



DOI: 10.21005/pif.2023.56.C-04

RAINWATER RETENTION IN A HOUSING ESTATES. ANALYSIS AND IMPLEMENTATION POSSIBILITIES BGI – A CASE STUDY OF LUBLIN

RETENCJA WODY OPADOWEJ NA OSIEDLACH MIESZKALNYCH. ANALIZA I MOŻLIWOŚCI WDRAŻANIA BZI – STUDIUM PRZYPADKU LUBLINA

Małgorzata Kozak

mgr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0003-4125-0148

Faculty of Civil Engineering and Architecture
Lublin University of Technology, Poland

Damian Hołownia

mgr inż. arch.

Author's Orcid number: 0000-0002-5935-3017

Faculty of Civil Engineering and Architecture
Lublin University of Technology, Poland

ABSTRACT

The article examines the architecture from the times of the Polish People's Republic (PRL) and compares it with contemporary multi-family residential developments in terms of water retention. Neglecting this aspect in multi-family housing estates and the paving of surfaces in new housing developments pose a problem. A case study from Lublin was used to identify factors influencing the implementation of blue-green infrastructure (BGI). Using SCALGO Live software, the accumulation areas of rainwater were analyzed and evaluated for BGI implementation. The results indicate that a direct interpretation of computer simulations as BGI implementation sites can be erroneous. The identification of locations for this solutions requires consideration of many other factors.

Key words: blue-green infrastructure, residential estates, sealed surfaces, SCALGO Live, rainfall runoff.

STRESZCZENIE

W artykule przeanalizowano zabudowę mieszkaniową wielorodzinną z czasów Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej (PRL) i porównano ją ze współczesnymi realizacjami tego typu zabudowy pod kątem retencji wody. Pomijanie tego aspektu na osiedlach wielorodzinnych i utwardzanie terenów na nowych osiedlach stanowi problem. Wykorzystano studium przypadku z Lublina do identyfikacji czynników wpływających na implementację błękitno-zielonej infrastruktury (BZI). Za pomocą oprogramowania SCALGO Live przeanalizowano miejsca gromadzenia się wody opadowej i zweryfikowano je pod kątem wprowadzania BZI. Wyniki wskazują na to, że bezpośrednia interpretacja symulacji komputerowych jako miejsc implementacji BZI może być niewystarczająca. Wyszczególnienie miejsc do wprowadzania takich rozwiązań wymaga uwzględnienia wielu innych czynników.

Słowa kluczowe: błękitno-zielona infrastruktura, osiedla mieszkaniowe, powierzchnie uszczelnione, SCALGO Live, wody opadowe.

1. INTRODUCTION

The Polish residential landscape is replete with structures and housing developments that originated during the period of the Polish People's Republic (PRL). The consequence of planning and construction policies from 1952 to 1989 has manifested in approximately 60,000 multi-family residential buildings characterized by the architectural paradigm known as "large-panel" architecture, which collectively houses around 12 million inhabitants (Runkiewicz et al., 2019, p. 22). This demographic represents nearly one-third of the nation's 38 million citizens, thereby underscoring the imperative need to adapt these residential complexes to contemporary demands for sustainable development.

The 1990s marked the commencement of private capital engagement within the housing market, where every square meter of land and every residential unit represented a potential source of profit. Consequently, urban locales and their environs had to align with market-driven principles (Kaczmarek, 2021, p. 150). This shift led to an expansion of building footprint and an ongoing reduction in biologically active spaces in modern residential estates (Strumiłło, 2010, p. 71). This prompts the pertinent question: can blue-green infrastructure be effectively integrated into pre-existing spaces designed around stringent dwelling area ratios? Noticeable disparities in estate planning stemming from changes in land ownership, construction methodologies, economic considerations, and the commoditization of housing resources have precipitated a clear division into two distinct historical periods in housing policy.

This study places particular emphasis on communal spaces within select residential complexes and investigates the potential for implementing solutions geared towards optimizing water resource preservation. This contributes to the broader paradigm of blue-green infrastructure, which plays a pivotal role in addressing water retention and environmental protection, all encompassed within the purview of sustainable urban development. The prolonged duration of droughts followed by extreme rainfall events increases the risk of flooding, thereby incurring significant societal and economic costs.

Several climate change studies indicate that intense and sudden rainfall is likely to become increasingly frequent (Christensen, 2003), thus exacerbating the risk of flash floods, characterized by rapid increases in water levels, short durations, and high peak flows (Pociask-Karteczka, Żychowski, & Bryndal, 2017). In Poland, such floods typically result from rainfall intensities of 20-80mm h⁻¹ lasting up to two hours (Baran-Zglobicka, Godziszewska, & Zglobicki, 2021). Urbanized areas are also exposed to this risk due to factors such as dense and impermeable structures and inadequacies in drainage infrastructure (Baron, 2020). The unchecked urban expansion and the proliferation of sealed surfaces heighten the risk of flooding in cities (Feng, Zhang, & Bourke, 2021).

The 11th World Urban Forum (WUF11) held in Katowice in June 2022 provided a platform for discussions on urban policies and the creation of verdant cities. In 44 major Polish cities, urban adaptation plans for climate change have been instituted, with the judicious management of rainwater being a paramount objective. Some metropolitan areas, including Poznań, Kraków, Bydgoszcz, Gdańsk, and Wrocław, have formulated water management strategies and policies or have adopted standards for rainwater management. Wrocław, in particular, has delineated goals for sustainable rainwater management, established principles for their realization, and allocated responsibilities to relevant entities for execution (Lejcuś et al., 2021, p. 11). Gdańsk, renowned for having one of the most comprehensive water networks in Poland, has articulated its Gdańsk Water Policy within the broader framework of the Gdańsk Development Strategy 2030+. In 2021, the city introduced a "Rainwater Subsidy Program," enabling housing cooperatives to seek financial support for the implementation of small-scale retention solutions. Presently, residential developments are being designed to incorporate surface water retention. Instances of developer investments, where solutions for rainwater retention have been integrated, include the Zielony Południk Estate, Gdańskie Młyny, and the Beauforta Estate near Gdynia. These illustrative examples underscore the necessity for research into rainwater retention within urbanized areas, ultimately enhancing cities' resilience to climate change and fostering improved living conditions for residents.

The primary objective of this article is to examine the potential for introducing blue-green infrastructure in selected residential complexes in Lublin, with a particular focus on rainwater retention in relation to the extent of sealed surfaces. Furthermore, the study seeks to explore the applicability of SCALGO Live software in identifying potential BGI locations at rainwater accumulation sites. This matter serves as a pivotal point of departure for the larger issue affecting numerous cities in Poland and Europe alike.

1.1. Literature review

The concept of green infrastructure was already present at the turn of the 20th and 21st centuries (Benedict, McMahon, and Fund, 2006, p. 23). However, its significance in public discourse is relatively recent, primarily stemming from two initiatives that focused on the protection and connection of parks with green areas to combat habitat fragmentation and preserve biodiversity. Definitions of green infrastructure in Polish publications vary, influenced by the hierarchical principles governing ecological networks, interpretations from various fields of expertise, and the elements constituting green infrastructure, depending on its scale, ranging from continental to local (Januchta-Szostak, 2012; Szulczewska, 2018, pp. 43-59). Green infrastructure encompasses a network perspective, representing areas covered with vegetation, a hydrological perspective, supporting water collection and reuse, an integrated perspective that includes benefits to the environment and the quality of human life, and an economic perspective that emphasizes rational rainwater management (Ahern, 2007, p. 267). It includes both green and blue areas, such as aquatic, terrestrial, and marine ecosystems (European Commission, 2013; Szulczewska, 2018; Januchta-Szostak, 2020). The strategy of green infrastructure assists planners and developers in minimizing the negative impact of rapid urbanization (Benedict and MacMahon, 2002, p. 18). Prior to planning new developments or road networks, it is essential to identify and protect ecologically significant areas (Benedict and McMahon, 2006). Green infrastructure should be designed proactively before development because restoring natural systems is more expensive than preserving existing ones. In already developed areas where broader access to other elements of the green infrastructure system is not assessed, all implemented actions should be based on nature-based solutions (NBS). These solutions are grounded in natural principles, drawing inspiration from nature while providing environmental, social, and economic benefits (European Commission, 2013, pp. 6, 14). The key distinction lies in the fact that the term "green infrastructure" refers to the spatial structure of ecosystems, while NBS is perceived as a human approach to the functions of green infrastructure. Utilizing urban systems based on nature, such as green roofs, natural areas, or sustainable urban drainage systems, can generate substantial socio-economic benefits (Maes and Jacobs, 2017). For the purposes of this study, the authors interpret BGI as the retention of rainwater through one of its specific elements in the form of rain gardens, which combine rainwater management with aesthetic landscape enhancement (Godyń et al., 2020).

In Krakow, water features prominently in numerous parks and gardens, serving both as an enhancement to recreational areas and a wellspring of inspiration (Zachariasz and Porada, 2019, p. 9). It can be seamlessly incorporated into the existing infrastructure of modern residential neighborhoods in the form of Modular Water Squares, mirroring successful implementations studied in Poznan (Januchta-Szostak, 2015, p. 6). Researchers affiliated with the Sendzimir Foundation are at the forefront of national initiatives, contributing discourse on the pivotal role of architecture and urban planning in rainwater management (Januchta-Szostak, 2014). Their work encompasses the development of comprehensive solution catalogs and informational resources delineating the prerequisites for the implementation of blue-green strategies, which have been foundational to the considerations outlined in this current study (Adamowski et al., 2017; Blue-Green Solutions for Residential Communities, 2017; Naumann et al., 2020; Lejcuś et al., 2021; Rain Gardens: An Effectively Hydrated City, 2021). Wrocław stands out as one of the cities that have laid down guidelines for the governance of rainwater. Notable examples of BGI initiatives in Polish urban areas encompass the Lodz Blue-Green Network, the revitalization of Krupnicza Street in Krakow, and the City Water Circles project in Bydgoszcz.

The potential benefits arising from the implementation of blue-green infrastructure have been outlined in pilot studies conducted in the city of Utrecht. These encompass social advantages such as improved air quality, the influence on residents' health through temperature regulation, financial

benefits stemming from rainwater reuse, and noise reduction (Gehrels et al., 2016, p. 73). The integration of green infrastructure within urban areas, including features like rooftop gardens, tree-lined avenues, and urban oases, can mitigate the effects of the urban heat island and provide more comfortable temperatures in public spaces (Farr, 2007; Gehl, 2013; Alexander and Mills, 2014). The absence of green infrastructure in the urban fabric has adverse effects on residents' health and their psycho-physical well-being (Kuprys-Lipinska, Kuna, and Wagner, 2014, p. 54). An integral part of residential neighborhoods, alongside BGI, can be agrarian urban planning (Jeleński, 2020, p. 302), promoting urban gardening culture and favorably influencing balanced development.

Blue-green infrastructure becomes much more significant in light of phenomena that occurred after the political transformation, such as the expansion of sealed surfaces and the removal of natural vegetation. Areas with limited infiltration capabilities, especially those that have been sealed, are particularly vulnerable to climate changes (Bartoszek, Łachowski, and Matuszko, 2022, p. 38). The use of blue-green infrastructure is economically justified, as heavy rains will necessitate the implementation of various flood prevention solutions. Infiltrating water into the ground is the simplest way to reduce the volume of water discharged into the sewer system. It involves water percolating deep into the soil profile due to gravitational forces. BGI can find application in public spaces within residential areas in the form of water squares or rain gardens, serving as flood mitigation measures (Januchta-Szostak, 2014). In the case of infiltration solutions, the native soil where the rain garden is placed should exhibit an infiltration rate of 13 mm/h (Cuaran and Lundberg, 2015). The filtration elements of the blue-green infrastructure serve to purify runoff and neutralize pollutants. They are recommended for use in private areas with the possibility of reusing rainwater.

When designing local stormwater management or rainwater retention systems in residential areas, local conditions, hydrogeological factors (soil permeability and groundwater levels), the presence of green areas, the degree of land sealing, land availability, distances from buildings and underground infrastructure, the source of runoff, and the quality of incoming water to the system must be taken into account. The minimum distances for locating infiltration systems are as follows: 2 meters from the basement wall with waterproofing, a minimum of 3 meters from existing tree canopies, 2 meters from property boundaries, roads, or sidewalks, 1.5 meters from pipelines and technical infrastructure, and 0.8 meters from power and telecommunications cables (Lejcuś et al., 2021, p. 22).

The implementation costs vary depending on the chosen solutions; for example, the cost of a traditional rain garden is lower than the cost of rain gardens in containers (Sendzimira Foundation, 2019; LSS, 2019; Massachusetts, 2019). Additionally, a rain garden in containers, as an example, may pose a potential issue of water overflow through the container walls, which could lead to basement dampness and affect other parts of the building in the ground.

The beginnings of large-panel residential estates date back to the 1960s and 1970s in the 20th century when the demand for affordable housing for the growing urban population increased. In Poland, large-panel housing estates were designed as a mass solution based on the principles of construction industrialization, with the aim of quickly and inexpensively providing a large number of housing units. Before 1989, these estates were designed on extensive land, serving as structural residential units encompassing various forms of single and multi-family housing with appropriate service facilities. The spatial limitations for such units were determined by the boundaries of areas with different land uses, transportation arteries, or natural obstacles (Korzeniewski, 1989, p. 221). Zoning of functions was applied, and relatively small parking lots were often located outside the residential complexes. The principle of limiting private car penetration within the internal area of the estate was introduced (Korzeniewski, 1989, p. 224). Spaces between buildings were filled with green areas and had minimal sealed surfaces, serving as pedestrian and vehicular pathways leading to stairwells (Strumiłło, 2010; Szczerek, 2018; Gyurkovich et al., 2021).

After 1989, the residential property market acquired a commodity status, and multifamily residential structures began to be developed with an emphasis on fully utilizing the available building potential. Urban planning became more localized, primarily relying on local spatial development plans and building conditions issued for specific building plots. Consequently, buildings or residential complexes are often designed with underground parking facilities covering a significant portion of

the available land. The distances between buildings have been minimized, typically adhering to the minimum values set by technical requirements. However, the presence of natural green spaces is often limited, as profitability takes precedence in the overall investment equation. Modern urban areas are marked by a high degree of building density maximization, with relatively limited emphasis on the development of public spaces and green areas (Solarek, 2011; Bradecki and Twardoch, 2013, pp. 241-242). While urban development continues to advance, it often falls short of creating a comprehensive and harmonious urban environment (Stangel, 2013).

Despite the presence of numerous green residential neighborhoods and gullies, Lublin continues to confront climate challenges akin to other cities in Poland and across the globe. Various environmental factors underscore the need for the implementation of BGI, including steadily increasing average temperatures, extreme weather conditions, frequent heavy downpours, along with progressively extended periods of drought. These are just a few of the consequences stemming from excessive greenhouse gas emissions. Climate change intensifies weather extremes, resulting in more robust precipitation, particularly in urban centers (convective phenomena). Lublin is located on the Lublin Upland, where the period of intensive rainfall extends beyond that of other Polish regions, spanning roughly 210 days. The precipitation volume, typically in the range of 20-30 mm per event, leads to sudden surface runoff, giving rise to flash floods. Previous research and analyses indicate that flash floods occur in the Lublin Upland area, making the threat tangible (Turski, 2007). During such heavy rainfall events, conventional stormwater drainage systems may prove inadequate. Research conducted within the Lublin Housing Cooperative has revealed that 54% of residents in large-panel housing estates express an interest in investing in the harnessing of rainwater (Ostańska, 2014, p. 322).

Additional factors supporting the validity of implementing BGI are the legal provisions. The Water Law of July 20, 2017 (Journal of Laws 2017, item 1566), which has been in force since 2018, introduced a new status for rainfall and runoff waters that were previously classified as wastewater. According to the new definition, these are waters resulting from atmospheric precipitation. They only become wastewater after being mixed with domestic or industrial wastewater and entering the sewerage system. In 2022, changes related to fees for reducing natural land retention were introduced. This applies to properties (including housing estates) with a high building density. The current threshold for applying these regulations is properties with a minimum area of 3,500 m², of which 70% is built up. The planned amendment may lower these values, thereby expanding the scope of the fee to a much larger group of entities than currently. The aim is to encourage owners of built-up land to engage in responsible water management and consider rainwater as a resource that can be utilized.

2. MATERIALS AND METHODS

Through critical analysis and a case study, the factors determining the implementation of BGI in residential neighborhoods in Lublin have been presented. The case study research was conducted using a comparative method on two selected neighborhoods and presented in graphical and tabular form. The choice of research areas was based on the selection of neighborhoods developed in different periods, both before and after the political transformation, within the same administrative boundaries of the city. Another criterion was the approximate size of building plots. Necessary resources for the analysis of selected areas included on-site visits, direct measurements of distances between paved surfaces and buildings, widths of pedestrian pathways, combined pedestrian and vehicular paths, and roadways conducted using laser rangefinders and measuring tapes., up-to-date geodetic data from the national geospatial portal, and the use of Computer-Aided Design (CAD) software. The acquired data, such as map layers containing buildings, map layers containing underground infrastructure, photographic documentation, widths of various types of pavements, and distances from building surfaces, enabled the determination of surface areas, allowed for the determination of built-up areas, paved surfaces, green spaces, underground garages, and the location of underground technical infrastructure. To study rainwater accumulation, the SCALGO Live software was employed, enabling the design of solutions for rainwater retention and the simulation of potential flood hazards. SCALGO Live is a planning tool used for analyzing water accumulation due to surface runoff, allowing for the simulation of rainfall

of any volume and in any location on a national scale. The program is versatile and can be utilized by various user groups, including urban planners, researchers, and specialists in natural resource management, infrastructure, and crisis management. It supports spatial data analysis and aids in urban planning processes, scientific research, and decision-making related to rainfall water management. The interactive software allows for the design of terrain modifications, facilitating water resource management. The application includes a digital terrain model for the entire country with a resolution of 1x1 meter and is based on the most current data provided by the Main Office of Geodesy and Cartography (GUGiK). Since SCALGO Live lacks information regarding site infrastructure and underground elements such as underground garages, relying on geodetic data from other sources, such as the geospatial portal, is necessary to conduct the required research. Furthermore, data concerning impermeable surfaces, available in the software, require verification against real-world conditions.

The article delves into the realm of residential housing complexes characterized by multifamily structures situated within the provincial capital of Lublin, Poland. The study entails a comprehensive examination and scrutiny of the urban landscape, encompassing the period of the Polish People's Republic, specifically within the Rury district (Fig. 1, Fig. 3, Fig. 5), in conjunction with the contemporary housing development located in the Ponikwoda district (Fig. 2, Fig. 4, Fig. 6). The chosen study scope serves as an illustrative archetype that could also find parallels in numerous other Polish urban settings, owing to shared attributes within the sphere of residential development during specific time frames. These shared attributes encompass the typology of the built environment, building density, ownership structure, surface types, and the quantity of green spaces. It is worth noting that the selected analyzed developments occupy cadastral parcels with closely akin surface areas, thereby facilitating their juxtaposition. The allocated land area for the PRL-era housing complex amounts to 35,520 square meters, while the contemporary housing complex encompasses 34,045 square meters.



Fig. 1. Rury District, characteristics of the high-rise housing estate. Source photo: authors
Ryc. 1. Dzielnica Rury, charakterystyka zabudowy osiedla Wielkopłytkowego. Zdjęcie: autorzy.



Fig. 2. Ponikwoda District, characteristics of a contemporary housing estate. Source photo: authors
Ryc. 2. Dzielnica Ponikwoda, charakterystyka zabudowy osiedla współczesnego. Zdjęcie: autorzy

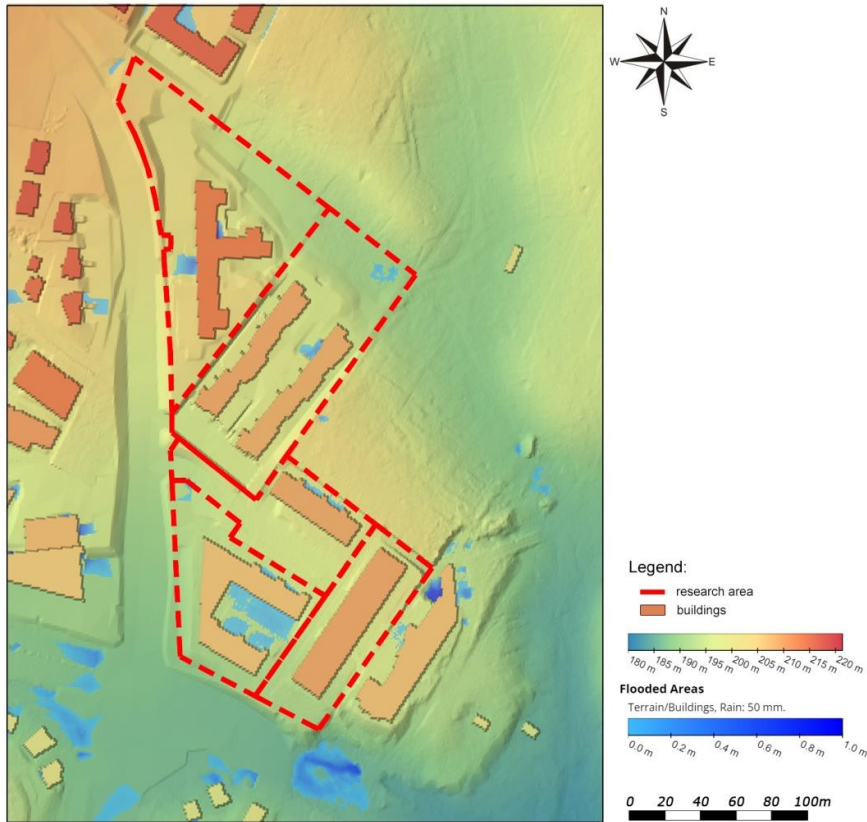


Fig. 3. Housing estate in the Ponikwoda District in Lublin. Visible areas of rainwater accumulation during heavy rainfall of 50 mm; Source: own study based on SCALGO Live (SCALGO Live, 2023).

Ryc. 3. Osiedle na dzielnicy Ponikwoda w Lublinie. Widoczne miejsca gromadzenia się wody opadowej przy opadzie nawałnym 50 mm; Źródło: opracowanie własne na podstawie SCALGO Live (SCALGO Live, 2023).



Fig. 4. Housing estate in the Rury District in Lublin. Visible areas of rainwater accumulation during heavy rainfall of 50 mm; Source: own study based on SCALGO Live.

Ryc. 4. Osiedle na dzielnicy Rury w Lublinie. Widoczne miejsca gromadzenia się wody opadowej przy opadzie nawałnym 50 mm; Źródło: opracowanie własne na podstawie SCALGO Live.

2.1. Case study

The research focused on multifamily residential developments in areas of similar surface area within the city of Lublin. One portion of the complex in the Rury district covers an area of 35,520 square meters, while another portion in the Ponikwoda district spans 34,045 square meters. The architectural layout of the selected residential complexes differs in terms of building density and functional positioning. The facades of buildings in the Rury district complex, with balconies and window openings, are situated approximately 30 meters apart from one another, and their gable walls are at a distance of 16 meters. This spatial arrangement is not dictated by the boundaries of the building plots. On the layout plan of the complex with large-panel elements, extensive green spaces can be observed between the buildings, with relatively minimal paved surfaces (Fig. 5). The dominant features are tall trees and shrubs, while paved areas are limited to access routes to stairwells and recreational spaces. Roadways and parking facilities are located outside the complex, and there is no provision for underground garages on the premises.

The residential complex in the Ponikwoda district is characterized by high-intensity development, with some areas featuring façades with balconies and window openings positioned as close as 13 meters apart. The location of individual structures is determined by the land ownership structure, leading to the maximization of building coverage within the building plot, with a minimum distance of 4 meters from the plot boundary. Paved surfaces designated for vehicular traffic, including roadways and parking areas, are centrally situated within the complex and run adjacent to residential buildings. Underground garages have been constructed both beneath the buildings and outside their outlines (Fig. 6). Areas where construction was unfeasible have been designated for narrow green strips adorned with grass and shrubs.

The analysis focused on the percentage of land that has been developed in relation to the total land area. In the residential complex in the Rury district, the built-up area accounts for 17% of the total, whereas in the Ponikwoda district, it reaches 25.2%. A noticeable contrast also arises in the area designated for greenery and natural elements. In the case of the contemporary housing complex, the underground garages were factored in, resulting in a 24.3% reduction in green spaces with water infiltration capabilities compared to the large-panel complex. Furthermore, 10.9% of the surveyed area in the Ponikwoda district is occupied by underground garages located outside the outlines of the buildings, leading to a 5.2% larger proportion of paved surfaces (such as walkways and parking lots) compared to the analyzed section of the large-panel complex in the Rury district. In total, 59.6% of the analyzed area in the contemporary housing complex is covered by elements that hinder water infiltration, in contrast to 35.3% in the PRL-era complex.

The management and administration of the panel housing complex in the Rury district are carried out by a single housing cooperative, which is typical for such complexes in Poland. The cooperative encompasses several or a dozen properties and their adjacent extensive areas. This structure of ownership is a relic of the previous regime. In the Ponikwoda district, each residential building, along with its associated plot, is managed by a housing community. For the analyzed case, this involves five residential buildings, each managed by a separate housing community. The numerical and percentage values mentioned above are presented in Table 1 (Tab. 1).

Tab. 1. Parameters comparison for selected housing complexes in Rury and Ponikwoda districts; Source: authors.

Parameter	Rury District		Ponikwoda District	
	[numerical and percentage share of the total surveyed area]		[numerical and percentage share of the total surveyed area]	
Number of management units	1		5	
Site area	35520 sq.m	100,0%	34045 sq.m	100,0%
Building area	6053 sq.m	17,0%	8576 sq.m	25,2%
Biologically active area free of underground garages	22983 sq.m	64,7%	13777 sq.m	40,4%
Area of underground garages outside the building footprint	0	0,0%	3698 sq.m	10,9%
Sealed area free of underground garages	6484 sq.m	18,3%	7994 sq.m	23,5%

The housing estate in the Rury district is situated in an area with a gentle, undifferentiated slope to the north. The complex of buildings in the Ponikwoda district is located on an elevation. Within the estate, there is secondary terrain differentiation, with noticeable slopes in the internal roads, local depressions, and retaining walls exceeding 3 meters.

Both analyzed housing estates have underground infrastructure in the form of gas, water supply, sanitary sewer, stormwater drainage, district heating, electrical, and telecommunications networks. The underground infrastructure is located in the immediate vicinity of the buildings. Greater distances between buildings from the period of the Polish People's Republic result in larger open spaces free from underground infrastructure compared to contemporary development.

Using SCALGO Live, the locations of rainwater accumulation were examined. The studies were conducted for a heavy rainfall of 50 mm, which poses a threat of urban flooding. The application, based on a numerical terrain model and surface water flow simulation, identified potential areas of water accumulation in the surveyed housing estates (Figure 3, Figure 4).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Based on simulations conducted in the SCALGO Live software, it is not possible to unequivocally infer that a housing estate from the PRL era, characterized by a larger biologically active area than a contemporary developer's estate, has a greater potential for implementing BGI. This can only be determined after conducting additional research and considering factors that determine the possibilities outlined in this article. This is due to the fact that the data in the software does not correspond to the actual amount of impervious surface. The program does not have precise information about the land cover for the studied areas. The land cover in SCALGO Live for the housing estate in the Ponikwoda district indicates that the entire area is biologically active, whereas in reality, this area is built up and sealed. The program allows for editing the type and extent of land cover, its permeability, and surface runoff coefficient. This requires additional analysis of land cover, verification of sealed surfaces, and manually inputting them. The application also does not take into account the quantity of water runoff into the stormwater drainage system. To determine the location of Sustainable Urban Drainage Solutions, additional terrain analysis is necessary, taking into account the following factors, which have been identified based on a case study and literature review:

- Building layout
- Types of surfaces
- Terrain topography
- Ownership structure and management of space
- Economics
- Greenery
- Underground infrastructure
- Soil type and depth of groundwater occurrence

Due to the presence of a significant amount of open ground and the absence of underground garages beyond the building outline in the housing estate from the era of large panel construction, the area for free rainwater infiltration into the ground is more extensive. Therefore, implementing blue-green solutions appears to be easier than in modern housing estates. The greenery within the district of Rury constitutes valuable green infrastructure, but it limits the implementation of BGI. For instance, establishing a rain garden near tall trees poses a risk of damaging their root system. In the context of Polish People's Republic housing estates, this could prove to be one of the key and decisive factors, given the necessity to maintain an appropriate distance of the introduced solution from the tree canopy. It is also essential to maintain a proper distance from existing buildings and pedestrian-vehicle paths, especially when the planned solutions are not watertight.

The feasibility of implementing blue-green infrastructure solutions in the above situations also varies depending on the ownership structure and the area subject to the decision-making authority

of the managing entity. In the case of several adjacent housing communities, the area at the disposal of each of them is limited to a few meters beyond the building outline, as it is in the Ponikwoda district housing estate. Agreement regarding the location and financing of investments proves to be practically impossible and stretches over time. Taking economic considerations into account, it can be observed that investment opportunities in these cases differ due to the number of residents sharing the costs.

In areas with a slope, the accumulation of rainwater can be observed at natural or architectural barriers that impede or restrict its free flow. Designing BGI in such areas will focus on directing the water flow towards a specific catchment and managing it. In the case of flat terrain, solutions should take into account the limitations of the floodplain area and ensure unhindered infiltration. The determining factor is the type of soil and the depth of the groundwater table. A geotechnical assessment of the soil substrate conducted by a qualified individual is necessary for this purpose. If soils with very low, low, or moderate permeability are identified, opting for BGI solutions will require a partial replacement of the soils with non-cohesive, highly permeable soils.

Another factor is the routing of underground utilities such as water, electricity, sanitary sewerage, etc. from which minimum distances must be maintained for the location of the BGI. There may also be a restriction in the form of a connection to the municipal drainage network for the discharge of excess water.

Taking into account the determining factors, the potential areas for implementing BGI are visible in figures 5 and 6. These graphics are compilations of three map layers: the building map, surface type map, and vegetation map, along with the underground technical infrastructure and surface water flow simulation from the SCALGO Live program. The areas allowing for BGI implementation are shown in light green, indicating areas free from underground infrastructure and sealed surfaces. In the housing complex in the Ponikwoda district, a potential location for BGI implementation is found in the northern part of the area, visible as a blue color representing accumulated rainwater. According to the analysis, this could be the best location for implementing a rain garden, for example. Figures shows surface runoff lines that can be useful in determining BGI locations in their immediate vicinity. In the northwestern part of the plot, rainwater is visible in areas such as the entrance to an underground garage, which has drainage, as well as on sealed surfaces. Water is also visible above the underground garage, where implementing BGI is not possible. In this case, alternative green infrastructure solutions, such as low greenery (flower gardens, grass), could be considered.

In the Rury district housing complex, the simulations show that water accumulates near the northern gable walls of buildings located in the central part of the urban area. Implementing BGI solutions in these areas is not possible due to the existing underground infrastructure, close proximity to buildings, and the sealed surfaces in the form of sidewalks. According to the software, rainwater also accumulates in the northeastern part of the area, but introducing BGI there is also hindered by the existing underground infrastructure. The central part of the Rury district area, highlighted in light green, is free from buildings, tall trees, and infrastructure. This allows for the introduction of green infrastructure solutions, such as additional vegetation like flower beds, community gardens, or perennial gardens.

Based on the above analyses, the housing complex in the Rury district demonstrates greater potential for implementing green infrastructure in terms of available space. However, the visible water accumulation areas in SCALGO Live cannot be directly interpreted as the best locations for introducing BGI due to the presence of determining factors, primarily the existing underground infrastructure. Similarly, in the housing complex located in the Ponikwoda district, the water accumulation location indicated in the application is found, among other places, above an existing underground garage, where implementing BGI is not possible. Due to local conditions resulting from the topography, the location of, for example, a rain garden is possible in the northeastern part of the analyzed area. The analyzed housing complexes have a stormwater drainage system in place and are located on hills, which means that heavy rainfall does not pose a flood risk. Due to the higher proportion of biologically active area in the Rury district housing complex, there are more possibilities for implementing green infrastructure compared to the other complex. Additionally, the

existing vegetation there is more diverse. The area of allotment gardens adjacent to the Ponikwoda District from the east and north serves as a buffer zone with a significant amount of greenery, limiting excessive urbanization.

According to the literature on green infrastructure, which includes solutions that improve the quality of ecosystem services, potential solutions for the presented housing complexes include green roofs, green walls, perennial gardens, community gardens, pergolas covered in vegetation, or container gardens. It may also be worth considering the unsealing of surfaces or replacing them with more permeable materials to increase the infiltration of rainwater. In the case of contemporary housing developments that have limited possibilities for implementing BGI, this could be an alternative solution that enhances the environmental and social potential of the housing complex.

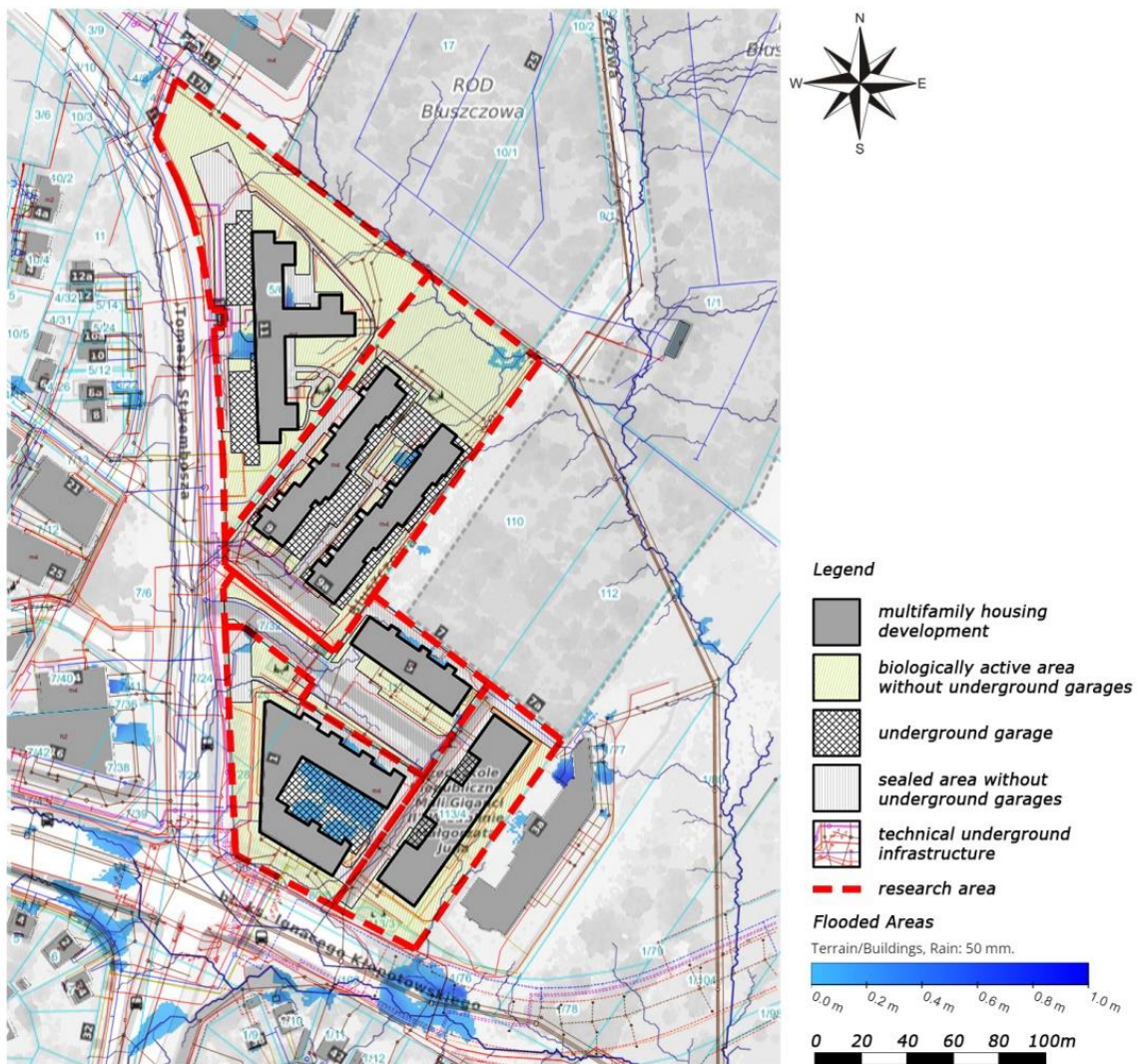


Fig. 5. Analysis of the Ponikwoda District housing estate. Comparison of surface coverage, underground infrastructure, and surface runoff of rainwater during a 50 mm rainfall event; Source: authors.

Ryc. 5. Analiza osiedla na dzielnicy Ponikwoda. Porównanie pokrycia powierzchni, infrastruktury podziemnej i spływu powierzchniowego wody opadowej przy opadzie 50 mm; Źródło: opracowanie własne.

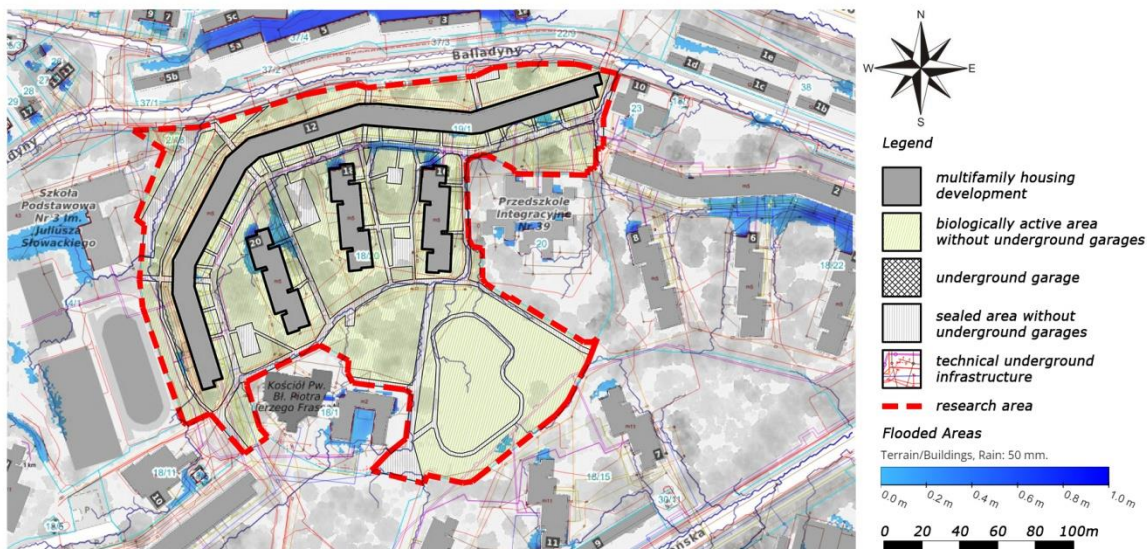


Fig. 6. Analysis of the Rury District housing estate. Comparison of surface coverage, underground infrastructure, and surface runoff of rainwater during a 50 mm rainfall event; Source: own research.

Ryc. 6. Analiza osiedla na dzielnicy Rury. Porównanie pokrycia powierzchni, infrastruktury podziemnej i spływu powierzchniowej wody opadowej przy opadzie 50 mm; Źródło: opracowanie własne.

The presented results substantiate the need for conducting research in the direction of rainwater retention within residential housing estates. Due to the relatively recent nature of the SCALGO Live software, the current state of research is not extensive. It is employed by various administrative and academic entities, thus potentially offering practical applications or serving as guidance in result interpretation. In numerous studies, SCALGO Live has been compared with the MIKE 21 software, both yielding similar outcomes (Adhikari, 2020). According to research from 2019, SCALGO Live is suitable for smaller catchment areas and proves effective as a platform for detailed data and early-stage planning outcomes (Andersson, 2021). Preceding analyses for the urban project in Køge Nord, Denmark, demonstrated that utilizing the application in the early stages enabled the development of innovative retention solutions (Gamman and Urrang, 2019).

Research on rainwater retention within housing estates from both the PRL era and contemporary times, amid climate changes, is gaining increasing interest among scientists. Analyses concerning the introduction of integrated water management, conducted for a 1970s housing estate in Krakow, indicate that the solutions proposed by the authors are feasible for implementation and could be introduced to other areas with similar morphological characteristics (Bonenberg et al., 2022). For developer-led housing estates, surface infiltration coupled with retention is deemed the most suitable approach for rainwater management (Kordana-Obuch and Starzec, 2020). The authors underscore that effective tools potentially influencing existing residential structures are economic instruments such as rainwater fees. Studies for an existing residential estate in Krakow demonstrated that the proposed BGI system could reduce surface runoff threefold, with the entire investment paying off within 12 years, potentially yielding financial benefits over time (Godyń et al., 2020). The introduction of BGI solutions could also elevate property value and enhance societal perception (Żółtaszek and Stodulska, 2021). It is crucial to comprehensively embed nature-based solutions within urban policy and planning documents (Zwierzchowska et al., 2019; Wickenberg, McCormick, and Olsson, 2021). Existing formal-legal solutions for flood and inundation prevention primarily rely on traditional methods (Baron, 2020). Spatial planning appears to overlook blue-green infrastructure as a component mitigating flood risks, despite its potential to embody the concept of a resilient city in the face of extreme water-related phenomena (Burszta, 2016).

In the subsequent stages of research progress, the authors of this study plan to further refine their research using SCALGO Live, attempting a precise implementation of BGI solutions within a selected residential housing estate area.

4. SUMMARY

The study conducted in this article highlighted a problem prevalent in modern housing estates, which is the significant surface sealing, as well as the importance of Blue-Green Infrastructure as a solution to enhance rainwater retention. Introducing such solutions can bring numerous benefits to already developed areas in terms of sustainability .

From the analyses carried out using SCALGO Live software, it is evident that the water accumulation areas identified in the program cannot be directly interpreted as the best locations for implementing BGI solutions. The only suitable location for rainwater retention features, such as a rain garden, is situated in the northern part of the developer estate in the Ponikwoda district. This conclusion stems directly from the conducted analyses. Despite the larger biologically active area on the Polish People's Republic era estate compared to the developer one, the implementation of retention solutions is challenging due to the presence of tall trees and existing underground infrastructure. Nature-based solutions might remain feasible in both cases.

In summary, this study represents a pivotal step towards further research on rainwater retention in existing residential housing estate areas. The use of software like SCALGO Live for this purpose appears promising. However, it is essential to emphasize that this requires thorough analyses that extend beyond the data available within the application. Consequently, decisions regarding BGI implementation should be accompanied by a specific case study considering a range of other factors.

RETENCJA WODY OPADOWEJ NA OSIEDLACH MIESZKALNYCH. ANALIZA I MOŻLIWOŚCI WDRAŻANIA BZI - STUDIUM PRZYPADKU LUBLINA

1. WPROWADZENIE

Polskie środowisko mieszkaniowe obfituje w obiekty i osiedla realizowane w rzeczywistości minionego ustroju PRL. Efektem polityki planowania i budowy z lat 1952 – 1989 jest 60 000 obiektów zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej z tzw. „wielkiej płyty”, które zamieszkuje 12 milionów ludzi (Runkiewicz i in. 2019, s. 22). Jest to niemal 1/3 ludności 38 milionowego kraju, dlatego istotne jest dostosowanie wspomnianych osiedli do współczesnych wymagań zrównoważonego rozwoju. Lata 90. XX wieku to początki działalności prywatnego kapitału na rynku mieszkaniowym. Każdy metr gruntu oraz mieszkania to potencjalne źródło zysku. Lokal i jego otoczenie musiały podporządkować się zasadom rynkowym (Kaczmarek, 2021, s. 150). Powierzchnia zabudowy wzrasta, a dostępna przestrzeń biologicznie czynna na współczesnych osiedlach nieustannie się kurczy (Strumiłło, 2010, s. 71). Zasadne jest pytanie: czy błękitno-zielona infrastruktura znajdzie swoje miejsce w już zrealizowanej przestrzeni, projektowanej według wyśrubowanych współczynników powierzchni użytkowej mieszkań? Różnice w sposobie planowania osiedli, wynikające ze zmiany struktury własności gruntów, sposobu realizacji obiektów, ekonomii, urynkowienia zasobów mieszkaniowych są wyraźnie widoczne i determinują podział na dwa okresy w historii mieszkalnictwa z odmienną polityką społeczną. W niniejszym opracowaniu autorzy skupiają się na przestrzeniach wspólnych wybranych zespołów mieszkaniowych i możliwości lokalizacji w nich rozwiązań optymalizujących ochronę zasobów wodnych, która jest jednym z priorytetów transformacji gospodarki.

Wyzwaniem adaptacji miast staje się retencja wody deszczowej i ochrona środowiska naturalnego, co zawiera się w szeroko rozumianym pojęciu błękitno-zielonej infrastruktury. Wydłużające się

susze i następujące po nich ekstremalne opady deszczu zwiększają ryzyko podtopień i powodzi, co generuje wysokie koszty społeczne i gospodarcze.

Niektóre badania zmian klimatu pokazują, że gwałtowne i intensywne opady będą występowały coraz częściej (Christensen, 2003) przez co wzrasta ryzyko powodzi błyskawicznych, które polegają na gwałtownym wzroście poziomu wody, a ich cechą jest krótki czas trwania i duże przepływy maksymalne (Pociask-Karteczka, Żychowski i Bryndal 2017). W Polsce tego typu powodzie wynikają z opadów o natężeniu 20-80mm h⁻¹ trwających do dwóch godzin (Baran-Zgłobicka, Godziszewska i Zgłobicki, 2021). Wspomniane zagrożenie dotyczy również obszarów zurbanizowanych z powodu między innymi gęstej i szczelnej zabudowy oraz niewydolności infrastruktury kanalizacyjnej (Baron, 2020). Nadmierny rozwój urbanizacji i powierzchni uszczelnionych zwiększa ryzyko występowania powodzi w miastach (Feng, Zhang i Bourke, 2021).

Podczas 11 Światowego Forum Miejskiego (WUF11), które odbyło się w Katowicach w czerwcu 2022 roku poruszany był problem polityki miejskiej i kształtowania zielonych miast. W 44 dużych polskich miastach wdrożone zostały miejskie plany adaptacji do zmian klimatycznych, w których racjonalna gospodarka wodami opadowymi jest jednym z priorytetów. Niektóre metropolie, takie jak m.in. Poznań, Kraków, Bydgoszcz, Gdańsk, Wrocław posiadają strategię i politykę wodną lub standardy gospodarowania wodą opadową. We Wrocławiu zostały również określone cele zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi, zasady ich realizacji i obowiązki jednostek przy ich wdrażaniu (Lejcuś i in., 2021, s. 11). Wrocław przystąpił także do opracowania Strategii Gospodarowania Wodami Opadowymi i Roztopowymi dla Miasta Wrocławia na lata 2022-2027. Gdańsk z kolei, który posiada jedną z najbardziej rozbudowanych sieci wodnych w Polsce. Opracowano dla niego Strategię Rozwoju Gdańska 2030+, w ramach której opracowana została Gdańska Polityka Wodna (Fikus-Wójcik i Różga-Micewicz, 2018). W 2021 roku miasto wprowadziło program „Dofinansowanie do deszczówki”, dzięki któremu m.in. spółdzielnie mieszkaniowe mogły starać się o dofinansowanie na wprowadzenie rozwiązań małej retencji. Obecnie powstają inwestycje mieszkaniowe, które uwzględniają powierzchniową retencję wód opadowych. Jednymi z inwestycji deweloperskich, na których wdrożono rozwiązania mające na celu retencję wody opadowej są Osiedle Zielony Południk, Gdańskie Młyny, a także Osiedle Beauforta pod Gdynią. Wyżej przedstawione przykłady udowadniają potrzebę prowadzenia badań w kontekście retencionowania wody opadowej na obszarach zurbanizowanych w celu zwiększenia odporności miast na zmiany klimatyczne, tworząc tym samym lepsze warunki życia dla mieszkańców.

Niniejszy artykuł ma na celu analizę możliwości wprowadzania błękitno-zielonej infrastruktury w zależności od ilości powierzchni uszczelnionych na wybranych osiedlach mieszkaniowych w Lublinie w aspekcie retencji wody opadowej. Zadaniem jest również zbadanie możliwości użycia oprogramowania SCALGO Live do wyznaczania potencjalnych lokalizacji BZI w miejscach gromadzenia się wody opadowej. To zagadnienie może stanowić punkt wyjścia do problemu pojawiającego się w wielu miastach Polski i Europy.

1.1. Przegląd literatury

Pojęcie zielonej infrastruktury było obecne już na przełomie XX i XXI wieku (Benedict, McMahon i Fund, 2006, s. 23). Jego znaczenie w dyskursie publicznym jest stosunkowo nowe. Wywodzi się głównie z dwóch inicjatyw, które skupiały się przede wszystkim na ochronie i połączeniu parków z obszarami zielonymi w celu przeciwdziałania fragmentacji siedlisk i zachowaniu bioróżnorodności. Definicje zielonej infrastruktury w polskich publikacjach są zróżnicowane. Wynika to między innymi z zasady hierarchicznego kształtowania sieci ekologicznych, interpretacji specjalistów z różnych dziedzin oraz elementów składających się na zieloną infrastrukturę, w zależności od jej skali, zaczynając od kontynentalnej aż po skalę miejsca (Januchta-Szostak, 2012; Szulczewska, 2018, s. 43-59). Zielona infrastruktura zawiera się w ujęciu sieciowym, jako tereny pokryte roślinnością, w ujęciu hydrologicznym, wspomagającym gromadzenie i ponowne wykorzystanie wody, w ujęciu zintegrowanym, czyli korzyściami, jakie środowiska i jakości życia ludzi oraz w ujęciu ekonomicznym, jako racjonalnej gospodarce wodami opadowymi (Ahern, 2007, s. 267). Obejmuje ona obszary zielone i niebieskie, takie jak ekosystemy wodne, lądowe i morskie (Komisja Europejska, 2013; Szulczewska, 2018; Januchta-Szostak, 2020). Strategia zielonej

infrastruktury pomaga planistom i deweloperom zminimalizować negatywny wpływ szybkiego wzrostu urbanizacji (Benedict i MacMahon, 2002, s. 18). Przed planowaniem nowej zabudowy czy sieci ulic należy zidentyfikować i ochronić ważne obszary ekologiczne (Benedict i MacMahon, 2006). Zielona infrastruktura powinna być projektowana przed rozwojem, gdyż przywracanie naturalnych systemów jest droższe niż zachowanie tych już istniejących. Na terenach już zagospodarowanych, gdzie nie jest badana szersza dostępność do pozostałych elementów systemu zielonej infrastruktury, wszelkie wdrażane działania powinny sprowadzać się do rozwiązań opartych na przyrodzie (NBS). Są to rozwiązania, które opierają się na zasadach natury i są nią inspirowane przy jednoczesnym zapewnieniu korzyści środowiskowych, społecznych i gospodarczych (Komisja Europejska, 2013, s. 6, 14). Różnica polega na tym, że termin zielonej infrastruktury odnosi się do przestrzennej struktury ekosystemów, a NBS jest postrzegany, jako człowieka na funkcje zielonej infrastruktury. Wykorzystanie systemów miejskich w oparciu o naturę, na przykład za pomocą zielonych dachów, obszarów przyrodniczych lub zrównoważonych miejskich systemów odwadniających, mogą generować duże korzyści społeczno-gospodarcze (Maes i Jacobs, 2017). Na potrzeby niniejszych badań autorki interpretują BZI jako retencję wód opadowych za pomocą jednego z jej konkretnych elementów w postaci ogrodów deszczowych, które łączą zagospodarowanie wody deszczowej z estetycznym uzupełnieniem krajobrazu (Godyń i in., 2020).

W Krakowie woda obecna jest w wielu parkach i ogrodach, jako dopełnienie miejsca rekreacji i źródło inspiracji (Zachariasz i Porada, 2019, s. 9). Może być wprowadzana w istniejącą zabudowę nowoczesnych osiedli w postaci Modułowych Skwerów Wodnych, tak jak zostało to przeprowadzone w badaniach dla Poznania (Januchta-Szostak, 2015, s. 6). Badacze z Fundacji Sendzimira prowadzą działania na skalę krajową pisząc o roli architektury i urbanistyki w gospodarowaniu wodą opadową (Januchta-Szostak, 2014) i opracowując katalogi rozwiązań i informatory w zakresie wymagań implementacji błękitno-zielonych rozwiązań, które stanowiły podstawę rozważań niniejszego opracowania (Adamowski i in., 2017; Zielono-błękitne rozwiązania dla osiedli mieszkaniowych, 2017; Naumann i in., 2020; Lejcuś i in., 2021; Ogrody deszczowe. Dobrze nawodnione miasto, 2021). Wrocław jest jednym z miast, które wydał zasady gospodarowania wodami opadowymi. Udanyymi przykładami BZI w Polskich miastach jest między innymi Łódzka Błękitno-Zielona Sieć, przebudowa ulicy Krupniczej w Krakowie czy projekt City Water Circles dla Bydgoszczy.

Potencjalne korzyści, jakie wynikają z wprowadzania błękitno-zielonej infrastruktury zostały opisane w badaniach pilotażowych dla miasta Utrecht. Są to korzyści społeczne takie jak: poprawienie jakości powietrza, wpływ na zdrowie mieszkańców poprzez regulację temperatury, korzyści finansowe wynikające z ponownego wykorzystania wody opadowej, a także redukcja hałasu (Gehrels i in., 2016, s. 73). Wprowadzenie zielonej infrastruktury w miastach, w tym parków, ogrodów na dachach, alejek drzew i miejskich oaz, może łagodzić skutki miejskiej wyspy ciepła i zapewnić bardziej komfortową temperaturę w przestrzeniach (Farr, 2007; Gehl, 2013; Alexander i Mills, 2014). Brak zielonej infrastruktury w tkance miasta negatywnie wpływa na zdrowie mieszkańców i na ich kondycję psychofizyczną (Kuprys-Lipinska, Kuna i Wagner, 2014, s. 54). Część integralną osiedli mieszkaniowych poza BZI może stanowić urbanistyka agrarna (Jeleński, 2020, s. 302), która promuje miejską kulturę ogrodniczą i korzystnie wpływa na równoważny rozwój.

Błękitno-zielona infrastruktura nabiera dużo większego znaczenia biorąc pod uwagę zjawiska, które wystąpiły po transformacji ustrojowej takie jak zwiększanie powierzchni uszczelnionych oraz pozabawianie terenu naturalnej roślinności. Szczególnie narażone na zmiany klimatyczne są obszary uszczelnione, które mają ograniczone możliwości infiltracyjne (Bartoszek, Łachowski i Matuszko, 2022, s. 38). Zastosowanie BZI ma w związku z tym uzasadnienie ekonomiczne, ponieważ ulewne deszcze będą wymuszały stosowanie różnych rozwiązań zapobiegających podtopieniom. Infiltracja wody do gruntu jest najprostszym sposobem na zmniejszenie ilości wody odprowadzanej do kanalizacji. Polega na wsiąkaniu wody w głąb profilu glebowego w skutek działania sił grawitacyjnych. Swoje zastosowanie może mieć w przestrzeniach publicznych osiedli mieszkaniowych w postaci placów wodnych czy ogrodów deszczowych pełniąc funkcję ograniczenia spływu (Januchta-Szostak, 2014). W przypadku rozwiązań infiltracyjnych grunt rodzimy, na którym umieszczony jest ogród deszczowy, powinien charakteryzować się

współczynnikiem infiltracji na poziomie 13 mm/h (Cuaran i Lundberg, 2015). Elementy filtracyjne błękitno zielonej infrastruktury służą do oczyszczania spływów i neutralizacji zanieczyszczeń. Zalecane do stosowania są na terenach prywatnych z możliwością ponownego wykorzystania wody opadowej.

Podczas projektowania układów miejscowego rozsączania lub retencjonowania wody opadowej na osiedlach mieszkaniowych należy uwzględnić warunki lokalne, uwarunkowania hydrogeologiczne (przepuszczalność gruntu rodzimego i poziom wód gruntowych), obecność terenów zieleni, stopień uszczelnienia terenu, dostępność terenu, odległości od budynków i infrastruktury podziemnej, źródło spływu i jakość wód, które dopływają do systemu. Odległość lokalizowana układów rozsączających od ściany piwnicy z izolacją przeciwwilgociową wynosi 2 m, od istniejącego drzewostanu (korony drzewa) min. 3 m, od granicy działki, drogi lub chodnika min. 2 m, od rurociągów i infrastruktury technicznej min. 1,5 m, od kabli elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych min 0,8 m (Lejcuś i in., 2021, s. 22).

Ceny realizacji różnią się w zależności od przyjętych rozwiązań, np. cena tradycyjnego ogrodu deszczowego jest niższa niż cena ogrodu deszczowego w pojemnikach (Fundacja Sendzimira, 2019; LSS, 2019; Massachusetts, 2019). Ponadto, przykładowy ogród deszczowy w pojemnikach generuje potencjalny problem przelewania się wody przez ściany pojemnika, co może zagrażać zawilgoceniu piwnic i innych części budynku w gruncie.

Początki wielopłytowych osiedli mieszkaniowych sięgają lat 60. i 70. XX wieku, kiedy zapotrzebowanie na tanie mieszkania dla rosnącej liczby ludności miejskiej wzrosło. Wielopłytowe osiedla były w Polsce projektowane, jako rozwiązanie masowe, oparte na zasadach industrializacji budownictwa, które miały za zadanie szybko i tanio dostarczyć dużą ilość mieszkań. Osiedla przed 1989 rokiem projektowano mając do dyspozycji rozległy teren, jako strukturalne jednostki mieszkaniowe obejmujące formy budownictwa jedno i wielorodzinnego z odpowiednim programem usług. Przestrzennym ograniczeniem takiej jednostki były granice terenów o innym sposobie użytkowania, arterie komunikacyjne lub przeszkody naturalne (Korzeniewski, 1989, s. 221). Stosowano strefowanie funkcji, a stosunkowo niewielkie place parkingowe najczęściej lokalizowano na zewnątrz zespołów zabudowy mieszkaniowej. Wprowadzano zasadę ograniczania penetracji samochodu osobowego na obszarze wewnętrznym osiedla (Korzeniewski, 1989, s. 224). Przestrzenie między budynkami wypełnione były terenami zielonymi z niewielką powierzchnią uszczelnioną będące ciągami pieszo-jezdnymi stanowiącymi dojścia do klatek schodowych (Strumiłło, 2010; Szczerek, 2018; Gyurkovich i in., 2021).

Po roku 1989 powierzchnia mieszkaniowa zyskała status towaru, a obiekty mieszkalne wielorodzinne realizowane są z maksymalnym wykorzystaniem potencjału zabudowy. Planowanie ograniczone jest do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego oraz warunków zabudowy wydawanych dla działki budowlanej. Budynki bądź zespoły budynków realizowane są najczęściej z podziemnymi hałami garażowymi pod dużą częścią terenu. Odległości między budynkami są niewielkie i zazwyczaj jest to minimalna wartość spełniająca zapisy warunków technicznych. Tereny zieleni naturalnej są ograniczane ze względu na opłacalność całej inwestycji. Współczesne dzielnice miejskie charakteryzują maksymalizacją gęstości zabudowy a przestrzeni publicznych i terenów zielonych realizowanych jest niewiele (Solarek, 2011; Bradecki i Twardoch, 2013) str. 241-242. Zabudowa miejska rozwija się, jednakże nie powstaje kompletna i zrównoważona przestrzeń (Stangel, 2013).

Lublin, mimo wielu zielonych osiedli mieszkaniowych i wawozów, wciąż stoi przed podobnymi wyzwaniem klimatycznymi jak inne miasta w Polsce i na świecie. Istnieje wiele aspektów środowiskowych uzasadniających wdrażanie BZI, takich jak: stale rosnące średnie temperatury, ekstremalne warunki pogodowe, częste i ulewne deszcze połączone z coraz dłuższymi okresami suszy. Są to tylko niektóre skutki nadmiernej emisji gazów cieplarnianych. Zmiany klimatyczne zwiększają ekstrema pogodowe, opady stają się bardziej obfite, zwłaszcza w dużych miastach (zjawiska konwekcyjne). Miasto Lublin zlokalizowane jest na Wyżynie Lubelskiej, a okres intensywnych opadów jest dłuższy niż w innych regionach Polski i trwa około 210 dni. Ilość opadów, to każdorazowo 20-30 mm, co jest przyczyną gwałtownych spływów powierzchniowych. Dotychczasowe badania i analizy wskazują, że na obszarze Wyżyny Lubelskiej występują

powodzie błyskawiczne i zagrożenie jest realne (Turski, 2007). Podczas takich gwałtownych opadów systemy kanalizacji deszczowej mogą być niewydolne. Badania przeprowadzone na osiedlu Lubelskiej Spółdzielni Mieszkaniowej dowiodły, że 54% mieszkańców osiedla wielkopłytowego jest zainteresowana inwestycją w wykorzystanie wody opadowej (Ostańska, 2014, s. 322).

Dodatkowymi aspektami wspierającymi zasadność wdrażania BZI są zapisy prawne. Prawo Wodne z dnia 20 lipca 2017 r. (Dz.U. 2017 poz. 1566) obowiązujące od 2018 roku wprowadziło nowy status dla wód opadowych i roztopowych, które były określane jako ścieki. Według nowej definicji są to wody wynikające z opadów atmosferycznych. Ściekami stają się dopiero po wymieszaniu ze ściekami bytowymi lub przemysłowymi i po trafieniu do kanalizacji. W 2022 roku zostały wprowadzone zmiany związane z opłatą za zmniejszenie naturalnej retencji terenu. Dotyczy to nieruchomości (w tym osiedli), których teren cechuje się wysokim wskaźnikiem zabudowy. Aktualnym progiem stosowania przepisów jest teren o minimalnej powierzchni 3 500 m² i zabudowany w 70%. Planowana nowelizacja może zmniejszyć te wartości, przez co opłata swoim zasięgiem obejmie znacznie większą grupę podmiotów niż obecnie. Celem jest zachęcenie właścicieli zabudowanych gruntów do racjonalnej gospodarki wodnej i traktowania wody opadowej, jako zasób możliwy do wykorzystywania.

2. MATERIAŁY I METODY

Za pomocą analizy krytycznej i studium przypadku przedstawiono czynniki determinujące wprowadzanie BZI na osiedlach mieszkaniowych w Lublinie. Badania studium przypadku wykonano metodą porównawczą dwóch wybranych osiedli i przedstawiono w formie graficznej oraz tabel. Wybór obszarów badań wynikał z selekcji osiedli powstałych w różnych okresach, przed i po transformacji ustrojowej znajdujących się w tych samych granicach administracyjnych miasta. Kryterium była również zbliżona powierzchnia działek budowlanych. Niezbędne do analizy wybranych obszarów były: wizja lokalna, pomiary bezpośrednie odległości utwardzeń od budynków, szerokości ciągów pieszych, pieszo jezdnych, jezdni wykonane za pomocą dalmierzy laserowych i taśm mierniczych, aktualne dane geodezyjne z geoportalu krajowego oraz wykorzystanie oprogramowania do wspomagania projektowania (CAD). Pozyskane dane, takie jak podkłady mapowe zawierające zabudowę, podkłady mapowe zawierające infrastrukturę podziemną, dokumentacja fotograficzna, szerokości poszczególnych typów utwardzeń, odległości powierzchni od budynków pozwoliły określić powierzchnie, pozwoliły określić powierzchnie zabudowy, utwardzoną, biologicznie czynną, garaży podziemnych oraz lokalizację podziemnej infrastruktury technicznej. Do badań gromadzenia się wody deszczowej użyto oprogramowania SCALGO Live, które umożliwia projektowanie rozwiązań mających na celu jej retencję oraz symulację potencjalnych zagrożeń powodziowych. SCALGO Live, to narzędzie planistyczne służące do analizy miejsc gromadzenia się wody wskutek spływu powierzchniowego, umożliwiające symulację opadu o dowolnej objętości i w dowolnym miejscu w skali całego kraju. Program może być wykorzystywany przez różnorodne grupy użytkowników, takich jak urbaniści, badacze naukowcy oraz specjaliści ds. zarządzania zasobami naturalnymi, infrastrukturą i zarządzaniem kryzysowym. Umożliwia on analizę danych przestrzennych, wspierając procesy planowania miejskiego, badania naukowe oraz podejmowanie decyzji związanych z zarządzaniem wodą opadową. Interaktywne oprogramowanie pozwala na projektowanie rozwiązań polegających na modyfikacji kształtowania terenu, co może ułatwiać zarządzanie gospodarką wodną. Aplikacja posiada numeryczny model terenu dla całego kraju w rozdzielczości 1x1m. Jest oparty na najbardziej aktualnych danych dostarczanych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK). Ze względu na to, że SCALGO Live nie posiada informacji dotyczących uzbrojenia terenu i elementów podziemnych takich jak garaże, a jedynie sieci kanalizacji sanitarnej i deszczowej do przeprowadzenia badań niezbędne jest posiłkowanie się danymi geodezyjnymi z innych źródeł, jak np. geoportal. Ponadto, dane dotyczące powierzchni uszczelnionych, które są dostępne w oprogramowaniu wymagają weryfikacji ze stanem rzeczywistym.

Artykuł dotyczy przestrzeni osiedli mieszkaniowych z zabudową wielorodzinną, znajdujących się w stolicy województwa lubelskiego – w Lublinie. Analizie i obserwacji poddano teren zabudowany

w okresie PRL, znajdujący się w dzielnicy Rury (Ryc. 1, Ryc. 3, Ryc. 5) oraz współczesną zabudowę zlokalizowaną w dzielnicy Ponikwoda (Ryc. 2, Ryc. 4, Ryc. 6). Wybrany zakres stanowi przykład, który może znaleźć odzwierciedlenie również w wielu innych polskich miastach, ponieważ posiada cechy wspólne dla realizowanej zabudowy mieszkaniowej w wybranych okresach – typ zabudowy, gęstość zabudowy, struktura własności, typ nawierzchni, ilość terenów zielonych. Wybrana do analizy zabudowa zlokalizowana jest na działkach ewidencyjnych o zbliżonej powierzchni, co pozwala na ich porównanie. Jest to odpowiednio 35 520 m² dla osiedla z okresu PRL oraz 34 045 m² osiedla współczesnego.

2.1. Studium przypadku

Badaniom poddano zabudowę mieszkaniową wielorodzinną na obszarach o zbliżonej powierzchni, znajdującą się w Lublinie. Fragment osiedla w dzielnicy Rury o powierzchni 35 520 m² oraz fragment osiedla w dzielnicy Ponikwoda o powierzchni 34 045 m².

Sposób zabudowy wybranych osiedli mieszkaniowych różni się gęstością zabudowy i lokalizacją funkcji. Elewacje z balkonami i otworami okiennymi sąsiadujących ze sobą budynków na osiedlu w dzielnicy Rury znajdują się w odległości 30 m od siebie, natomiast ścianami szczytowymi w odległości 16 m. Usytuowanie obiektów nie wynika z ograniczeń granicami działki budowlanej. Na planie osiedla z elementów wielkopłytowych możemy zaobserwować rozległe tereny biologicznie czynne między budynkami, a stosunkowo niewiele powierzchni uszczelnionych (Ryc. 5). Dominują wysokie drzewa oraz krzewy. Utwardzenia ograniczone są do dojść do klatek schodowych oraz placów rekreacyjnych. Transport kołowy i parkingi zlokalizowane są na zewnątrz założenia. Teren pozbawiony jest garaży podziemnych.

Osiedle w dzielnicy Ponikwoda jest intensywnie zabudowane, a odległości między elewacjami z balkonami i otworami okiennymi wynoszą w niektórych miejscach 13 m. Usytuowanie poszczególnych obiektów wynika ze struktury własności gruntów. Widoczna jest maksymalizacja zabudowy w obrębie działki budowlanej (min. 4 m od granicy działki). Utwardzenia przeznaczone do transportu kołowego (jezdnie, parkingi) wprowadzone są do centrum osiedla i przebiegają wzdłuż budynków mieszkalnych. Garaże podziemne zrealizowano pod budynkami oraz poza ich obrysem (Ryc. 6). Teren, który nie mógł być zabudowany został przeznaczony na wąskie pasy zieleni porośnięty trawą i krzewami.

Analizie poddano odsetek powierzchni zabudowanej w stosunku do całkowitej powierzchni gruntów. Na osiedlu w dzielnicy Rury procentowy udział powierzchni zabudowy wynosi 17%, natomiast w dzielnicy Ponikwoda wynosi 25,2%. Różnica widoczna jest również w powierzchni biologicznie czynnej. W przypadku współczesnego osiedla wyodrębniono powierzchnię garaży podziemnych, w związku z czym powierzchnia biologicznie czynnej z możliwościami infiltracyjnymi jest o 24,3% mniej niż na osiedlu wielkopłytowym. Dodatkowo 10,9% badanego terenu osiedla w dzielnicy Ponikwoda zajmują garaże podziemne zlokalizowane poza obrysem budynków, co skutkuje o 5,2% większą powierzchnią uszczelnioną (chodniki, parkingi itp.) niż w analizowanym fragmencie osiedla wielkopłyтового w dzielnicy Rury. Sumarycznie 59,6% analizowanego terenu współczesnego osiedla mieszkaniowego zajmują elementy ograniczające infiltrację wody względem 35,3% na terenie osiedla z okresu PRL.

Zarządzanie i administrowanie osiedlem w dzielnicy Rury zrealizowanym w technologii wielkopłytovej odbywa się poprzez jedną spółdzielnię mieszkaniową, co jest typowe dla tego typu osiedli w Polsce. Spółdzielnia swoim zasięgiem obejmuje kilka lub kilkanaście nieruchomości i przyległy do nich, rozległy teren. Wynika to ze struktury własności w minionym ustroju. Na osiedlu w dzielnicy Ponikwoda każdy budynek mieszkalny wraz z przynależną działką zarządzany jest przez wspólnotę mieszkaniową. Dla analizowanego przypadku jest to 5 obiektów mieszkalnych wraz z bezpośrednio przyległym do budynku terenem zarządzanych przez 5 wspólnot mieszkaniowych. Powyższe wartości liczbowe i procentowe przedstawiono w tabeli nr 1 (Tab.1).

Tab. 2. Zastawienie parametrów dla wybranych obszarów osiedli w dzielnicy Rury i Ponikwoda; Źródło: autorzy

Parametr	Osiedle w dzielnicy Rury		Osiedle w dzielnicy Ponikwoda	
	[liczbowy i procentowy udział w całkowitej powierzchni badanego terenu]		[liczbowy i procentowy udział w całkowitej powierzchni badanego terenu]	
Ilość jednostek zarządzających	1		5	
Powierzchnia badanego terenu	35520 m ²	100,0%	34045 m ²	100,0%
Powierzchnia zabudowy	6053 m ²	17,0%	8576 m ²	25,2%
Powierzchnia biologicznie czynna wolna od garaży podziemnych	22983 m ²	64,7%	13777 m ²	40,4%
Powierzchnia podziemnych garaży poza obrysem budynku	0	0,0%	3698 m ²	10,9%
Powierzchnia uszczelniona wolna od garaży podziemnych	6484 m ²	18,3%	7994 m ²	23,5%

Osiedle w dzielnicy Rury znajduje się na obszarze z łagodnym, niezróżnicowanym spadkiem w kierunku północnym. Zespół budynków osiedla w dzielnicy Ponikwoda znajduje się na wzniesieniu. Wewnątrz założenia występuje wtórne zróżnicowanie poziomów terenu, drogi wewnętrzne z wyraźnym spadkiem, lokalne zaniżenia i mury oporowe powyżej 3 m.

Na obszarze obu analizowanych osiedli występuje infrastruktura podziemna w postaci sieci gazowej, wodociągowej, kanalizacji sanitarnej, kanalizacji deszczowej, ciepłowniczej, energetycznej, telekomunikacyjnej. Infrastruktura podziemna lokalizowana jest w najbliższym otoczeniu budynku. Większe odległości między budynkami z okresu PRL generują większe przestrzenie wolne od infrastruktury podziemnej w porównaniu do zabudowy współczesnej.

Za pomocą SCALGO Live sprawdzono lokalizacje gromadzenia się wody opadowej. Badania przeprowadzono dla deszczu nawalnego 50 mm, który zagraża powodziom miejskim. Aplikacja na podstawie numerycznego modelu terenu i symulacji powierzchniowego spływu wody wskazała potencjalne miejsca gromadzenia się wody na badanych osiedlach (Ryc. 3, Ryc. 4).

3. REZULTATY I DYSKUSJA

Na podstawie symulacji przeprowadzonych w oprogramowaniu SCALGO Live nie można jednoznacznie wywnioskować, że osiedle z okresu PRL, charakteryzujące się większą powierzchnią biologicznie czynną niż współczesne osiedle deweloperskie, ma większą możliwość wprowadzania rozwiązań BZI. Można to stwierdzić dopiero po przeprowadzeniu dodatkowych badań i uwzględnieniu czynników determinujących możliwości wskazanych w niniejszym artykule. Jest to spowodowane tym, że dane w oprogramowaniu nie są tożsame z rzeczywistą ilością powierzchni uszczelnionej. Program nie posiada dokładnych informacji o pokryciu terenu dla badanych obszarów. Pokrycie terenu w SCALGO Live na osiedlu w dzielnicy Ponikwoda wskazuje, że cały obszar zajmuje powierzchnia biologicznie czynna, podczas gdy ten obszar w rzeczywistości jest zabudowany i uszczelniony. Program umożliwia edycję rodzaju i zakresu pokrycia terenu, jego przepuszczalności oraz współczynnika spływu powierzchniowego. Wymaga to dodatkowych analiz pokrycia terenu, weryfikacji powierzchni uszczelnionych i samodzielnego ich wrysowania. Aplikacja nie uwzględnia również ilości odpływu wody do kanalizacji deszczowej. W celu określenia lokalizowania BZI niezbędna jest dodatkowa analiza terenu z pod kątem poniższych czynników, które zostały wyodrębnione na podstawie studium przypadku i przeglądu literatury:

- Sposób zabudowy
- Rodzaje powierzchni
- Ukształtowanie terenu
- Struktura własności i sposób zarządzania przestrzenią
- Ekonomia

- Zieleń
- Infrastruktura podziemna
- Rodzaj gruntu i głębokość występowania wody gruntowej

Ze względu na występowanie dużej ilości powierzchni terenów nieutwardzonych i brak garaży podziemnych poza obrysem budynku na osiedlu z okresu wielkiej płyty obszar swobodnej infiltracji wody opadowej do gruntu jest większy. Tym samym wdrażanie niebiesko-zielonych rozwiązań wydaje się być łatwiejsze niż na osiedlu współczesnym. Zieleń występująca na terenie dzielnicy Rury stanowi bardzo cenną zieloną infrastrukturę lecz ogranicza wprowadzanie BZI. Realizacja na przykład ogrodu deszczowego w pobliżu wysokich drzew stwarza ryzyko naruszenia ich systemu korzeniowego. Na osiedlach PRL może okazać się to jednym z kluczowych i decydujących czynników, ze względu na konieczność zachowania odpowiedniego dystansu wprowadzanego rozwiązania od korony drzewa. Wymagane jest również zachowanie odpowiedniej odległości od istniejących budynków i ciągów pieszo-jezdnych, szczególnie, gdy planowane rozwiązania nie są szczelne.

Możliwość wprowadzania rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury w powyższych sytuacjach różni się również ze względu na strukturę własności i obszar jaki podlega decyzyjności jednostki zarządzającej. W przypadku kilku, sąsiadujących wspólnot mieszkaniowych teren jaki ma do dyspozycji każda z nich ogranicza się do kilku metrów poza obrysem budynku, tak jak jest to na osiedlu w dzielnicy Ponikwoda. Porozumienie w kwestii lokalizacji i finansowania inwestycji okazuje się w praktyce niemożliwe i rozciąga się w czasie. Biorąc pod uwagę względy ekonomiczne, można zauważyć, że możliwości inwestycyjne w powyższych przypadkach różnią się ze względu na ilość partycypujących w kosztach mieszkańców.

Na terenie ze spadkiem można zaobserwować gromadzenie się wody opadowej przy barierach naturalnych lub architektonicznych, które uniemożliwiają lub ograniczają jej swobodny przepływ. Projektowanie BZI na tego typu terenie będzie skupiało się na właściwym ukierunkowaniu wody płynącej do danej zlewni i zagospodarowaniu jej. W przypadku terenu płaskiego rozwiązania powinny uwzględniać ograniczenia powierzchni rozlewiska i zapewnienie swobodnej infiltracji. Czynnikiem decydującym o tym jest rodzaj gruntu i głębokość występowania wody gruntowej. Niezbędne do tego jest przeprowadzenie geotechnicznej oceny podłoża gruntowego przez osobę z odpowiednimi kwalifikacjami. W przypadku stwierdzenia występowania gruntów o bardzo słabej, słabej i średniej wodoprzepuszczalności decydując się na wprowadzanie rozwiązań BZI będzie wymagana częściowa wymiana gruntów na grunty niespoiste o dobrej wodoprzepuszczalności.

Kolejnym czynnikiem jest przebieg podziemnych instalacji wodociągowych, elektrycznych, kanalizacji sanitarnej, itp. od których należy zachować minimalne odległości lokalizowania BZI. W celu odprowadzenia nadmiaru wody może również istnieć ograniczenie w postaci przyłączenia do miejskiej sieci odwodnienia.

Biorąc pod uwagę czynniki determinujące, na rycinach nr 5 i 6 widoczne są obszary możliwe do wdrażania BZI. Opracowane grafiki zawierające kompilację trzech podkładów mapowych: mapy z zabudową, rodzajami powierzchni i zadrzewieniem, podkładu mapowego z podziemną infrastrukturą techniczną oraz symulacji spływu powierzchniowego i gromadzenia się wody opadowej z programu SCALGO Live. Miejsca umożliwiające implementowanie BZI widoczne są w postaci koloru jasnozielonego, wolnego od infrastruktury podziemnej i powierzchni uszczelnionych. Na osiedlu znajdującym się w dzielnicy Ponikwoda potencjalne miejsce do wprowadzania BZI znajduje się w północnej części obszaru, widoczne w postaci niebieskiego koloru jako skumulowanej wody opadowej. Według analiz może być to najlepsze miejsce do wprowadzenia np. ogrodu deszczowego. Na rycinach widoczne są linie spływu powierzchniowego, które mogą być przydatne w wyznaczaniu lokalizacji BZI w bezpośrednim ich sąsiedztwie. W północno-zachodniej części działki woda opadowa widoczna jest w miejscu, w którym znajduje się wjazd do garażu podziemnego, który ma zapewnione odwodnienie oraz na obszarach utwardzonych. Woda widoczna jest również nad garażem podziemnym, na którym niemożliwe jest zaimplementowanie BZI. W tym przypadku można rozważyć wprowadzenie innych rozwiązań zielonej infrastruktury, np. w postaci zieleni niskiej (ogrodów kwiatowych, traw).

Na osiedlu w dzielnicy Rury symulacje pokazały, że woda gromadzi przy północnych ścianach szczytowych budynków znajdujących się w centralnej części założenia urbanistycznego. Wprowadzenie w tych miejscach rozwiązań BZI jest niemożliwe ze względu na występującą infrastrukturę podziemną, bliską lokalizację budynków i teren utwardzony w postaci chodnika. Według oprogramowania woda opadowa gromadzi się także w północno-wschodniej części obszaru, ale wprowadzenie tam BZI również jest utrudnione ze względu na występującą infrastrukturę podziemną. Centralna część obszaru w dzielnicy Rury, pokryta kolorem jasnozielonym, jest wolna od zabudowy, wysokich drzew i infrastruktury. Umożliwia to wprowadzenie rozwiązań zielonej infrastruktury w postaci dodatkowej roślinności, takiej jak np. kwietniki, ogródki osiedlowe, ogrody bylinowe.

W związku z powyższymi analizami, osiedle w dzielnicy Rury wykazuje się większym potencjałem do wprowadzania rozwiązań zielonej infrastruktury pod względem dostępnej przestrzeni, jednak widoczne miejsca gromadzenia się wody w SCALGO Live nie mogą być jednoznacznie wyznaczone pod zielono-niebieską infrastrukturę. Jest to spowodowane istniejącą infrastrukturą podziemną i istniejącymi utwardzeniami terenu. Podobnie jest w przypadku osiedla zlokalizowanego w dzielnicy Ponikwoda. Miejsce gromadzenia się wody w aplikacji zostało wskazane między innymi w miejscu istniejącego garażu podziemnego, nad którym wprowadzenie BZI jest niemożliwe. Ze względu na uwarunkowania lokalne wynikające z ukształtowania terenu zlokalizowanie, np. ogrodu deszczowego możliwe jest w północno-wschodniej części badanego obszaru. Z uwagi na występowanie dużego udziału powierzchni biologicznie czynnej na osiedlu w dzielnicy Rury, istnieje więcej możliwości wprowadzenia rozwiązań zielonej infrastruktury niż na drugim osiedlu. Ponadto, występująca tam roślinność jest bardziej zróżnicowana. Strefą buforową z dużą ilością zieleni na badanym obszarze w dzielnicy Ponikwoda są ogrody działkowe sąsiadujące z badanym obszarem od strony wschodniej i północnej ograniczając nadmierną urbanizację.

Zgodnie z przytoczoną literaturą odnoszącą się do definicji zielonej infrastruktury możliwe do wprowadzenia na przedstawionych osiedlach są rozwiązania w postaci: zielonych dachów, zielonych ścian, ogrodów bylinowych, ogrodów osiedlowych, pergoli porośniętych roślinnością czy ogrodów w donicach. Warte rozważenia może być również rozszczelnienie powierzchni utwardzonych lub wymiana powierzchni na bardziej przepuszczalne, w celu zwiększenia infiltracji wody opadowej. W przypadku osiedli współczesnych, które mają ograniczone możliwości wprowadzenia rozwiązań BZI może to być alternatywne rozwiązanie, które podniesie potencjał środowiskowy i społeczny osiedla.

Przedstawione wyniki udowadniają potrzebę prowadzenia badań w kierunku retencjonowania wody opadowej na obszarach osiedli mieszkaniowych. Ze względu na to, że oprogramowanie SCALGO Live jest stosunkowo nowym narzędziem, obecny stan badań nie jest szeroki. Jest wykorzystywane przez różne jednostki administracyjne i naukowe w związku z czym mogą one mieć praktyczne zastosowanie lub stanowić podpowiedź przy interpretacji wyników. W wielu pracach porównywano SCALGO Live z oprogramowaniem MIKE 21. Oba te programy dają podobne wyniki (Adhikari, 2020). Według badań z 2019 roku SCALGO Live nadaje się do mniejszych zlewni oraz sprawdza się jako platforma do szczegółowych danych i wyników na wczesnym etapie planowania (Anderson, 2021). Analizy poprzedzające projekt urbanistyczny w Køge Nord w Danii udowodniły, że użycie aplikacji we wczesnym stadium umożliwiło opracowanie nowatorskich rozwiązań retencyjnych (Gamman i Urrang, 2019).

Badania nad retencją wód opadowych na osiedlach z okresu PRL jak i współczesnych w dobie zmian klimatycznych stanowią coraz większe zainteresowanie wśród naukowców. Analizy z zakresu wprowadzenia zintegrowanej gospodarki wodnej, które zostały przeprowadzone dla osiedla z lat 70. w Krakowie wskazują na to, że zaproponowane przez autorów rozwiązania są możliwe do zaimplementowania i mogą być wprowadzone do innych obszarów o podobnych cechach morfologicznych (Bonenberg i in., 2022). Na osiedlach deweloperskich najwłaściwszym sposobem zagospodarowania wód opadowych jest infiltracja powierzchniowa wraz z retencją (Kordana-Obuch i Starzec, 2020). Autorzy podkreślają, że skutecznym narzędziem, które może mieć wpływ na istniejącą zabudowę mieszkaniową, są instrumenty ekonomiczne, takie jak opłaty za deszczówkę. Badania dla istniejącego osiedla mieszkaniowego w Krakowie pokazały, że zaproponowany system BZI zmniejszy spływ powierzchniowy wody trzykrotnie, a cała inwestycja zwróci się w przecią-

gu 12 lat, co z perspektywy czasu może przynieść korzyści finansowe (Godyń i in., 2020). Wprowadzenie rozwiązań BZI może także podnieść wartość nieruchomości oraz mogą być one lepiej postrzegane przez społeczeństwo (Żółtaszek i Stodulska, 2021). Kluczowe jest kompleksowe osadzenie rozwiązań opartych na naturze w polityce miejskiej i w dokumentach planistycznych (Zwierzchowska i in. 2019; Wickenberg, McCormick i Olsson, 2021). Dotychczasowe rozwiązania formalno-prawne zapobiegania powodziom i podtopieniom bazują głównie na tradycyjnych metodach (Baron, 2020). Planowanie przestrzenne zdaje się pomijać błękitno-zieloną infrastrukturę jako element ograniczający ryzyko powodziowe, której wdrożenie mogłoby realizować ideę miasta odpornego (resilient city) na ekstremalne zjawiska związane między innymi z wodą (Burszta, 2016).

W kolejnych etapach prac badawczych autorzy niniejszego opracowania planują uszczegółowić badania z użyciem SCALGO Live podejmując próbę dokładnego wdrożenia rozwiązań BZI na obszarze wybranego osiedla mieszkaniowego.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione badania podkreślają problem pojawiający się na osiedlach współczesnych, jakim jest znaczne uszczelnienie powierzchni, a także znaczenie BZI jako rozwiązania zwiększającego retencję wód opadowych. Wprowadzenie tego typu rozwiązań może przynieść wiele korzyści w zakresie zrównoważonego rozwoju obszarów już zabudowanych.

Z przeprowadzonych analiz wykonanych w SCALGO Live wynika, że wyznaczone w programie miejsca gromadzenia się wody opadowej nie mogą zostać bezpośrednio zinterpretowane jako najlepsze lokalizacje do wprowadzenia rozwiązań BZI. Jedyne miejsce gromadzenia się wody opadowej z możliwością wdrożenia na przykład ogrodu deszczowego, znajduje się w północnej części działki osiedla deweloperskiego w dzielnicy Ponikwoda. Wynika to bezpośrednio z przeprowadzonych analiz. Mimo że na osiedlu z okresu PRL występuje większa powierzchnia biologicznie czynna niż na osiedlu deweloperskim, to wprowadzenie rozwiązań retencyjnych jest utrudnione ze względu na bliskie występowanie wysokich drzew i istniejącą infrastrukturę podziemną. Możliwe do zastosowania w obu przypadkach mogą pozostać rozwiązania oparte na naturze.

Podsumowując, niniejsze badanie stanowi ważny krok do dalszych studiów nad retencją wody opadowej w obszarach istniejących osiedli mieszkaniowych. Użycie do tego celu oprogramowań takich jak SCALGO Live wydaje się być obiecujące. Należy podkreślić, że wymaga to przeprowadzenia dokładnych analiz, wykraczających poza dane dostępne w aplikacji. W związku z powyższym, decyzje o implementowaniu BZI powinny być uzupełniane o studium konkretnego przypadku z uwzględnieniem szeregu innych czynników.

BIBLIOGRAPHY

- Adamowski D., Zalewski J., Paluch P., i Glixelli T., 2017, Katalog zielono – niebieskiej infrastruktury. Część II. Wytyczne i rozwiązania.
- Adhikari, U., 2020, 'Vulnerability assessment of urban flooding in Lerum - Municipality and study of effectiveness of blue-green mitigation measures using software MIKE 21 and SCALGO Live'.
- Ahern, J., 2007, Green Infrastructure For Cities The Spatial Dimension.
- Alexander, P.J. and Mills, G., 2014, 'Local Climate Classification and Dublin's Urban Heat Island', Atmosphere, 5(4), 755–774.
- Andersson, E., 2021, Flood modelling in urban areas : A comparative study of MIKE 21 and SCALGO Live.
- Baran-Zgłobicka, B., Godziszewska, D. and Zgłobicki, W., 2021, 'The Flash Floods Risk in the Local Spatial Planning (Case Study: Lublin Upland, E Poland)', Resources, 10(2), 14.
- Baron, K., 2020, 'Błękitno-zielona infrastruktura a bezpieczeństwo powodziowe środowisk zurbanizowanych'.
- Bartoszek, K., Łachowski, W. and Matuszko, D., 2022, 'The Increase in the Proportion of Impervious Surfaces and Changes in Air Temperature, Relative Humidity and Cloud Cover in Poland', Quaestiones Geographicae.
- Benedict, M. and MacMahon, E., 2002, Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century, vol. 20.

- Benedict, M.A., McMahon, E.T. and Fund, M.A.T.C., 2006, *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*, Island Press.
- Bonenberg, W., Rybicki, S.M., Schneider-Skalska, G. and Stochel-Cyunei, J., 2022, 'Sustainable Water Management in a Krakow Housing Complex from the Nineteen-Seventies in Comparison with a Model Bio-Morpheme Unit', *Sustainability*, 14(9), 5499.
- Bradecki, T. and Twardoch, A., 2013, *Współczesne kierunki kształtowania zabudowy mieszkaniowej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Burszta, J., 2016, 'Miasta podwyższonego ryzyka [w:] Woda w mieście.', *Magazyn miasta*, (kwartalnik nr 1(13)).
- Christensen, J.H. and Christensen, O.B., 2003, 'Severe summertime flooding in Europe', *Nature*, 421(6925), 805–806.
- Feng, B., Zhang, Y. and Bourke, R., 2021, 'Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models', *Natural Hazards*, 106(1), 613–627.
- Fikus-Wójcik, A. and Różga-Micewicz, A., 2018, *Gdańska Polityka Wodna*.
- Fundacja Sendzimira, 2019, *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu w miastach - katalog techniczny*.
- Gamman, K. and Urrang, K., 2019, *En sammenligning av SCALGO Live og MIKE 21 FM for modellering av overvann – PhD thesis*, Norwegian University of Life Sciences, Ås .
- Gehrels, H., Meulen, S. van der, Schasfoort, F., Bosch, P., Brolsma, R., Dinther, D. van, Geerling, G.J., Goossens, M., Jacobs, C.M.J., Merijn jong, D., Kok, S. and Massop, H.T.L., 2016, 'Designing green and blue infrastructure to support healthy urban living'.
- Godyń, I., Grela, A., Stajno, D. and Tokarska, P., 2020, 'Sustainable Rainwater Management Concept in a Housing Estate with a Financial Feasibility Assessment and Motivational Rainwater Fee System Efficiency Analysis', *Water*, 12(1), 151.
- Januchta-Szostak, A., 2012, 'Usługi ekosystemów wodnych w miastach', *Zrównoważony rozwój – zastosowania*, 3, 91–110.
- Januchta-Szostak, A., 2014, 'Rola urbanistyki i architektury w gospodarowaniu wodą = The role of urban planning and architecture in water management'.
- Januchta-Szostak, A., 2020, 'Błękitno-zielona infrastruktura jako narzędzie adaptacji miast do zmian klimatu i zagospodarowania wód opadowych', *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz*, (nr 3), 37–74.
- Januchta-Szostak, A.B., 2015, 'Modular Water Squares (MWS) in Poznan – People-Friendly Solutions for Rainwater Management', *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 12(3), 5–15.
- Jeleński, T., 2020, 'Urbanistyka agrarna: przejściowa moda czy szansa na zrównoważoną urbanizację?', *Teka Komisji Urbanistyki i Architektury Oddział PAN w Krakowie*, T. 48.
- Kaczmarek, P., 2021, 'Przestrzenny wymiar dogęszczania zabudowy na wielkich osiedlach mieszkaniowych w Poznaniu po 1989 roku', *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, (57), 147–160.
- Komisja Europejska, 2013, *Building a green infrastructure for Europe*, Publications Office of the European Union, LU.
- Kordana-Obuch, S. and Starzec, M., 2020, 'Statistical Approach to the Problem of Selecting the Most Appropriate Model for Managing Stormwater in Newly Designed Multi-Family Housing Estates', *Resources*, 9(9), 110.
- Korzeniewski, W., 1989, *Budownictwo mieszkaniowe poradnik projektanta*, Arkady, Warszawa.
- Kuprys-Lipinska, I., Kuna, P. and Wagner, I., 2014, 'Woda w przestrzeni miejskiej a zdrowie mieszkańców', pp. 49–57.
- Lejcuś, K., Ewa, B.-A., Wróblewska, K., Orzeszyna, H., Śpitalniak, M., Marczak, D., Misiewicz, J. and Dobrzańska, J., 2021, *Katalog dobrych praktyk, cz. II – Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na obszarze zabudowanym*.
- LSS, 2019, *Stormwater Management - Bioretention Basins*.
- Maes, J. and Jacobs, S., 2017, 'Nature-Based Solutions for Europe's Sustainable Development', *Conservation Letters*, 10(1), 121–124.
- Massachusetts, 2019, *Massachusetts Clean Water Toolkit – Planter Box*. Massachusetts Department of Environmental Protection, Massachusetts.
- Naumann, S., Davis, M., Iwaszuk, E. and Mederake, L., 2020, *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu w miastach - narzędzia strategiczne*.
- Ogrody deszczowe. Dobrze nawodnione miasto, Fundacja Sendzimira, 2021, *Broszura projektów ogrodów deszczowych - Ogrody deszczowe. Dobrze nawodnione miasto*.

- Ostańska, A., 2014, 'Badania społeczne przyczynkiem do oceny jakości energetycznej budynków wielkopłytowych w osiedlach mieszkaniowych', *Budownictwo i Architektura*, 13(3), 317–324.
- Pociask-Karteczka, J., Żychowski, J. and Bryndał, T., 2017, 'Zagrożenia związane z wodą - powódzie błyskawiczne', *Gospodarka Wodna*, (Nr 2), 37–42.
- Runkiewicz, L., Piekarczyk, A., Szulc, J. and Mazurek, A., 2019, *Diagnostyka budynków wielkopłytowych. Materiały szkoleniowe 2019 r.*
- SCALGO Live (2023) [online] <https://scalgo.com/>, (Accessed: 05-03-2023)
- Solarek, K., 2011, 'Współczesne koncepcje rozwoju miasta', *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, T. 56, z. 4, 51–71.
- Stangel, M., 2013, *Kształtowanie współczesnych obszarów miejskich w kontekście zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Strumiłło, K., 2010, 'Luksus, na jaki każdy sobie zasłużył - mieszkać w nowoczesnym i pięknym otoczeniu na miarę XXI wieku', *Architecturae et Artibus*, Vol. 2(2), 69–72.
- Szulczewska, B., 2018, 'Zielona infrastruktura - czy koniec historii?', *Studia KPZK*.
- Turski, R., 2007, 'Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny', *Lubelskie Towarzystwo Naukowe*.
- Wickenberg, B., McCormick, K. and Olsson, J.A., 2021, 'Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks', *Environmental Science and Policy*, 125, 44–53.
- Zachariasz, A. and Porada, K., 2019, 'Water in Krakow's Gardens, Parks and Areas of Greenery', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(5), 052038.
- Zielono-błękitne rozwiązania dla osiedli mieszkaniowych Fundacja Sendzimira, 2017, *Zielono-błękitne rozwiązania dla osiedli mieszkaniowych*.
- Żółtaszek, A. and Stodulska, M., 2021, 'Błękitno-zielona infrastruktura a rynek nieruchomości', *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica*, 6(357), 24–38.
- Zwierzchowska, I., Fagiewicz, K., Poniży, L., Lupa, P. and Mizgajski, A., 2019, 'Introducing nature-based solutions into urban policy – facts and gaps. Case study of Poznań', *Land Use Policy*, 85, 161–175.

AUTHOR'S NOTE

Małgorzata Kozak - an architect, a research and teaching staff member in the field of Architecture and Urban Planning at the Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology. Research interests include architecture, residential neighborhoods, human thermal comfort in urbanized spaces, and climate change.

Damian Hołownia – an architect, a research and teaching staff member in the field of Architecture and Urban Planning at the Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology. Research interests include modernist architecture, housing estates and technical and technological solutions transferring the real world to virtual space (photogrammetry, digitisation of buildings).

O AUTORACH

Małgorzata Kozak – architekt, pracownik badawczo-dydaktyczny na kierunku Architektura i Urbanistyka, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechniki Lubelskiej. Zainteresowania naukowe: architektura, osiedla mieszkaniowe, odczuwanie komfortu termicznego człowieka w przestrzeni zurbanizowanej, zmiany klimatyczne.

Damian Hołownia – architekt, pracownik badawczo-dydaktyczny na kierunku Architektura i Urbanistyka, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechniki Lubelskiej. Zainteresowania naukowe dotyczą architektury modernistycznej, osiedli mieszkaniowych oraz rozwiązań techniczno-technologicznych przenoszących świat rzeczywisty do wirtualnej przestrzeni (fotogrametria, digitalizacja budynków).

Contact | Kontakt: m.kozak@pollub.pl; d.holownia@pollub.pl