

Julia Ewa Chudecka-Jabłońska (ORCID: 0009-0006-6553-0792)
Wydział Prawa i Administracji, Uniwersytet Opolski, Opole, Polska, e-mail: juliachudecka24@gmail.com

Wpływ zielonych technologii smart city na poprawę jakości życia mieszkańców

The impact of green smart city technologies on improving residents' quality of life

STRESZCZENIE

Artykuł dokonuje przeglądu literatury dotyczącej wpływu zielonych technologii na poprawę jakości życia mieszkańców w inteligentnych miastach, inaczej nazywanych smart city. Wskazuje, iż zielone technologie, takie jak odnawialne źródła energii, niskoemisyjny transport, cyfrowe monitorowanie środowiska oraz inteligentne systemy zarządzania energią, przyczyniają się do poprawy warunków zdrowotnych, wzrostu satysfakcji mieszkańców oraz redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednocześnie analiza identyfikuje wyzwania z jakimi wiąże się wdrażanie tychże metod, w tym nierówności społeczne, wysokie koszty wdrożeń i brak zaangażowania obywatelskiego. Artykuł podkreśla potrzebę integrowania zielonych technologii z polityką miejską, jak i rozwijania narzędzi oceny ich wpływu na jakość życia. Wyniki przeglądu stanowią podstawę do dalszych badań oraz praktycznych działań w zakresie zrównoważonego rozwoju miast.

Słowa kluczowe: smart city, zielone technologie, jakość życia, zrównoważony rozwój, inteligentne miasta.

ABSTRACT

The article reviews the literature on the impact of green technologies on improving the quality of life of residents in smart cities. It indicates that green technologies, such as renewable energy sources, low-emission transport, digital environmental monitoring, and intelligent energy management systems, contribute to improving health conditions, increasing residents' satisfaction, and reducing greenhouse gas emissions. At the same time, the analysis identifies challenges associated with the implementation of these methods, including social inequalities, high implementation costs, and lack of citizen engagement. The article emphasizes the need to integrate green technologies with urban policy and to develop tools for assessing their impact on quality of life. The review's findings provide a basis for further research and practical actions in the field of sustainable urban development.

Keywords: smart city, green technologies, quality of life, residents, intelligent cities.

1. UWAGI WSTĘPNE, HIPOTEZY, METODYKA BADAŃ I KRÓTKI PRZEGLĄD LITERATURY

Współcześnie miasta mierzą się z licznymi wyzwaniami, które związane są z zmianami klimatycznymi, rosnącą urbanizacją i oczekiwaniami mieszkańców wobec jakości życia. W odpowiedzi na te wyzwania zaczęła rozwijać się koncepcja smart city, łącząca ideę zrównoważonego rozwoju z technologiami cyfrowymi. Z idei zrównoważonego rozwoju w kontekście smart city szczególnie korzysta się z zielonych technologii, które mają na celu poprawę efektywności energetycznej, zwiększenie komfortu mieszkańców oraz redukcję emisji gazów

(Batty et al., 2012; Giffinger et al., 2007). W smart city zielone technologie obejmują, między innymi efektywne sieci energetyczne, odnawialne źródła energii, inteligentne systemy zarządzania odpadami oraz oraz zrównoważony transport miejski, wspólnie tworzące ramy dla ekologicznej transformacji przestrzeni miejskiej (Desideri & Verducci, 2017).

Głównym celem niniejszego artykułu jest dokonanie przeglądu literatury naukowej, skoncentrowanej na wpływie zielonych technologii na poprawę jakości życia mieszkańców w

smart city i w kontekście życia w nich. Celem tegoż przeglądu jest wskazanie kluczowych obszarów wdrożeń, korzyści oraz wyzwań, które wynikają z zastosowania tych technologii. Hipotezę badawczą stanowi założenie, iż implementacja zielonych technologii w smart city w sposób znaczący przyczynia się do podniesienia jakości życia mieszkańców poprzez poprawę warunków społecznych oraz środowiskowych.

Weryfikacja powyższej hipotezy oparta została na analizie dostępnych raportów, opracowań naukowych i studiów przypadków, które dotyczą wdrożeń zielonych rozwiązań w miastach na całym świecie. Zastosowaną w artykule metodą jest krytyczna analiza desk resarch, czyli przegląd oraz synteza literatury, skoncentrowanej na tematyce zielonych technologii, smart city i jakości życia ich mieszkańców (Alawadhi & Scholl, 2016; Kitchin, 2014). Ów analiza obejmuje zarówno publikacje naukowe oraz raporty branżowe, jak i dostępne materiały konferencyjne i dokumenty strategiczne, dzięki czemu możliwe jest szerokie, interdyscyplinarne spojrzenie na badany problem.

Proces badawczy podzielono na kilka etapów. Pierwszym było określenie kryteriów doboru literatury – skoncentrowanie się na publikacjach dotyczących zielonych technologii oraz ich wpływu na środowisko i jakości życia w miastach, opublikowanych w ostatnich dziesięciu latach. Następny etap stanowiła selekcja źródeł z baz danych takich jak Google Scholar, Web of Science, Scopus, a także specjalistycznych czasopism naukowych związanych z technologiami smart, urbanistyką i ekologią (Yigitcanlar & Lee, 2014; Schaffers et al., 2011). Ostatnim krokiem było przeprowadzenie krytycznej analizy oraz syntezy zgromadzonych materiałów w celu wyłonienia najważniejszych wniosków oraz identyfikacja luk badawczych.

Przeprowadzone dotychczas badania wyraźnie wskazują, iż zielone technologie w inteligentnych miastach mogą przyczyniać się do usprawnienia systemów transportowych, ograniczenia zużycia energii oraz redukcji zanieczyszczeń, co bezpośrednio wpływa na poprawę satysfakcji, zdrowia i komfortu mieszkańców (Yigitcanlar & Lee, 2014; Schaffers et al., 2011).

Jednocześnie podkreśla się wyzwania, które wiążą się z koniecznością zaangażowania społeczności lokalnych w proces transformacji, wysokimi kosztami wdrożeń i potrzebą integracji różnych systemów (Nam & Pardo, 2011).

Wobec powyższego, artykuł ma na celu przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat wpływu zielonych technologii na jakość życia mieszkańców smart city w sposób kompleksowy, z uwzględnieniem zarówno barier, jak i korzyści, co stanowi bazę oraz fundament do dalszych badań empirycznych oraz wdrożeń praktycznych.

W ramach koncepcji smart city rozwój zielonych technologii stanowi odpowiedź na wzrastające potrzeby miast w zakresie walki z kryzysem klimatycznym, zrównoważonego rozwoju oraz poprawy jakości życia mieszkańców. Zarówno pojęcie „smart city”, jak i „zielone technologie” wielokrotnie funkcjonują w literaturze jako komplementarne, jednakże każde z nich posiada odrębne podstawy definicyjne i funkcjonalne.

2. POJĘCIE ZIELONYCH TECHNOLOGII W KONTEKŚCIE MIEJSKIM

Zielone technologie (ang. green technologies lub environmental technologies) odnoszą się do procesów, systemów oraz produktów, które mają na celu zmniejszenie negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko przy jednoczesnym wspieraniu efektywnego wykorzystywania zasobów naturalnych (Karakiewicz, 2013; OECD, 2011). W odniesieniu do miast oznacza to, między innymi zastosowanie technologii, które służą redukcji emisji gazów cieplarnianych, ochronie zasobów wodnych, gospodarce odpadami oraz poprawie efektywności energetycznej (Albino et al., 2015).

2.1. Definicja i cechy smart city

Pojęcie to nie posiada jednej przyjętej definicji, jednakże powszechnie przyjmuje się, iż odnosi się ono do miasta, które wykorzystuje nowoczesne technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT), aby poprawiać jakość życia mieszkańców i efektywność usług publicznych oraz chronić środowisko (Caragliu et al., 2011; Batty et al., 2012). Inteligentne miasta cechują się dążeniem do neutralności klimatycznej, otwartością danych, zrównoważeniem, interoperacyjnością systemów i partycypacją społeczną (Angelidou, 2014; Neirotti et al., 2014).

2.2. Klasyfikacje zielonych technologii smart city

Zielone technologie smart city w literaturze naukowej klasyfikuje się według różnych kryteriów. Jednym z najbardziej popularnych sposobów klasyfikacji jest ta według obszaru zastosowania (Zanella et al., 2014):

- Energetyka – systemy zarządzania energią w budynkach (building energy management systems – BEMS), panele fotowoltaiczne, inteligentne sieci (smart grids),
- Transport – transport publiczny zasilany energią odnawialną, elektromobilność, rowery miejskie,
- Woda i odpady – recykling oparty na IoT, inteligentne kosze na śmieci, systemy monitorowania zużycia wody,
- Zielen miejska i jakość powietrza – zielone dachy i ściany, planowanie urbanistyczne sprzyjające cyrkulacji powietrza oraz czujniki środowiskowe.

2.3. Praktyczne zastosowania zielonych technologii w smart city

Na całym świecie można znaleźć przykłady praktycznego zastosowania zielonych technologii. W Barcelonie w ramach systemu zarządzania zasobami wodnymi zainstalowano sieć czujników środowiskowych, co umożliwiło usprawnienia w gospodarce wodnej dzięki sieci czujników i systemom zarządzania (Bakici et al., 2013), a w Singapurze wdrożono Smart Nation Initiative, mającą na celu integrację systemów transportowych, środowiskowych oraz energetycznych, co ma skutkować zwiększeniu jakości życia w wysoce zurbanizowanym i gęsto zaludnionym mieście (Chourabi et al., 2012).

3. ZIELONE TECHNOLOGIE W SMART CITY JAKO

NARZĘDZIE POPRAWY JAKOŚCI ŻYCIA MIESZKAŃCÓW

Zielone technologie w kontekście smart city są zintegrowanym zestawem rozwiązań urbanistycznych, technologicznych oraz środowiskowych. Ich celem jest wsparcie zrównoważonego rozwoju miejskiego, ale przede wszystkim zmniejszenie negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko przy jednoczesnym podnoszeniu jakości życia ich mieszkańców. W literaturze (Bibri & Krogstie, 2017; Ahvenniemi et al., 2017) podkreśla się, że rozwiązania te nie tylko odpowiadają na rosnące potrzeby społeczne związane ze zdrowiem, dostępem do czystej przestrzeni publicznej czy komfortem życia, ale również służą poprawie efektywności miejskich systemów.

Do najczęściej opisywanych zielonych technologii w miastach typu smart city należą:

- Inteligentne systemy energetyczne, takie jak smart grids i mikrosieci, umożliwiające efektywne zarządzanie energią odnawialną, poprzez zmniejszanie emisji CO₂ i obniżanie kosztów dla użytkowników (Kramers et al., 2014).
- Zielona infrastruktura, tak jak, na przykład dachy i ściany pokryte roślinnością, parki kieszonkowe czy inteligentne systemy nawadniania, które wpływają na mikroklimat miejski i poprawę estetyki przestrzeni publicznej, a w upalne dni także na obniżenie temperatury (Neirotti et al., 2014).
- Systemy transportu niskoemisyjnego, takie jak rowery miejskie, pojazdy elektryczne, aplikacje do współdzielenia pojazdów bądź inteligentne systemy zarządzania ruchem (Mora et al., 2019).
- Cyfrowe zarządzanie środowiskiem, obejmujące, na przykład czujniki jakości powietrza, wody, poziomu hałasu czy też natężenia ruchu, pozwalające miastom reagować w czasie rzeczywistym na problemy środowiskowe (Ahvenniemi et al., 2017).

W literaturze naukowej dotyczącej omawianej tematyki, często wskazuje się, iż pozytywne skutki implementacji zielonych technologii są bezpośrednio odczuwalne przez mieszkańców, między innymi poprzez:

- zmniejszenie zachorowań na choroby układu oddechowego i sercowo-naczyniowego,
- wzrost poziomu satysfakcji z życia oraz dobrostanu psychicznego,
- większe zaangażowanie obywatelskie w życie miejskie dzięki aplikacjom, a także systemom partycypacyjnym (Bibri, 2021),
- poprawę bezpieczeństwa, jak i również komfortu przestrzeni miejskich.

Przykładami wdrożenia w życie dobrych praktyk są miasta, takie jak wspomniana wyżej Barcelona, Amsterdam czy Kopenhaga, w których po wprowadzeniu zielonych technologii odnotowano poprawę jakości powietrza, wzrost liczby użytkowników. Raportowane są poprawy jakości powietrza i efektywności energetycznej w różnych programach miejskich (Kramers et al., 2014; Bibri & Krogstie, 2017).

4. WYZWANIA I OGRANICZENIA ZWIĄZANE Z

IMPLEMENTACJĄ ZIELONYCH TECHNOLOGII W SMART CITY

Pomimo licznych zalet, literatura wskazuje również na istotne wyzwania ściśle związane z zielonymi technologiami w miastach. Transformacja ta wymaga dużych nakładów finansowych, zaawansowanego zaplecza technologicznego oraz rozwijanej infrastruktury. Elementy te nie zawsze są dostępne, szczególnie w miastach średnich oraz małych (Neirotti et al., 2014).

Kolejnym wyzwaniem są nierówności cyfrowe oraz społeczne, które mogą prowadzić do niezamierzonych skutków społecznych, prowadząc tym razem do wykluczenia mniej zamożnych grup społecznych z przestrzeni publicznej (Bibri, 2021). Omawiane technologie są uznawane potencjalnie za inkluzyjne, ale często projektowane z myślą o potrzebach klasy średniej, z pominięciem osób starszych, mniej wykształconych czy wykluczonych cyfrowo.

W literaturze kładzie się również nacisk na fakt braku spójnej strategii wdrażania technologii zielonych, czego skutkiem jest fragmentaryzacja działań oraz niewykorzystany potencjał transformacyjny. Jak zauważa Kramers i in. (2014), w wielu miastach uwaga jest skupiona na pojedynczych projektach pilotażowych, nie integrując ich z szerszą polityką miejską i bez zapewnienia odpowiedniego systemu monitorowania ich długofalowego wpływu na jakość życia mieszkańców.

Istotne ograniczenie stanowi także niedostateczne włączenie mieszkańców w procesy decyzyjne. Wdrożenia smart city, w tym również technologii zielonych, często mają odgórny przebieg, pozbawiony realnego udziału społeczności lokalnych, co z kolei prowadzi do niskiego poziomu akceptacji, nieefektywnego użytkowania nowych rozwiązań i braku zaufania (Ahvenniemi et al., 2017).

Problemem jest również złożoność mierzenia jakości życia, ponieważ brakuje uniwersalnych wskaźników pozwalających obiektywnie oceniać wpływ technologii na dobrostan mieszkańców. Większość badań operuje wskaźnikami technicznymi, takimi jak poziom emisji CO₂, rzadziej uwzględniając długoterminowe skutki społeczno-kulturowe czy subiektywne odczucia mieszkańców.

5. PODSUMOWANIE

Podsumowując, zielone technologie w koncepcji inteligentnych miast stanowią kluczowy element wsparcia zrównoważonego rozwoju miejskich przestrzeni i poprawy jakości życia ich mieszkańców. Analiza literatury wskazuje, iż wdrożenia tychże technologii przynoszą wymierne korzyści społeczne oraz środowiskowe, w tym także redukcję emisji zanieczyszczeń, podniesienie komfortu i poziomu zdrowia mieszkańców czy też zwiększenie efektywności energetycznej. Proces tejże transformacji wymaga jednak pokonania istotnych wyzwań takich jak potrzeba integracji różnorodnych systemów czy wysokie koszty inwestycji, jak i również aktywne zaangażowanie społeczności lokalnych, w celu uniknięcia zjawisk wykluczenia i nierówności.

Wobec dynamicznych zmian urbanistycznych oraz rosną-

cych wymagań mieszkańców, przyszłe badania w tym obszarze powinny być skoncentrowane na rozwijaniu holistycznych modeli wdrażania zielonych technologii, łączących aspekty społeczne, ekonomiczne i techniczne. Istotne jest także opracowanie standardów oceniających wpływ omawianych technologii na subiektywną jakość życia oraz identyfikacja praktyk, które umożliwią szeroką partycypację obywatelską na najwyższym poziomie. Zielone technologie mogą stać się fundamentem inteligentnych miast przyszłości, będących bardziej odpornymi na zmiany klimatu oraz lepiej dostosowanymi do potrzeb ich mieszkańców.

REFERENCES

- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41(S1), S3–S11. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.06.007>
- Bakici, T., Almirall, E., & Wareham, J. (2013). A smart city initiative: The case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 135–148. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0084-9>
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., ... Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Bibri, S. E. (2021). The eco-city and its core environmental dimension of sustainability: Green energy technologies and their integration with data-driven smart solutions. *Energy Informatics*, 4(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s42162-021-00136-4>
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183–212. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. In *Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 2289–2297). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2012.615>
- Desideri, U., & Verducci, M. (2017). Smart grids for smart cities. In *Advances in Energy Research* (Vol. 5, pp. 163–188). Bentham Science. <https://doi.org/10.2174/9781681084634117050009>
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Vienna University of Technology. https://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
- Karakiewicz, J. (2013). Zielone technologie w rozwoju miast. *Przestrzeń i Forma*, 19, 123–134.
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *Geo-Journal*, 79(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>
- Kramers, A., Höjer, M., Lövehagen, N., & Wangel, J. (2014). Smart sustainable cities – Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities. *Environmental Modelling & Software*, 56, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.019>
- Mora, L., Bolici, R., & Deakin, M. (2019). The first two decades of smart-city research: A bibliometric analysis. *Journal of Urban Technology*, 26(2), 3–27. <https://doi.org/10.1080/10630732.2019.1578832>
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference* (pp. 282–291). ACM. <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>
- OECD. (2011). *OECD Green Growth Studies: Energy*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264115118-en>
- Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trouse, B., Nilsson, M., & Oliveira, A. (2011). Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation. In *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 6656, pp. 431–446). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20898-0_31
- Yigitcanlar, T., & Lee, S. H. (2014). Korean ubiquitous-eco-city: A smart-sustainable urban form or a branding hoax? *Technological Forecasting and Social Change*, 89, 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.034>
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>