

# Przekształcenia zabudowy mieszkaniowej jako element kształtujący kierunek przemian urbanistycznych w Łodzi

## Transformations of Housing Development as an Element Shaping the Direction of Urban Changes in Łódź

### Streszczenie

Przekształcenia tkanki urbanistycznej świadczą o zmianach zachodzących w funkcjonowaniu miasta, dostosowując je do współczesnych potrzeb jego użytkowników. Analiza ewolucji zabudowy mieszkaniowej w Łodzi ma na celu ukazanie kierunku zmian, jakim realnie podlega Łódź w ostatnich latach (2013–2021). Zakres badania ograniczony jest do granic administracyjnych aktualnie czwartego pod względem powierzchni i liczby ludności ośrodka miejskiego w Polsce, potwierdzając tendencje przekształceń zabudowy mieszkaniowej w skali kraju. Badanie zostało przeprowadzone w oparciu o dane CLMS oraz monitoring ortofotomap opracowanym przez firmę MGGP Aero na zlecenie Miejskiej Pracowni Urbanistycznej w Łodzi. Wyniki badania podkreślają znaczenie geoprzestrzennego podejścia w planowaniu i wdrażaniu urbanistycznych strategii odpowiednich dla zmieniającego się społeczeństwa i rynku mieszkaniowego.

### Abstract

The transformation of the urban environment reflects the changes in the city's functioning, adapting it to the modern needs of its inhabitants. The analysis of housing development in Łódź aims to demonstrate the actual changes that have taken place in recent years (2013–2021). The study focuses on the residential development transformation trends within the administrative boundaries of the fourth largest urban centre in Poland, in terms of both area and population. The study was conducted using CLMS data and orthophoto monitoring by MGGP Aero on behalf of the Łódź City Planning Office, and confirms similar trends observed on a national scale. The study suggests that a geospatial approach may be significant when planning and implementing urban strategies that are appropriate for a changing society and housing market.

Słowa kluczowe: zabudowa mieszkaniowa, przekształcenia urbanistyczne, monitoring, LULC, Urban Atlas Change, IMD Change Layer  
Keywords: residential development, urban transformations, monitoring, LULC, Urban Atlas Change, IMD Change Layer

### WSTĘP

Użytkowanie gruntów i zmiana pokrycia terenu, powszechnie określane jako LULC, odzwierciedla strukturę funkcjonalną terenu, świadcząc o realnym kierunku przekształceń urbanistycznych. Monitoring zmian przestrzennych ma kluczowe znaczenie dla prowadzenia polityki miejskiej, podejmowania strategicznych decyzji w zakresie komunikacji i przemysłu, a przede wszystkim dostosowania działań inwestycyjnych do realnych

### INTRODUCTION

Land use and land cover change, also known as LULC, reflects the functional structure of a place and indicates the direction of urban change. Monitoring spatial change is crucial for guiding urban policies, making strategic decisions on communication and industry, and aligning real estate development activities with the needs of land users (Singh, Kanga, Sajan et al., 2023, p. 161, Anees, Mann, Sharma et

\*Monika Maria CYSEK-PAWLAK, Dr hab. inż. arch. prof. PŁ, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka / Monika Maria CYSEK-PAWLAK, Professor, DSc. PhD. Eng. Arch., Faculty of Civil Engineering, Architecture, and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, <https://orcid.org/0000-0002-8175-6779>, mail: [monika.cysek@p.lodz.pl](mailto:monika.cysek@p.lodz.pl)

\*\*Michał CZAJKOWSKI, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki / Michał CZAJKOWSKI, Faculty of Geographical Sciences, Lodz University of Technology, <https://orcid.org/0009-0005-1073-5144>, mail: [czajkowski\\_media@wp.pl](mailto:czajkowski_media@wp.pl)

\*Jakub MISIAK, Mgr inż., Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka / Jakub MISIAK, MSc Eng., Faculty of Civil Engineering, Architecture, and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, <https://orcid.org/0000-0003-2843-8752>, mail: [jakub.misiak@p.lodz.pl](mailto:jakub.misiak@p.lodz.pl)

potrzeb użytkowników terenu (Singh, Kanga, Sajan i in., 2023, s. 161; Anees, Mann, Sharma, i in., 2020, s. 26). Techniki teledetekcji i GIS stają się cennym narzędziem dla naukowców, prywatnych inwestorów oraz władz, które pozwala poznać tendencje, aktualne schematy struktury użytkowania gruntów. Pozwalają one także zrozumieć i przeanalizować czynniki odpowiedzialne za zachodzące zmiany. W literaturze przedmiotu znajdziemy liczne pozycje dotyczące wykorzystania technologii geoprzestrzennych w ciągu ostatnich dziesięcioleci, od metod tradycyjnych do podejść opartych na uczeniu maszynowym (Aggarwal, 2023, s. 63; Chamling, Bera, 2020, s. 125; Rawat, Kumar, 2015, s. 83).

Wielookresowe zdjęcia satelitarne zastosowane w technikach wykrywania zmian stanowią ważne narzędzie umożliwiające zrozumienie scenariusza zmieniającego się LULC (Taufique, Khursheed, 2022, s. 105; Banzhaf, Kabisch, Knapp, i in., 2017, s. 406). W prezentowanym badaniu wykorzystano ogólnodostępne dane Copernicus – Urban Atlas Change oraz IMD Change Layer w kontekście monitoringu zasobów mieszkaniowych. Poruszając tematykę zastosowania technik wykrywania zmian cyfrowych podjęto próbę uzupełnienia dotychczasowych badań z zakresu monitoringu zabudowy mieszkaniowej o aspekt stricte urbanistyczny. W większości literatura przedmiotu koncentruje się bowiem wokół obserwacji zmian parametrów pojedynczego typu domu czy obiektu zamieszkania zbiorowego. Badania podejmuje problematykę poprawy monitorowania wpływu na środowisko (Liu, 2021; Xu, Mumford, Zou, 2020; Gong, Wang, i in., 2013) czy wydajności energetycznej budynków mieszkalnych (Tanasiev, Patru i in., Badea, 2021, s. 12). Istniejące opracowania wskazują na informatyczne systemy zdalnego monitorowania oraz zarządzania układów inżynierskich w obiektach mieszkaniowych. Funkcje opisywanych systemów obejmują kontrolę stanu infrastruktury mieszkaniowej, ich rekonfigurację, naprawy, ostrzeganie o rutynowych i nieplanowanych, ale niezbędnych pracach serwisowych (Kireev, Filippov, Guseva, 2018, s. 90). Zdalny monitoring w skali obiektu wykorzystujący najnowszą technologię ma tym samym bezpośredni wpływ na poprawę jakości życia mieszkańców (Mvuyana, 2023, s. 9; Toscani, Rocchi, i in., 2023, s. 1877; Cao, 2022, s. 171).

Monitoring w skali urbanistycznej również związany jest z oddziaływaniem na jakość życia, definiowanej w tym przypadku z szerszej perspektywy. Wyłączając czynniki finansowe, lokalizacja i rozproszenie zabudowy mieszkaniowej, dostępność do transportu publicznego, zieleni, sąsiedztwo zróżnicowanej funkcjonalnie zabudowy stają się strategicznymi zmiennymi decydującymi o zakupie nieruchomości. W szerszym kontekście wpływa to na działanie deweloperów, a tym samym powinno kształtować politykę mieszkaniową rządzących. W literaturze przedmiotu podjęto próby określenia potencjału i ograniczenia monitorowania opartego na wskaźnikach (Ganser, 2008, s. 201). Przeprowadzono również analizy korelacji rewitalizacji i wskaźników urbanistycznych powtarzalnych w procesie monitoringu (Cysek-Pawlak, 2022; Kaczmarek, 2015; Bury, 2010; Langstraat, 2006). Natomiast prezentowane w tym artykule badania

al., 2020, p. 26). Remote sensing and GIS techniques have been widely used by researchers, private investors, and governments to understand trends and current land use patterns, as well as to analyse the factors responsible for changes. The literature contains numerous references to the use of geospatial technologies in recent decades, ranging from traditional methods to machine learning-based approaches (Aggarwal, 2023, p. 63; Chamling, Bera, 2020, p. 125; Rawat, Kumar, 2015, p. 83).

The utilization of multi-period satellite imagery in change detection techniques is considered a valuable tool for comprehending the changing land use and land cover (LULC) scenario (Taufique, Khursheed, 2022, p. 105; Banzhaf, Kabisch, Knapp, et al., 2017, p. 406). In this study, publicly available Copernicus – Urban Atlas Change and IMD Change Layer data were employed to monitor housing stock. This paper aims to supplement the current research in the field of housing stock monitoring by incorporating an urban spatial aspect through the use of digital change detection techniques. While the majority of the literature concentrates on monitoring changes in the parameters of a single type of house or collective housing facility, this paper seeks to expand the scope of analysis. Previous research has explored methods for enhancing the monitoring of environmental impact (Liu, 2021; Xu, Mumford, Zou, 2020; Gong, Wang, et al., 2013) and improving the energy efficiency of residential buildings (Tanasiev, Patru et al., Badea, 2021, p. 12). It has been suggested that IT-based systems could be utilized for remote monitoring and management of technical systems in residential buildings. The systems described have various functions, such as controlling the state of residential infrastructure, reconfiguring it, issuing alerts for routine and unplanned maintenance work, and facilitating repairs (Kireev, Filippov, Guseva, 2018, p. 90). As a result, the use of building-scale remote monitoring with the latest technologies can directly improve the quality of life for residents (Mvuyana, 2023, p. 9; Toscani, Rocchi, et al., 2023, p. 1877; Cao, 2022, p. 171).

Urban-scale monitoring is related to the impact on quality of life, defined here from a broader perspective. The decision to purchase a property can be influenced by strategic variables such as the location and dispersion of residential development, accessibility to public transport, green space, and proximity to functionally diverse development. It is also important to avoid subjective evaluations unless clearly marked as such, in order to maintain objectivity and fairness. Therefore, it is crucial for those in power to consider these factors when shaping housing policy, as it can greatly influence the actions of developers. The literature has aimed to identify the potential and limitations of indicator-based monitoring. Ganser (2008, p. 201) conducted a study in this area. Additionally, researchers conducted correlation analyses of revitalisation and urban indicators that can be replicated in the monitoring process (Cysek-Pawlak, 2022; Kaczmarek, 2015; Bury, 2010; Langstraat, 2006). In contrast, this article's research examines

sprawdzają, na ile dane pochodzące z pułapu satelitar- nego, w tym dane CLMS odpowiadają potrzebom moni- toringu zasobu mieszkaniowego. Równolegle do testów metodologicznych, podjęto próbę weryfikacji, czy i na ile przekształcenia zabudowy mieszkaniowej definiują kierunek przemian urbanistycznych.

## **METODOLOGIA**

W kontekście badań nad przekształceniami zabudowy mieszkaniowej w Łodzi, mającymi istotny wpływ na przemiany urbanistyczne, konieczne jest zastosowanie dostępnych danych przestrzennych, w tym szczególnie tych pochodzących z programu Copernicus. Analiza tych danych wraz z ich przetworzeniem i interpretacją przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania GIS stanowi fundament metodologii badawczej zastosowanej w niniejszym badaniu.

Do oceny stopnia realizacji polityki przestrzennej posłużono się danymi CLMS oraz kierunkami określonymi w Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Łodzi (SUIKZP) z 2018 roku. Pytania dotyczące potencjalnego zastosowania analiz zmian pokrycia terenu, opartych na danych Copernicus, w określaniu obowiązku naliczenia podatku od nieruchomości, były również integralną częścią niniejszych badań.

Analizy zmian pokrycia i użytkowania terenu w Łodzi przeprowadzono w skali jednostek pomocniczych, korzystając z IMD Change Layer, Urban Atlas Change oraz LC Changes dostarczonych przez IGIK w ramach projektu InCoNaDa. Oprogramowanie Arc GIS stanowiło narzędzie do przeprowadzenia kompleksowych analiz przestrzennych.

Dodatkowo, skupiono się na obserwacji efektów realizacji polityki "Powrotu do Centrum" wyrażonej w SUIKZP, co było możliwe dzięki danym z monitoringu ortofotomap opracowanym przez firmę MGGP Aero na zlecenie Miejskiej Pracowni Urbanistycznej w Łodzi.

Posługując się bazami danych, takimi jak IMD Change Layer, Urban Atlas Change, LC Changes, monitoring ortofotomap oraz kierunki polityki przestrzennej z SUIKZP, zaimportowano dane do oprogramowania ArcGIS. Przeprowadzono zaawansowane analizy przestrzenne, uwzględniając zmiany w różnych latach, lokalizację inwestycji oraz stopień zrealizowania założeń polityki przestrzennej.

Wyniki analiz, ukazane w formie analizy porównawczej, dostarczają istotnych informacji dotyczących zmian w przestrzeni miejskiej Łodzi. Podsumowanie wyników oraz ich interpretacja, kluczowe dla zrozumienia stopnia realizacji polityki przestrzennej, zostały przedstawione w kolejnym rozdziale niniejszego artykułu.

### **Bazy danych wykorzystane w badaniu**

IMD Change Layer 2015/2018 (20m + 100m resolution)  
CLMS Urban Atlas Change 2006 – 2012, 2012 – 2018  
- CLMS

LC changes 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 – IGIK  
InCoNaDa

monitoring ortofotomap opracowany na zlecenie Miejskiej Pracowni Urbanistycznej w Łodzi przez firmę MGGP Aero

the extent to which satellite cap data, including CLMS data, can be used for housing stock monitoring, while acknowledging the potential limitations of this approach. In addition to the methodological tests, an effort was made to assess the degree to which the transformation of housing development influences the course of urban transformation.

## **METHODOLOGY**

In the context of research on the transformations of residential developments in Łódź, which have a significant impact on urban transformations, it would be beneficial to utilize available spatial data, particularly those from the Copernicus programme. The analysis, processing, and interpretation of this data using specialized GIS software form the foundation of the research methodology applied in this study.

In order to assess the implementation of spatial policy, we have made use of CLMS data and followed the guidelines set out in the 2018 Study of Conditions and Directions for Spatial Development of the City of Łódź (SUIKZP). Furthermore, we have made inquiries into the potential use of land cover change analyses based on Copernicus data as a key aspect of this study, specifically in relation to determining property tax liability.

Analyses of land cover and land use changes in Łódź were conducted at the scale of ancillary units, using the IMD Change Layer, Urban Atlas Change, and LC Changes provided by IGIK as part of the InCoNaDa project. Comprehensive spatial analyses were conducted using the ArcGIS software.

The study observed the effects of the 'Return to the Centre' policy expressed in the SUIKZP, using ortho- photo monitoring data developed by MGGP Aero on behalf of the Municipal Urban Planning Laboratory in Łódź.

The data was imported into ArcGIS after being collected from databases such as IMD Change Layer, Urban Atlas Change, and LC Changes. Spatial policy directions from SUIKZP were also taken into account. Advanced spatial analyses were conducted, taking into account changes in different years, the location of projects, and the degree to which spatial policies were implemented.

The results of the analyses are presented in the form of a comparative analysis, providing important information on changes in the urban space of Łódź. A summary of the results and their interpretation, which is crucial for understanding the degree of spatial policy implementation, is presented in the next chapter of this article.

### **The study made use of various databases, such as:**

IMD Change Layer 2015/2018 (20m + 100m resolution), CLMS Urban Atlas Change 2006–2012 and 2012–2018, CLMS

LC changes 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, and IGIK InCoNaDa

monitoring of orthophotomaps prepared on commission of the Municipal Urban Planning Bureau in Łódź by MGGP Aero company.



## WYNIKI

### ROZDZIAŁ 1

Analizując dane CLMS Urban Atlas Change za okres od 2006 do 2012 roku, można zaobserwować spadek użytków rolnych (z 56,7% do 40,8%) oraz wzrost terenów leśnych (z 1,7% do 11,4%). Jednocześnie, nastąpił wzrost obszarów zurbanizowanych, zwiększając udział terenów budowlanych (z 6,4% do 8,8%) oraz obszarów przemysłowych i komercyjnych (z 2,3% do 5,8%). To wskazuje na trend urbanizacji z jednoczesną konwersją niektórych terenów na użytki leśne.

W latach 2012-2018 widoczny jest dalszy spadek użytków rolnych (z 40,8% do 32%) przy jednoczesnym wzroście obszarów zurbanizowanych, takich jak tereny budowlane (z 6,4% do 8,4%) i przemysłowe/komercyjne (z 2,3% do 2,7%). Znaczące jest również zwiększenie się powierzchni leśnych (z 11,4% do 14,2%), co sugeruje kontynuację polityki włączania terenów zielonych w tkankę miejską.

Z analizy zmian pokrycia terenu w Łodzi w latach 2018-2021 z wykorzystaniem trzyletnich danych z projektu InCoNaDa wynika, że osiedle Wiskitno wykazuje największą dynamikę zmian z sumą 84,61 ha, co stanowi 5,06% powierzchni tej jednostki. Znaczące zmiany można również zauważyć na osiedlu Bałuty-Zachodnie, gdzie przekształcenia objęły 40,21 ha, co przekłada się na 2,56% terenu osiedla. Osiedle Chojny-Dąbrowa również jest wyraźnym punktem na mapie zmian, z przekształceniami o łącznej powierzchni 20,11 ha, czyli 1,56% powierzchni osiedla.

Z drugiej strony, istnieją jednostki pomocnicze takie jak Katedralna czy Widzew-Wschód, gdzie zaobserwowano minimalne lub żadne zmiany, co wskazuje na stabilność w wykorzystaniu terenu lub możliwe ograniczenia rozwojowe. Sumując wszystkie zmiany dla całego miasta, uzyskano wartość 286,2 ha, co podkreśla znaczenie monitorowania i zarządzania rozwojem przestrzennym w różnych częściach Łodzi.

### ROZDZIAŁ 2

Analiza szczegółowych danych pochodzących z monitoringu ortofotomap dotyczących zmian w zabudowie miasta Łodzi w latach 2013-2021 ukazuje dynamiczny rozwój przestrzenny w wybranych osiedlach. Spośród jednostek pomocniczych miasta, największy przyrost powierzchni zabudowy wynoszący 22,063 ha zanotowano na osiedlu Chojny. Osiedle to doświadczyło największego skoku w latach 2019-2021.

Z kolei, osiedle Wiskitno wyróżnia się niezwykle wysokim wzrostem powierzchni zabudowy w okresie 2017-2019, gdzie odnotowano aż 35,218 hektarów nowej zabudowy. Na terenie osiedla powstały wówczas duże projekty deweloperskie lub inwestycje w strefy aktywności gospodarczej.

Najmniej dynamiczny wzrost pokazuje osiedle Koziny, gdzie łączna zmiana nie przekroczyła nawet jednego hektara, co świadczy o skonsumowaniu znacznej części terenów wolnych.

Z analizy wyraźnie widać, że ważną rolę w ewolucji przestrzennej miasta odgrywają także osiedla Bałuty Zachodnie i Chojny-Dąbrowa.

## RESULTS

### CHAPTER 1

Analysis of the CLMS Urban Atlas Change data for the period 2006 to 2012 shows a decrease in agricultural land (from 56.7% to 40.8%) and an increase in forest land (from 1.7% to 11.4%). At the same time, there has been an increase in urbanised areas, with an increase in the proportion of building land (from 8.8% to 6.4%) and industrial and commercial areas (from 5.8% to 2.3%). This indicates a trend towards urbanisation, with some land being converted to woodland.

Between 2012 and 2018, there is a further decrease in agricultural land (from 40.8% to 32.0%) and an increase in urbanised areas such as construction sites (from 6.4% to 8.4%) and industrial/commercial areas (from 2.3% to 2.7%). There is also a significant increase in wooded areas (from 11.4% to 14.2%), suggesting a continuation of the policy of integrating green areas into the urban fabric.

The analysis of land cover changes in Łódź between 2018 and 2021, using three years of data from the InCoNaDa project, shows that the Wiskitno estate shows the greatest dynamics of change with a total of 84.61 ha, representing 5.06% of the area of this unit. Significant changes can also be observed in the Bałuty Zachodnie polders, where transformations took place on 40.21 ha, which is 2.56% of the area of the polders. The Chojny-Dąbrowa estate is also a clear dot on the map of changes, with transformations totalling 20.11 ha, or 1.56% of the area of the estate.

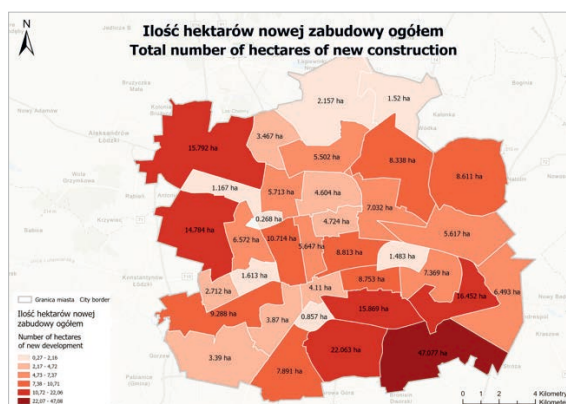
On the other hand, there are auxiliary units such as Katedralna or Widzew Wschód, where minimal or no changes were observed, indicating stability in land use or possible development restrictions. The sum of all changes for the whole city was 286.20 ha, highlighting the importance of monitoring and managing spatial development in different parts of Łódź.

### CHAPTER 2

An analysis of detailed data from orthophotomap monitoring has revealed dynamic spatial growth in selected districts of Łódź between 2013 and 2021. The Chojny district saw the largest increase in built-up area, amounting to 22.063 ha, among the city's

II. 1. Liczba hektarów nowej zabudowy w latach 2013-2021 w Łodzi, autor: Michał Czajkowski.

III. 1. Number of hectares of new development between 2013 and 2021 in Łódź, author: Michał Czajkowski.



## Zabudowa mieszkaniowa

Dane dotyczące rozwoju zabudowy mieszkaniowej w Łodzi, rozpatrywane w kontekście całego miasta oraz podzielone na zabudowę wielo- i jednorodzinną, dostarczają obrazu złożonych procesów urbanizacyjnych zachodzących w ostatniej dekadzie.

W ogólnym rozrachunku, nowa zabudowa mieszkalna w Łodzi w latach 2013-2021 wyniosła łącznie 103,453 ha, z czego 66,449 ha stanowi zabudowa jednorodzinna, a 37,004 ha wielorodzinna. Zwraca uwagę dynamiczny wzrost zabudowy wielorodzinnej, który znacząco przyspieszył w ostatnich latach badanego okresu (2019-2021), osiągając 16,791 ha, co może odzwierciedlać zmiany w preferencjach mieszkaniowych mieszkańców oraz odpowiedź na rosnące zapotrzebowanie na mieszkania w skali miasta. Szczególną uwagę zasługuje osiedle Wiskitno, które odnotowało największy przyrost w segmencie jednorodzinnym, z sumą końcową 5,24 ha. To osiedle wykazuje także największy wzrost powierzchni zabudowy

administracyjnych jednostek. The Chojny district saw the largest increase in built-up area, amounting to 22.063 ha, among the city's administrative units. It is worth noting that this district experienced the biggest leap between 2019 and 2021.

In comparison, the Wiskitno housing estate experienced a significant increase in building area between 2017 and 2019, with a total of 35,218 ha of new construction.

On the other hand, the Koziny housing estate showed the least amount of growth, with a total change of less than one hectare, indicating a significant portion of available land has already been consumed.

## Residential Buildings

The data regarding the development of residential buildings in Łódź, when viewed in the context of the entire city and divided into multi-family and single-family housing, presents a comprehensive picture of the urbanization processes that have occurred in the past decade. Between 2013 and 2021, the total new residential development in Łódź amounted to 103,453 ha, with 66,449 ha being single-family housing and 37,004 ha being multi-family housing. The growth of multi-family housing has significantly accelerated during the examined period (2019–2021), reaching 16,791 ha. The growth of multi-family housing has significantly accelerated during the examined period (2019–2021), reaching 16,791 ha. This may reflect changes in residents' housing preferences and a response to the growing demand for housing in the city.

It is worth noting that the Wiskitno housing estate recorded the largest increase in the single-family segment, with a total of 5,240 ha. The housing estate has demonstrated a significant increase in single-family residential building area during the last time period (2019–2021), which may suggest that this location is attractive for individual projects.

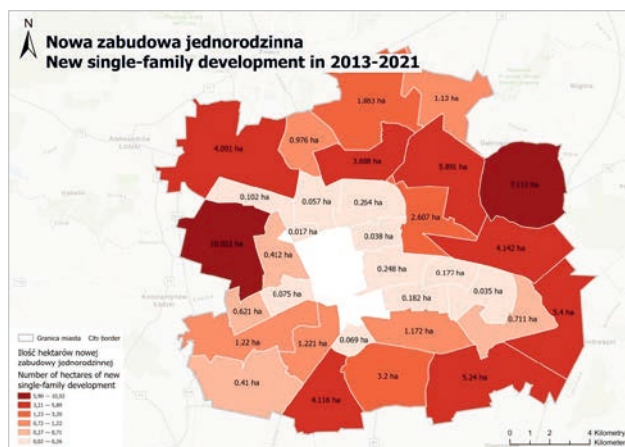
In terms of multi-family housing, the largest increase was observed in the Śródmieście-Wschód estate during the years 2019–2021, with an increase of 1,061 ha. In contrast, it can be observed that some neighbourhoods, such as Teofilów-Wielkopolska or Nowosolna, have not experienced significant growth in the multi-family segment. This trend may be indicative of the continued suburbanisation and the search for alternative housing options away from densely populated urban areas.

This may be attributed to local planning restrictions. On the other hand, the distribution of single-family housing has been more consistent over time, with the highest growth rate recorded in the last interval (2019–2021). In some neighbourhoods, such as Bałuty Zachodnie and Złotno, single-family housing seems to be the most common form of new development.

It is worth noting that the largest increase in multi-family housing has occurred in central and well-connected neighbourhoods, which may be more suitable for residents who prefer living in the city centre. In single-family housing, the largest increases were recorded on the outskirts, which may be related to

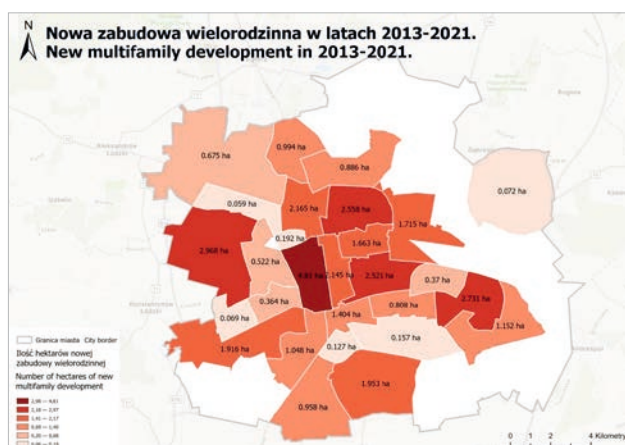
II. 2. Nowa zabudowa jednorodzinna w latach 2013-2021 w Łodzi, autor: Michał Czajkowski.

III. 2. New single-family development between 2013 and 2021 in Łódź, author: Michał Czajkowski.



II. 3. Nowa zabudowa wielorodzinna w latach 2013-2021 w Łodzi, autor: Michał Czajkowski.

III. 3. New multi-family development between 2013 and 2021 in Łódź, author: Michał Czajkowski.



mieszaniowej jednorodzinnej w ostatnim przedziale czasowym (2019-2021), co może świadczyć o atrakcyjności tej lokalizacji dla inwestycji indywidualnych.

W przypadku zabudowy wielorodzinnej, największy wzrost odnotowano na osiedlu Śródmieście-Wschód w latach 2019-2021, gdzie przyrost wyniósł 1,061 ha.

Kontrastowo, niektóre osiedla jak Teofilów-Wielkopolska czy Nowosolna nie wykazują żadnego lub minimalny przyrost w segmencie wielorodzinnym, co odzwierciedla lokalne ograniczenia planistyczne.

Zabudowa jednorodzinna wykazuje bardziej równomierny rozkład w czasie z największym wzrostem w ostatnim przedziale (2019-2021), co może odzwierciedlać kontynuację trendów suburbanizacji oraz poszukiwanie przez mieszkańców alternatyw dla gęstej tkanki miejskiej. Na osiedlach takich jak Bałuty Zachodnie czy Złotno zabudowa jednorodzinna stanowi dominującą formę nowych inwestycji. Analizując dane, można zauważyć, że w przypadku zabudowy wielorodzinnej największy przyrost miał miejsce w centralnych i dobrze skomunikowanych osiedlach, co może odpowiadać na potrzeby mieszkańców preferujących życie w centrum miasta. Natomiast w zabudowie jednorodzinnej, największe wzrosty odnotowano na obrzeżach, co może być związane z dążeniem mieszkańców do większej przestrzeni i komfortu życia poza ścisłym centrum. W kontekście całego miasta, dane te mogą posłużyć do dalszych analiz związanych z polityką mieszkaniową, planowaniem przestrzennym oraz prognozowaniem przyszłych trendów rozwoju miejskiego w Łodzi.

### Strefy mieszkalne wyznaczone w Studium

Analiza ilości i powierzchni nowej zabudowy w Łodzi, zarówno w strefie mieszkalnej, jak i poza nią w latach 2015-2021 dostarcza istotnych informacji o trendach urbanizacyjnych i decyzjach deweloperskich. Z danych wynika, że większość nowej zabudowy, zarówno mieszkaniowej, jak i ogólnej, koncentruje się w wyznaczonej strefie mieszkalnej, czyli zgodnie z polityką przestrzenną miasta wyrażoną w Studium 2018. Warto zauważyć, że ilość nowej zabudowy w strefie mieszkalnej (3,722 budynki) znacznie przewyższa ilość poza nią (509 budynków), podobnie jak i powierzchnia nowej zabudowy w strefie mieszkalnej (73,84 ha) w stosunku do powierzchni poza strefą (6,98 ha).

Analizując szczegółowo powierzchnię nowej zabudowy mieszkaniowej, obserwujemy wzrost z 12,76 ha w 2015-2017 do 20,58 ha w 2019-2021 w strefie mieszkalnej, co może świadczyć o zwiększonej aktywności deweloperskiej w tej strefie. Warto zauważyć, że poza strefą mieszkalną wzrost ten jest mniej wyraźny, choć nadal istotny, z 0,98 ha do 1,53 ha w analogicznym okresie. Ten wzrost może być częściowo tłumaczony dążeniem deweloperów do wykorzystania wydanych warunków zabudowy przed uchwaleniem nowych planów miejscowych, które mogą wprowadzać ograniczenia w nowej zabudowie poza wyznaczoną strefą mieszkalną.

### Strefa zdegradowana

Analiza danych wskazuje, że na terenie strefy zdegradowanej wyraźnie dominuje zabudowa wielorodzinna, która zajmuje 11,183 hektarów, podczas gdy zabudowa

residents' desire for more space and a more comfortable life outside the city centre.

These data can be used for further analysis related to housing policy, spatial planning, and forecasting future urban development trends in Łódź.

### Residential zones delineated in the Study

An analysis of the amount and area of new development in Łódź, both within and outside the residential zone, between 2015 and 2021, provides important information on urbanisation trends and development decisions. The data shows that the majority of new development, both residential and general, is concentrated in the designated residential zone, i.e. in line with the city's spatial policy expressed in the 2018 Study. It is worth noting that the amount of new development in the residential zone (3,722 buildings) significantly exceeds the amount outside it (509 buildings), as does the area of new development in the residential zone (73.84 ha) relative to the area outside the zone (6.98 ha).

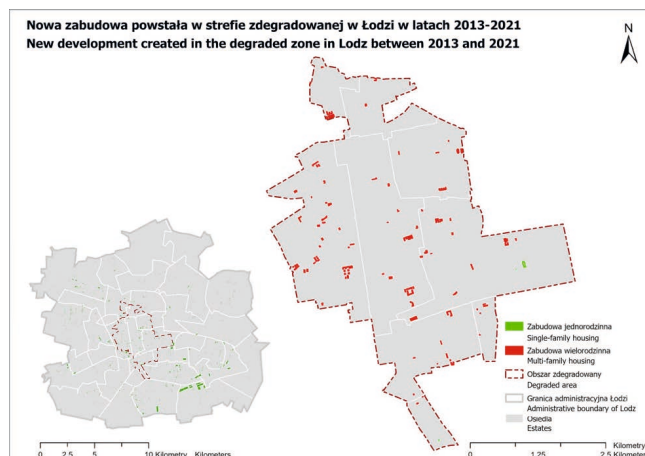
Analysing the area of new residential development in detail, we observe an increase from 12.76 ha in 2015–2017 to 20.58 ha in 2019–2021 in the residential zone, which may indicate increased development activity in this zone. It is worth noting that outside the residential zone the increase is less pronounced, although still significant, from 0.98 ha to 1.53 ha in the same period. This increase may be partly explained by the desire of developers to take advantage of issued planning conditions prior to the adoption of new local plans, which may place restrictions on new development outside the designated residential zone.

### Degraded zone

According to the data analysis, the degraded zone is mainly occupied by multi-family developments, which cover 11.183 ha. Conversely, single-family developments are scarce in this area, covering only 0.268 ha. It is worth noting that single-family

II. 4. Nowa zabudowa powstała w strefie zdegradowanej w Łodzi w latach 2013-2021, autor: Michał Czajkowski.

III. 4. New development created in the degraded zone in Łódź between 2013 and 2021, author: Michał Czajkowski.





jednorodzinna jest prawie nieobecna z powierzchnią zaledwie 0,268 hektara. W kontraście, na terenie całego miasta Łódź, zabudowa jednorodzinna jest znaczącym elementem krajobrazu miejskiego, zajmując powierzchnię 66,449 hektarów.

Znacząca przewaga zabudowy wielorodzinnej w strefie zdegradowanej może być wynikiem polityki miejskiej, mającej na celu zagęszczenie tej części miasta w celu ożywienia i rewitalizacji. Wysoka gęstość zabudowy wielorodzinnej może również wskazywać na większe zapotrzebowanie na mieszkania w tej strefie, co jest charakterystyczne dla obszarów miejskich przechodzących procesy regeneracji. Jest to także efektywna forma rozwoju w kontekście ograniczonego miejsca i zasobów.

Pozyskane przez MPU w Łodzi dane przedstawiają różnorodne aspekty nowej zabudowy w różnych latach, typach inwestycji, rodzajach budynków, klasach budynków, ilości kondygnacji oraz powierzchni w hektarach. Zauważalny jest trend w kierunku inwestycji indywidualnych w zakresie handlowo-usługowym oraz biurowym, a także zespołowych inwestycji mieszkalnych, szczególnie w ostatnim przedziale lat (2019-2021).

Widać, że inwestycje indywidualne dominują w kategoriach handlowo-usługowych i pozostałych niemieszkalnych, podczas gdy inwestycje zespołowe skupiają się na budownictwie wielorodzinnym z większą liczbą kondygnacji. Duża ilość inwestycji w biurowce o większej liczbie kondygnacji w latach 2017-2019 może wskazywać na rozwój przestrzeni biurowych w tym okresie.

Można zauważyć, że największe projekty mieszkalne miały miejsce w latach 2019-2021, co może świadczyć o intensyfikacji działań deweloperskich w tym okresie.

Najwyższe budynki, sięgające 10 i więcej pięter, znajdują się w kategorii mieszkalnej oraz biurowej.

Warto zwrócić uwagę, że dane te mogą mieć znaczenie dla polityki miejskiej, wskazując na konieczność zrównoważonego planowania, które uwzględni potrzeby mieszkaniowe, komercyjne oraz infrastrukturalne, jednocześnie zapobiegając nadmiernej urbanizacji i degradacji obszarów nieprzeznaczonych do intensywnej zabudowy.

Zabudowa jednorodzinna jest reprezentowana w minimalnym stopniu, co jest charakterystyczne dla stref zdegradowanych, gdzie priorytetem jest maksymalizacja wykorzystania ograniczonej przestrzeni i stymulacja gęstości, miejskiego stylu życia.

Warto zauważyć, że powierzchnia nowej zabudowy wielorodzinnej wyniosła łącznie 11,183 hektarów w porównaniu do zaledwie 0,268 hektara dla zabudowy jednorodzinnej. To wskazuje na skoncentrowanie inwestycji w budownictwo wielorodzinne, co jest zgodne z globalnymi trendami urbanizacyjnymi, gdzie dąży się do zwiększenia gęstości zabudowy w ramach istniejącej tkanki miejskiej.

Należy również zwrócić uwagę na różnorodność klas budynków oraz ich przeznaczenie. Obserwuje się różnorodność typologii obiektów, od handlowo-usługowych po budynki biurowe i mieszkalne, co może świadczyć o złożoności i wielofunkcyjności nowo powstającej tkanki miejskiej.

Należy podkreślić, że prezentowane dane dostarczają cennych informacji dla miejskich planistów i osób

developments are a significant component of the urban landscape throughout the city of Łódź, covering an area of 66.449 ha.

The prevalence of multi-family development in the degraded zone is likely due to urban policies aimed at densifying this area for revitalisation and regeneration. Furthermore, the high density of multi-family development suggests a significant demand for housing in this zone, which is typical of urban areas undergoing regeneration. Moreover, multi-family development is an efficient form of development in the context of limited space and resources.

The data acquired by the MPU in Łódź reveals various aspects of new developments in different years, types of project, building types, building classes, number of storeys, and area in hectares. This suggests a shift in the focus of development in the region. It is evident that there has been a trend towards individual retail and office projects, as well as clustered residential projects, particularly in the last few years (2019-2021).

It can be observed that individual projects are more common in the retail/service and other non-residential categories, while team developments tend to focus on multi-family housing with multiple storeys. The data shows a significant investment in multi-storey office buildings during 2017-2019, indicating a growth in office space development.

It is worth noting that the most extensive residential projects occurred in 2019-2021, suggesting an increase in development activities during this time.

Additionally, the tallest buildings, which are 10 or more storeys high, can be found in both the residential and office categories.

This data has important implications for urban policy. It highlights the need for balanced planning that considers the needs of residential, commercial, and infrastructure development, while also preventing over-urbanisation and degradation of areas not designated for intensive development.

It is worth noting that the prevalence of single-family housing is minimal, which is typical of degraded zones where the priority is to maximize the use of limited space and promote a dense, urban lifestyle.

It should be noted that there was a significant concentration of investment in multi-family housing, with 11.183 ha dedicated to new multi-family development compared to only 0.268 ha for single-family development. This trend is in line with global urbanisation trends, which aim to increase density within existing urban areas.

Furthermore, it is worth mentioning the diversity of building classes and uses. These observations suggest a confident and diplomatic tone, which aims to present the information in a balanced and professional manner, while acknowledging the potential sensitivity of the subject matter and the diversity of the audience. The variety of building types observed, including retail, services, office, and residential buildings, may indicate the complexity and multifunctionality of the newly emerging urban area.

The presented data provides valuable information for

zainteresowanych rozwojem przestrzennym. Pozwalają na lepsze zrozumienie dynamiki miejskich przekształceń oraz potrzeb rynku nieruchomości w Łodzi. Dane te mogą stanowić inspirację do opracowania części analitycznej w Planie ogólnym.

## PODSUMOWANIE

Podsumowując przeprowadzone badania przestrzenne zabudowy mieszkaniowej w Łodzi, należy zwrócić uwagę na znaczącą rolę technologii geoprzestrzennych w identyfikowaniu trendów urbanistycznych oraz w planowaniu przestrzennym. Wykorzystanie danych Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) wskazało na użyteczność tych informacji w analizach porównawczych na szeroką skalę, od lokalnej po międzynarodową, podkreślając ich wartość w obserwacji ogólnych kierunków rozwoju urbanizacji i zagospodarowania przestrzennego. Chociaż dane Copernicus nie dostarczają szczegółów dotyczących specyficznych funkcji budynków, ich standardyzacja i spójność są nieocenione dla automatycznego wykrywania zmian i ich tendencji. Jednocześnie, nie rekomenduje się opierania decyzji planistycznych o powyższe dane, ze względu na skalę szczegółowości nieadekwatną do sporządzania aktów prawa miejscowego.

Dodatkowo, analizy uzupełnione zostały przez dane z monitoringu ortofotomap, które po weryfikacji przez studentów, zapewniły bardziej szczegółowy wgląd w strukturę i dynamikę zabudowy. Badania wykazały wzrost popularności zabudowy wielorodzinnej, co odpowiada na potrzeby miejskiego życia oraz dąży do efektywniejszego wykorzystania przestrzeni. Stabilizacja w rozwoju domów jednorodzinnych może odzwierciedlać zmiany preferencji i demografii.

Zastosowanie technologii GIS pozwoliło na analizę wpływu nowych inwestycji mieszkaniowych na krajobraz urbanistyczny Łodzi oraz umożliwiło prognozowanie przyszłych trendów, identyfikację obszarów podatnych na gentryfikację i planowanie potrzeb przestrzennych. Szczególnie istotne jest zwrócenie uwagi na wzmożoną aktywność deweloperów po roku 2018, co może wynikać z próby wyprzedzenia zmian w restrykcyjnych przepisach planowania przestrzennego.

Zarządzanie przestrzenne i przyszły rozwój urbanistyczny Łodzi wymagają ciągłego monitorowania i analizowania danych, które powinny być regularnie aktualizowane, aby umożliwić podejmowanie świadomych decyzji. Rekomenduje się więc, aby władze miejskie koncentrowały się na systematycznym pozyskiwaniu nowych ortofotomap i danych przestrzennych, współpracowały z instytucjami naukowymi i wykorzystywały nowoczesne technologie dla zapewnienia danych o wysokiej jakości.

Badania podkreślają znaczenie technologii geoprzestrzennych jako narzędzi wspomagających efektywne planowanie przestrzenne, które są niezbędne do kształtowania przemyślanej i zrównoważonej polityki przestrzennej w Łodzi. Takie działania są kluczowe dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju, poprawy jakości życia mieszkańców i optymalnego wykorzystania miejskiej przestrzeni.

urban planners and those interested in spatial development. It is worth noting that this diversity is a positive aspect that should be taken into account when planning future developments. It allows for a better understanding of the dynamics of urban transformations and the needs of the real estate market in Łódź. Moreover, the data may serve as inspiration for the analytical part of the Master Plan.

## CONCLUSIONS

In summary, it can be observed that the conducted spatial research on residential development in Łódź has highlighted the significant role of geospatial technologies in identifying urban planning trends and spatial planning.

The Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) data have been shown to be useful in comparative analyses on a wide scale, ranging from local to international, thereby highlighting their value in observing general trends in urbanization and spatial planning. While Copernicus data do not provide details on specific building functions, their standardization and consistency are invaluable for the automatic detection of changes and trends. While the above data is informative, it may not provide sufficient detail to create local laws. It is advisable to consider all available information before making planning decisions. Furthermore, the analysis was complemented by data from orthophotomap monitoring, which, upon verification by students, offered a more comprehensive understanding of the development's structure and dynamics. According to research, there has been a rise in the demand for multi-family housing, which caters to the requirements of urban living and strives for more efficient use of space. The stabilization in the development of single-family homes may be attributed to changes in preferences and demographics.

The use of GIS technology has facilitated the analysis of the impact of new housing projects on the urban landscape of Łódź. Additionally, it enables the prediction of future trends, identification of areas susceptible to gentrification, and planning of spatial needs. It is worth noting the increased activity of developers after 2018, which may be an attempt to anticipate changes in restrictive spatial planning regulations.

The spatial management and future urban development of Łódź require continuous monitoring and analysis of data, which should be regularly updated to enable informed decision-making. It is suggested that municipal authorities focus on systematic acquisition of new orthophotomaps and spatial data, collaborate with academic institutions, and utilize modern technologies to ensure high-quality data.

Research emphasizes the significance of geospatial technologies as instruments to aid in effective spatial planning, which is imperative for shaping considerate and sustainable spatial policy in Łódź. Such actions are critical for ensuring sustainable development, enhancing the quality of life for residents, and optimizing the use of urban space.

Transformations in the field of residential construction in Łódź, particularly in the context of multi-family



Przekształcenia w zakresie zabudowy mieszkaniowej w Łodzi, szczególnie w kontekście wielorodzinnych kompleksów mieszkalnych, skupiają się głównie w regionach przeznaczonych do intensywnej urbanizacji, lecz nie obejmują ścisłego centrum miasta. Rozwoju nie charakteryzują zmiany o charakterze rewitalizacyjnym. Przemiany cechuje nacisk na zwiększenie gęstości zabudowy, co widać w preferencjach nowego budownictwa. Dobrze skomunikowane osiedla w sąsiedztwie kolei obwodowej doświadczają największego wzrostu zabudowy wielorodzinnej, odpowiadając na zapotrzebowanie mieszkańców preferujących życie blisko miejskich udogodnień. Tymczasem na obrzeżach miasta, zabudowa jednorodzinna rośnie, odzwierciedlając poszukiwanie przez mieszkańców większej przestrzeni osobistej i spokoju życia poza zgiełkiem centralnych dzielnic. Podsumowując, Łódź doświadczyła znacznego wzrostu zabudowy wielorodzinnej w ostatnich latach, zwłaszcza w okresie 2019-2021, co może świadczyć o zmianie preferencji mieszkaniowych i rosnącym popycie na mieszkania. Zabudowa jednorodzinna natomiast, wykazuje równomierny rozwój. Dzielnice takie jak Bałuty Zachodnie czy Złotno, są świadkami dominacji nowej zabudowy jednorodzinnej. Wnioski te potwierdzają, że dynamika przekształceń zabudowy mieszkaniowej w Łodzi jest wyraźnym wskaźnikiem kierunku urbanistycznych przemian w mieście, odzwierciedlając zarówno aktualne potrzeby mieszkańców, jak i długoterminowe cele planistyczne.

## PODZIĘKOWANIA

Badania prowadzące do niniejszych wyników zostały dofinansowane z Funduszy Norweskich na lata 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, numer projektu: NOR/POLNOR/InCoNaDa/0050/2019-00

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Aggarwal, A., 2023, A Geospatial Approach to Monitoring Land Use and Land Cover Dynamics: A Review, W: A.K. Sahu, B.C. Meikap, V.K. Kudapa, red. *Energy Storage and Conservation. MESC 2022. Springer Proceedings in Energy*. Singapore: Springer, s. 63-71.
- [2] Anees, M.M., Mann, D., Sharma, M., Banzhaf, E., Joshi, P.K., 2020, Assessment of urban dynamics to understand spatiotemporal differentiation at various scales using remote sensing and geospatial tools, *Remote Sens*, 12(8), s. 1-30.
- [3] Banzhaf, E., Kabisch, S., Knapp, S., Rink, D., Wolff, M., Kindler, A., 2017, Integrated research on land-use changes in the face of urban transformations – An analytic framework for further studies, *Land Use Policy*, 60, s. 403-407.
- [4] Bury, K., 2010, Zastosowanie wielokryterialnej metody QAT w ocenie programów i projektów rewitalizacji, W: K. Skalski (red.), *O budowie metod rewitalizacji w Polsce - aspekty wybrane*, Instytut Spraw Publicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Kraków, s. 65-91.
- [5] Cao, Z., 2022, Design and Implementation of Building Equipment Remote Monitoring Platform Based on BIM, *2022 6th International Conference on Wireless Communications and Applications (ICWCAPP)*, Hainan, China, 2022, s. 169-172.
- [6] Chamling, M., Bera, B., 2020, Spatio-temporal patterns of land use/land cover change in the Bhutan-Bengal foothill region between 1987 and 2019: study towards geospatial applications and policy making, *Earth Syst Environ*, 4, s. 117-130.
- [7] Cysek-Pawlak, M.M., 2022. *Model ewaluacji procesu rewitalizacji w aspekcie przestrzennym i funkcjonalnym w oparciu o zasady Nowego Urbanizmu*, Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej.
- [8] Ganser, R., 2008, Monitoring brownfield housing development: strengths and weaknesses of indicator based monitoring in the English planning system, *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(2), s. 201-220
- [9] Gong, P., Wang, J., Yu, J., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., Zhang, H., Zhu, P., Zhao, Z., Zhang, H., Zheng, Y.,

residential complexes, are mainly focused on regions designated for intensive urbanization, but do not include the strict city centre. The changes are not aimed at revitalising the area. The transformations are characterized by an emphasis on increasing the density of buildings, as evidenced by the preferences of new construction. Well-connected neighbourhoods in the vicinity of the ring railway experience a significant increase in multi-family housing, catering to the demand of residents who prefer to live in proximity to urban amenities. In contrast, on the outskirts of the city, there is a growing trend of single-family housing, reflecting residents' desire for greater personal space and a tranquil lifestyle away from the hustle and bustle of central districts. In summary, it appears that Łódź has seen a notable increase in the construction of multi-family housing in recent years, particularly between 2019 and 2021. This trend may suggest a shift in housing preferences and a growing demand for apartments. Conversely, the development of single-family housing has been more consistent. Districts such as Bałuty Zachodnie or Złotno seem to have a higher concentration of new single-family homes. The conclusions suggest that the dynamics of transformations in residential development in Łódź provide a clear indication of the direction of urban changes in the city. They appear to reflect both the current needs of residents and long-term planning goals.

## ACKNOWLEDGMENTS

The research leading to these results has received funding from the Norway Grants 2014–2021 via the National Center for Research and Development, Project number: NOR/POLNOR/InCoNaDa/0050/2019-00.

- Ji, L., Zhang, Y., Chen, H., Yan, A., Guo, J., Yu, L., Wang, L., Liu, X., Shi T., Zhu, M., Chen, Y., Yang, G., Tang, P., Xu, B., Giri, Ch., Clinton, N., Zhu, Z., Chen, J. & Chen, J., 2013, Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data, *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), s. 2607-2654.
- [10] Kaczmarek, S., 2015, Skuteczność procesu rewitalizacji. Uwarunkowania, mierniki, perspektywy, *Studia Miejskie*, 17, s. 27-35.
- [11] Kireev, S. S., Filippov, S.A., Guseva, A. I., Bochkaryov, P.V., Kuznetsov, I.A., Migalin, V., 2018, Cloud Computing in Housing and Utility Services Monitoring Systems, W: 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW) FICLOUDW Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW), Barcelona, s. 90-94
- [12] Langstraat, J.W., 2006, The urban regeneration industry in Leeds: measuring sustainable urban regeneration performance, *Earth & Environment*, 2, s. 167-210.
- [13] Liu, S., 2021, Real-time monitoring of energy consumption of high-rise residential construction based on BIM building model, *International Journal of Critical Infrastructures*, 17(4), s. 317-329
- [14] Mvuyana, B., 2023, Theory of Change as a monitoring and evaluation tool aimed at achieving sustainable human settlements, *Africa's Public Service Delivery & Performance Review*. 11(1), s. 1-9
- [15] Rawat, J.S., Kumar, M., 2015, Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 2015, s. 77-84.
- [16] Singh, S.K., Kanga, S., Sajjan, B., Diwate, S.M., Tripathi, G., 2023, Monitoring Land Use and Land Cover Change Over Bhiwani District Using Google Earth Engine. W: S. Mustak, D. Singh, P.K. Srivastava, red. *Advanced Remote Sensing for Urban and Landscape Ecology. Advances in Geographical and Environmental Sciences*. Singapore: Springer, s. 161-174.

- [17] Tanasiev, V., Pătru, G.C., Rosner, D., Sava, G., Necula, H., Badea, A., 2021, Enhancing environmental and energy monitoring of residential buildings through IoT, *Automation in Construction*, 126, s. 1-13
- [18] Taufique, M., Khursheed, V., 2022, Monitoring Land Use/Land Cover Change Dynamics Using Remote Sensing and Geospatial Techniques in Rambhara Catchment, Kashmir Valley, India. W: M. Rani, B.S. Chaudhary, S. Jamal, P. Kumar, red. *Towards Sustainable Natural Resources*. Cham: Springer, s. 105-121.
- [19] Toscani, A., Rocchi, N., Pinaridi, D., Binelli, M., Saccenti, L., Farina, A., Pavoni, S., Vanali, M., 2023, Low-Cost Condition Monitoring System for Smart Buildings and Industrial Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 60(1), s. 1870-1878.
- [20] Xu, X., Mumford, T., Zou, P., 2020, Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance, *Energy and Buildings*, 231(7).