

Magdalena TOMALA

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

ORCID: 0000-0002-1654-3590

Monitorowanie jakości powietrza w Polsce w świetle koncepcji smart city

Streszczenie: Do skutecznego zarządzania inteligentnym miastem władze regionów potrzebują danych, pozwalających na monitorowanie np. stanu gleby, powietrza, i in. czynników. Dlatego w takim mieście instaluje się wiele czujników, kamer i mierników. Pozwalają one na analizowanie i reagowanie w czasie rzeczywistym na problemy, występujące w mieście, takie jak np. analiza płynności ruchu samochodowego, dostępność miejsc parkingowych i in., pozwalające władzom regionów prowadzenie właściwej polityki miejskiej. Wśród wielu czynników, które można monitorować w przestrzeni miejskiej na uwagę zasługuje kwestia zanieczyszczenia powietrza. To jeden z najważniejszych problemów, z którymi borykają się władze miast. Skutki zanieczyszczenia powietrza są szeroko omawiane w literaturze zarówno przez badaczy nauk społecznych, jak i medycznych. W tym kontekście można postawić pytanie badawcze: w jakim stopniu prowadzone działania przez polskie miasta przyczyniają się do zmniejszenia pyłu PM10 w powietrzu? Czy działania w ramach polityki ochrony środowiska są skuteczne i czy następuje poprawa sytuacji w badanym obszarze w okresie od 2010 r. do 2020 r. Celem pracy jest zbadanie polityki monitorowania stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 w polskich miastach. Stan monitorowania powietrza zbadano za pomocą statystyki opisowej. Do zbadania zróżnicowania między przestrzenią miejską i wiejską wykorzystano analizę wariancji. Wybrano próbę metodą losową po 24 stacji pomiarowych reprezentujących przestrzeń miejską i podmiejską i pozamiejską. Następnie uwzględniając zmienne towarzyszące jak: PKB na osobę, liczba ludności zastosowano analizę kowariancji do zbadania ich wpływu na jakość powietrza. Artykuł składa się z trzech części. W pierwszej części dokonano analizy literatury przedmiotu, w drugiej części przedstawiono podejście metodologiczne i w ostatniej przedstawiono wyniki analizy.

Słowa kluczowe: PM10, zrównoważony rozwój, inteligentne miasta, Polska

Wstęp

Smart city to koncepcja urbanistyczna, która uwzględnia technologie informatyczne i komunikacyjne celem rozwoju obszarów miejskich

(Lytras, Visvizi, 2018, s. 1). Rozwiązania cyfrowe w przestrzeni miejskiej mają za zadanie sprzyjać, pomagać mieszkańcom, przedsiębiorcom i turystom. Koncepcja zakłada poprawę jakości życia poprzez systemy aplikacji jak „smart transportation” (Kwiatkiewicz i in., 2020; Wu i in., 2022; Zhao i in., 2022), smart education (Aisner, 2019, s. 368–371; Kim i in., 2018, s. 5308–5326) i „smart lightining” (Zou i in., 2020, s. 788–820). Do skutecznego zarządzania inteligentnym miastem władze regionów potrzebują danych, pozwalających na monitorowanie np. stanu gleby, powietrza, wody i in. czynników. Dlatego w takim mieście instaluje się wiele czujników, kamer i mierników. Pozwalają one na analizowanie i reagowanie w czasie rzeczywistym na problemy, występujące w mieście, takie jak np. analiza płynności ruchu samochodowego, dostępność miejsc parkingowych i wiele innych (Angelidou i in., 2018, s. 10; Tsarchopoulos i in., 2017, s. 129–136). Tym samym narzędzia te ułatwiają władzom regionów prowadzenie właściwej polityki miejskiej. To tylko wybrane przykłady zastosowania narzędzi cyfrowych, służących poprawie warunków życia mieszkańców miast w Polsce.

Wśród wielu czynników, które można monitorować w przestrzeni miejskiej na uwagę zasługuje kwestia zanieczyszczenia powietrza. To jeden z najważniejszych problemów, z którymi borykają się władze miast (Ai i in., 2022, s. 166–178; Czechowski, Piksa, 2022). Skutki zanieczyszczenia powietrza są szeroko omawiane w literaturze zarówno przez badaczy nauk społecznych (Chen i in., 2022; Chien i in., 2022; Jbaily i in., 2022, s. 228–233; Zhang i in., 2022) jak i medycznych (Guo i in., 2022, s. 518–525; Marquès, Domingo, 2022; Stafoggia i in., 2022). W tym kontekście można postawić pytanie badawcze: czy typ obszaru wpływa na poziom zanieczyszczenia powietrza?

Można postawić hipotezę, iż deklaracja miast, aby działać zgodnie z koncepcją smart city powinna przyczyniać się do aktywności władz miejskich w zakresie zanieczyszczenia powietrza. Tym samym nie powinno być różnicy w zanieczyszczeniu powietrza ze względu na typ obszaru. Należy pamiętać, iż wpływ na zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza powinny mieć zarówno: Agenda 2030, funkcjonujące programy unijne, stosowane na terenie całej Polski, takie jak np. czyste powietrze, działania miast, które w strategiach wskazują na potrzebę zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza.

Celem pracy jest zbadanie polityki monitorowania stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 w polskich miastach. Do badania wykorzystano dane ze strony internetowej Głównego Inspektoratu Ochrony

Środowiska¹ (GIOŚ, 2023) oraz z banku danych lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego.

Próbując odpowiedzieć na pytanie badawcze postawiono następujące pytania szczegółowe:

1. Jaki jest stan monitorowania powietrza w Polsce pyłami PM10?
 - geograficzne rozmieszczenie stacji monitorujących w obszarze województw,
 - liczba działających stacji z uwzględnieniem okresu ich funkcjonowania,
 - skala pomiarów, ich ciągłość;
2. Czy występuje dysproporcja dotycząca zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 pomiędzy przestrzenią miejską i pozamiejską i wiejską?

¹ Inspekcja Ochrony Środowiska jest powołana do kontroli przestrzegania przepisów o ochronie środowiska oraz badania i oceny stanu środowiska. W skład Inspekcji wchodzi: Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) oraz 16 wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska. Działalnością Inspekcji kieruje Główny Inspektor Ochrony Środowiska (Monitoring jakości powietrza w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) koordynowany i prowadzony jest zgodnie z ustawą z dnia 10 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Zakres zadań Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) określany jest w wieloletnich strategicznych programach PMŚ opracowywanych przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska i zatwierdzanych przez ministra właściwego do spraw klimatu, oraz w wykonawczych programach PMŚ opracowywanych przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska). Obecnie obowiązujący Strategiczny Program PMŚ na lata 2020–2025 obejmuje zadania wynikające z odrębnych ustaw, zobowiązań międzynarodowych oraz innych potrzeb wynikających ze strategii rozwoju oraz innych programów i dokumentów programowych. „Strategiczny program państwowego monitoringu środowiska na lata 2020–2025” jest kluczowym dokumentem państwa polskiego w obszarze krótko- i średnioterminowych badań stanu środowiska. Monitoring jakości powietrza obejmuje zadania związane z badaniem i oceną stanu zanieczyszczenia powietrza, w tym pomiary i oceny jakości powietrza w strefach, monitoring tła miejskiego pod kątem WWA, pomiary stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM2,5 dla potrzeb monitorowania procesu osiągnięcia krajowego celu redukcji narażenia, pomiary stanu zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i WWA oraz rtęcią w stanie gazowym na stacjach monitoringu tła regionalnego, pomiary składu chemicznego pyłu PM2,5, monitoring prekursorów ozonu; programy badawcze dotyczące zjawisk globalnych i kontynentalnych wynikające z podpisanych przez Polskę konwencji ekologicznych. Celem funkcjonowania monitoringu jakości powietrza, zgodnie z art. 23 ust. 11 pkt 1 ustawy z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska, jest uzyskiwanie informacji i danych dotyczących poziomów substancji w otaczającym powietrzu oraz wyników analiz i ocen w zakresie przestrzegania norm jakości powietrza.

- Czy zamożność społeczeństwa w poszczególnych miastach wpływa na zwiększenie zanieczyszczenia pyłem PM10?
- Czy liczba ludności wpływa na zwiększenie zanieczyszczenie powietrza pyłem PM10?

Stan monitorowania powietrza zbadano za pomocą statystyki opisowej. Do zbadania zróżnicowania między przestrzenią miejską, podmiejską i pozamiejską wykorzystano analizę wariancji. Wybrano próbę metodą losową 24 stacji pomiarowych reprezentujących przestrzeń miejską i podmiejską i pozamiejską. Następnie uwzględniając zmienne towarzyszące jak: PKB na osobę, liczba ludności w województwie, zastosowano analizę kowariancji do zbadania jakości powietrza.

Zmienną niezależną jest:

X1 – przestrzeń pozamiejska,

X2 – przestrzeń podmiejska,

X3 – przestrzeń miejska.

Zmienną zależną jest:

Y – poziom pyłu PM10 w powietrzu.

Zmienne towarzyszące: PKB *per capita*, liczba ludności.

Zebrane do badania dane mają charakter dzienny. Na ich podstawie określono średnie występowanie pyłów PM10 w miesiącu.

Praca składa się z trzech części. W pierwszej części przedstawiono definicję i rolę zrównoważonego rozwoju w kształtowaniu koncepcji smart city. Zwrócono również uwagę na determinanty rozwoju smart city, w tym znaczenie monitorowania jakości powietrza w procesie wdrażania koncepcji. W drugiej części zaprezentowano podejście metodologiczne, opisano dobór próby oraz scharakteryzowano zmienne niezależne, zmienne towarzyszące oraz zmienną zależną. W części trzeciej dokonano analizy oraz przedstawiono wnioski z badania.

1. Koncepcja smart city

Koncepcja smart city pozwala w sposób wieloaspektowy monitorować poziom i jakość życia w miastach. Uwzględnia ona założenia rozwoju zrównoważonego i inteligentnego. Do analizy smart city badacze wykorzystują dwa podejścia. Jedno związane jest z otoczeniem przedsiębiorstw, drugie z jakością życia. Jak wskazuje Szczech-Pietkiewicz są one niezbędnym elementem konkurencyjności miasta, ponieważ pozwalają na uwzględnienie w rozwoju gospodarczym aspek-

tów związanych ze zrównoważonym rozwojem (Szczech-Pietkiewicz, 2013, s. 15–33).

Koncepcja zrównoważonego rozwoju odnosi się do cywilizacyjnej zmiany, która jest z jednej strony bezsprzecznie ideowa i utopijna, ale już tezy, zawarte m.in. w Globalnym Programie Działań zwanym Agendą 21, stanowią konkretne zadania stojące przed ludzkością (Gawor, 2006, s. 84–104). Dlatego koncepcja ma wielowymiarowy charakter (Pawłowski, 2006, s. 23–32). Nawiązuje do niej wiele aktów prawnych, dokumentów politycznych, strategii rozwojowych, które upowszechniają idee w różnym tego słowa znaczeniu. Popularność i moda na zrównoważony rozwój wpływa na to, iż spektrum jego użycia rozpościera się dziś od języka ekofilozofii i filozofii społecznej, polityki i ideologii, teorii rozwoju gospodarczego (w skali globalnej, krajowej czy lokalnej) po język propagandy partyjnej i wyborczej. Należy jednak brać po uwagę fakt, iż w świadomości potocznej, publicystyce politycznej, ekonomiczno-społecznej i ekologicznej zrównoważony rozwój pojmowany jest różnie (Hull, 2010, s. 197–205). Jego definiowanie zależy od uznanych i pożądaných wartości, a te bywają odmienne w różnych kulturach, społecznościach i państwach.

Uwzględniając wieloznaczność i interdyscyplinarność zrównoważonego rozwoju, należy zauważyć, iż kryje on pewien pozytywny czynnik. Toczący się dialog wokół kwestii ekonomicznych, środowiskowych i społecznych przyczynia się do poszukiwania konsensusu, ścierania się różnych podejść w środowisku naukowym. Dyskusja wokół zrównoważonego rozwoju pozwala też integrować zróżnicowane interesy podmiotów życia społeczno-gospodarczego. Jak wskazuje Andrzej Papuziński, zrównoważony rozwój jest przede wszystkim ideą polityczną i strategią działania. Jako idea określa długookresowe cele polityki w zakresie problemów globalnych. Jako strategia jest przemyślanym planem rozwiązywania problemów globalnych na drodze współpracy między różnego rodzaju interesariuszami poprzez podejmowanie wspólnych działań oraz inicjowanie odpowiednich polityk (Papuziński, 2018, s. 57–68).

Natomiast, pomimo wskazanych trudności i ograniczeń związanych z badaniem zrównoważonego rozwoju nie bez znaczenia jest fakt, iż jak twierdzi Jeffrey D. Sachs, zrównoważony rozwój stanowi centralną koncepcję, która jest i będzie przedmiotem badań w XXI wieku (Sachs, 2015). Stanowi zarówno sposób rozumienia świata, jak też jest metodą rozwiązywania problemów globalnych. Dlatego do kwestii nieodnawialnych zasobów powrócono w latach 80. XX w. w związku z publikacją *Our Common*

Future, przygotowaną przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju (World Commission on Environment and Development, 1987).

Można wyciągnąć wniosek, iż koncepcja zrównoważonego rozwoju formułowana jest najczęściej na gruncie ekonomii normatywnej i jest rozwijana przede wszystkim w kręgu ekonomii ekologicznej (Bocian, 2011, s. 19–33).

Możliwość badania zrównoważonego rozwoju z perspektywy regionalnej bądź lokalnej wynika z potrzeby działania na różnych poziomach, od poziomu globalnego, poprzez państwowy do poziomu regionalnego i lokalnego. Wynika to m.in. z szacunków, które wskazują, iż w 2025 r. blisko 2/3 ludności świata będą stanowić mieszkańcy miast. Kwestie rozwoju oraz dobrego zarządzania są nie tylko wyzwaniem dnia dzisiejszego, ale i przyszłości.

Stąd też powstała koncepcja smart city, która odpowiada na wyzwania problemów globalnych właśnie w miastach. Jak podkreśla Ramaprasad „Rządy i naukowcy od lat 90. XX w. używają terminu „Smart Cities” jako etykiety, która może pomóc miastom wyróżnić się i wypromować jako innowacyjne” (Ramaprasad i in., 2017, s. 14).

W literaturze przedmiotu koncepcja smart city jest definiowana w różny sposób. Pierwsza grupa ekonomistów zwraca uwagę na związek smart city z rozwojem inteligentnym, opartym na technologiach ICT. W tym przypadku smart city oznacza miasto, w którym ICT tworzy infrastrukturę wykorzystywaną w projektach ekonomicznie i społecznie istotnych dla osiągnięcia wzrostu gospodarczego, tworzenia kapitału społecznego oraz efektywnego wykorzystywania zasobów (Hollands, 2008; Komninos, 2008; Lazaroiu, Roscia, 2012, s. 326–332; Nam, Pardo, 2011, s. 282–291; Washburn i in., 2009, s. 1–17). Należy zauważyć, iż jest to dość wąskie podejście uwzględniające w zasadzie wyłącznie aspekty związane z gospodarką i nowoczesnymi technologiami, które mogą być wdrażane w przestrzeni miejskiej. Szersze podejście do rozumienia czym jest smart city uwzględnia pozaekonomiczne aspekty, jak kapitał ludzki i społeczny, edukacja i środowisko naturalne (Lee i in., 2016, s. 1–16). Podejście to traktowane jest jako nowy paradygmat w rozwoju miejskim (Neirotti i in., 2014, s. 25–36). Z jednej strony smart city wspiera rozwój kapitału intelektualnego oraz dobrobytu poprzez system instytucji, z drugiej strony – mechanizm transferu wiedzy, niezbędny do funkcjonowania systemu innowacji (Caragliu i in., 2011).

Wśród licznych definicji smart city na uwagę zasługuje opracowanie, przygotowane pod redakcją Manville, w którym autorzy zwracają uwa-

gę, iż technologie ICT umożliwiają połączenie systemów miejskich, ułatwiające realizację celów polityki miejskiej. Kluczowe znaczenie ma niskoemisyjny wzrost gospodarczy, w którym oszczędność energii można osiągnąć poprzez wdrożenie inteligentnych sieci elektroenergetycznych, uwzględniając przy tym aspekty ekonomiczne i środowiskowe (Manville i in., 2014). Takie podejście wymaga szerokiego zaangażowania społecznego, w tym: mieszkańców, biznesu, organizacji pozarządowych. Kluczowe w tym aspekcie ma takie zarządzanie miastem, które ułatwia i skłania wskazane grupy obywateli do zmian użytkowania urządzeń opartych na energii oraz uznaje konieczność monitorowania, kontroli ochrony środowiska, w tym kwestie związane z jakością powietrza, wody, gleby, czy też zagospodarowania odpadami (tzw. gospodarka o obiegu zamkniętym). Mariusz Czupich i in. Wskazują, że inteligentne miasto to takie, które charakteryzuje się (Czupich i in., 2016):

- smart economy, tj. gospodarką wysoce wydajną i zaawansowaną technologicznie dzięki zastosowaniu technologii ICT; rozwijającą nowe produkty i usługi oraz nowe modele biznesowe; sprzyjającą nawiązywaniu lokalnych i globalnych powiązań oraz międzynarodowej wymianie dóbr, usług i wiedzy;
- smart mobility, czyli zintegrowanymi systemami transportowymi i logistycznymi, wykorzystującymi głównie czystą energię;
- smart environment; w smart city oszczędnie gospodaruje się zasobami naturalnymi; dąży się do zwiększenia stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii; steruje się sieciami elektroenergetycznymi, wodociągowymi, oświetleniem ulic i innymi usługami publicznymi w celu zoptymalizowania kosztów środowiskowych i finansowych ich funkcjonowania; dokonuje się bieżącego pomiaru, kontroli i monitoringu zanieczyszczeń; dokonuje się renowacji budynków w celu zmniejszenia ich energochłonności;
- smart people, którego tworzenie jest możliwe w warunkach społecznego zróżnicowania, tolerancji, kreatywności i zaangażowania;
- smart living, która oznacza bezpieczne i zdrowe życie w mieście mającym bogatą ofertę kulturalną i mieszkaniową, zapewniającym szeroki dostęp do infrastruktury ICT umożliwiającej kreowanie stylu życia, zachowania i konsumpcji;
- smart governance, czyli takim, w którym istotną rolę odgrywają: partycypacja społeczna w podejmowaniu decyzji, w tym również o charakterze strategicznym, transparentność działania, jakość i dostępność usług publicznych.

Autorzy wskazują na różne zadania, jakie stoją przed władzami miast, aby osiągnąć cel, jakim jest stworzenie smart city. Można wymienić liczne przykłady rozwiązań w „inteligentnym mieście” jak np. wyszukiwanie wolnych miejsc parkingowych w mieście, korzystanie z odnawialnych źródeł energii, budynki samowystarczalne energetycznie, aplikacje pozwalające na kupno biletów, opłacanie miejsc parkingowych i korzystanie z usług w urzędach, pomiary zużycia wody i energii, wywóz śmieci, inteligentne oświetlenie miejskie, e-płatności, budżety obywatelskie, rowery i hulajnogi miejskie (Balakrishna, 2012, s. 223–227; Chui i in., 2018, s. 1–20).

Przejawem dobrze zaplanowanego inteligentnego miasta jest nie tylko zadowolenie jego mieszkańców w sensie ekonomicznym, ale filozofia oszczędzania, zdrowego trybu życia i ochrony przyrody. Zatem, inteligentne miasta należy kojarzyć nie z elektronicznymi gadżetami (choć są one ich częścią), ułatwiającymi załatwianie codziennych spraw, ale z odpowiedzialnością za stan i problemy tego miasta. Istotne znaczenie ma tu filozofia zrównoważonego rozwoju. W 1987 r. Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju (WCED) opublikowała raport zatytułowany „Nasza wspólna przyszłość”, znany również pod nazwą „Raport Brundtland”. Zdefiniowano w nim zrównoważony rozwój jako „rozwój zaspokajający obecne potrzeby bez uszczerbku dla możliwości zaspokajania przez przyszłe pokolenia ich własnych potrzeb” (World Commission on Environment and Development, 1987). Podkreślono, iż środowisko i rozwój są nierozdzielnie ze sobą związane i w związku z tym powinny być traktowane jako jedna kwestia. Celem zrównoważonego rozwoju było prewencyjne wyeliminowanie czy też ograniczenie, nierównowagi między wzrostem gospodarczym a rozwojem społecznym oraz między rozwojem społeczno-gospodarczym a środowiskiem przyrodniczym. Ponieważ człowiek zbyt długo nie brał odpowiedzialności za swoje działania, doprowadził do obniżenia jakości życia własnego i innych istot żywych. Przykładem są np. choroby wynikające z degradacji środowiska, różnego rodzaju zanieczyszczenia czy wreszcie ograniczenie przestrzeni życiowej (Kuzior, 2006, s. 67–72).

Obecnie za realizację celów związanych ze smart cities odpowiadają cele postawione w programie ONZ – Agenda 2030. W ramach celu 11 należy wdrożyć skuteczne praktyki w zakresie planowania i zarządzania terenami miejskimi, pozwalającymi skutecznie sprostać wyzwaniom urbanizacji (United Nations, 2015).

Wzrost stężenia CO₂ odpowiada za współczesne zmiany klimatu. Związany jest ze spalaniem paliw kopalnych, aby uzyskać energię nie-

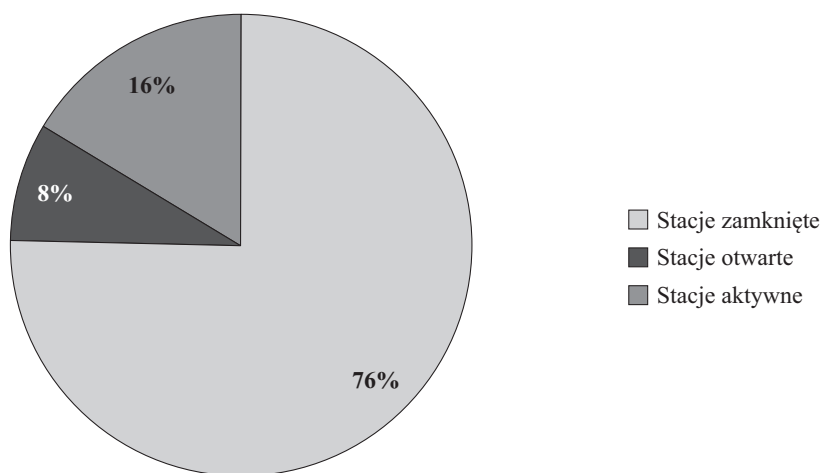
zbędną np. do ogrzewania gospodarstw domowych czy transportu. To dwa największe problemy, z którymi muszą poradzić sobie miasta, w których gęstość zaludnienia jest dużo większa niż na pozostałych terenach. Miasta muszą zmierzyć się nie tylko z zanieczyszczeniami wynikającymi z ogrzewania gospodarstw domowych, ale również z transportem samochodowym. Te dwa newralgiczne wyzwania w polityce miejskiej odpowiadają za zanieczyszczenie powietrza.

Obecnie pod kątem ochrony zdrowia ocenie podlega 12 substancji: dwutlenek siarki (SO_2), dwutlenek azotu (NO_2), tlenek węgla (CO), benzen (C_6H_6), ozon (O_3), pył drobny PM10 (o średnicy do 10 μm), pył drobny PM2,5 (o średnicy do 2,5 μm), metale ciężkie: ołów (Pb), arsen (As), nikiel (Ni), kadm (Cd) oznaczane w pyłe PM10 oraz benzo(a)piren oznaczany w pyłe PM10. Ze względu na ochronę roślin ocenie podlegają 3 substancje: dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (NO_x) i ozon (O_3). Dla każdego z wymienionych zanieczyszczeń określone są stężenia w powietrzu, które nie powinny być przekraczane. Pył PM10 to mieszanina zawieszonych w powietrzu cząsteczek, których średnica nie przekracza 10 mikrometrów. Jest szkodliwy z uwagi na zawartość takich elementów jak benzopireny, furany, dioksyny – jednym słowem, rakotwórcze metale ciężkie. Norma średniego, dobowego stężenia tego pyłu wynosi według WHO 50 mikrogramów na metr sześcienny, a roczna 20 mikrogramów na metr sześcienny. Warto pamiętać, że informację o przekroczonych normach ogłasza się, gdy dobowe stężenie PM10 wyniesie 200 mikrogramów na metr sześcienny – widać więc doskonale jak często wszyscy myślimy, że powietrze jest w porządku, podczas gdy jest ono bardzo zanieczyszczone, jednak nie został jeszcze osiągnięty poziom alarmowy. PM10 to pył zawieszony, który wpływa negatywnie na układ oddechowy. To właśnie on odpowiada za ataki kaszlu, świszczący oddech, pogorszenie się stanu osób z astmą czy za ostre, gwałtowne zapalenie oskrzeli. W sposób pośredni PM10 wpływa również negatywnie na resztę organizmu, między innymi zwiększając ryzyko zawału serca oraz wystąpienia udaru mózgu. Benzopiren jest również silnie rakotwórczy. Trzeba zauważyć, iż aerozole atmosferyczne tego typu są bardzo szkodliwe dla człowieka.

W realizacji koncepcji smart city istotne znaczenie ma monitoring oraz zapobieganie zanieczyszczaniu powietrza, ziemi i wody. Badanie zanieczyszczenia powietrza oraz właściwa polityka miejska w tym zakresie pozwala na „przejście od słów do czynów”. Jej wdrożenie, właściwe zaplanowanie oraz oznaczenie tzw. „hot spot” na mapie pozwoli na osiągnięcie założonych celów środowiskowych.

2. Metodologia badania

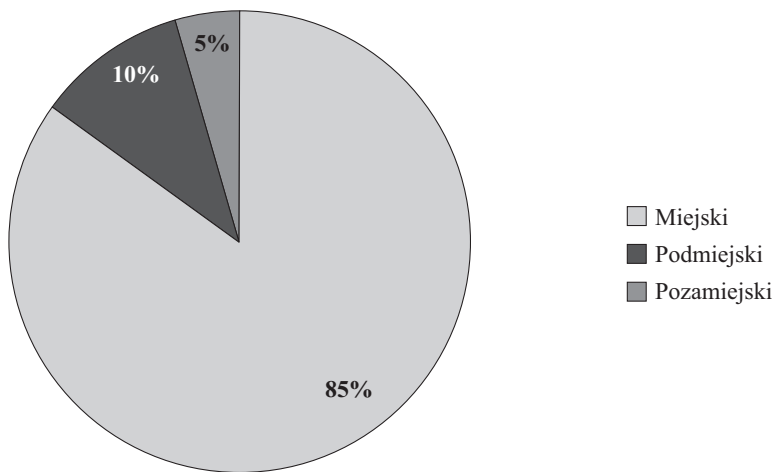
Polska posiada trójstopniowy podział administracyjny – dzieli się na województwa, powiaty i gminy. Te z kolei mieszczą w sobie miasta i wioski. Obecnie Polska posiada 16 województw i 380 powiatów, które wchodzi w ich skład. Powiaty dzielą się zaś na gminy – gmin jest w Polsce 2479 (wyróżnia się wśród nich gminy miejskie – 306, miejsko-wiejskie – 602 i wiejskie – 1571). W Polsce jest 913 miast. Siedem z nich posiada ponad 400 tysięcy mieszkańców, a 10 ponad 200 tysięcy mieszkańców. Pod względem liczby ludności największymi miastami są Warszawa, Kraków, Łódź, Wrocław, Poznań, Gdańsk, Szczecin, Bydgoszcz, Lublin i Katowice. Pożądaną sytuacją byłoby, aby w każdej gminie znajdowała się stacja pomiaru stężenia pyłów PM10 w powietrzu. Mając na uwadze duże miasta, takich stacji powinno być więcej niż jedna, aby można było mówić, iż w Polsce władze mają świadomość problemów związanych z zanieczyszczeniem powietrza. Brak takich pomiarów sprzyja sytuacji, w której mieszkańcy mogą nie przestrzegać prawa, mogą lekceważyć zalecenia związane ze zdrowiem, paląc w piecach niewłaściwym opałem. Na poniższej ryc. przedstawiono stan aktywnych, otwartych stacji monitoringu jakości powietrza oraz tych zamkniętych.



Ryc. 1. Stacje monitoringu pod względem aktywności

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

Sytuacja w miastach będzie miała inny charakter niż na obszarach podmiejskich i pozamiejskich. Kumulacji zanieczyszczenia powietrza będzie sprzyjać liczba ludności oraz transport w granicach miasta. Myśląc o monitorowaniu pyłów w powietrzu PM10, władze regionów powinny zwrócić uwagę na miejsce, w których pobierane są próbki do badania, uwzględniając powyżej wskazane czynniki.



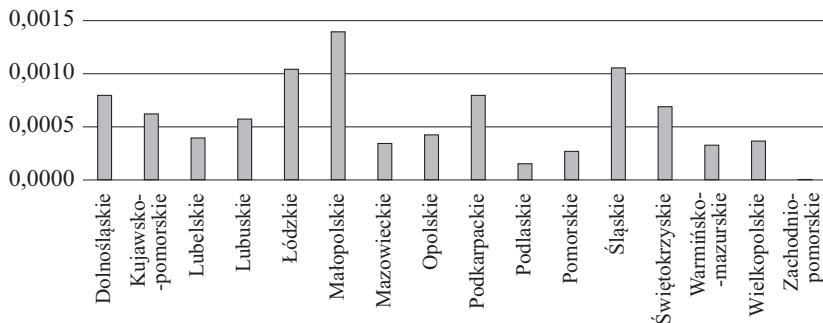
Ryc. 2. Liczba aktywnych stacji pomiarowych w Polsce w 2020 r. ze względu na typ obszaru

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

Jak można zobaczyć na ryc. 1 na terenie Polski znajduje się obecnie 85% działających stacji pomiarowych znajdujących się na terenie miejskim. Na terenach podmiejskich i pozamiejskich łącznie znajduje się 15% stacji pomiarowych, w tym 10% na terenach podmiejskich i 5% na terenach pozamiejskich. Jaka jest zatem skala wykonywanych pomiarów w Polsce?

Na rycinie 3 przedstawiono dane dotyczące stacji monitorujących zanieczyszczenie powietrza, uwzględniając ich położenie w poszczególnych województwach.

Ryc 3. ukazuje stosunek stacji monitorujących w stosunku do powierzchni województwa. Rozmieszczenie stacji budzi pewne wątpliwości. Po pierwsze Śląsk, który nazywany jest polskim zagłębiem węglowym, i na którego terenie znajdują się kopalnie węgla kamiennego



Ryc. 3. Stosunek stacji monitorujących do powierzchni województwa

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

miał tylko 13 stacji monitorujących w 2020 r. To zdecydowanie mniej niż w województwie małopolskim, które kojarzone jest przede wszystkim z turystyką i takimi miejscowościami jak: Zakopane, Szczańnica czy miasto Kraków. Co ciekawe, największe województwo z największym w Polsce miastem – czyli Warszawą, ma zaledwie 12 stacji pomiarowych. Wydaje się, że to niewystarczająca wielkość, choćby z tego względu, iż Warszawa została wybrana do projektu Innovation Training 2022, w ramach którego zespół pracowników Urzędu Miasta pracuje nad rozwiązaniami dotyczącymi zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza w Warszawie (Miasto Warszawa, 2022). Wskazana gęstość występowania stacji monitoringu jest niewystarczająca. W roku 2014 w Polsce została przeprowadzona kontrola jakości powietrza. W raporcie *Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami*, Najwyższa Izba Kontroli zauważyła istotny wpływ jakości powietrza na zdrowie i życie obywateli w czasie. Kontrolą objęto pięć województw (opolskie, małopolskie, pomorskie, mazowieckie i śląskie) o dużym stopniu zanieczyszczenia powietrza w okresie od 1 stycznia 2008 r. do 30 czerwca 2014 r. We wnioskach wskazano, że normy jakości powietrza były przekraczane, szczególnie dotyczyło to stężenia pyłu PM10 oraz benzo(a)pirenu. Ponadto wykazano, że w ponad 75% badanych obszarów przekroczono poziom normatywny PM10, a odpowiedzialna za to jest tzw. niska emisja. Za regiony o najgorszej jakości powietrza uznano województwa śląskie i małopolskie (Parlińska, Pomichowski, 2018).

Próbując oszacować skalę, w jakiej mierzony jest poziom zanieczyszczenia powietrza w polskich gminach, trzeba przyznać, że jest to bardzo mała liczba. Uwzględniając, iż w Polsce jest ponad 2400 gmin, to jedynie

w 7% gmin badane jest powietrze. Innymi słowy, w 93% zanieczyszczenie powietrza nie jest weryfikowane. Uwzględniając tylko miasta – które w większości aspirują do kategorii smart city skala nie jest dużo większa. Tylko 16% miast posiada stacje pomiarowe (GIOŚ, 2022b).

Podsumowując, można zauważyć, iż w 2020 r. w województwie małopolskim było zdecydowanie więcej stacji pomiarowych niż w województwie śląskim. Niemniej jednak, władze wszystkich regionów powinny zwrócić szczególną uwagę na niewielką skalę monitorowania powietrza w Polsce i wprowadzić zmiany polegające na ciągłym monitorowaniu przestrzeni w centrum miast oraz w obszarach szczególnie narażonych na smog.

Warto odnotować, iż dane dotyczące pomiarów zanieczyszczenia powietrza nie są prowadzone w sposób rzetelny i ciągły. Dlatego do analizy wykorzystano dane ze stacji pomiarowych, analizujących stężenie pyłów w 2020 r.

Wybór stacji związany był z dostępnością danych. Na przykład w województwie świętokrzyskim w badanym okresie funkcjonowało 10 stacji pomiarowych, natomiast jedynie 2 z nich prowadziły badania od 2010 roku. Należy również zaznaczyć, iż w zebranych danych brakuje jednostkowych pomiarów, dlatego do analizy wykorzystano średnie wartości dla danego miesiąca, choć dane wyjściowe mają charakter dzienny.

Uwzględniając powyższe przesłanki, do badania zróżnicowania stężenia pyłów PM10 w powietrzu wykorzystano typy obszarów:

X1 – pozamiejski,

X2 – podmiejski,

X3 – miejski.

Uwzględniając typ obszaru wylosowano próbę, składającą się z 24 jednostek, po 8 reprezentujących poszczególne obszary (X1–X3). Następnie zbadano w jakim stopniu zaludnienie oraz wielkość PKB na osobę w poszczególnych typach obszarów różnicuje występowanie zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10.

3. Czynniki wpływające na jakość powietrza w polskich miastach

Jakość powietrza oddziałuje na wiele aspektów ludzkiego życia, w tym jeden z najistotniejszych, czyli jego zdrowie. Jakość życia, samopoczucie, predyspozycje do zachorowań są najważniejszymi skutkami obserwowanymi przez badaczy i omawianymi w literaturze medycznej.

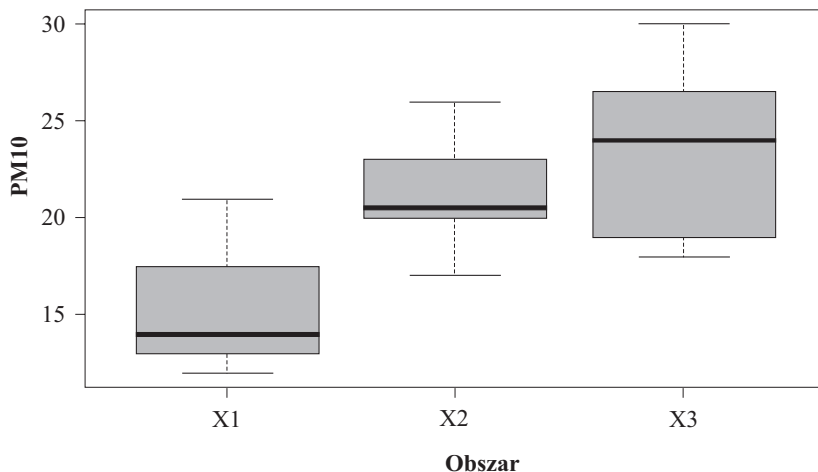
Analitycy zwracają uwagę na intensyfikację objawów chorobowych a nawet śmierć, która może być skutkiem złej jakości powietrza i zanieczyszczeń w nim zawartych. Wpływ ten jest nieraz trudny do oceny, a związki przyczynowo-skutkowe trudno mierzalne. Wiedza na temat tego zagadnienia nie zawsze jest pełna, a jej źródła – bardzo różne i czasami mało wiarygodne (Bernstein i in., 2004, s. 1116–1123; Mannucci i in., 2015, s. 657–662).

Jak podkreśla Parlińska i Pomichowski, za główne źródło zanieczyszczeń uznaje się niską emisję, której przyczyną są procesy spalania w gospodarstwach domowych. Wynika to z niskiej jakości paliw, najczęściej odpadów (węgiel brunatny, miał) oraz przestarzałych systemów grzewczych, wykorzystywanych do ogrzewania budynków. Dodatkowo sprzyja temu proceder spalania odpadów komunalnych (w tym takich substancji jak plastik oraz tworzywa pochodzenia sztucznego). Dodatkowym minusem jest to, że większość budynków posiada niską efektywność energetyczną. Brakuje w gospodarstwach domowych typu jednorodzinnego np. dociepleń budynków, co przyczynia się do zwiększenia zużycia paliw. Nadmienić trzeba, iż obok czynnika środowiskowego, wskazane problemy mają też charakter ekonomiczny (Parlińska, Pomichowski, 2018, s. 83–91).

Wskazany problem dotyczy przede wszystkim otoczenia miast i obszarów pozamiejskich, których mieszkańcy opalają swoje domostwa z wykorzystaniem tradycyjnych, niejednokrotnie przestarzałych kotłów grzewczych. Według Sobolewskiej, niestety często też mieszkańcy wsi, nie przestrzegając norm jakości wykorzystywanych paliw, palą odpadami, np. płytami paździerzowymi, tworzywami sztucznymi i innymi odpadami, które nie są odbierane przez firmy świadczące usługi ich utylizacji. Produkty tego spalania w postaci pyłów osiadają na powierzchni ziemi, co powoduje skażenie roślinności i żywności. Niestety, jak wskazano w pkt 2 tylko w 8 przypadkach monitorowano stężenie pyłów PM10 poza miastami, a w 18 przypadkach w obszarach podmiejskich (Sobolewska, 2008, s. 408–415).

Na rycinie 4 zaprezentowano dane dotyczące stężenia pyłów PM10 w powietrzu ze względu na typ obszaru.

Obserwując ryc. 4 można przypuszczać, iż typ obszaru może mieć wpływ na stężenie zanieczyszczeń pyłem PM10 w powietrzu. Największe zanieczyszczenie występuje w miastach, natomiast w obszarze pozamiejskim jest ono zdecydowanie mniejsze. Pomiędzy nimi znajdują się obszary podmiejskie. W poniższej tabeli przedstawiono



Ryc. 4. Wykresy pudełkowe zanieczyszczenia pyłem PM10 według typów obszarów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

podstawowe statystyki dotyczące stężenia pyłów PM10 ze względu na typ obszaru.

Tabela 1

Analiza opisowa

Zmienne	Obszar	Średnia	Odchylenie standardowe	Skośność	Kurtoza
X1	Pozamiejski	15,25	3,41	0,70	-1,31
X2	Podmiejski	21,25	2,76	0,27	-1,07
X3	Miejski	23,38	4,37	0,06	-1,73

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

W przypadku obszarów miejskich odchylenie standardowe jest większe niż w pozostałych grupach. Ponadto, średnia dla obszaru miejskiego, a także jej drugi, trzeci i czwarty kwartył leżą powyżej zalecanej rocznej normy stężenia pyłów wynoszącej 20 mikrogramów na m sześcienny w roku. Na terenie pozamiejskim w większości średnia z monitoringu nie pokazuje wartości przekraczających wskazaną normę. Obszar podmiejski może nie być zróżnicowany w odniesieniu do obszaru miejskiego, co może właśnie wynikać z rozwoju obszarów podmiejskich, gdzie wystę-

puje duże zagęszczenie budownictwa jednorodzinnego i związany z tym problem ogrzewania. Celem niniejszej analizy jest zbadanie zróżnicowania wariacji stężenia pyłów PM10 ze względu na typ obszaru. Hipoteza H_0 wskazuje, że średnie w grupach są jednakowe.

$$H_0: m_1 = m_2 = m_3 = m_k$$

wobec hipotezy alternatywnej:

H1: co najmniej dwie średnie różnią się między sobą

Aby zweryfikować hipotezę zbadano założenia. Pierwsze z nich dotyczy normalności rozkładu w grupach. Poniżej przedstawiono wyniki testów o normalności rozkładu.

Tabela 2

Wyniki testów normalności dla badanych obszarów

Test	Obszar miejski	Obszar podmiejski	Obszar pozamiejski
Shapiro-Wilka	0,4743	0,6798	0,04155
Kolmogorowa-Smirnova	0,3287	0,4487	0,06625

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

Pierwszy test potwierdził normalność w pierwszej i drugiej grupie. Z kolei, nieznacznie test nie spełnił warunków normalności w grupie trzeciej – dotyczącej terenów pozamiejskich. W teście Kolmogorowa-Smirnova normalność została potwierdzona we wszystkich trzech grupach. Kolejnym założeniem do przeprowadzenia testu ANOVA jest sprawdzenie założenia o jednorodności wariacji. W związku z tym, iż badana próba ma spełnione założenie o normalności rozkładu, zastosowano test Bartletta.

Hipotezy testu wskazuje, że:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_m \text{ (m – liczba serii, rozkład normalny wyników)}$$

$$H_a: \sigma_i \neq \sigma_j \text{ (dla przynajmniej jednej pary (i, j) lub brak normalności rozkładu wyników)}$$

W sytuacji, gdyby hipoteza zerowa była zanegowana, oznaczałoby to, że wariacje nie są jednorodne, czyli przynajmniej jedna para wariacji różni się istotnie. W niniejszym przykładzie test Bartletta potwierdził jednorodność wariacji, ponieważ p-value wyniosła 0,5015 i była wyższa

od zakładanej wartości 0,05. Mając spełnione założenia, przeprowadzono analizę ANOVA. Zakłada się w niej, że wariancje w obrębie wydzielonych grup układu są sobie równe. Na podstawie przeprowadzonej analizy odrzucono H_0 o jednorodności wariancji w grupach, ponieważ p-value wyniósł 0,000515. Przynajmniej w jednym przypadku można zaobserwować zróżnicowanie stężenia pyłem PM_{10} ze względu na typ obszaru. W związku z odrzuceniem H_0 wykonano analizę *post-hoc*. Na początek wykorzystano konserwatywny test Tukey'a, który musi zawierać duże różnice w średnich, aby pozytywnie odpowiedzieć, w jakim stopniu średnie w grupach się różnicują. Poniżej przedstawiono wyniki analizy.

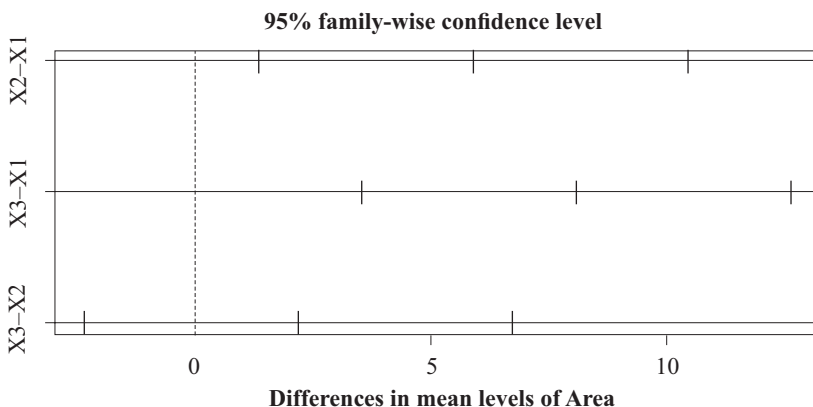
Tabela 3

Wyniki testu Tukey'a (dla poziomu ufności 95%)

	Minimum	Maksimum	p-value
X2-X1	1,490438	10,509562	0,0081044
X3-X1	3,615438	12,634562	0,0005022
X3-X2	-2,384562	6,634562	0,4732350

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

Jak pokazują wyniki testu, różnice w średnich występują pomiędzy typami obszarów miejskim i pozamiejskim oraz podmiejskim i pozamiejskim. Takie zróżnicowanie nie występuje pomiędzy obszarem miejskim i podmiejskim. Analizę potwierdza poniżej załączona rycina.



Ryc. 5. Zróżnicowanie średnich w grupach na podst. analizy Tuckey'a

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

Na ryc. 5 widać, iż w przypadku porównań grupy podmiejskiej i miejskiej przecina ona na poziomie 0 przedział ufności 95%. Dlatego zróżnicowanie widać w przypadku grupy pozamiejskiej i miejskiej oraz grupy podmiejskiej i pozamiejskiej. Można wyciągnąć wnioski, iż grupa pozamiejska to taka, w której nie występują problemy z nadmiernym transportem, a liczba ludności na obszarach pozamiejskich jest znacznie niższa niż w przypadku grupy podmiejskiej i miejskiej. Stąd też w tej grupie nie odnotowuje się takiego zanieczyszczenia powietrza, w którym przekraczane są dopuszczalne normy.

Testem bardziej czułym jest test Fishere, w którym mniejsze różnice między średnimi pozwolą ukazać zależności międzygrupowe. Poniżej zaprezentowano wyniki testu.

Tabela 4

Test Fishera stężenia PM10 według typów obszarów

	X2	X1
X3	0,74458	0,00053
X2		0,00902

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GIOŚ, 2022a.

Test Fishera potwierdził wskazania, zaobserwowane po przeprowadzeniu testu Tukeya. Można zadać pytanie jak silny jest ten czynnik, który różnicuje grupy? Poniżej zbadano wielkości efektów eksperymentalnych. To miara wielkości, która odpowiada na pytanie jak bardzo dany czynnik różni się od pozostałych. Kluczowym miernikiem w przypadku analizy jednoczynnikowej jest eta 2 i jest podawany w procentach. Efekt jest znaczący, kiedy jego wartość przekracza 14%, efekt jest średni, gdy mieści się w przedziale od 6 do 14%, a efekt jest słaby, gdy jego wartość jest mniejsza niż 6%. Należy również pamiętać, im wskaźnik jest większy tym bardziej metoda różnicuje grupy. Effects size for ANOVA wynosi 51% i oznacza znaczącą rolę czynnika różnicującego badane grupy. Poniżej przedstawiono wyniki testu Omega kw. Ma on istotną wartość, ponieważ jego wyniki można interpretować na całą populację, a nie tylko na próbę jak w przypadku eta kw. Wskaźnik omega kw. jest nieco niższy od eta kw. Jednak jego wartość 46% jest wysoka i jest znacząca dla różnicowania grup gmin.

Podsumowując powyższe rozważania należy wskazać, iż typ obszaru ma decydujące znaczenie dla skażenia środowiska pyłem PM10. Istotne różnice występują między obszarem pozamiejskim a podmiejskim i poza-

miejskim i miejskim. Brak zróżnicowania występuje pomiędzy obszarem podmiejskim i miejskim.

Warto zastanowić się nad przyczynami takiego zróżnicowania. Możliwe, że na brak zróżnicowania stężenia pyłów PM10 wpływa z jednej strony mniejsze stężenie pyłów PM10 związanych z transportem miejskim, ale jest ono niwelowane przez większe stężenie pyłów związanych z ogrzewaniem domów jednorodzinnych, typowych dla obszarów podmiejskich z zabudową jednorodziną.

Świadomość ekologiczna ma coraz większe znaczenie. Dlatego warto zastanowić się nad czynnikami towarzyszącymi występowaniu zanieczyszczenia powietrza. Do analizy wybrano dwa z nich. Jeden odnosi się do gęstości zaludnienia miast, drugi zaś związany jest z kwestią ekonomii. Do zbadania znaczenia tych dwóch czynników towarzyszących wykorzystano analizę kowariancji. We wstępnej analizie nie wykryto zróżnicowania między obszarem podmiejskim a pozamiejskim i miejskim a podmiejskim. Do analizy wykorzystano metodę kowariancji, dzięki której starano się odpowiedzieć na pytanie, czy różnicują one badane grupy jeszcze w większym zakresie.

Inwestycje w ochronę środowiska wymagają wysokich nakładów finansowych. Zakup dla gospodarstwa domowego np. pompy ciepła to wydatek ok. 25 tys zł, instalacji fotowoltaicznej 10 kW – to wydatek ok. 40 tys. zł. Polskie społeczeństwo i polskie regiony są zróżnicowane pod względem dochodów. Można zatem przypuszczać, iż wzrost dochodów w gminie może sprzyjać działaniom ekologicznym. W tym nurcie gospodarstwa domowe będą korzystać z transportu opartego na energii elektrycznej, ponieważ będą w stanie ponieść koszty związane ze zmianą środka transportu. Wybór ekologicznych źródeł ciepła jest kosztowny dla gospodarstw domowych. W tym przypadku również kwestia dochodowa może mieć znaczenie. Jednak należy zauważyć, iż świadomość ekologiczna może nie mieć znaczenia, a dominującą kwestią będzie przede wszystkim chęć wzbogacenia się. Tym samym wzrost dochodu może mieć związek z większym zanieczyszczeniem. Poniżej sprawdzono założenia kowariancji występowania pyłu PM10 na współzależność z liczbą ludności w gminie oraz ze średnim PKB na osobę w gminie.

Korelacja w całej próbie jest umiarkowana i wynosi 0,499 między występowaniem pyłu PM10 a liczbą ludności. Brak jest związku między średnim dochodem (korelacja wynosi jedynie 0,2015) a występowaniem pyłu PM10. Oznacza to, że kwestia zamożności społeczeństwa nie wpły-

wa na zachowania ekologiczne. Poniżej zaprezentowano wyniki badania korelacji w trzech grupach.

Tabela 5

**Korelacje pomiędzy zanieczyszczeniem powietrza pyłem PM10
a liczbą ludności i PKB na osobę**

Obszar	X1	X2	X3
Liczba ludności	0,2912221	0,02957595	0,5758215
PKB na osobę	-0,05687855	0,1217462	0,4974187

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Główny Urząd Statystyczny, *Ludność. Stan i struktura ludności oraz ruch naturalny w przekroju terytorialnym (stan w dniu 31.12.2020)*, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/ludnosc-stan-i-struktura-ludnosc-i-oraz-ruch-naturalny-w-przekroju-terytorialnym-stan-w-dniu-31-12-2020,6,29.html>; Główny Urząd Statystyczny, *Dochoady na 1 mieszkańca, 2020*, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>.

Można zaobserwować brak współzależności we wszystkich badanych grupach. Taka współzależność występuje jedynie w przypadku obszaru miejskiego i ma charakter dodatni. Jest to zależność słaba. Oznacza, że wzrost dochodów oddziałuje na zwiększenie zanieczyszczenia powietrza – co wynika z rozwoju przemysłu, większego ruchu transportowego. W pozostałych grupach zależność korelacyjna nie występuje.

Wnioski

Uwzględniając cele, jakie stawiają sobie władze miast w całej Polsce, należy zauważyć, iż podejmowane działania na rzecz czystego powietrza są niewystarczające. Koncepcja smart city powinna przyczyniać się do aktywności władz miejskich w zakresie zmniejszania zanieczyszczenia powietrza. Tym samym, zanieczyszczenie powietrza w badanych obszarach ze względu na typ powinny być jednorodne.

O braku właściwych działań świadczą przede wszystkim wysokie wskaźniki zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 na obszarach miejskich, który w okresie sezonu grzewczego jest bardzo często przekraczany. Przede wszystkim zwraca uwagę brak właściwego monitorowania stanu powietrza na terenie całej Polski. Istnieje bardzo mało stacji monitorujących powietrze na terenach pozamiejskich i terenach podmiejskich. Ponadto należy zauważyć brak ciągłości pomiarów, braki dotyczące pomiarów dziennych, a nawet miesięcznych. Zauważalne są również częste

zmiany stacji pomiarowych i miejsca położenia tych stacji. Wszystkie wymienione aspekty przyczyniają się do powstawania trudności z pomiarem stanu jakości powietrza, oceną oraz możliwością porównywania danych w czasie. Warto zauważyć, iż w wielu europejskich stolicach tworzone są mapy, ukazujące stężenia pyłów w powietrzu tak, aby jak najlepiej ukazać bieżącą sytuację oraz rozmieszczenie czujników.

Podsumowując, można potwierdzić hipotezę H1 o znaczeniu zróżnicowania obszaru na miejski i pozamiejski oraz podmiejski i pozamiejski ze względu na skażenie powietrza pyłem PM10. Nie można potwierdzić różnicy między obszarem podmiejskim i miejskim. Oznacza to, iż istnieją różne przyczyny lub inaczej różne źródła zanieczyszczenia powietrza w obszarach podmiejskich i miejskich. W obszarach miejskich głównym źródłem zanieczyszczeń będzie ruch samochodowy, a w pewnych jego częściach – w miejscach ciepłowni – zwiększony pył PM10. W obszarach podmiejskich głównym powodem nie będzie ruch samochodowy a właśnie problem związany z ogrzewaniem budynków jednorodzinnych.

Jak wykazano w pracy obszary pozamiejskie nie są tak narażone na zanieczyszczenie powietrza pyłami PM10, co związane jest z zagęszczeniem budynków. Należy równocześnie pamiętać, iż dane te mogą być zaniżone ze względu na małą liczbę stacji badających stan powietrza.

Interesujący jest również wynik badania dotyczący czynników towarzyszących. Brak wyraźnej korelacji z liczbą ludności i zanieczyszczeniem oraz średniego poziomu zarobków a zanieczyszczeniem pozwala wyciągnąć wniosek, iż kwestia jakości powietrza tak naprawdę zależy od prowadzonej polityki, od edukacji społeczeństwa i zrozumienia wpływu funkcjonowania człowieka w zanieczyszczonym środowisku na jego zdrowie i życie.

Interesy konkurencyjne: Autorka oświadczyła, że nie istnieje konflikt interesów.

Competing interests: The author has declared that no competing interests exists.

Wkład autorów

Konceptualizacja: Magdalena Tomala

Analiza formalna: Magdalena Tomala

Metodologia: Magdalena Tomala

Opracowanie artykułu – projekt, przegląd i redakcja: Magdalena Tomala

Authors contributions

Conceptualization: Magdalena Tomala

Formal analysis: Magdalena Tomala

Methodology: Magdalena Tomala

Writing – original draft, review and editing: Magdalena Tomala

Bibliografia

- Ai H., Wang M., Zhang Y.-J., Zhu T.-T. (2022), *How does air pollution affect urban innovation capability? Evidence from 281 cities in China*, “Structural Change and Economic Dynamics”, 61, s. 166–178.
- Aisner L. Y. (2019), „ *Smart* ” education system for digital society, s. 368–371.
- Angelidou M., Psaltoglou A., Komninos N., Kakderi C., Tschropoulos P., Panori A. (2018), *Enhancing sustainable urban development through smart city applications*, “Journal of Science and Technology Policy Management”, 9(2), s. 146–169, <https://doi.org/10.1108/JSTPM-05-2017-0016>.
- Balakrishna C. (2012), *Enabling Technologies for Smart City Services and Applications, 2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, s. 223–227, <https://doi.org/10.1109/NGMAST.2012.51>.
- Bernstein J. A., Alexis N., Barnes C., Bernstein I. L., Nel A., Peden D., Diaz-Sanchez D., Tarlo S. M., Williams P. B., Bernstein J. A. (2004), *Health effects of air pollution*, “Journal of Allergy and Clinical Immunology”, 114(5), s. 1116–1123, <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.08.030>.
- Bocian A. (2011), *Globalizacja a zrównoważony rozwój*, w: *Teoretyczne aspekty ekonomii zrównoważonego rozwoju*, red. B. Poskorbko, s. 19–33.
- Caragliu A., Del Bo C., Nijkamp P. (2011), *Smart Cities in Europe*, “Journal of Urban Technology”, 18(2), s. 65–82, <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>.
- Chen S., Oliva P., Zhang P. (2022), *The effect of air pollution on migration: Evidence from China*, “Journal of Development Economics”, 156, 102833.
- Chien F., Zhang Y., Sharif A., Sadiq M., Hieu M. V. (2022), *Does air pollution affect the tourism industry in the USA? Evidence from the quantile autoregressive distributed lagged approach*, “Tourism Economics”, 13548166221097020.
- Chui K. T., Lytras M. D., Visvizi A. (2018), *Energy sustainability in smart cities: Artificial intelligence, smart monitoring, and optimization of energy consumption*, “Energies”, 11(11), 2869.

- Czechowski P., Piksa K. (2022), *Financing Costs and Health Effects of Air Pollution in the Tri-City Agglomeration*. *Front. „Public Health”*, 10, 831312, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.831312>.
- Czupich M., Kola-Bezka M., Ignasiak-Szulc A. (2016), *Czynniki i bariery wdrażania koncepcji smart city w Polsce*, „*Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*”, 276.
- Gawor L. (2006), *Idea zrównoważonego rozwoju jako projekt nowej ogólnoludzkiej cywilizacji*, „*Diametros*”, 9, s. 84–104.
- GIOŚ (2022a), *Bank danych pomiarowych*, <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>.
- GIOŚ (2022b), *Kody stacji pomiarowych*, <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives>
- GIOŚ (2023), *Kim jesteśmy – GIOŚ*, https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/about_us#.
- Guo B., Guo Y., Nima Q., Feng Y., Wang Z., Lu R., Ma Y., Zhou J., Xu H., Chen L. (2022), *Exposure to air pollution is associated with an increased risk of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease*, “*Journal of hepatology*”, 76(3), s. 518–525.
- Hollands R. G. (2008), *Will the real smart city please stand up?: Intelligent, progressive or entrepreneurial?*, “*City*”, 12(3), s. 303–320, <https://doi.org/10.1080/13604810802479126>.
- Hull Z. (2010), *Ekofilozofia a „filozofia zrównoważonego rozwoju”*, „*Studia Ecologiae et Bioethicae*”, 8(1), s. 197–205, <https://doi.org/10.21697/seb.2010.8.1.16>.
- Jbaily A., Zhou X., Liu J., Lee T.-H., Kamareddine L., Verguet S., Dominici F. (2022), *Air pollution exposure disparities across US population and income groups*, “*Nature*”, 601(7892), s. 228–233.
- Kim Y., Soyata T., Behnagh R. F. (2018), *Towards Emotionally Aware AI Smart Classroom: Current Issues and Directions for Engineering and Education*, “*IEEE Access*”, 6, s. 5308–5331, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2791861>.
- Komninos N. (2008), *Intelligent cities and globalisation of innovation networks*, Routledge.
- Kuzior A. (2006), *Człowiek jako racjonalny podmiot działań w świetle założeń koncepcji zrównoważonego rozwoju*, „*Problemy Ekorozwoju*”, 1(2), s. 67–72.
- Kwiatkiewicz P., Szczerbowski R., Ślędzik W. (2020), *Elektromobilność. Środowisko infrastrukturalne i techniczne wyzwania polityki intraregionalnej*, Wydawnictwo Naukowe FNCE.
- Lazaroiu G. C., Roscia M. (2012), *Definition methodology for the smart cities model*, “*Energy*”, 47(1), s. 326–332, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.028>.
- Lee J., Kim D., Ryo H.-Y., Shin B.-S. (2016), *Sustainable Wearables: Wearable Technology for Enhancing the Quality of Human Life*, “*Sustainability*”, 8(5), s. 466, <https://doi.org/10.3390/su8050466>.
- Lytras M., Visvizi A. (2018), *Who Uses Smart City Services and What to Make of It: Toward Interdisciplinary Smart Cities Research*, “*Sustainability*”, 10(6), s. 1998, <https://doi.org/10.3390/su10061998>.

- Mannucci P. M., Harari S., Martinelli I., Franchini M. (2015), *Effects on health of air pollution: A narrative review*, "Internal and Emergency Medicine", 10(6), s. 657–662, <https://doi.org/10.1007/s11739-015-1276-7>.
- Manville C., Europe R., Millard J., Institute D. T., Liebe A. (2014), *Mapping Smart cities in the EU*, s. 200.
- Marquès M., Domingo J. L. (2022), *Positive association between outdoor air pollution and the incidence and severity of COVID-19. A review of the recent scientific evidences*, "Environmental Research", 203, 111930.
- Miasto Warszawa (2022), *Warszawa w gronie miast zakwalifikowanych do Innovation Training 2022*, <https://um.warszawa.pl/-/warszawa-w-gronie-miast-zakwalifikowanych-do-innovation-training-2022>.
- Nam T., Pardo T. A. (2011), *Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions*, *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference on Digital Government Innovation in Challenging Times - Dg.o '11*, s. 282, <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>.
- Neirotti P., Marco A. D., Cagliano A. C., Mangano G., Scorrano F. (2014), *Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts*, "Cities", 38, s. 25–36, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>.
- Papuziński A. (2018), *Filozoficzne aspekty zrównoważonego rozwoju w kontekście encykliki „Laudato si”*, „Seminare. Poszukiwania naukowe”, 2018(39) (nr 1), s. 57–68, <https://doi.org/10.21852/sem.2018.1.05>.
- Parlińska M., Pomichowski P. (2018), *Analiza czynników wpływających na jakość powietrza w wybranych regionach Polski*, „Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych”, 2, s. 83–91.
- Pawłowski A. (2006), *Wielowymiarowość rozwoju zrównoważonego The multidimensional nature of sustainable development*, „Problemy Ekorozwoju”, 1, s. 23–32.
- Ramaprasad A., Sánchez-Ortiz A., Syn T. (2017), *A Unified Definition of a Smart City*, w: *Electronic Government* (T. 10428, s. 13–24), red. M. Janssen, K. Axelsson, O. Glassey, B. Klievink, R. Krimmer, I. Lindgren, P. Parycek, H. J. Scholl, D. Trutnev, Springer International Publishing, https://doi.org/10.1007/978-3-319-64677-0_2.
- Sachs J. (2015). *The age of sustainable development*, Columbia University Press.
- Sevincer A., Bhattarai A., Bilgi M., Yuksel M., Pala N. (2013), *LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETworks – A Survey*, "IEEE Communications Surveys & Tutorials", 15(4), s. 1620–1641, <https://doi.org/10.1109/SURV.2013.032713.00150>.
- Sobolewska A. (2008), *Gospodarka odpadami komunalnymi na terenach wiejskich*, „Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego”, 4.
- Stafoggia M., Oftedal B., Chen J., Rodopoulou S., Renzi M., Atkinson R. W., Bauwelinck M., Klompemaker J. O., Mehta A., Vienneau D. (2022), *Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 mil-*

- lion people: Results from seven large European cohorts within the ELAPSE project*, "The Lancet Planetary Health", 6(1), s. e9–e18.
- Szczech-Pietkiewicz E. (2013), *Poland's Urban Competitiveness in the European Context*, "The Polish Review", 58(2), s. 15–36, <https://doi.org/10.5406/polishreview.58.2.0015>.
- Tsarchopoulos P., Komninos N., Kakderi C. (2017), *Accelerating the uptake of smart city applications through cloud computing*, "International Journal of Economics and Management Engineering", 11(1), s. 129–138.
- United Nations (2015), *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1)*, <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>.
- Washburn D., Sindhu U., Balaouras S., Dines R. A., Hayes N., Nelson L. E. (2009), *Helping CIOs understand "smart city" initiatives*, "Growth", 17(2), s. 1–17.
- World Commission on Environment and Development (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwilmZaDnKD5AhVfiv0HHd5eCuQQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fsustainabledevelopment.un.org%2Fcontent%2Fdocuments%2F5987our-common-future.pdf&usg=AOvVaw293_rr5E8NxDhKDKPVja0e.
- Wu Y., Dai H.-N., Wang H., Xiong Z., Guo S. (2022), *A survey of intelligent network slicing management for industrial IoT: integrated approaches for smart transportation, smart energy, and smart factory*, "IEEE Communications Surveys & Tutorials", 24(2), s. 1175–1211.
- Zhang Z., Zhang G., Su B. (2022), *The spatial impacts of air pollution and socio-economic status on public health: Empirical evidence from China*, "Socio-Economic Planning Sciences", 83, s. 101167.
- Zhao C., Wang K., Dong X., Dong K. (2022), *Is smart transportation associated with reduced carbon emissions? The case of China*, "Energy Economics", 105, s. 105715.
- Zou S.-J., Shen Y., Xie F.-M., Chen J.-D., Li Y.-Q., Tang J.-X. (2020), *Recent advances in organic light-emitting diodes: Toward smart lighting and displays*, "Materials Chemistry Frontiers", 4(3), s. 788–820.

Monitoring Air Quality in Poland in Light of Smart City Concept

Summary

In the smart city, many sensors, cameras, and meters are being installed to analyse problems in the city, such as traffic flow analysis or parking space availability. Such tools make it easier for local authorities to pursue the appropriate urban policies. The issue of air pollution deserves particular attention. It is one of the most important problems city authorities face today. In this context, a research question may be asked:

to what extent do the actions carried out by Polish cities contribute to reducing PM 10 in the air? The study aims to examine the policy of monitoring the status of PM 10 air pollution in Polish cities. In an attempt to answer the research question, the following secondary questions were asked: what is the status of PM 10 air monitoring in Poland? Is there a disparity regarding PM 10 air pollution among urban, suburban, and non-urban areas? The state of air monitoring was examined using descriptive statistics. Analysis of variance was used to investigate the disparity between urban and rural areas. A random sample of 24 measuring stations, each representing urban, suburban, and non-urban areas, was employed in the study. Then, considering associated variables, such as GDP *per capita*, population, an analysis of covariance was used to examine air quality. The paper consists of three sections. The first presents the definition and role of sustainability in shaping the smart city concept. The second indicates the methodological approach, and the third shows the results of the analysis.

Key words: PM 10, sustainable development, smart city, Poland