 2020 roku zostanie sprzedane około 1,6 miliarda takich urządzeń (sic!). Przy tak wielkiej sprzedaży jesteśmy w stanie wyprodukować jeden smartphone dla każdego na świecie w pięć lat zakładając populację na poziomie około 8 mld osób. (United Nations, 2019)



Rysunek 3.1 United Nations, World: Total Population
Źródło: www.population.un.org/wpp/

Należy również wskazać, że samodzielne zbudowanie urządzenia zdolnego do pozyskiwania lokalizacji lub jej nadawania jako beacon przy pomocy GPS, Wi-Fi i Bluetooth nie jest drogie ani bardzo skomplikowane. W tym celu można zastosować powszechnie dostępne płytki ESP32¹, Neo-6M² oraz źródło zasilania dla powstałego układu.

¹ Więcej na temat płytki ESP32 <http://esp32.net/>

² Więcej na temat płytki Neo-6M https://www.waveshare.com/wiki/UART_GPS_NEO-6M

Tabela 3.1 Koszt przykładowego projektu urządzenia do lokalizacji/beacon na podstawie cen z serwisu aliexpress

Element	Cena
ESP32	18,28 zł
Neo-6M wraz z anteną	11,97 zł
Źródło zasilania	Od 5 do 25 zł
Razem	Okolo 45zł

Źródło: Opracowanie własne

Należy zauważyć, że w polskich sklepach hobbistycznych ceny będą zauważalnie wyższe oraz że w przypadku większych zamówień, bezpośrednio od producenta, mogą być niższe. Warto zauważyć też, że wskazanym może być posiadanie zdolności programowania, chociaż to zależy od poziomu rozbudowania projektu. W Internecie istnieje wiele instrukcji jak krok po kroku wykonać projekty elektroniczne. Zauważalny ułamek dostępnych przykładów w Internecie nie wymaga zdolności programowania, wystarczającym jest uważnie podążanie za krokami podanymi w instrukcji.

3.3 Postęp technologii

Aktualnie ma miejsce przełom technologii w kontekście usług lokalizacji. Niedługo bowiem standardem staną się sieć 5G oraz Bluetooth w standardzie 5.1. Technologie te powinny znacząco poprawić dokładność lokalizowania urządzeń zarówno na dworze jak i w budynkach. Ponad to Bluetooth 5.1 powinien znacząco obniżyć koszty tworzenia indywidualnych sieci lokalizacyjnych w budynkach.

Nadchodząca 5 generacja komórkowej, ma pozwolić na dokładniejsze określanie położenia oraz nie będzie ograniczona do lokalizowania dwuwymiarowego, tak jak dotychczasowa sieć komórkowa (Koivisto, et al., 2016). Ma to wynikać z zastosowania znacząco większej ilości nadajników, będących jednocześnie bardziej ukierunkowanymi oraz korzystania z technologii beamforming³. Nadajnik przy pomocy zjawiska interferencji, odpowiednio nakłada na siebie falę w przestrzeni, tak aby ta została wzmocniona (Nordrum, et al., 2017). Są to elementy konieczne dla prawidłowego funkcjonowania połączenia między urządzeniami korzystającymi z tak zwanych fali milimetrowych. Ze względu na swoją długość bardzo łatwo można je zablokować lub zakłócić. Samo ustawienie się tyłem do pojedynczego nadajnika, nie korzystającego z beamformingu, może spowodować utratę połączenia. (Linus Tech Tips, 2019)

Poza rozwojem sieci komórkowej w roku 2019 premiera nowego iPhone 11 wprowadziła na rynek konsumencki wspomnianą wcześniej technologię UWB. Producent nazywa chip odpowiedzialny za GPS w skali pokoju U1 (Apple, 2019). W specyfikacji szczegółowej Apple nazywa ten element „*Ultra Wideband chip for spatial awareness*” (Apple, 2019). Pojawienie się tej technologii na rynku konsumenckim jest bardzo istotnym krokiem na przód dla jej rozwoju. Krytycznym jest również uwzględnienie faktu, że firma Apple na rynku smartphonów jest swojego rodzaju prekursorem. Bowiem często dyktuje ona standardy oraz kierunek rozwoju tego rynku. Firmą konkurującym

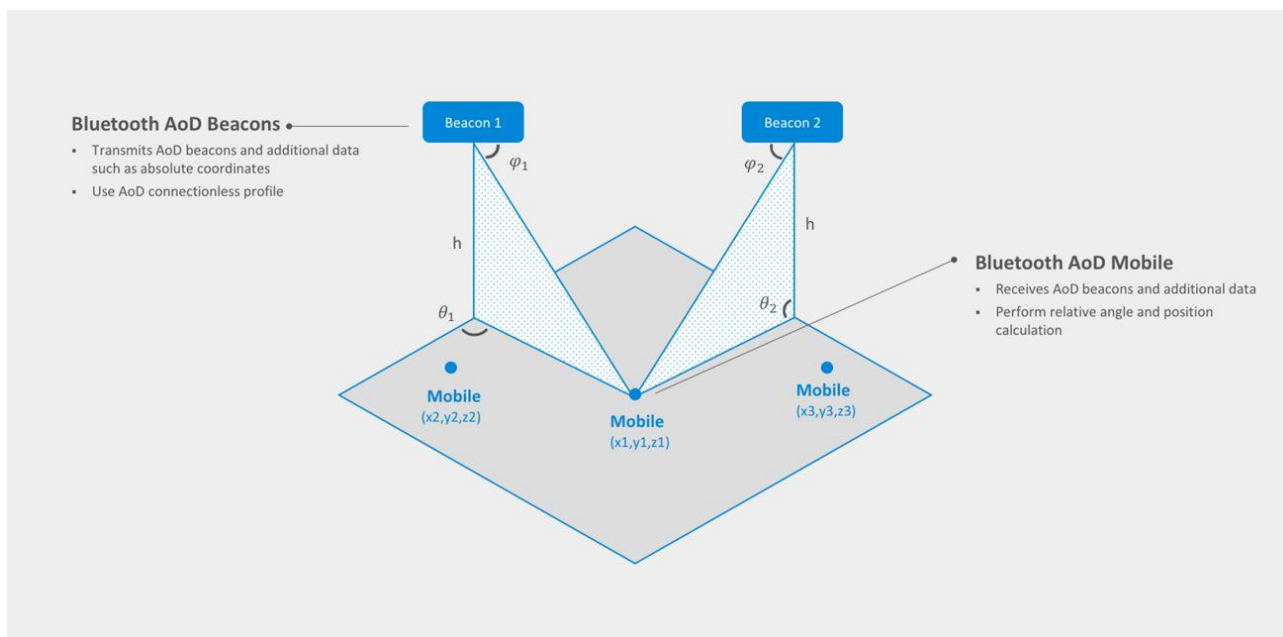
³ Więcej na temat jak działa beamforming <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-beamforming-explained>

zajmuje średnio do dwóch lat wprowadzenie takich samych rozwiązań w swoich produktach. To wszystko oznacza, że prawdopodobnie technologia UWB stanie się powszechnie dostępną na rynku w najbliższym czasie.

Warto również wspomnieć o rozwoju bardziej znanej technologii BT. Aktualnie zaadaptowany standard to Bluetooth 5. Pojawił się on na rynku po raz pierwszy wraz z smartphonem Sony Xperia XZ 27 lutego 2017 (KVN, 2017). W kolejnych miesiącach tego samego roku między innymi dołączyły do rynku firmy Samsung wraz z Galaxy S8 oraz Apple z iPhone 8, 8 Plus oraz iPhone X. Wersja ta wprowadziła wiele funkcji wymaganych do tworzenia sieci nadajników lokalizacji (Core Specification Working Group, 2019). Rynek urządzeń BT zastosowanych do tworzenia lokalnych sieci lokalizacyjnych gwałtownie się rozrasta i przewiduje się, że do roku 2021 ma przełamać sprzedaż na poziomie 500 milionów urządzeń (Bay, 2016). Należy również wspomnieć o rozwoju BT 5 jakim jest BT 5.1. Główną jego zaletą w kontekście omawianych zastosowań jest możliwość wskazania kierunku, w którym urządzenie nadaje wiadomość oraz wskazanie kierunku, z którego dana wiadomość nadchodzi. Dzięki tej zdolności możliwym będzie znaczące ograniczenie ilości potrzebnych chipów nadających lokalizację, gdyż prawdopodobnie nie będzie już potrzebne, posiadanie w zasięgu, co najmniej trzech niezależnych urządzeń, w celu triangulacji położenia. Możliwym jest, że zmiana ta pozwoli nam na ograniczenie się do potrzeby bycia w zasięgu tylko jednego chipu lokalizującego w danym momencie (Core Specification Working Group, 2019). Należy zauważyć, że na dziś została jedynie opublikowana specyfikacja BT 5.1, jeszcze nie ma na rynku smartphonów mogących z tego skorzystać. Warto też dodać, że jest to już właściwość posiadana przez UWB.

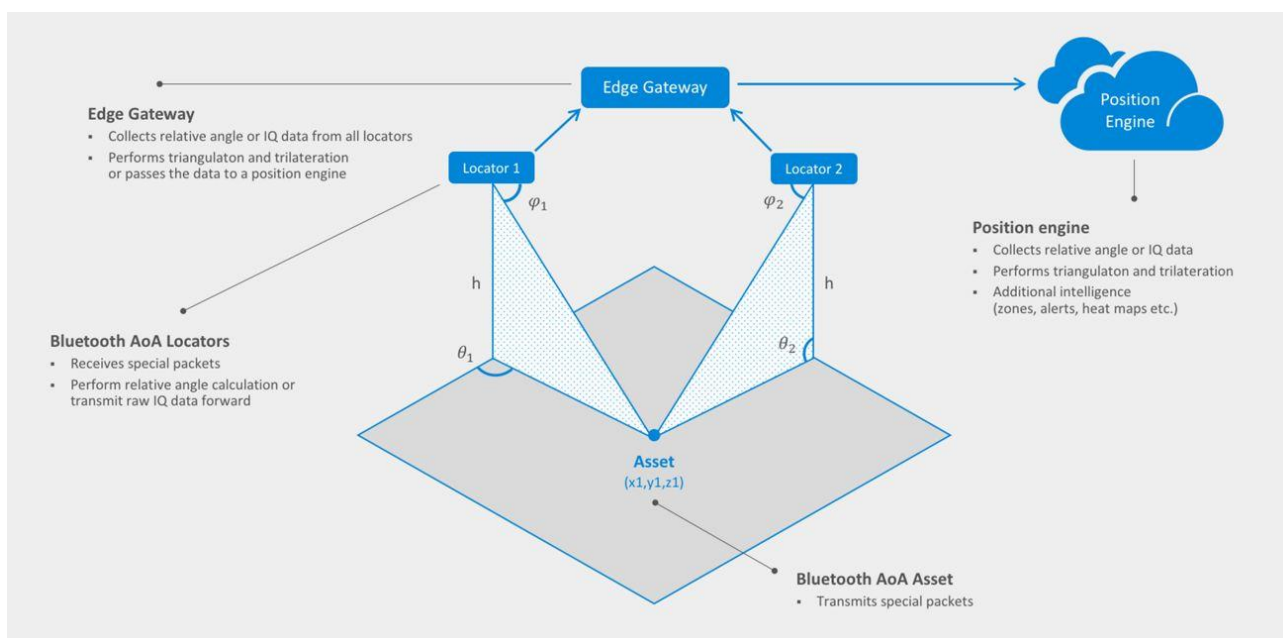
3.4 Omówienie wybranych technologii

W kontekście lokalizacji wewnątrz budynkowej szczególnie ciekawe zdaje się nowe podejście do tematu oferowane przez standard Bluetooth 5.1. Specyfikacja tej implementacji pozwala na określenie kąta nadania sygnału (ang. Angle of Departure - AoD) oraz kąta odbioru sygnału (ang. Angle of Arrival – AoA) (Core Specification Working Group, 2019). Określanie lokalizacji w oparciu o kąty względem urządzeń w porównaniu do analizy siły zasięgu pozwala na większą dokładność oraz stabilność zwracanych pomiarów. Niestety siła sygnału radiowego w przestrzeni jest bardzo dynamiczna i potrafią na nią wpłynąć najmniejsze zmiany w otoczeniu.



Rysunek 3.2 Wizualizacja AoD (Silicon Labs, 2020)

W przypadku korzystania z kąta nadania Beaconsy w odpowiednich interwałach czasowych transmitują takie dane jak swoją lokalizację oraz czas nadania sygnału przy pomocy macierzy anten. Klient odbiera sygnał i na jego podstawie potrafi określić kąt względem nadawcy. Posiadając odpowiednio wielu nadawców oraz dane dotyczące ich lokalizacji możliwym jest dokładne określenie pozycji klienta z zachowaniem jego prywatności w sieci.



Rysunek 3.3 Wizualizacja AoA (Silicon Labs, 2020)

Korzystając z kąta odbioru sygnału sytuacja jest odwrotna. W tym momencie w odpowiednich interwałach czasowych urządzenie nadaje odpowiedni sygnał. Jest on odbierany przez macierze anten lokalizatorów, które to w oparciu o sygnał określają kąt jego nadania. Korzystając z odpowiednio wielu lokalizatorów sieć potrafi określić lokalizację nadającego sygnał urządzenia.

3.5 Zapotrzebowanie na odpowiednie mapy

W celu zrozumienia danych podawanych przez system lokalizacyjny potrzebny jest kontekst. Mapy stosujemy jako graficzne przedstawienie określonej powierzchni we właściwej skali, korzystając z ustalonych linii, symboli i znaków. Można wyróżnić wiele rodzajów map: mapy drogowe, górnicze, lotnicze etc. Każda z nich określa nam nasze otoczenie ze stosownym dla nas zakresem informacji. Najczęściej spotykany typ map, mapa drogowa, daje nam możliwość zapoznania się z miejscem, w którym nigdy wcześniej nie byliśmy. Dzięki temu możemy w łatwy sposób określić nasze otoczenie oraz drogę z punktu A do punktu B. Co więcej, należy zwrócić uwagę na istnienie ogólnosięwiatowych map drogowych. Dzięki nim na jednej platformie mamy dostęp do map całego świata. Nie jesteśmy ograniczeni do mapy jednego miasta czy też regionu.

Mapy ułatwiają poruszanie się, dlatego tworzymy je również dla budynków. Prawdopodobnie większość galerii handlowych posiada swoją mapę wnętrza. Niestety nie zostały sformułowane żadne ogólnie standardy tworzenia map dla konsumentów przestrzeni publicznej. Wiąże się to z powstawaniem wielu różnych map, charakteryzujących się różnym stopniem czytelności, co więcej za każdym razem użytkownik musi nauczyć się nowego standardu. Poza mapami komercyjnymi możemy spotkać się również z planami ewakuacyjnymi. Są one tworzone zgodnie z międzynarodowymi standardami.

3.6 Omówienie OSM jako potencjalnego źródła danych

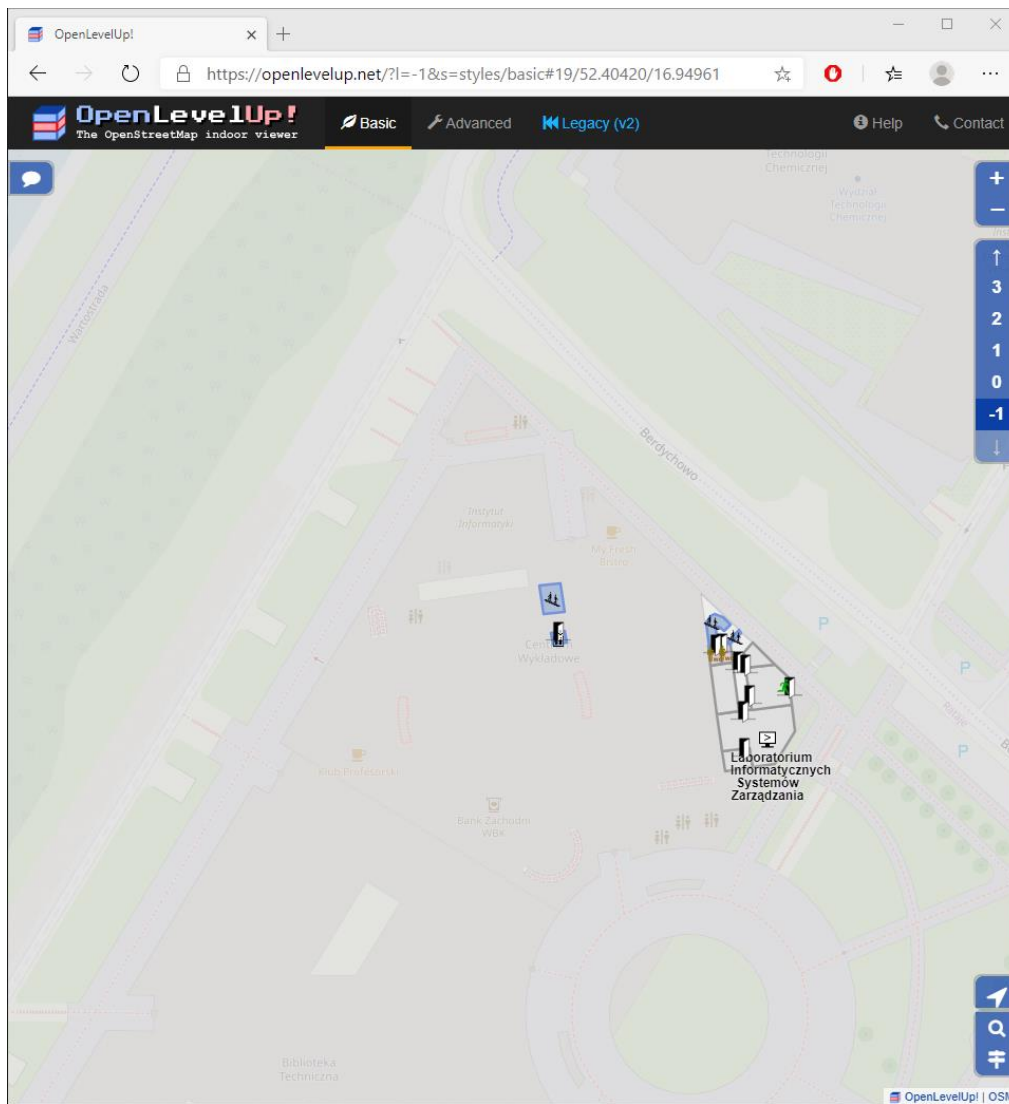
OSM to darmowa, edytowalna mapa tworzona przez wolontariuszy na licencji open-content (OpenStreetMap, 2019). Jest ona dużo dokładniejsza niż czerpiące z niej mapy Google czy Apple. Platforma jest agregatorem wszelkich informacji dotyczących danej drogi, lokalizacji czy nawet ławki. Z danych korzystają osoby prywatne, instytucje rządowe oraz przedsiębiorstwa. Warto nadmienić, że zazwyczaj system posiada dużo więcej informacji dot. danego punktu/węzła/powierzchni niż sugeruje interfejs użytkownika. Potrzeby klientów na informacje różnią się od siebie i umieszczenie wszystkich informacji na widoku zakłóciłoby przekaz (co nie oznacza, że mapa nie korzysta aktywnie z ukrytych informacji). Prosty przykład jest informacja dotycząca ograniczeń dla pojazdów ciężarowych dla danego odcinka drogi. Kierowca pojazdu osobowego nie korzysta z tej zmiennej, tak więc przy generowaniu trasy zostanie ona pominięta, natomiast w przypadku kierowcy pojazdu ciężarowego zostanie ta informacja uwzględniona i wymusi alternatywną trasę.

Potencjalnym rozwiązaniem kwestii uszeregowania danych mogą być mapy oferowane przez platformę OSM. Proponowane rozwiązanie zapisuje dane w formie wektorowej, a każdy zapisany obiekt może mieć swój atrybut (OpenStreetMap, 2021). Dzięki takiemu podejściu możliwym jest wyświetlanie informacji na mapie dopasowanych do zapotrzebowania w danej chwili. Jest to istotne przypadku dostosowania systemu do indywidualnych potrzeb czy choćby wyświetlania informacji z danego piętra.

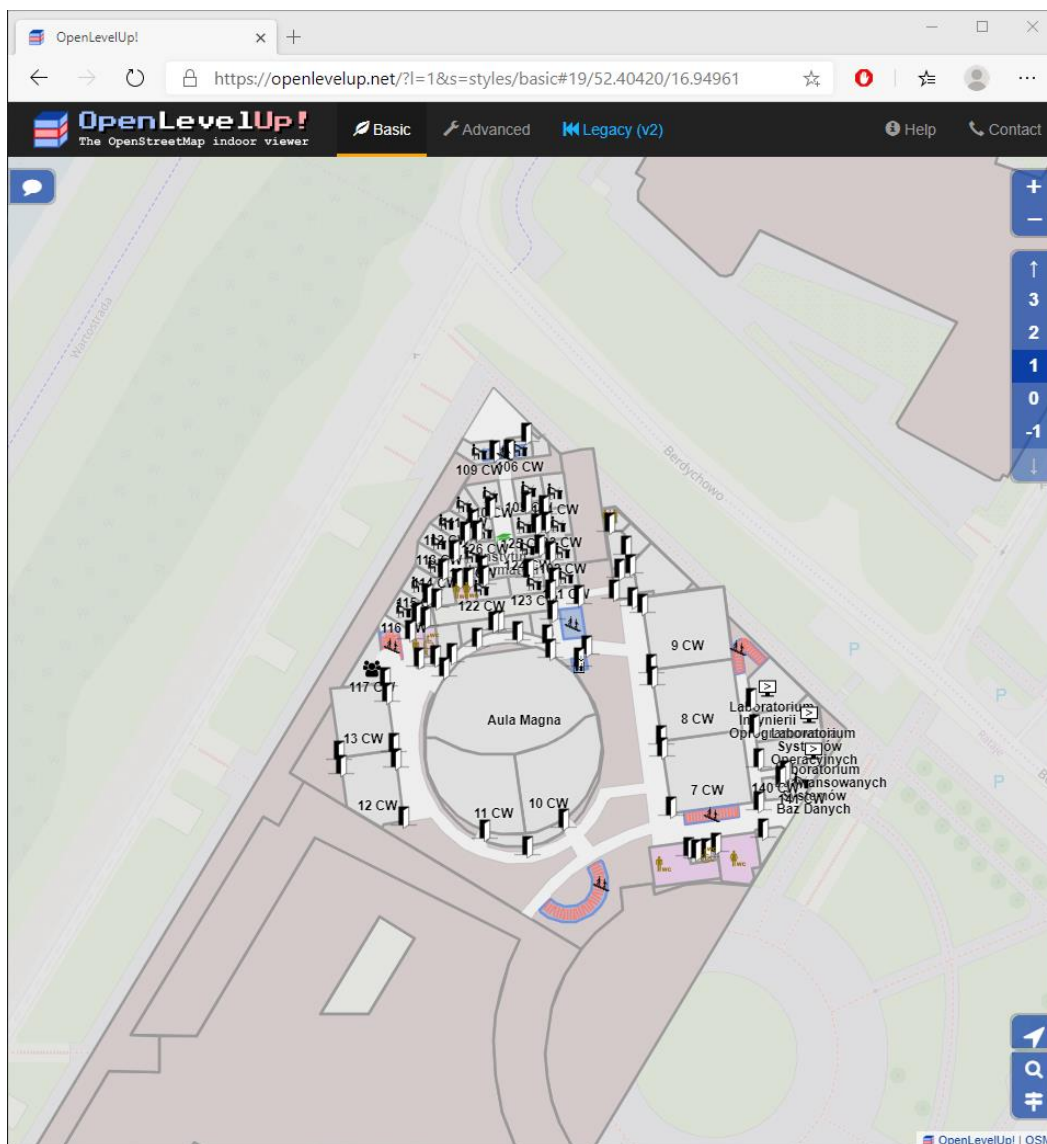
3.7 Wizualizacja implementacji danych w OSM na przykładzie Centrum Wykładowego Politechniki Poznańskiej

W celu przedstawienia implementowanych danych do systemu map OSM należy skorzystać z dedykowanego narzędzia, gdyż standardowa mapa⁴ nie wyświetla informacji z wykorzystanych pól do stworzenia mapy wewnątrzbudynkowej. Jest to prawdopodobnie ze względu na eksperymentalny charakter tej funkcjonalności. Na potrzeby testowania standardów zapisu map wnętrz budynków i ich wyświetlania został między innymi stworzony system „OpenLevelUp!” (PanierAvide, 2019).

⁴ Mapa dostępna pod adresem: www.openstreetmap.org



Rysunek 3.4 Plan piwnicy CW PP
Źródło: Serwis OpenLevelUp!

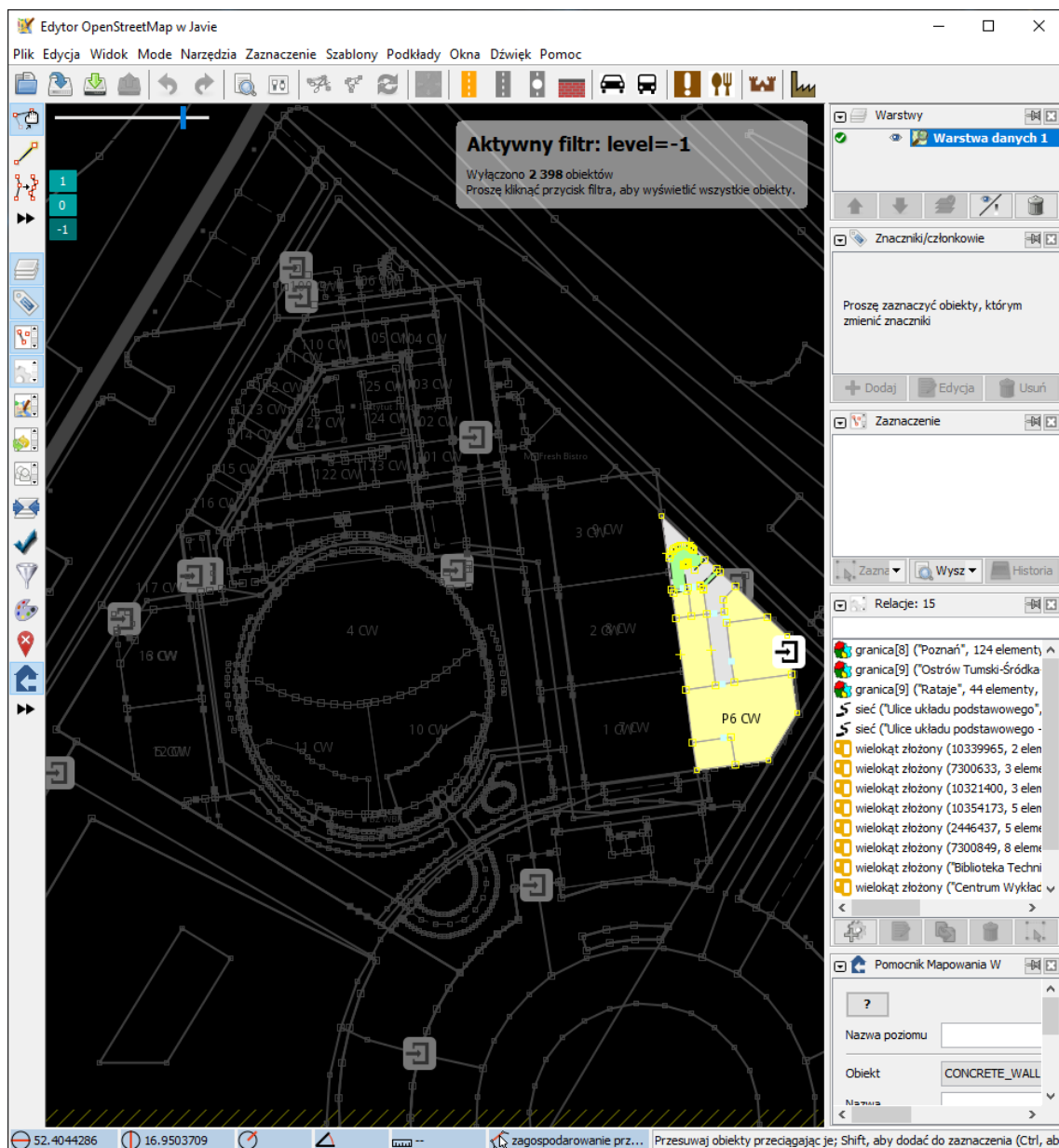


Rysunek 3.6 Plan piętra CW PP
Źródło: Serwis OpenLevelUp!

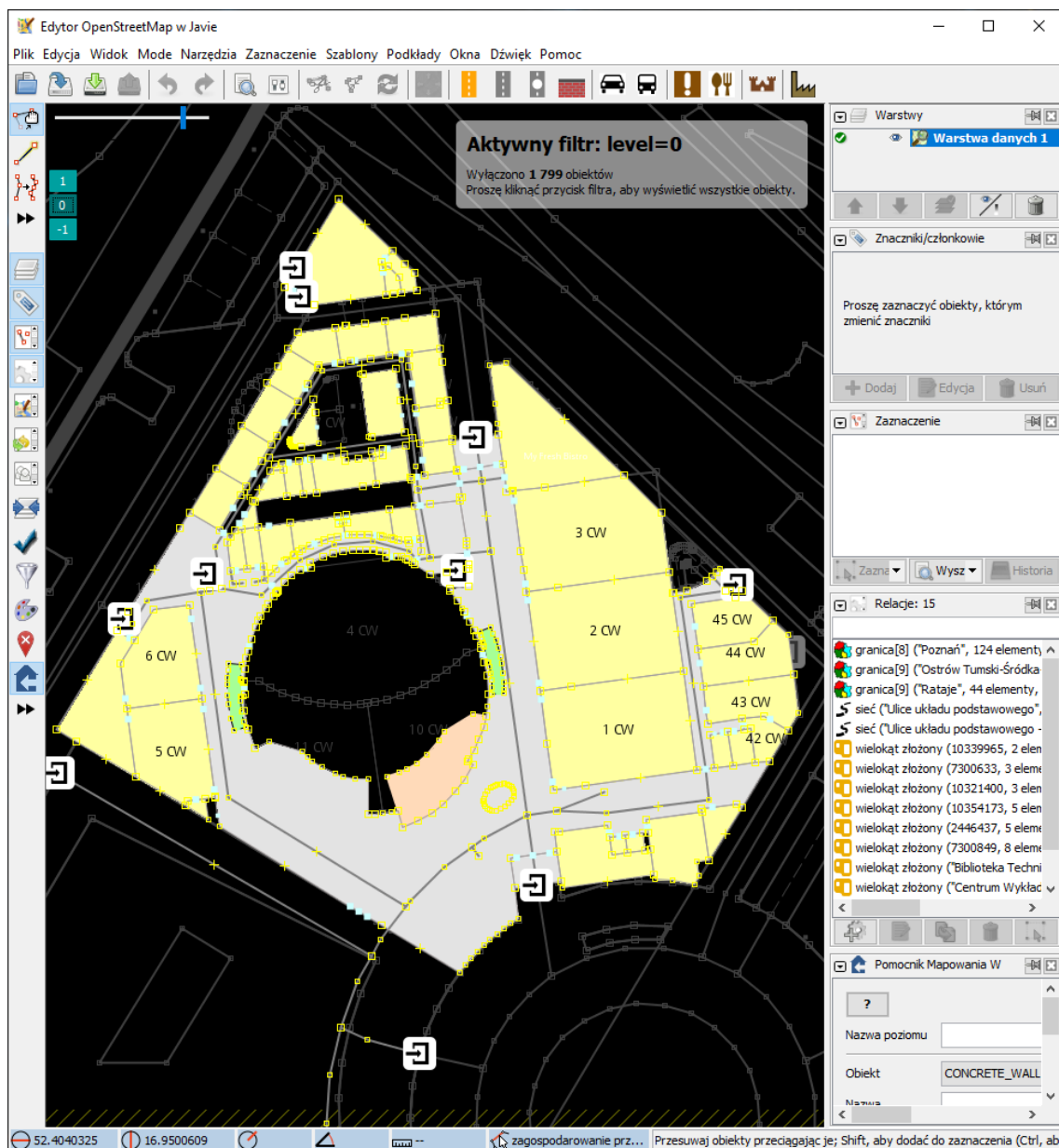
Powyższe zrzuty ekranu przedstawiają przykładową mapę Centrum Wykładowego Politechniki Poznańskiej. Mapa została zapisana w systemie OSM, natomiast wyświetlana jest przy pomocy platformy „OpenLevelUp!”.

Należy zauważyć, że twórca wpisów do systemu OSM nie ma wpływu na system wyświetlania implementowanych danych, gdyż ten jest niezależnym projektem, wciąż w trakcie rozwoju. Warto również dodać, że stworzenie własnego systemu wyświetlania danych z serwisu OSM nie jest skomplikowane. Co udowodnił jeden ze studentów Politechniki Poznańskiej (Kasznia, 2019).

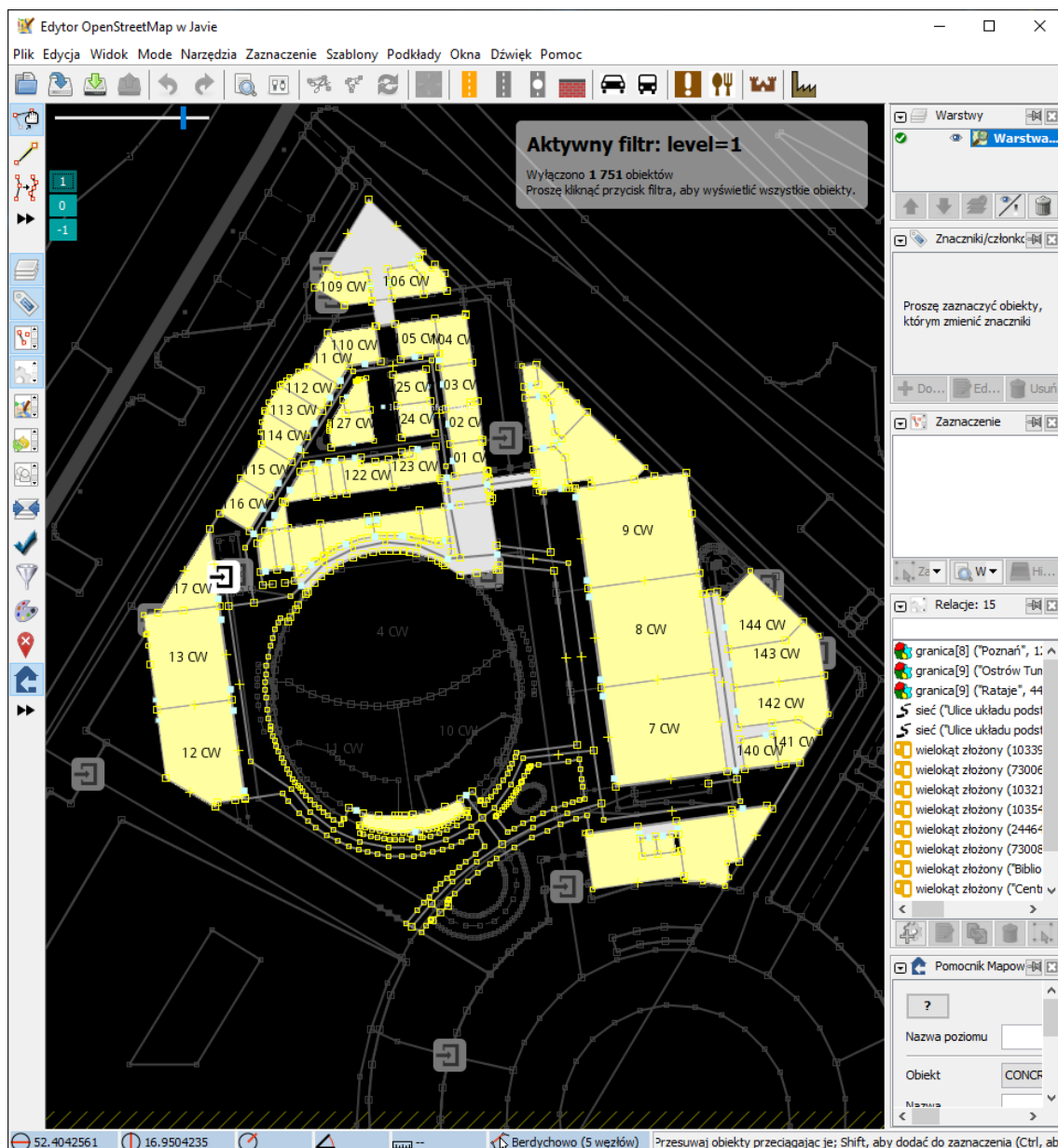
Możliwym jest również wyświetlenie przedstawionego zbioru danych przy pomocy programu JOSM. Jednak ich wizualizacja może okazać się skomplikowana do interpretacji, ze względu na fakt przedstawiania danych dla profesjonalistów a nie konsumentów.



Rysunek 3.7 Plan piwnicy CW PP w JOSM
Źródło: Edytor OpenStreetMap w Javie



Rysunek 3.8 Plan parteru CW PP w JOSM
Źródło: Edytor OpenStreetMap w Javie



Rysunek 3.9 Plan piętra CW PP w JOSM
Źródło: Edytor OpenStreetMap w Javie

4 Wskazanie zastosowań technologii lokalizacji wewnątrzbudynkowej

Posiadając, dane, sprzęt oraz odpowiednie oprogramowanie niedługo bezproblemowa nawigacja wewnątrzbudynkowa stanie się powszechnością. Omawiana technologia prawdopodobnie znajdzie bardzo szerokie zastosowanie. Odpowiednie wykorzystanie nadchodzącej technologii, w szczególności Bluetooth 5.1 AoA oraz AoD, powinno w znaczącym stopniu rozwinąć następujące zagadnienia:

Bezpieczeństwo wewnątrzbudynkowe - wspieranie fazy wstępnej akcji ratowniczej z naciskiem na ewakuację poszkodowanych. System miałby już swoje zastosowanie, gdyby użytkownik chciał zaplanować pobyt w budynku, np. sprawdzić, gdzie znajduje się dana sala. W ten sposób poznałby trochę lepiej swoje otoczenie co prawdopodobnie miałooby pozytywny wpływ na sprawność ewakuacji. Ponadto osoba zagrożona mogłaby w każdej chwili, będąc w dowolnym położeniu, znaleźć najlepszą – wskazaną przez system drogę ewakuacji. Zakładając przewidziany postęp

technologii możliwym byłoby również, żeby zarówno osoba zagrożona jak i pracownicy służb ratowniczych znali dokładne położenie użytkownika. Dzięki temu służby wiedziałyby, gdzie szukać osoby potencjalnie uwięzione w budynku.

Kolejnymi dziedzinami w których wskazany system mógłby odnaleźć zastosowanie mogłoby być zarządzanie produkcją oraz magazynowanie. Przy stosunkowo niedużym koszcie możliwym byłoby stworzenie inteligentnej produkcji oraz systemów magazynowych, bez potrzeby gruntownych modernizacji parku maszynowego. Wskazane rozwiązanie może zostać wykorzystane do stworzenia systemu śledzenia procesów produkcyjnomagazynowych na żywo w trójwymiarowej przestrzeni. Takowe rozwiązanie ponad swoje bezpośredni korzyści mogłoby zostać wykorzystane do zbierania danych dotyczących produkcji i przy pomocy analiz big data do dalszej optymalizacji produkcji.

Zaproponowane rozwiązanie posiada również wpływ na pozytywniejsze postrzeganie wizerunku budynków oraz przedsiębiorstw. Przy aktualnie dostępnych systemach w budynek jest „powbijana spora ilość pinezek”. Jest to rozwiązanie, które co najwyżej informuje użytkownika o istnieniu danego obiektu w okolicy pinezki. Niestety często pinezki są zaznaczone w niewłaściwej części budynku oraz nie informują użytkownika, na którym piętrze znajduje się obiekt. Należy zauważyć, że istnieją dedykowane tym problemom systemy jednak są one tworzone w sposób nie ujednolicony, co może mieć negatywny wpływ na czytelność oraz wymagają dalszego szukania na stronach budynków lub przedsiębiorstw. Nie są to cechy sprzyjające dobremu wizerunkowi.

Warto wspomnieć o kwestii nawigowania w przestrzeni publicznej. Tego typu technologia mogłaby zostać wykorzystana do sprawdzania planów budynku w celu zaplanowania pobytu. Znacząco przyjemniejszym jest znalezienie odpowiedniego pokoju w urzędzie przy pomocy mapy niż stanie w kolejce do punktu informacyjnego. Zastosowanie takowych technologii odejmuje enigmatyczności oznaczeń takich jak 4CW dla nowych użytkowników wybranej przestrzeni publicznej.

Na koniec warto zauważyć, że wspomniane powyżej zastosowania przeplatają się. Tworząc mapę pod jedno z wymienionych zastosowań przy nie wielkim wysiłku można uzyskać jeden system do wielu rozwiązań dla przykładu galeria handlowa w celach wizerunkowych może wprowadzić tego typu mapę. Dodając odpowiednie moduły system mający głównie na celu nawigację po galerii może w łatwy sposób uzyskać właściwości przydatne do nawigacji w sytuacjach kryzysowych lub możliwości analizowania natężenia ruchu w danym sklepie przez konkretnych użytkowników, a to daje możliwość lepszego mikrotargetowania czy też prowadzenia zaawansowanych badań marketingowych. Tak więc jeden system może posiadać drastycznie większe zastosowanie przy właściwej implementacji.

5 Wnioski

Przedstawiona technologia posiada bardzo szerokie zastosowanie. Dziedziny poczyniwszy od bezpieczeństwa, przez zarządzanie i logistykę aż po marketing mogą w znacznym stopniu z niego skorzystać.

Implementacja urządzeń do lokalizowania użytkowników w budynkach zdaje się być stosunkowo nie droga.

Pewnym zdaje się być powszechne wprowadzenie przedstawionych rozwiązań do roku 2030 oraz możliwym do roku 2025 w krajach wysoce rozwiniętych.

Stworzenie odpowiednich systemów pozwoli na generowanie dużych ilości danych niezbędnych do szkolenia sztucznej inteligencji, a ta może przynieść znaczący rozwój każdej z omawianych dziedzin w zastosowaniach.

6 Bibliografia

Apple, 2019. *iPhone 11*. [Online]

Available at: <https://www.apple.com/iphone-11/>

[Data uzyskania dostępu: 8 Styczeń 2020].

Apple, 2019. *iPhone 11 - Technical Specifications*. [Online]

Available at: https://support.apple.com/kb/SP804?viewlocale=en_US&locale=en_US

[Data uzyskania dostępu: 10 Styczeń 2020].

Bay, O., 2016. *ABI Research Finds the Future of BLE Beacon Shipments is Not in Retail*. [Online]

Available at: <https://www.abiresearch.com/press/abi-research-finds-future-ble-beacon-shipments-not/>

[Data uzyskania dostępu: 21 Styczeń 2021].

Core Specification Working Group, 2019. *Core Specification*. [Online]

Available at: https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloadaddoc.ashx?doc_id=478726

[Accessed 6 Styczeń 2021].

Kasznia, M., 2019. *A23_CW*. [Online]

Available at: http://marcin.kasznia.student.put.poznan.pl/indoor/A23_CW/

[Data uzyskania dostępu: 06 Luty 2021].

Koivisto, M. i inni, 2016. *IEEE Xplore*. [Online]

Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7848938>

[Data uzyskania dostępu: 28 Styczeń 2021].

KVN, R., 2017. *MWC 2017: Sony launches new 5G-ready Xperia XZ series with top-notch camera*. [Online]

Available at: <https://www.ibtimes.co.in/mwc-2017-sony-launches-new-5g-ready-xperia-xz-series-top-notch-camera-717581>

[Data uzyskania dostępu: 21 Styczeń 2020].

Linus Tech Tips, 2019. *The PROBLEM with 5G mmW....* [Online]

Available at: <https://youtu.be/4PLhxYIDwJs>

[Data uzyskania dostępu: 21 Grudzień 2019].

Nordrum, A., Clark, K. i IEEE Spectrum Staff, 2017. *IEEE SPECTRUM*. [Online]

Available at: <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-beamforming-explained>

[Data uzyskania dostępu: 04 Luty 2021].

OpenStreetMap, 2019. *OSM - About*. [Online]

Available at: <https://www.openstreetmap.org/about>

[Data uzyskania dostępu: 05 Luty 2021].

OpenStreetMap, 2021. *Simple Indoor Tagging*. [Online]

Available at: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Simple_Indoor_Tagging

[Data uzyskania dostępu: 5 Luty 2021].

PanierAvide, 2019. *OpenLevelUp*. [Online]
Available at: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/OpenLevelUp>
[Data uzyskania dostępu: 6 Luty 2021].

Roth, K. i Wang, M., 2019. *Data Leviathan: China's Burgeoning Surveillance State*. [Online]
Available at: <https://www.hrw.org/news/2019/08/16/data-leviathan-chinas-burgeoning-surveillance-state>
[Data uzyskania dostępu: 05 Styczeń 2021].

Silicon Labs, 2020. *Bluetooth Direction Finding: Angle of Arrival (AoA) and Angle of Departure (AoD)*. [Online]
Available at: <https://www.silabs.com/products/wireless/learning-center/bluetooth/bluetooth-direction-finding>
[Data uzyskania dostępu: 5 Luty 2021].

Techquickie, 2019. *Your iPhone's New 6th Sense – U1 & UWB Explained*. [Online]
Available at: <https://youtu.be/dZe9X4rCevs>
[Accessed 8 Styczeń 2021].

United Nations, 2019. *Population Division World Population Prospects 2019*. [Online]
Available at: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>
[Data uzyskania dostępu: 30 Styczeń 2021].