

---

**Daria Gontarz\***

## MONITOROWANIE JAKOŚCI POWIETRZA W POLSCE W KONTEKŚCIE KONCEPCJI *SMART CITY*

Zanieczyszczenia powietrza to jeden z największych i najważniejszych problemów, z jakimi borykają się władze miasta w dzisiejszych czasach. Aby polepszyć jakość powietrza, niezbędne jest wdrażanie koncepcji skutecznego zarządzania miastem zgodnie z ideą *smart city*. Jest to koncepcja urbanistyczna, która przyczynia się do polepszenia jakości życia w przestrzeni miejskiej dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań urbanistycznych i technologicznych. W pracy przedstawiono ideę inteligentnego miasta oraz wskazano, jakie istotne czynniki są potrzebne do analizowania dynamicznie zmieniających się warunków i reagowania na zmiany w czasie rzeczywistym. Ponadto w pracy wymieniono przykłady polskich miast spełniających warunki *smart city* oraz zaprezentowano wytyczne dla Polski i perspektywy rozwoju tej koncepcji. Istotnym wynikiem wykonanej analizy problemu jest odpowiedzenie na pytanie, w jaki sposób inteligentne miasta wpływają na poprawę życia mieszkańców oraz jak zmieni się jakość powietrza w dużych aglomeracjach miejskich na przestrzeni najbliższych lat.

### MONITORING AIR QUALITY IN POLAND IN THE CONTEXT OF THE SMART CITY CONCEPT

Air pollution is one of the biggest and most important problems faced by city authorities today. To improve air quality, one of the main priorities is to introduce the concept of effective city management according to the smart city idea. It is an urban concept that contributes to improving the quality of life in urban space by using modern urban and technological solutions. The work presents the idea of a smart city and what important factors are needed to analyze and react in real time to dynamic events. Moreover, the work lists in detail examples of Polish cities that meet the conditions of smart city and presents guidelines and prospects for the development of this concept for Poland. An important conclusion from the analysis of the problem is to answer the question how smart cities improve the lives of residents and how the air quality will change in large urban agglomerations in the coming years.

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Koło Naukowe „Menadżer Produkcji”.

## 1. WPROWADZENIE I CELE BADAWCZE

W obliczu rosnących problemów związanych z zanieczyszczeniem powietrza miasta na całym świecie stają przed nieuniknionym wyzwaniem: jak skutecznie monitorować jakość powietrza i zarządzać nią w sposób zrównoważony i przyjazny dla mieszkańców? W Polsce, gdzie problem smogu staje się coraz bardziej palący, zwłaszcza w okresach jesienno-zimowych, potrzeba innowacyjnych rozwiązań jest większa niż kiedykolwiek. Niniejszy artykuł ma na celu zbadanie, jak integracja technologii *smart city* może przyczynić się do poprawy monitorowania jakości powietrza w polskich miastach, a tym samym stworzenia zdrowszego i bardziej zrównoważonego środowiska miejskiego.

Motywacją do napisania tej pracy było rosnące zapotrzebowanie na efektywne i innowacyjne metody monitorowania środowiska, które mogą oferować skuteczne rozwiązanie problemów zdrowotnych i ekologicznych wywołanych zanieczyszczeniem powietrza. Wydaje się, że w erze cyfryzacji i rosnącej urbanizacji technologie *smart city* mogą być efektywnym sposobem osiągnięcia tych celów, ponieważ dostarczają narzędzi nie tylko do precyzyjnego monitorowania stanu powietrza, ale również do angażowania społeczności lokalnych i promowania działań na rzecz jego poprawy.

## 2. KONCEPCJA SMART CITY

Wiele miast zmagają się z problemami, które mają duży wpływ na stan zdrowia ludzi przebywających w danej aglomeracji. Są to między innymi zanieczyszczenia powietrza, niewielka ilość terenów zielonych, bezrobocie i często powiązane z tym akty wandalizmu. Koncepcja *smart city* nie ma jednej składnej definicji. Idea tak zwanego inteligentnego miasta (*smart city*) może być opisana jako koncepcja urbanistyczna mająca na celu poprawienie jakości życia mieszkańców i stanu środowiska przez analizę uwarunkowań wewnętrznych i zewnętrznych oraz dostosowanie się do nich za pomocą innowacyjnych i kreatywnych przedsięwzięć [1].

Koncepcja *smart city* obejmuje wiele różnych aspektów. Są to między innymi [2]:

- inteligentna gospodarka (*smart economy*) – efektywna gospodarka, która wykorzystuje najnowsze technologie; ma na celu wprowadzenie innowacyjnych usług i produktów, a także promuje budowanie sieci współpracy na poziomie lokalnym i międzynarodowym;
- inteligentna mobilność (*smart mobility*) – nowoczesne sposoby podróżowania i logistyka, które wykorzystują inteligentne technologie do zintegrowania różnych środków transportu, aby usprawnić przepływ ludzi i towarów;
- inteligentne środowisko (*smart environment*) – wysokiej jakości zasoby społeczne;
- inteligentne sprawowanie władzy (*smart governance*) – położenie nacisku na zaangażowanie społeczności w podejmowanie decyzji oraz wysoką jakość i łatwy dostęp do usług publicznych;
- inteligentne warunki życia (*smart living*) – wyższy standard życia, który obejmuje bezpieczne i zdrowe warunki życia w mieście oferującym bogactwo możliwości kulturowych i finansowych.

### 3. SZKODLIWE SUBSTANCJE W POWIETRZU

Obecnie w powietrzu występuje wiele szkodliwych substancji. Są one emitowane głównie przez transport, przemysł energetyczny i spalanie paliw. Groźne są gazy takie jak dwutlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ), tlenek węgla (CO), dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), tlenek azotu(III) (NO), ozon ( $\text{O}_3$ ). Są one składnikami smogu i stanowią poważne zagrożenie dla ludzkiego zdrowia, w szczególności przy dłuższym kontakcie z daną substancją.

Inną niebezpieczną grupą są pyły zawieszane. Powstają one między innymi w wyniku erupcji wulkanów lub pożarów lasów, niemniej jednak większą ich część produkuje człowiek. Do tej kategorii zalicza się pył  $\text{PM}_{2,5}$ . Jest to aerozol atmosferyczny uznawany za najgroźniejszą dla zdrowia człowieka substancję, jaka znajduje się w powietrzu. Jego średnica nie przekracza  $2,5 \mu\text{m}$ , dlatego jest w stanie przedostać się do krwiobiegu wraz z wdychanym powietrzem. Jest on powodem występowania takich chorób jak zaburzenia rytmu serca, miażdżyca, zapalenie naczyń krwionośnych lub nowotwory płuc, krtani i gardła. Pył  $\text{PM}_{2,5}$  jest tak niebezpieczny, że WHO (World Health Organization) ustaliło normę średniego dobowego stężenia tego pyłu, która wynosi  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (roczna norma to  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Po przekroczeniu normy ogłaszany jest alarm.

Drugim niebezpiecznym pyłem zawieszonym jest pył  $\text{PM}_{10}$ . Jest to zawiesina rakotwórczych metali niezależnych (takich jak benzopireny, dioksyny, furany) o średnicy nieprzekraczającej  $10 \mu\text{m}$ . Odpowiada on za gwałtowne zapalenie oskrzeli, ataki kaszlu czy pogorszenie się stanu osób z astmą. W tym przypadku WHO również wprowadziło normę dziennego średniego stężenia pyłu w powietrzu, która wynosi  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (roczna to  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), jednak informację o przekroczonej normie podaje się dopiero wtedy, kiedy średnie dobowe stężenie osiągnie  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [3].

Wymienione zagrożenia pokazują, jak ważne jest monitorowanie i próba poprawy jakości powietrza.

### 4. SPOSOBY MONITOROWANIA JAKOŚCI POWIETRZA

Istnieje kilka sposobów monitorowania stanu powietrza. Jednym z najbardziej skutecznych jest zbieranie i magazynowanie danych za pomocą stacji automatyczno-manualnych. Regionalne wydziały monitoringu środowiska (RWMS) opracowały wojewódzkie programy działań w tym zakresie. Stacje pomiarowe rozmieszczono w wybranych częściach województw. Kryteria lokalizacji zostały określone w rozporządzeniu Ministerstwa Klimatu i Środowiska w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [4]. O lokalizacji stacji pomiarowych decyduje Główny Inspektor Ochrony Środowiska (GIOŚ). Zgodnie z art. 88 ust. 2 ustawy Prawo ochrony środowiska [5] GIOŚ przeprowadza wieloletnie oceny jakości powietrza w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Dane są magazynowane w krajowej bazie danych JPOAT2,0 Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Są one ogólnodostępne i można je wyszukać za pomocą portalu Jakość Powietrza [6].

Inną metodą jest stosowanie dronów (rys. 1) z wbudowanymi czujnikami służącymi do pomiaru stężeń zanieczyszczeń powietrza. Drony są wykorzystywane do celów badawczych, kontrolnych i pomiarów interwencyjnych. Umożliwiają uzyskanie bardziej zróżnicowanych danych na temat stanu powietrza w różnych warunkach i obszarach miasta.



Rys. 1. AirDron od SoftBlue SA

Źródło: [7]

Kolejnym przykładowym sposobem monitorowania jakości powietrza jest sieć czujników IoT. System jest zasilany z baterii, które zapewniają mu autonomiczne funkcjonowanie przez ponad rok. Co godzinę system wybudza się i dokonuje cosekundowych pomiarów cząsteczkowych, następnie uśredniając ich wynik. Urządzenie jest stosowane do pomiaru stężenia pyłów PM2,5, PM10 oraz temperatury powietrza. Zebrane dane są przesyłane z czujników do centralnego systemu przez radiową sieć IoT LoVo – LoRaWAN. Po przekroczeniu normy system wysyła do zapisanych użytkowników wiadomości SMS. Informuje on o możliwym niebezpieczeństwie związanym z przebywaniem na wolnym powietrzu, co jest idealną opcją dla osób, którzy nie sprawdzają regularnie stanu powietrza [8].

## 5. PRZYKŁADOWE DZIAŁANIA SŁUŻĄCE POPRAWIE JAKOŚCI POWIETRZA W KONCEPCJI *SMART CITY*

Inteligentny system transportu (ITS) to system informacyjny i komunikujący. Służy między innymi do zredukowania liczby zakorkowanych miejsc, co zapewnia większy komfort i bezpieczeństwo pasażerom i uczestnikom ruchu ulicznego. Dzięki niemu zmniejsza się również ilość spalin produkowanych przez pojazdy. ITS wykorzystuje inteligentne technologie transportowe, takie jak systemy sterowania sygnalizacją świetlną, tablice zmiennej treści (rys. 2), automatyczne wykrywanie incydentów czy aplikacje, które przetwarzają i magazynują potrzebne dane. Dzięki temu zapewnia bezpieczniejsze i bardziej skoordynowane korzystanie z sieci transportowych [9].



Rys. 2. Przykładowa tablica zmiennej treści inteligentnego systemu

Źródło: [10]

Wprowadzenie stref niskoemisyjnych jest kolejnym dużym krokiem do poprawy jakości powietrza w polskich miastach. Strefa czystego powietrza (SCT) jest wydzielonym sektorem obejmującym drogi, po których mogą poruszać się jedynie pojazdy spełniające normy emisji spalin. Wjazd do strefy czystego powietrza będą miały między innymi samochody elektryczne, napędzane wodorem lub gazem ziemnym. Od połowy 2024 roku w Warszawie została wprowadzona właśnie taka strefa [11], w związku z czym samochody niespełniające wymaganych norm (przykładowo wyposażone w silnik Diesla bądź benzynowy) nie będą mogły wjeżdżać na teren strefy. Ciągłe rozwijająca się infrastruktura i usługi są częścią transformacji transportu miejskiego. Stawianie na rowery miejskie, hulajnogi elektryczne (rys. 3) i inne formy ekologicznej mobilności ma na celu zmniejszenie zależności od indywidualnych pojazdów silnikowych. Aktywne promowanie bardziej ekologicznych środków transportu zwiększa ciekawość i świadomość ludzi. Jest to kluczowe dla walki z zanieczyszczeniami powietrza.



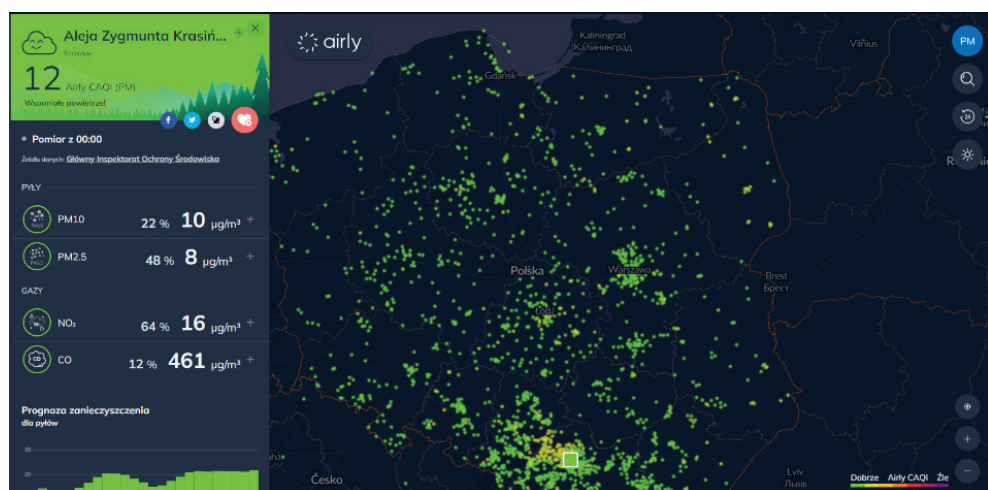
Rys. 3. Hulajnogi elektryczne w Poznaniu

Źródło: [12]

Dzięki łatwo dostępnym aplikacjom i platformom internetowym mieszkańcy oraz turyści są w stanie bezproblemowo sprawdzić dostępność i położenie najbliższej hulajnogii lub roweru. Sprawia to, że ludzie chętniej korzystają z wyżej wymienionych usług. Wymiana samochodu na rower jest bardzo korzystna dla polepszenia się jakości powietrza na terenach polskich miast. Redukcja liczby samochodów na drogach przyczynia się do zmniejszenia korków ulicznych, a co za tym idzie – ilości wydzielanych spalin. Dlatego ważne jest to, aby miasta były odpowiednio wyposażone w trasy rowerowe i parkingi dla rowerów [13].

## 6. SKALA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA W POLSCE

Dzięki nowoczesnym programom i technologiom jesteśmy w stanie na bieżąco monitorować stan jakości powietrza w wybranych rejonach Polski. Przykładem jest strona Airly, która na bieżąco udostępnia informacje pobrane z około 40 000 punktów pomiarowych (rys. 4).

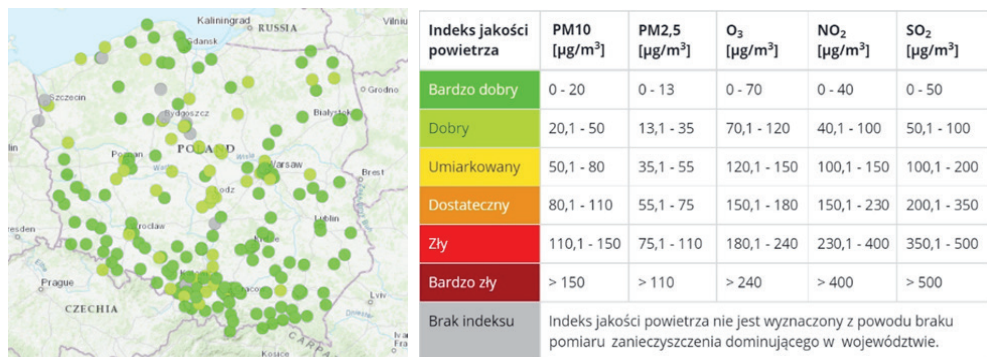


Rys. 4. Stan jakości powietrza w Krakowie na 20.02.2024 r.

Źródło: [14]

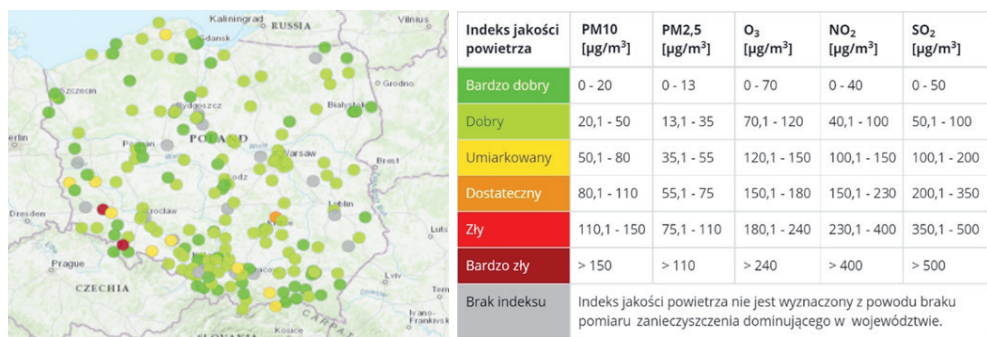
Dzięki informacjom z automatycznych stacji pomiarowych jesteśmy w stanie obserwować, jak zmienia się jakość powietrza w ciągu dnia. Porównując dane z godziny 6.00 oraz z godziny 23.00 (rys. 5, 6), widzimy, że jakość powietrza nawet w ciągu niecałej doby może się znacząco zmienić.

Używając tych samych technologii, możemy również sprawdzić, jak zmieniła się jakość powietrza w Polsce na przestrzeni lat. Analizując dane za 2010 rok (rys. 7), można zauważyć jedynie kilka miast, które charakteryzowały się dobrą jakością powietrza. Po siedmiu latach, czyli w 2017 roku (rys. 8), strefa z dobrą jakością powietrza powiększyła się o trzy województwa, a w 2022 roku (rys. 9) ponad 50% powierzchni Polski zaliczało się do tej grupy.



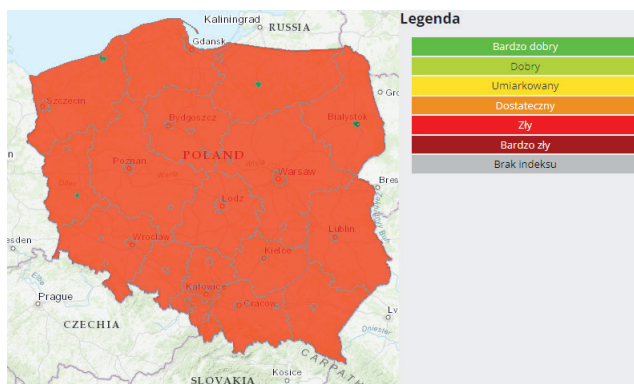
Rys. 5. Stan jakości powietrza w Polsce na 21.02.2024 r., godz. 6.00

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15]



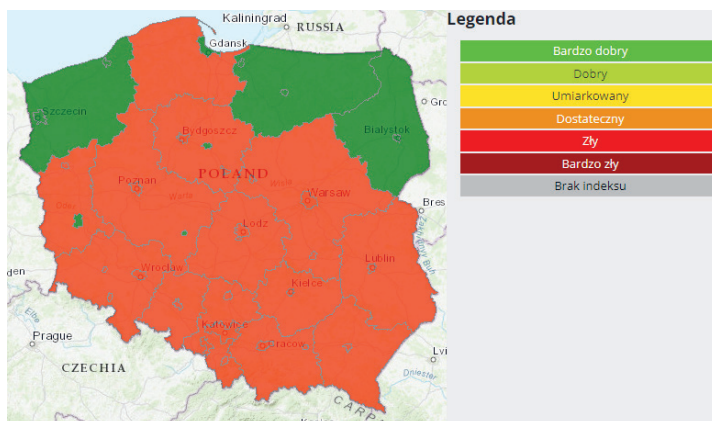
Rys. 6. Stan jakości powietrza w Polsce na 21.02.2024 r., godz. 23.00

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15]



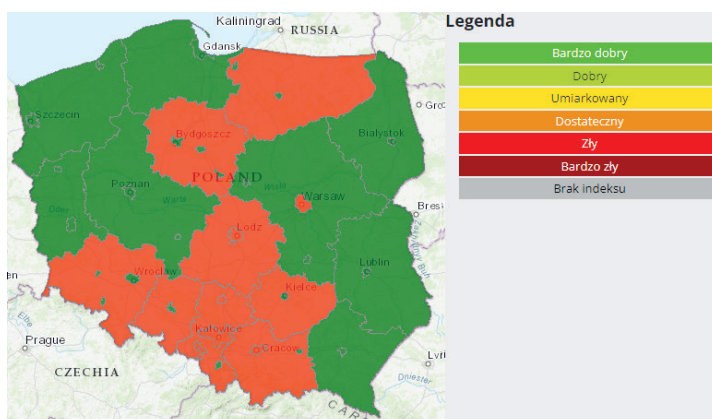
Rys. 7. Stan jakości powietrza w Polsce na 2010 rok

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15]



Rys. 8. Stan jakości powietrza w Polsce na 2017 rok

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15]



Rys. 9. Stan jakości powietrza w Polsce na 2022 rok

Źródło: opracowanie własne na podstawie [15]

## PODSUMOWANIE

W artykule została omówiona koncepcja *smart city*. Zwrócono uwagę na jej kluczowe aspekty, takie jak inteligentna gospodarka, mobilność i zarządzanie, które mają na celu poprawę warunków życia mieszkańców i turystów. Pokazano, że zanieczyszczenie powietrza jest kluczowym problemem dla władz miejskich oraz omówiono główne rodzaje zanieczyszczeń, w tym pył PM10 i PM2,5, podkreślając ich negatywny wpływ na zdrowie ludzi. Przedstawiono metody monitorowania jakości powietrza przy użyciu między innymi stacji automatyczno-manualnych i dronów z wbudowanymi czujnikami, zaprezentowano działania mające poprawić jakość powietrza oraz pokazano, jak zmienił się stan jakości powietrza w Polsce na przestrzeni lat.

## Podziękowania

Artykuł powstał na podstawie wygłoszonego na 64. Barbórkowej Konferencji Studenckich Kół Naukowych AGH referatu, który zajął drugie miejsce w sekcji XVI. Inżynieria produkcji i jakości. Serdeczne wyrazy wdzięczności kieruję w stronę Pana dr. inż. Mariusza Niekurza-ka, opiekuna Koła Naukowego „Menadżer Produkcji”. Dziękuję za pomoc przy pracy oraz wsparcie merytoryczne.

## LITERATURA

- [1] Ryba M., *Czym jest koncepcja smart city, a zatem dlaczego powinniśmy je nazywać miastem sprytnym*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 467, 2017, s. 84–90, <https://www.doi.org/10.15611/pn.2017.467.07>.
- [2] Bitkowska A., Łabędzki K., *Koncepcja inteligentnego miasta – definicje, założenia, obszary*, Marketing i Rynek / Journal of Marketing and Market Studies, t. 28, nr 2/2021, 2021, s. 3–11, <https://doi.org/10.33226/1231-7853.2021.2.1>.
- [3] Tomala M., *Monitorowanie jakości powietrza w Polsce w świetle koncepcji smart city*, Środkowoeuropejskie Studia Polityczne, nr 1, 2023, s. 45–70, <https://doi.org/10.14746/ssp.2023.1.3>.
- [4] *Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu*, Dz.U. 2020 poz. 2279.
- [5] *Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska*, Dz.U. 2001 r. nr 62, poz. 627.
- [6] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Portal Jakość Powietrza GIOŚ*, <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/home> [dostęp: 18.02.2024].
- [7] SoftBlue SA, *AirDron od SoftBlue SA*, <https://softblue.pl/produkty/eco-solutions/airdron/> [dostęp: 18.02.2024].
- [8] LoVo, *System do monitorowania jakości powietrza*, <https://www.lovo.pl/iot/system-do-monitorowania-jakosci-powietrza/> [dostęp: 18.02.2024].
- [9] Wikipedia, *Inteligentny system transportowy*, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Inteligentny\\_system\\_transportowy](https://pl.wikipedia.org/wiki/Inteligentny_system_transportowy) [dostęp: 18.02.2024].
- [10] Wikipedia, *Tablica zmiennej treści inteligentnego systemu przy ul. Gdańskiej w Bydgoszczy*, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Inteligentny\\_system\\_transportowy#/media/Plik:Bdg\\_ITS\\_9\\_4-2015.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Inteligentny_system_transportowy#/media/Plik:Bdg_ITS_9_4-2015.jpg) [dostęp: 18.02.2024].
- [11] autoDNA blog, *Strefa czystego transportu – w jakich miastach Polski? Od kiedy?*, 2023, <https://www.autodna.pl/blog/stefa-czystego-transportu/> [dostęp: 19.02.2024].
- [12] RB/Urząd Miasta Poznania, *Hulajnogi elektryczne w Poznaniu*, 2018, <https://zdm.poznan.pl/pl/web/aktualnosci/view/id/hulajnogi-elektryczne-w-poznaniu> [dostęp: 19.02.2024].
- [13] KROSSTECH, *Smart City a przyszłość transportu – rowerownie, hulajnogi elektryczne*, 2023, <https://www.stojaknarower.pl/blog/smart-city-a-przyszlosc-transportu-rowerownie-hulajnogi-elektryczne> [dostęp: 19.02.2024].
- [14] Airly, *Stan jakości powietrza dla Krakowa na dzień 20.02.2024 r.*, 2024, <https://airly.org/map/pl/#50.057678,19.926189,i17> [dostęp: 20.02.2024].
- [15] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current> [dostęp: 21.02.2024].