

Ewa Maria Włodyka

Politechnika Koszalińska

ORCID: 0000-0002-8229-342X

ewa.wlodyka@tu.koszalin.pl

## Potencjał pomiaru rezyliencji smart cities

### Streszczenie

Ocena odporności (rezyliencji) tzw. inteligentnych miast (*smart cities*) integruje cztery podstawowe wskaźniki techniczne: solidność, nadmiarowość, zaradność i szybkość, z szerszymi czynnikami ekonomicznymi, społecznymi i środowiskowymi, z jednoczesnym uwzględnieniem współzależności systemowych. Głównym wskaźnikiem zidentyfikowanym w analizowanych badaniach jest zdolność do monitorowania infrastruktury w czasie rzeczywistym i wczesnego ostrzegania o potencjalnych awariach. Pomiar odporności inteligentnej infrastruktury zmierza w kierunku bardziej zintegrowanego i holistycznego podejścia.

Hipoteza badawcza (H1) zakładała niski potencjał pomiaru odporności inteligentnych miast (SC). Badanie polegało na poznaniu wskaźników, które można wykorzystać do oceny odporności miast i czy istnieje porównywalność między badaczami. Wyniki sugerują, że wskaźniki odporności różnią się w zależności od doktrynalnych definicji zarówno inteligentnych miast, jak i samej odporności. Wyniki badań podkreślają znaczenie oceny wartości krytycznych w czasie rzeczywistym i kładą nacisk na wymiar ekonomiczny, społeczny, środowiskowy, organizacyjny i instytucjonalny.

Badania nie zweryfikowały w pełni wszystkich aspektów postawionej hipotezy. Potrzebne jest multidyscyplinarne podejście obejmujące nie tylko struktury zarządzania, lecz także podstawy prawne oraz pełniejsze ujmowanie idei *smart city* w myśl Smart City 4.0. To ujęcie wymaga uwzględnienia nie tylko powiązań infrastruktury miejskiej z technologiami informacyjno-komunikacyjnymi (*Information and Communications Technology* – ICT), lecz także antropocentrycznego podejścia do tej jednostki samorządu terytorialnego.

### Słowa kluczowe

*smart city*, rezyliencja, samorząd terytorialny

## Wstęp

Tematem badawczym niniejszego artykułu jest potencjał pomiaru rezyliencji jednostek samorządu terytorialnego określanych mianem *smart city* (SC). Celem badania jest zweryfikowanie hipotezy badawczej (H1), która zakłada, że potencjał pomiaru rezyliencji SC jest niski. Żeby zweryfikować postawioną hipotezę, sformuowano pytania badawcze: Jakie wskaźniki można wykorzystać do oceny odporności inteligentnych systemów miejskich w odpowiedzi na nieoczekiwane wyzwania? Czy można mówić o porównywalności wskaźników rezyliencji SC wśród badaczy? Czy różnią się wskaźniki rezyliencji w zależności od doktrynalnych definicji SC i samej rezyliencji? Badanie polegało na analizie opracowań naukowych i miało charakter wstępny do pogłębionej metaanalizy zagadnienia rezyliencji SC. W tym celu została przeszukana baza artykułów naukowych Semantic Scholar oraz Sciece Direct. Po wstępnej selekcji okazało się, że potencjał porównawczy rezyliencji SC jest możliwy do realizacji, jeżeli zostanie zawężona definicja SC *sensu stricto* do jej wersji SC 1.0 (SC jako przejaw infrastruktury miejskiej połączonej za pomocą ICT). Dlatego do selekcji badań zastosowano kryteria:

a) definicyjne ujęcie SC jako SC 1.0: Czy badanie wyraźnie koncentruje się na inteligentnych systemach miejskich lub infrastrukturze z określonymi podejściami pomiarowymi lub wskaźnikami?;

b) mierniki odporności: Czy badanie obejmuje wyraźne metryki odporności, wskaźniki lub ramy pomiarowe stosowane specjalnie w kontekście inteligentnych miast?;

c) typ badania: Czy badanie ma charakter empiryczny (studium przypadku, analiza ilościowa lub analiza jakościowa) z udokumentowanym wdrożeniem lub testowaniem proponowanych metod?;

d) wyzwania miejskie: Czy badanie analizuje konkretne reakcje na wyzwania miejskie lub zakłócenia w środowiskach inteligentnych miast?;

e) typ przeglądu: Czy badanie jest pierwotnym lub systematycznym przeglądem lub metaanalizą koncentrującą się w szczególności na odporności SC?;

f) zakres odporności: Czy badanie dotyczy wielu elementów odporności miast (zamiast skupiać się na jednym aspekcie, takim jak tylko cyberbezpieczeństwo)?

Pod uwagę wzięto rodzaj kryteriów oceny odporności (np. odgórne, zintegrowane, kompleksowe). Podjęto próbę określenia konkretnego systemu miejskiego lub dziedziny, na której koncentrowała się ocena odporności (np. system zaopatrzenia w wodę, system transportowy, infrastruktura miejska, adaptacja do zmian klimatu czy inne specyficzne usługi miejskie). Na podstawie dalszej selekcji artykułów naukowych podjęto próbę identyfikacji wskaźników wykorzystywanych do oceny odporności systemu miejskiego. Następnie zostały wyodrębnione grupy konkretnych wskaźników (np. społeczne, ekonomiczne, techniczne, środowiskowe) i sposób pomiaru lub ich kwantyfikacji. Na koniec podjęto próbę określenia, w jaki sposób dane badanie odnosi się do niepewności w ocenie odporności (i jej potencjalny rodzaj).

### Koncepcja smart city

Koncepcja odporności SC<sup>1</sup> w ostatnich latach zyskała na znaczeniu, zwłaszcza że obszary miejskie stoją przed rosnącymi wyzwaniami związanymi ze zmianami klimatu, pandemiemi czy szybką urbanizacją.

Każde miasto jest wyjątkowe i posiada walory, które wyróżniają je na tle innych. Jednakże wszystkie miasta zmagają się z wyzwaniami, jak np.: rozwarstwienie społeczne, akty wandalizmu (często związane ze wzrostem bezrobocia), niedobory wody pitnej czy zdrowej żywności. Do problemów wymagających rozwiązania należą takie wyzwania w zakresie zadań własnych jednostek samorządu na poziomie gminy o statusie miasta, jak: zaśmiecanie i zanieczyszczanie środowiska, ograniczenie przestrzeni zielonych (tzw. płuca miasta), zwiększony ruch uliczny itp. Idea SC początkowo (a potocznie i czasem w dalszym ciągu) była kojarzona oraz badana jako ta nad miastem, w którym technologie informacyjno-komunikacyjne są połączone z tradycyjną infrastrukturą, skoordynowane i zintegrowane z użyciem nowych technologii cyfrowych<sup>2</sup>. Czasem ten rodzaj definiowania SC *sensu stricto* określa się mianem Smart City 1.0, dla odróżnienia od Smart City 4.0. Przykładowo,

- 1 W pracach polskich badaczy tłumaczona bezpośrednio z języka angielskiego nazwa *smart city* to także inteligentne miasto.
- 2 M. Batty i in., *Smart Cities of the Future*, „The European Physical Journal Special Topics” 2012, nr 1, s. 482 i nast.

Michael Batty (wraz ze współautorami)<sup>3</sup> kilkanaście lat temu zdefiniował siedem celów, które dotyczyły: rozwoju nowego rozumienia problemów miejskich; skutecznych i wykonalnych sposobów koordynowania technologii miejskich; modeli i metod wykorzystywania danych miejskich w różnych skalach przestrzennych i czasowych; rozwoju nowych technologii komunikacji i rozpowszechniania; rozwoju nowych form zarządzania i organizacji miejskiej; definiowania krytycznych problemów związanych z miastami, transportem i energią; identyfikacji ryzyka, niepewności i zagrożeń w inteligentnym mieście. Wielu autorów skupiało się nad takimi wyzwaniami badawczymi, jak: powiązanie infrastruktury inteligentnych miast z ich funkcjonowaniem operacyjnym i planowaniem poprzez zarządzanie, kontrolę i optymalizację; zbadanie pojęcia miasta jako laboratorium innowacji; dostarczenie portfeli symulacji miejskich, które informują o przyszłych projektach; opracowanie technologii zapewniających równość, sprawiedliwość i lepszą jakość życia w mieście; opracowanie technologii zapewniających świadome uczestnictwo i tworzenie wspólnej wiedzy do demokratycznego zarządzania miastem; zapewnienie ludności miejskiej większej i bardziej efektywnej mobilności i dostępu do możliwości.

Obecnie idea SC jest definiowana szerzej, uwzględnia bowiem społeczny wymiar tejże idei oraz antropocentryzm, koncentrację na człowieku, tradycyjnie zakładające, że ludzie mają wewnętrzną wartość dzięki unikalnym zdolnościom w epistemologii i behawioryzmie<sup>4</sup>. Samo funkcjonowanie jednostek miejskich wdrażających, w mniejszym lub większym stopniu, ideę *smart city* w literaturze poddawane jest przekrojowym badaniom podmiotowym i przedmiotowym w ciągu określonego czasu<sup>5</sup>. Widoczne jest podejście miast różnorodnych, dostępnych dla wszystkich i jednocześnie miast spójnych.

3 Ibidem.

4 S.M. Sikandar, S.M. Ali, Z. Hassan, *Harmonizing Smart City Tech and Anthropocentrism for Climate Resilience and Nature's Benefit*, „Social Sciences & Humanities Open” 2024, nr 10, s. 101–126.

5 P. Ingwersen, A.E. Serrano-López, *Smart City Research 1990–2016*, „Scientometrics” 2018, t. 117, nr 2, s. 1205–1236; T. Aditya i in., *Community needs for the digital divide on the smart city policy*, „Heliyon” 2023, t. 9, nr 8; O. Dashkevych, B.A. Portnov, *Does city smartness improve urban environment and reduce income disparity? Evidence from an empirical analysis of major cities worldwide*, „Sustainable Cities and Society” 2023, t. 96, s. 10471 i nast.

Chociaż idea stojąca za tą koncepcją wydaje się, że jest dobrze rozumiana na całym świecie pod względem zaangażowania inteligentnej technologii obejmującej pewne aspekty sztucznej inteligencji, koncepcja ta jest zdecydowanie czymś więcej niż tylko cyfryzacją<sup>6</sup>. W zależności od obszaru i dziedziny nauk badawczych w definicjach doktrynalnych widoczne są różnice koncepcyjne tej idei<sup>7</sup>. Wydaje się, że brak jest jednoznacznej definicji SC. Jednakże na podstawie wyników badań można stwierdzić, że SC integrują różne systemy miejskie, w tym infrastrukturę miejską, technologie informacyjne i komunikacyjne (ICT), systemy transportowe, sieci energetyczne, systemy telekomunikacyjne czy systemy zaopatrzenia w wodę<sup>8</sup>. Koncepcja SC obejmuje wiele aspektów, łączy inteligentności z systemami miejskimi<sup>9</sup>. Zazwyczaj mają one wzajemnie połączone systemy i powiązania międzysektorowe, które umożliwiają skoordynowane funkcjonowanie miast<sup>10</sup>.

Miasta, a także jednostki samorządowe – gminy, powiaty – potrzebują odpowiednich wskaźników do pomiaru efektów ich działalności, a istniejące dotychczas są często niespójne. Polski Komitet Normalizacyjny w 2017 r. opublikował normę PN-ISO 37120:2015-03. Zrównoważony rozwój społeczny – Wskaźniki usług miejskich i jakości życia. Jest ona jedną z serii norm międzynarodowych opracowywanych przez ISO na potrzeby zintegrowanego podejścia do zrównoważonego rozwoju. Jej celem jest pomoc miastom w kierowaniu i ocenie efektów działalności w sferze usług miejskich oraz jakości życia. Może być także pomocna w analizach i porównaniach stopnia rozwoju oraz określania potrzeb poszczególnych miast<sup>11</sup>. Norma ta jest kompatybilna z wynikami badań przeprowadzonych na podstawie europejskiego badania

6 M. Gasco-Hernandez, G. Nasi, M. Cucciniello, A.M. Hiedemann, *The role of organizational capacity to foster digital transformation in local governments: The case of three European smart cities*, „Urban Governance” 2022, nr 2, s. 237.

7 B. Tundys, E. Puzio, K. Bochanek, *Smart city: modele, generacje, pomiar i kierunki rozwoju*, Kraków–Legionowo 2022, s. 67–78.

8 A. Sharifi, Z. Allam, *On the Taxonomy of Smart City Indicators and Their Alignment with Sustainability and Resilience*, „Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science” 2022, t. 49, nr 5.

9 H. Khatibi i in., *Navigating Climate Change Challenges through Smart Resilient Cities: A Comprehensive Assessment Framework*, „Land” 2024, t. 13, nr 3, s. 266.

10 A. Sharifi, Z. Allam, op. cit., s. 1540.

11 Norma PN-ISO 37120, <https://www.pkn.pl/norma-pn-iso-37120> [dostęp: 1.02.2025].

miast średniej wielkości i perspektyw ich rozwoju w kontekście rozwoju idei *smart city* do wersji Smart city 4.0<sup>12</sup>.

Warte uwagi jest podkreślenie osobnych rozwiązań do realizacji samej idei oraz rezyliencji w zakresie *smart villages*<sup>13</sup>. Przykładowo, na terenach, gdzie zazwyczaj brakuje rozległych, gęstych sieci występujących w miastach, ich infrastruktura może być mniej zaawansowana technologicznie<sup>14</sup>. Jednocześnie w literaturze pojawiają się rozwiązania dotyczące problemów społecznych jako wyzwań dla terenów wiejskich, m.in. w kontekście osób starszych, dorosłych<sup>15</sup>.

## Rezyliencja

Pojęcie „rezyliencja” jest definiowane na różne sposoby, często zależnie od kontekstu analizy, niezależnie od tego, czy jest to zasób, obiekt czy system składający się na zjawisko rezyliencji rozumianej jako umiejętność odporności. Między innymi jako jedno z podejść do zagadnienia bezpieczeństwa dostarcza inspiracji do zmiany sposobu myślenia o zarządzaniu kryzysowym, rozproszeniu odpowiedzialności za bezpieczeństwo czy temporalności zagrożeń. Rezyliencja skupia uwagę na wspólnotowych i indywidualnych mechanizmach radzenia sobie z kryzysami, dostosowania do ciężkich warunków oraz

- 12 *Europeansmartcities 4.0 (2015)*, <https://www.smart-cities.eu/?cid=01&ver=4> [dostęp: 1.02.2025]; <https://www.smart-cities.eu/> [dostęp: 1.02.2025].
- 13 Więcej na ten temat zob.: K. Bokun, J. Nazarko, *Smart villages concept – A bibliometric analysis and state-of-the-art literature review*, „Progress in Planning” 2023, s. 100765; A. Bielska, M. Stańczuk-Gałowiczek, K. Sobolewska-Mikulska, R. Mroczkowski, *Implementation of the smart village concept based on selected spatial patterns – A case study of Mazowieckie Voivodeship in Poland*, „Land Use Policy” 2021, nr 104; S. Fennell i in., *Examining linkages between Smart Villages and Smart Cities: Learning from rural youth accessing the internet in India*, „Telecommunications Policy” 2018, t. 42, nr 10; P.K. Malik i in., *Village 4.0: Digitalization of village with smart internet of things technologies*, „Computers & Industrial Engineering” 2022, nr 165.
- 14 A. Almaleh, *Measuring Resilience in Smart Infrastructures: A Comprehensive Review of Metrics and Methods*, „Applied Sciences” 2023, t. 13, nr 11.
- 15 Por.: D. Bogataj, F.C. Bolarin, M. Kavšek, V. Rogelj, *Smart Silver Villages as part of Social Infrastructure for Older Adults in Rural Areas*, „IFAC-PapersOnLine” 2020, t. 53, nr 2; V. Rogelj, D. Bogataj, *Smart Age-Friendly Villages: Literature Review and Research Agenda*, ibidem 2022, t. 55, nr 10.

powrocie do jakiejś formy normalnego stanu po okresie kryzysu<sup>16</sup>. Inteligentne miasta wykorzystują technologię i dane w celu zwiększenia ich odporności, które są definiowane jako zdolności miast do absorpcji, adaptacji i regeneracji po różnych wstrząsach i stresach, w tym klęskach żywiołowych i zakłóceniach społeczno-gospodarczych<sup>17</sup>. Tak wieloaspektowe podejście integruje różne rodzaje odporności, w tym czynniki ekologiczne, społeczne i ekonomiczne, w celu stworzenia środowisk miejskich, które są nie tylko zaawansowane technologicznie, lecz także zrównoważone i elastyczne.

Jednym z głównych aspektów odporności inteligentnych miast jest integracja technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) w celu usprawnienia świadczenia usług i zarządzania. Technologie te ułatwiają gromadzenie i analizę danych w czasie rzeczywistym, co może informować o procesach decyzyjnych i poprawiać zdolność reagowania systemów miejskich na sytuacje kryzysowe<sup>18</sup>. Dla przykładu, wykorzystanie inteligentnych sieci wodociągowych zostało w badaniach Fataia A. Adelaniego uznane za sposób na zwiększenie odporności miast poprzez optymalizację gospodarki wodnej dzięki wykorzystaniu zaawansowanego monitorowania i analizy danych, i tym samym sprostanie wyzwaniom związanym ze zmianami klimatu i urbanizacją<sup>19</sup>. Ponadto wykazano, że włączenie zasad projektowania biofilnego – integrującego naturę ze środowiskiem miejskim – znacząco przyczynia się do odporności miast poprzez poprawę usług ekosystemowych i promowanie dobrobytu społeczności<sup>20</sup>.

Wyniki pokazują także, że inteligentne polityki miejskie znacząco zwiększają odporność energetyczną poprzez trzy odrębne ścieżki: optymalizację

16 M. Stęпка, *Rezyliencja jako paradygmat bezpieczeństwa w czasach przewlekłych kryzysów*, „Przegląd Politologiczny” 2021, nr 2, s. 105.

17 Por.: D. Li i in., *Smart City and Resilient City: Differences and Connections*, „WIREs Data Mining and Knowledge Discovery” 2020, t. 10, nr 6; N. Farag, G.A. Eldayem, A. Abd Elfatah, *Smart Resilience City As An Approach To Improve Disaster Risk Reduction*, „Journal of Urban Research” 2023, t. 47, nr 1.

18 H. Khatibi i in., *Navigating Climate Change...*, s. 266.

19 F.A. Adelani, E.S. Okafor, B.S. Jacks, O.A. Ajala, *Exploring theoretical constructs of urban resilience through smart water grids: case studies in african and U.S. cities*, „Engineering Science & Technology Journal” 2024, t. 5, nr 3, s. 985.

20 S. Tarek, A.S.E. Ouf, *Biophilic Smart Cities: The Role of Nature and Technology in Enhancing Urban Resilience*, „Journal of Engineering and Applied Science” 2021, t. 68, nr 1, s. 40.

alokacji zasobów, modernizację struktury przemysłowej i promowanie postępu technologicznego. Warto zauważyć, że polityka inteligentnego miasta ma bardziej korzystny wpływ na miasto charakteryzujące się niskimi wydatkami finansowymi, zaludnione, wykorzystujące zróżnicowane zasoby, mające duży kapitał ludzki i położone w regionie wschodnim. Badanie to pomaga w ulepszeniu i promowaniu inteligentnych polityk miejskich, tym samym zwiększa odporność energetyczną i osiąga zrównoważony rozwój obszarów miejskich<sup>21</sup>.

Ponadto nie można pominąć znaczenia zaangażowania społeczności i mediów społecznościowych we wspieranie odporności. Badania pokazują, że media społecznościowe mogą zwiększać odporność społeczności, ułatwiać komunikację i wymianę informacji podczas kryzysów i w ten sposób wzmacniać więzi społeczne i działania zbiorowe<sup>22</sup>. Było to szczególnie ważne podczas pandemii COVID-19. Miasta, które skutecznie wykorzystywały media społecznościowe do rozpowszechniania informacji i angażowania obywateli, wykazały się większą odpornością<sup>23</sup>.

Wpływ na rezyliencję SC ma też przestrzenny rozkład zdolności odpornościowych w inteligentnych miastach. Przykładowo, badania przeprowadzone w miastach nieprovincialnych w Chinach ujawniły znaczne różnice przestrzenne w zakresie odporności. Wyniki wskazywały, że miasta północne wykazywały większą odporność na zagrożenia społeczne w porównaniu z ich południowymi odpowiednikami<sup>24</sup>. Świadczy to o znaczeniu lokalnych strategii w zwiększaniu odporności miast, ponieważ różne regiony mogą doświadczać wyjątkowych trudności, które będą wymagać rozwiązań dostosowanych do ich specyfiki.

Ważne dla rezyliencji samorządów chcących być *smart* jest to, żeby funkcjonujące na ich terenie administrowania inteligentne organizacje były

21 Z. Wang, Y. Hao, *Can Smart Cities Improve Energy Resilience? Evidence from 229 Cities in China*, „Sustainable Cities and Society” 2024, nr 117, s. 105971 i nast.

22 S. Tarek, A.S.E. Ouf, op. cit.

23 S.A. Apostu, R. Vasile, J. Rosak-Szyrocka, *Do Smart Cities Represent the Key to Urban Resilience? Rethinking Urban Resilience*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2022, t. 19, nr 22, s. 15410.

24 X. Dong, T. Shi, W. Zhang, Q. Zhou, *Temporal and Spatial Differences in the Resilience of Smart Cities and Their Influencing Factors: Evidence from Non-Provincial Cities in China*, „Sustainability” 2020, t. 12, nr 4, s. 1321.

zakorzenione w lokalnych i regionalnych systemach innowacji o silnych strukturach instytucjonalnych<sup>25</sup>.

Jednocześnie rodzaje zagrożeń wpływających na poziom rezyliencji ewoluują. Coraz większa liczba cyberataków zagraża zarówno konsumentom, jak i firmom oraz instytucjom publicznym. W odpowiedzi na te wyzwania Unia Europejska wprowadziła „Cyber Resilience Act” (ustawę o cyberodporności) – akt prawny, który nakłada obowiązkowe wymogi dotyczące cyberbezpieczeństwa dla sprzętu i oprogramowania. W kontekście SC i znaczenia dla jego funkcjonowania ICT, a także internetu rzeczy (IoT) szczególne znaczenie ma właśnie tenże dokument<sup>26</sup>. Podobnie jak tzw. *soft law*, które przybierają formę zaleceń, wytycznych lub zasad. Jednakże nie powinny one mieć charakteru legislacyjnego, a jedynie stanowić wykładnię obowiązujących norm dokonaną przez organ nadzorczy w obszarze cyberbezpieczeństwa<sup>27</sup>.

Podsumowując, rozwój odporności SC jest możliwy poprzez kompleksowe podejście, które integruje wiele czynników zewnętrznych i wewnętrznych funkcjonowania SC, w tym technologię, zaangażowanie społeczności i lokalne strategie.

### Mierniki rezyliencji SC – wyniki badań

Na podstawie literatury wytypowanej do analizy w badaniu, mimo że nie ma jednej wyraźnej definicji odporności, koncepcja rezyliencji charakteryzuje się kilkoma podstawowymi cechami i wskaźnikami. Badania infrastruktury miejskiej i systemów usługowych opisują przede wszystkim podstawowe wskaźniki techniczne. Według Abdulaziza Almaleha odporność obejmuje cztery główne zdolności:

- 25 H. Godlewska-Majkowska, T. Pilewicz, P. Zarębski, *Smart organizations in the public sector: sustainable local development in the European Union. Citizenship and sustainability in organizations*, Nowy Jork–Londyn 2024, s. 220.
- 26 Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2847 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie horyzontalnych wymogów w zakresie cyberbezpieczeństwa dla produktów z elementami cyfrowymi oraz zmieniające rozporządzenia (UE) nr 168/2013 i (UE) 2019/1020 oraz dyrektywę (UE) 2020/1828 (Ustawa o odporności cybernetycznej) (Tekst mający znaczenie dla EOG), Dz. Urz. UE 2024, L 2847.
- 27 P. Pelc, *Soft Law in Cybersecurity Regulations Addressed to Polish Financial Institutions*, „Ius et Securitas” 2024, nr 2, s. 96 i nast.

a) solidność, odporność (*robustness*) – zdolność systemu do wytrzymania zakłóceń bez znaczącej degradacji lub utraty wydajności;

b) nadmiarowość (*redundancy*) – zakres, w jakim dostępne są alternatywne możliwości lub systemy zapasowe;

c) zaradność, zasobność (*resourcefulness*) – zdolność do identyfikowania problemów, ustalania celów i mobilizowania zasobów; zdolność do mobilizacji zasobów i radzenia sobie z pojawiającymi się wyzwaniem;

d) szybkość (*rapidity*) – szybkość powrotu do normalnego funkcjonowania po zakłóceniu<sup>28</sup>.

Odporność może być mierzona według różnych kryteriów, m.in.: technicznych, organizacyjnych, ekonomicznych, społecznych i środowiskowych<sup>29</sup>. Z punktu widzenia SC odporność jest często zintegrowana z inteligentnością<sup>30</sup> i uwzględnia współzależności systemowe<sup>31</sup>. Koncepcja ta jest urzeczywistniana poprzez stosowanie różnych ocen, które mierzą zdolność systemu do utrzymania funkcjonalności i odbudowy po zakłóceniach, zwłaszcza w kontekście infrastruktury miejskiej.

Wykorzystanie wskaźników jest powszechnie stosowaną metodą pomiaru odporności na poziomie globalnym. Polega ona na ustaleniu konkretnych wskaźników i wartości progowych w celu określenia odporności systemów infrastruktury. Tym samym można zapewnić ilościową ocenę odporności dla różnych rodzajów infrastruktury<sup>32</sup>. Można wyróżnić następujące metody pomiaru: ANL – oparta na wskaźnikach metodologii oceny odporności za pomocą indeksu odporności (RI) opracowanego przez Argonne National Laboratory, REWI (*Resilience-Based Early Warning Indicator*) – metoda wskaźnika wczesnego ostrzegania opartego na odporności, *The SmartResilience RIL Method*, *DHS Infrastructure Survey Tool* czy metoda ilościowa (holistyczna)<sup>33</sup>.

28 A. Almaleh, op. cit., s. 6452 i nast.

29 G. Rocher, J. Tigli, S. Lavirotte, N. Ferry, *A Framework Towards Assessing the Resilience of Urban Transport Systems*, [w:] *Proceedings of the 19th International Conference on Availability, Reliability and Security*, Wiedeń 2024, s. 1 i nast.

30 H. Khatibi i in., *An Integrated Framework for Assessment of Smart City Resilience*, „Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science” 2022, t. 49, nr 5, s. 1560.

31 A. Almaleh, op. cit., s. 6452 i nast.

32 Ibidem.

33 Ibidem.

Dodatkowe badania dostarczają informacji o możliwości wykorzystania wartości krytycznych do oceny w czasie rzeczywistym i wskaźników obejmujących dziedziny: ekonomiczną, społeczną, środowiskową, organizacyjną i instytucjonalną. Dla przykładu, analizy systemów transportu miejskiego łączą ekonomiczne i społeczne wskaźniki wydajności, podczas gdy oceny zaopatrzenia w wodę integrują kryteria inteligentności z odpornością środowiskową. Kilku autorów podkreśla potrzebę uwzględnienia współzależności – mierzenia powiązań międzysektorowych i efektów kaskadowych – jako podstawowych elementów oceny odporności inteligentnych systemów miejskich.

Odporność miast w kontekście wyzwań stojących przed nimi jako nowoczesnymi ośrodkami administracyjnymi państwa jest rozpatrywana w różnorodnych obszarach. Wartości oceny SC wskazują, że nie była ona ograniczana i zawężana do ICT. Jednakże, czy w tej sytuacji można mówić o ujednoczeniu, uporządkowaniu czynników pozwalających stworzyć jednolity model rezyliencji? Wyniki analizy badanej literatury przedstawiono w tabeli.

Tabela 1. Rodzaje badanej w literaturze przedmiotu rezyliencji smart city

Lp.	Autor, rok badania	Tytuł artykułu	Rodzaj badanego obszaru SC	Typ zdolności rezyliencji	Ocena podejścia do badania mierników rezyliencji SC
1.	Almaleh A., 2023	<i>Measuring Resilience in Smart Infrastructures: A Comprehensive Review of Metrics and Methods</i> , „Applied Sciences” 2023, t. 13, nr 11	infrastruktura miejska, sieci energetyczne, systemy telekomunikacyjne	solidność, nadmiarowość, zaradność, szybkość	kompleksowe podejście
2.	Bellini E., Bellini P., Cenni D., Nesi P., Pantaleo G., Paoli I., Paolucci M., 2021	<i>An IoE and Big Multimedia Data Approach for Urban Transport System Resilience Management in Smart Cities</i> , „Sensors” 2021, t. 21, nr 2	przegląd systemów transportowych	nie wyróżniono	podejście wykorzystujące metodę analizy rezonansu funkcjonalnego (FRAM) i systemy wspomaganie decyzji

Lp.	Autor, rok badania	Tytuł artykułu	Rodzaj badanego obszaru SC	Typ zdolności rezyliencji	Ocena podejścia do badania mierników rezyliencji SC
3.	Khatibi H., Wilkinson S., Eriwata G., Sweya L.N., Baghersad M., Dianat H., Ghaedi K., Javanmardi A., 2022	<i>An Integrated Framework for Assessment of Smart City Resilience</i> , „Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science” 2022, t. 49, nr 5	systemy zaopatrzenia w wodę	nie wyróżniono	podejście kompleksowe z ponowną oceną inteligentności i oceną odporności
4.	Khatibi H., Wilkinson S., Sweya L.N., Baghersad M., Dianat H., 2024	<i>Navigating Climate Change Challenges through Smart Resilient Cities: A Comprehensive Assessment Framework</i> , „Land” 2024, t. 13, nr 3	systemy zaopatrzenia w wodę	odporność środowiskowa	podejście oceny inteligentnego i odpornego miasta
5.	Kutty A.A., Wakjira T.G., Kucukvar M., Abdella G.M., Onat N.C., 2022	<i>Urban Resilience and Livability Performance of European Smart Cities: A Novel Machine Learning Approach</i> , „Journal of Cleaner Production” 2022, nr 378	infrastruktura miejska i środowisko zurbanizowane	odporność społeczna, gospodarcza, infrastrukturalna i instytucjonalna	dwuetapowa struktura na podstawie danych z uczeniem maszynowym
6.	Möhrle S., Ottenburger S.S., Müller T.O., Trybushnyi D., Deines E., Raskob W., 2021	<i>Strengthening Resilience in Critical Infrastructure Systems: A Deep Learning Approach for Smart Early Warning of Critical States</i> , [w:] <i>Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL 2021)</i> , red. B. Castanier, M. Cepin, D. Bigaud, Ch. Berenguers, Singapur 2021	infrastruktura miejska, systemy łańcucha dostaw	wartości krytyczne	podejście głębokiego uczenia

Lp.	Autor, rok badania	Tytuł artykułu	Rodzaj badanego obszaru SC	Typ zdolności rezyliencji	Ocena podejścia do badania mierników rezyliencji SC
7.	Rocher G., Tigli J., Laviolette S., Ferry N., 2024.	<i>A Framework Towards Assessing the Resilience of Urban Transport Systems</i> , [w:] <i>Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference on Availability, Reliability and Security</i> , Wiedeń 2024	systemy transportowe	ekonomiczne, społeczne, organizacyjne, środowiskowe, techniczne	ujednolicone obejmujące niepewność aleatoryczną i epistemiczną
8.	Samarakody A., Amaratunga D., Haigh R., 2022	<i>Characterising Smartness to Make Smart Cities Resilient</i> , „Sustainability” 2022, t. 14, nr 19	infrastruktura miejska, ekosystem, informacja i technologia	nie wyróżniono	systematyczny przegląd literatury
9.	Sharifi A., Al-lam Z., 2021	<i>On the Taxonomy of Smart City Indicators and Their Alignment with Sustainability and Resilience</i> , „Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science” 2021, t. 49, nr 5	infrastruktura miejska, technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT), gospodarka, zarządzanie	nie wyróżniono	rozwój taksonomii i przegląd wskaźników oceny
10.	Sharifi A., 2022	<i>Smart city indicators: Towards exploring potential linkages to disaster resilience abilities</i> , „APN Science Bulletin” 2022, t. 12, nr 1	systemy transportowe, infrastruktura miejska, adaptacja do zmian klimatu	nie wyróżniono	kompleksowa lista wskaźników i analiza dostosowania

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na rodzaj badanego obszaru SC infrastruktura miejska okazała się najczęstszym przedmiotem zainteresowania – wymienionym w sześciu artykułach z dziesięciu badanych tekstów. Analiza ta sugeruje, że skupiono się na odporności infrastruktury miejskiej z różnymi metrykami i wskaźnikami oceny stosowanymi w różnych badaniach. Wyniki analizy artykułów pokazują, że brakuje ustandaryzowanych kryteriów oceny odporności w inteligentnych miastach, a badacze stosują różne metodologie dostosowane do konkretnych typów systemów i kontekstów.

Z kolei podczas analizy tematycznej w wielu badaniach konsekwentnie wymieniano kilka podstawowych wskaźników rezyliencji, tj.: solidność, nadmiarowość, zasobność, szybkość<sup>34</sup>. Möhrle dodatkowo wprowadził miernik krytyczności jako podstawowy wskaźnik oceny stanu systemów infrastruktury. W kilku badaniach wyróżniono wskaźniki integracji i współzależności różnych systemów miejskich jak powiązania międzysektorowe<sup>35</sup> (np. ICT, gospodarka, zarządzanie). Almaleh, dokonując przeglądu inteligentnych rozwiązań ICT stosowanych w SC, próbował zmierzyć współzależności między systemami infrastruktury krytycznej. Ocenę całościową zaproponował Hamed Khatibi, który zaprezentował wskaźniki zapewniające kompleksową ocenę integrującą zarówno elementy inteligencji, jak i odporności. Bellini i Kutty zaproponowali kryterium wykorzystujące dane pochodzące z dużych zbiorów danych i technik uczenia maszynowego. Struktury wielowymiarowe to metoda przedstawiona przez Rochera obejmująca kryteria: ekonomiczne, społeczne, organizacyjne, środowiskowe i techniczne. Integracja inteligentnej odporności była widoczna u Khatibiego i Samarakkody'ego jako połączenie kryteriów inteligencji z oceną odporności. Obsługa niepewności zaprezentowana przez Rochera to wyraźne uwzględnienie zarówno niepewności aleatorycznej, jak i epistemicznej.

Najczęściej były wymieniane wskaźniki społeczne i ekonomiczne (po 2 teksty). Nie zidentyfikowano wzmianek o głównych wskaźnikach w pięciu artykułach z dziesięciu analizowanych. Inne wskaźniki dotyczyły środowiska, infrastruktury, instytucjonalności, krytyczności, organizacji i kwestii technicznych. Infrastruktura miejska była najczęstszym kontekstem (w pięciu

34 Pojęcia te zostały zdefiniowane w pierwszej części artykułu.

35 A. Sharifi, Z. Allam, op. cit., s. 1545 i nast.

badaniach), a transport i transport miejski był drugim najczęstszym kontekstem (przywołany w trzech opracowaniach). Systemy zaopatrzenia w wodę zostały wymienione w dwóch analizowanych tekstach. Inne konteksty obejmowały infrastrukturę krytyczną, łańcuch dostaw, ekosystem, IT/ICT, gospodarkę, zarządzanie i adaptację do zmian klimatu.

Z wyników przeprowadzonych badań wynika, że najważniejszy jest wskaźnik do oceny stanu systemów infrastruktury. Umożliwia ich monitorowanie w czasie rzeczywistym i odpowiednio wcześniej ostrzega o potencjalnych awariach. Pozostałe wskaźniki są specyficzne w badaniach koncentrujących się na konkretnych systemach, np. zaopatrzenia w wodę, transport. Wychwytywanie współzależności między różnymi systemami infrastruktury, czy wskaźniki odporności organizacyjnej (organizacyjne aspekty odporności w ramach odporności instytucjonalnej) podkreślały rolę struktur zarządzania w odporności miast. Z kolei kryteria inteligencji opisali Samarakkody i Khatibi. Zaproponowali połączenie kryteriów inteligencji z oceną odporności. Jednocześnie zaproponowana przez Rochera ocena wieloaspektowa obejmuje czynniki ekonomiczne, społeczne, organizacyjne, środowiskowe i techniczne, co odzwierciedla wzajemnie powiązany charakter systemów miejskich. Implikacja wpływu kryterium geograficznego i kulturowego na ocenę odporności ma również miejsce. Przegląd ujawnił brak standaryzacji wskaźników odporności w różnych badaniach i zróżnicowane kategorie metryk. Chociaż pojawiają się pewne wspólne tematy (np. odporność, redundancja), istnieją jednak znaczne różnice w sposobie kategoryzacji i definiowania metryk w różnych badaniach.

Wskaźniki ilościowe i jakościowe mierników rezyliencji wskazują na ich wielość. W kilku badaniach podkreślono znaczenie uchwycenia współzależności systemowych w ocenie odporności czy potrzebę wskaźników rejestrujących powiązania między różnymi sektorami miejskimi. Zintegrowane podejścia wskazują na konieczność zrozumienia współzależności systemowych, np. w ocenie odporności powiązane ze sobą efekty kaskadowe koncentrują się na systemach wczesnego ostrzegania (potencjał kaskadowych awarii w połączonych systemach).

Dodatkowe badania informują o wykorzystaniu wartości krytycznych do ocen w czasie rzeczywistym i podkreślają znaczenie wskaźników

ekonomicznych, społecznych, środowiskowych, organizacyjnych i instytucjonalnych<sup>36</sup>. Dla przykładu, analizy systemów transportu miejskiego łączą ekonomiczne i społeczne miary wydajności, podczas gdy oceny zaopatrzenia w wodę integrują kryteria inteligentności z odpornością środowiskową<sup>37</sup>. Kilku autorów podkreśla również potrzebę uwzględnienia współzależności – pomiaru powiązań międzysektorowych i efektów kaskadowych – jako podstawowych elementów oceny odporności inteligentnych systemów miejskich.

### Zakończenie

Ocena odporności inteligentnego miasta łączy cztery podstawowe wskaźniki techniczne (solidność, redundancję, zaradność i szybkość) ze wskaźnikami ekonomicznymi, społecznymi i środowiskowymi, z jednoczesnym uwzględnieniem współzależności systemowych. Dlatego wydaje się, na podstawie wyników przeprowadzonych badań, że jest ona głównym wskaźnikiem oceny stanu systemów infrastruktury. Umożliwia ich monitorowanie w czasie rzeczywistym i wczesne ostrzeżenie o potencjalnych awariach systemu. Jednakże tendencja w mierzeniu odporności inteligentnej infrastruktury zmierza w kierunku bardziej zintegrowanego i holistycznego podejścia.

Hipoteza badawcza (H1) zakładała, że potencjał pomiaru rezyliencji SC jest niski. W ramach hipotezy zostały postawione pytania badawcze: Jakie wskaźniki można wykorzystać do oceny odporności inteligentnych systemów miejskich w odpowiedzi na nieoczekiwane wyzwania? Czy można mówić o porównywalności wskaźników rezyliencji SC wśród badaczy? Jeżeli chodzi o drugie pytanie, to należy stwierdzić, że różnią się one przede wszystkim w zależności od doktrynalnych definicji SC i samej rezyliencji. Wyniki badania informują o wykorzystaniu wartości krytycznych do ocen w czasie rzeczywistym i podkreślają znaczenie kryteriów ekonomicznych, społecznych, środowiskowych, organizacyjnych i instytucjonalnych. Na przykład, analizy systemów transportu miejskiego łączą ekonomiczne i społeczne wskaźniki wydajności, podczas gdy oceny zaopatrzenia w wodę integrują kryteria inteligentności z odpornością środowiskową. Kilku autorów podkreśla również

36 S. Möhrle i in., op. cit., s. 1897.

37 S. Khatibi i in., *An Integrated Framework...*, s. 1570.

potrzebę uwzględnienia współzależności – pomiaru powiązań międzysektorowych i efektów kaskadowych – jako podstawowych elementów oceny odporności inteligentnych systemów miejskich. Tym samym została potwierdzona hipoteza o niskim poziomie rezyliencji SC, przy założeniu, że niski poziom oznacza tu definicyjne ograniczenie SC do infrastruktury i powiązanych z nią ICT.

Jednakże nie wszystkie aspekty hipotezy badawczej zostały zweryfikowane w sposób wyczerpujący. Po wstępnej analizie wyników badań nie uwzględniono tych materiałów, które definiują podejście do SC w kontekście i sensie szerokim jako Smart City 4.0 (podejście kompleksowe, wychodzące poza infrastrukturę połączoną ICT). Należałoby poszerzyć badanie o legalne podejście gmin, do których co do zasady są zaliczane miasta (jako najniższy szczebel zasadniczego podziału terytorialnego państwa). W tym kontekście, w zależności od ustrojowego podejścia do zadań miast kwalifikowanych jako SC, mogą charakteryzować się one innym natężeniem czynników wchodzących w skład rezyliencji. Inne też mogą być podmioty w państwie odpowiedzialne za polityki publiczne na poziomie lokalnym i regionalnym, co może wpływać na stopień możliwości wytyczania przez miasto samej rezyliencji w obszarze np. rozwoju. Różnice mogą wynikać ponadto z rozwiązań ustrojowych przypisujących organom administracji publicznej zadania z zarządzania kryzysowego i ochrony ludności. Tym samym badanie należałoby również rozszerzyć o podejście multidyscyplinarne, uwzględniające rezyliencję SC łączącą różne zagadnienia z wiele dziedzin i dyscyplin badawczych. Obiecujące byłoby połączenie zagadnienia rezyliencji z potencjałem rozwojowym, podkreślanego przez część badaczy za idące niejako w parze z samą rezyliencją<sup>38</sup>.

## Bibliografia

- Adelani F.A., Okafor E.S., Jacks B.S., Ajala O.A., *Exploring theoretical constructs of urban resilience through smart water grids: case studies in african and U.S. cities*, „Engineering Science & Technology Journal” 2024, t. 5, nr 3.
- Almaleh A., *Measuring Resilience in Smart Infrastructures: A Comprehensive Review of Metrics and Methods*, „Applied Sciences” 2023, t. 13, nr 11.

38 A. Sharifi, Z. Allam, op. cit., s. 1544.

- Apostu S.A., Vasile V., Vasile R., Rosak-Szyrocka J., *Do Smart Cities Represent the Key to Urban Resilience? Rethinking Urban Resilience*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2022, t. 19, nr 22.
- Batty M., Axhausen K.W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., Portugali Y., *Smart Cities of the Future*, „The European Physical Journal Special Topics” 2012, nr 1.
- Bellini E., Bellini P., Cenni D., Nesi P., Pantaleo G., Paoli I., Paolucci M., *An IoE and Big Multimedia Data Approach for Urban Transport System Resilience Management in Smart Cities*, „Sensors” 2021, t. 21, nr 2.
- Bielska A., Stańczuk-Gałwiaczek M., Sobolewska-Mikulska K., Mroczkowski R., *Implementation of the smart village concept based on selected spatial patterns – A case study of Mazowieckie Voivodeship in Poland*, „Land Use Policy” 2021, nr 104.
- Bogataj D., Bolarin F.C., Kavšek M., Rogelj V., *Smart Silver Villages as part of Social Infrastructure for Older Adults in Rural Areas*, „IFAC-PapersOnLine” 2020, t. 53, nr 2.
- Bokun K., Nazarko J., *Smart villages concept – A bibliometric analysis and state-of-the-art. literature review*, „Progress in Planning” 2023.
- Dashkevych O., Portnov B.A., *Does city smartness improve urban environment and reduce income disparity? Evidence from an empirical analysis of major cities worldwide*, „Sustainable Cities and Society” 2023, t. 96.
- Dokl D., Rogelj V., Bogataj D., *Smart Age-Friendly Villages: Literature Review and Research Agenda*, „IFAC-PapersOnLine” 2022, t. 55, nr 10.
- Dong X., Shi T., Zhang W., Zhou Q., *Temporal and Spatial Differences in the Resilience of Smart Cities and Their Influencing Factors: Evidence from Non-Provincial Cities in China*, „Sustainability” 2020, t. 12, nr 4.
- Europeansmartcities 4.0 (2015)*, <https://www.smart-cities.eu/?cid=01&ver=4> [dostęp: 1.02.2025], <https://www.smart-cities.eu/> [dostęp: 1.02.2025].
- Farag N., Eldayem G.A., Abd Elfatah A., *Smart Resilience City As An Approach To Improve Disaster Risk Reduction*, „Journal of Urban Research” 2023, t. 47, nr 1.
- Fennell S., Kaur P., Jhunjhunwala A., Narayanan D., Loyola Ch., Bedi J., Singh Y., *Examining linkages between Smart Villages and Smart Cities: Learning from rural youth accessing the internet in India*, „Telecommunications Policy” 2018, t. 42, nr 10.
- Gasco-Hernandez M., Nasi G., Cucciniello M., Hiedemann A.M., *The role of organizational capacity to foster digital transformation in local governments: The case of three European smart cities*, „Urban Governance” 2022, nr 2.
- Godlewska-Majkowska H., Pilewicz T., Zarębski P., *Smart organizations in the public sector: sustainable local development in the European Union. Citizenship and sustainability in organizations*, Nowy Jork–Londyn 2024.
- Ingwersen P., Serrano-López A.E., *Smart City Research 1990–2016*, „Scientometrics” 2018, t. 117, nr 2.
- Khatibi H., Wilkinson S., Eriwata G., Sweya L.N., Baghersad M., Dianat H., Ghaedi K., Javanmardi A., *An Integrated Framework for Assessment of Smart City Resilience*, „Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science” 2022, t. 49, nr 5.

- Khatibi H., Wilkinson S., Sweya L.N., Baghersad M., Dianat H., *Navigating Climate Change Challenges through Smart Resilient Cities: A Comprehensive Assessment Framework*, „Land” 2024”, t. 13, nr 3.
- Kutty A.A., Wakjira T.G., Kucukvar M., Abdella G.M., Onat N.C., *Urban Resilience and Livability Performance of European Smart Cities: A Novel Machine Learning Approach*, „Journal of Cleaner Production” 2022, nr 378.
- Malik P.K., Singh R., Gehlot A., Akram S.V., Kumar Das P., *Village 4.0: Digitalization of village with smart internet of things technologies*, „Computers & Industrial Engineering” 2022, nr 165.
- Möhrle S., Ottenburger S.S., Müller T.O., Trybushnyi D., Deines E., Raskob W., *Strengthening Resilience in Critical Infrastructure Systems: A Deep Learning Approach for Smart Early Warning of Critical States*, [w:] *Proceedings of the 31st European Safety and Reliability Conference (ESREL 2021)*, red. B. Castanier, M. Cepin, D. Bigaud, Ch. Berenguers, Singapur 2021.
- Norma PN-ISO 37120, <https://www.pkn.pl/norma-pn-iso-37120> [dostęp: 1.02.2025].
- Pelc P., *Soft Law in Cybersecurity Regulations Addressed to Polish Financial Institutions*, „Ius et Securitas” 2024, nr 2.
- Rocher G., Tigli J., Lavirotte S., Ferry N., *A Framework Towards Assessing the Resilience of Urban Transport Systems*, [w:] *Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference on Availability, Reliability and Security*, Wiedeń 2024.
- Samarakkody A., Amaratunga D., Haigh R., *Characterising Smartness to Make Smart Cities Resilient*, „Sustainability” 2022, t. 14, nr 19.
- Sharifi A., *Smart city indicators: Towards exploring potential linkages to disaster resilience abilities*, „APN Science Bulletin” 2022, t. 12, nr 1.
- Sharifi A., Allam Z., *On the Taxonomy of Smart City Indicators and Their Alignment with Sustainability and Resilience*, „Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science” 2021, t. 49, nr 5.
- Sikandar S.M., Ali S.M., Hassan Z., *Harmonizing Smart City Tech and Anthropocentrism for Climate Resilience and Nature’s Benefit*, „Social Sciences & Humanities Open” 2024, nr 10.
- Stępką M., *Rezyliencja jako paradygmat bezpieczeństwa w czasach przewlekłych kryzysów*, „Przegląd Politologiczny” 2021, nr 2.
- Tarek S., Ouf A.S.E., *Biophilic Smart Cities: The Role of Nature and Technology in Enhancing Urban Resilience*, „Journal of Engineering and Applied Science” 2021, t. 68, nr 1.
- Tundys B., Puzio E., Bochanek K., *Smart city: modele, generacje, pomiar i kierunki rozwoju*, Kraków–Legionowo 2022.
- Wang Z., Hao Y., *Can Smart Cities Improve Energy Resilience? Evidence from 229 Cities in China*, „Sustainable Cities and Society” 2024, nr 117.
- Zhu S., Li D., Feng H., Gu T., Hewage K., Sadiq R., *Smart City and Resilient City: Differences and Connections*, „WIREs Data Mining and Knowledge Discovery” 2020, t. 10, nr 6.

## The Potential of Measuring Resilience in Smart Cities

### Abstract

Assessing the resilience (resilience) of so-called smart cities integrates four key technical indicators – robustness, redundancy, resourcefulness and speed – with broader economic, social and environmental factors, while taking into account system interdependencies. A key indicator identified in the studies analysed is the ability to monitor infrastructure in real time and provide early warning of potential failures. However, the measurement of smart infrastructure resilience is moving towards a more integrated and holistic approach.

The research hypothesis (H1) assumed a low potential for measuring smart city (SC) resilience. The study investigated which indicators can be used to assess the resilience of cities and whether there is comparability between researchers. The results suggest that resilience indicators vary according to doctrinal definitions of both smart cities and resilience itself. The research emphasises the importance of assessing critical values in real time and emphasises economic, social, environmental, organisational and institutional dimensions.

However, the research has not fully verified all aspects of the hypothesis. A broader multidisciplinary approach is needed, encompassing not only governance structures but also legal frameworks and a fuller grasp of the smart city concept in line with Smart City 4.0.

### Keywords

smart city, resilience, local self-government