



DOI: 10.21005/pif.2018.34.C-08

## **GREEN INFRASTRUCTURE IN SMALL TOWNS AS AN ELEMENT OF SUSTAINABLE STORMWATER MANAGEMENT**

## **ZIELONA INFRASTRUKTURA W MAŁYCH MIASTACH JAKO ELEMENT ZRÓWNOWAŻONEJ GOSPODARKI WODAMI OPADOWYMI**

**Grażyna Sakson**

dr. inż.

Politechnika Łódzka  
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska  
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych

**Joanna Jaskułowska**

mgr inż. arch.

Politechnika Łódzka  
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska  
Instytut Architektury i Urbanistyki

### **ABSTRACT**

The possibilities of local stormwater management with the use of vegetation were discussed. These solutions are an element of green infrastructure in urban areas and contribute, among others, to improve local hydrological conditions and microclimate, to increase the aesthetics and attractiveness of urban space, and in conditions of climate change may improve the safety of the city's functioning during intense rainfall.

Key words: green infrastructure, stormwater, sustainable development, spatial planning

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono możliwości lokalnego zagospodarowania wód opadowych z wykorzystaniem roślinności. Rozwiązania te stanowią element zielonej infrastruktury na obszarach zurbanizowanych i przyczyniają się m.in. do poprawy lokalnych warunków hydrologicznych i mikroklimatu, podniesienia estetyki i wzrostu atrakcyjności przestrzeni miejskiej, a w warunkach zmian klimatu mogą poprawiać bezpieczeństwo funkcjonowania miasta w czasie intensywnych opadów.

Słowa kluczowe: zielona infrastruktura, wody opadowe, rozwój zrównoważony, planowanie przestrzenne

## 1. INTRODUCTION

The main purpose of drainage systems in cities from the beginning of their development until the 1960s was to mitigate the effects of flooding, and thus to collect as soon as possible and discharge rainwater to the receiver. From about fifty years this view has started to gradually change [9], i.a. due to the perceived negative effects of such an approach both for the environment and inhabitants of urbanized areas. The effect of functioning of traditional sewage systems is, among others disruption of natural water circulation in the environment, lowering groundwater level, soil stepping and deterioration of the microclimate. In addition, these systems are increasingly hydraulically overloaded, which results in flooding, during which the security threat of the city's functioning and significant material damage occur. On the other hand, in the conditions of a gradual, significant increase in the price of tap water, and sometimes its insufficient availability, eg during long periods of dry weather, the material and economic value of rainwater began to be appreciated. Rainwater can replace tap water when quality of drinking water is not required. Hence, currently drainage systems in cities are developed and modernized in such a way as to enable rainwater reuse and the use of their potential in the rational formation of hydrological systems in urbanized areas and construction practices of high aesthetic value, friendly to residents.

The article analyzes the possibilities and conditions of sustainable stormwater management. A review and analysis of the state of knowledge and experience in the use of green infrastructure in urban drainage systems has been carried out. Exemplary realizations and developed concepts were presented. The need to shape the green infrastructure in such a way as to meet the expectations of residents and improve the safety of the city's functioning during wet weather was indicated. The presented solutions can also be used in small towns.

## 2. FORMAL AND LEGAL REQUIREMENTS

European Community Directive (2000/60/EC) of the European Parliament and Council [7] designed to integrate the way water bodies are managed across Europe contains a stormwater management order in accordance with the principles of sustainable development, which has been implemented in basic Polish legislation in this area, as Water Law [23] and the Environmental Protection Law [24]. Act on planning and spatial development [25] requires taking into account environmental protection requirements, including water management and protection of agricultural and forest lands in planning and spatial planning. The Act also states that the local spatial development plan specifies, among other things, a minimum percentage of biologically active area in relation to the area of a building plot.

The basic legal regulations regarding water management in the building plot are contained in the Regulation of the Minister of Infrastructure on technical conditions that should be met by buildings and their location [19] and Water Law [24]. According to the regulation, the building plot on which the buildings are located should be equipped with a sewage system enabling rainwater discharging into the rainwater drainage system or a combined sewage system. If this is not possible, it is allowed to drain rainwater into its own uncured area, into lymphatic pits or into retention reservoirs. The Regulation [19] also specifies the requirements regarding the size of the biologically active land surface on the plot. Significant changes in the approach to rainwater issues in urban areas were introduced in the new Water Law. As economic instruments for water management, the Act mentions fees for discharging rainwater or snowmelt in open or closed rainwater drainage systems for rainfall discharge or collective sewage systems within the city's administrative boundaries, and, what is new, fees for reducing natural land retention as a result of carrying out property on land above 3500 m<sup>2</sup> of works or construction objects permanently connected with the land, having an impact on reducing this retention by excluding more than 70% of the area of the real estate from the biologically active area

in areas not included in the open or closed sewage systems. The Act provides for significantly lower rates of fees when using facilities for water retention from sealed surfaces, which will probably be a significant incentive for using such solutions.

Currently, there are no formal guidelines regarding the minimum size of available green areas and recreation in a given area. The applicable regulations only apply to the area covered by the investment, stating that a minimum of 25% of its area should be a biologically active area, unless it is clear from arrangements of the local spatial development plan. In order to ensure adequate health conditions, the area of green areas per one inhabitant in urban conditions should amount to 50 m<sup>2</sup> [6],

### 3. CAUSES OF PROBLEMS RELATED TO RAINWATER DISCHARGES

Problems related to the safety of the city's functioning during rainfall have begun to increase rapidly in the last decades and they do not apply only to large cities. The main reason is the increase in impervious areas and the connection of new areas to the existing drainage network, hence the severity of the problem mainly affects central districts. The construction of conventional sewer systems started there usually approx. 100 years ago, since then the development of the area has been significantly changed and became more dense, due to more buildings and communication routes. The tendency to maximize the use of space in urban areas meant at the same time its sealing, and the expectations of residents as to the protection against flooding imposed the need to quickly stormwater discharge. Traditional sewage systems with time have become inefficient during wet weather, due to the rapid runoff of rainwater from increasingly larger areas, it is becoming more and more often to their hydraulic overload. The situation is additionally aggravated by the observed climate changes, manifesting, among others, change in the nature of precipitation.

In most parts of Poland, there was a significant increase in the number of days with rainfall of high intensity. Characteristic of precipitation has changed mainly in the warm season of the year; precipitation is more rapid, short-lived, destructive, causing more frequent flash floods [17]. The increase in the occurrence of inconvenient rainfall and the increase of impervious areas intensifies problems associated with the discharge of rainwater: more and more frequent floods may pose a threat to residents, also water receivers are overloaded, both hydraulically and by discharged pollutants [20]. Solutions to these problems are sought either in the modernization and development of conventional drainage systems - construction of new sewers with higher capacity, construction of detention tanks, which, however, is more difficult in the dense development of the city, or new solutions of sustainable management of rainwater are implemented, emphasizing to manage stormwater close to its source, eg by the reuse or infiltration, or at least detention before discharge to the receiver with a delay and reduction of peak flow. Green infrastructure (GI) of urbanized areas is most often perceived as areas with greenery, high recreational and aesthetic values, creating conditions in the city to enhance biodiversity and providing residents with the possibility of contact with nature. These are nature-based solutions (NBS), inspired and supported by nature and defined by IUCN (International Union for Conservation of Nature) as "actions to protect, sustainably manage, and restore natural or modified ecosystems, that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits" [27].

In the context of urban hydrology, GI is most often defined as a network of decentralized stormwater management practices, such as green roofs, trees, raingardens, and permeable pavement, that can capture and infiltrate rain where it falls, that reducing stormwater runoff and improving the health of surrounding waterways [1]. The use of green infrastructure is becoming more and more common both in the central districts of cities while modernizing existing drainage systems, as well as constructing a new infrastructure for housing estates and service districts. The development of urbanized areas does not,

however, determine specific solutions in the field of urban hydrology. Even in cities with similar social and ecological conditions, the development and use of stormwater infrastructure may be different, and changes in land cover and hydrological engineering are not parallel processes [10]. Newer and smaller towns use very different models of draining impervious areas, the role of gray infrastructure, the dominant until recently, has been decreasing, which is the result of changing priorities in the approach to stormwater management and public education.

#### **4. POSSIBILITIES OF STORMWATER MANAGEMENT WITH THE USE OF GREEN INFRASTRUCTURE**

Practices of green infrastructure that can be used for stormwater management are mainly raingardens, green roofs (extensive and intense), green walls, grass swales, street greenery, squares, wooded areas, wetlands, etc. Their joint element is the substrate with high permeability and vegetation, which allow the infiltration, as well as the evapotranspiration of rainwater, and is a part of the processes of natural water circulation in the environment. The construction of green infrastructure facilities sometimes requires a significant surface area, which depends on the size of the connected impervious surface, from which rainwater are discharged, soil permeability and characteristics of plant species. Therefore, the favorable conditions for the practices increasing the rainwater detention and infiltration exist in areas with scattered buildings [3], but as shown by the experience of Western Europe and North America, even in densely built urban centers they can be successfully used, at least for partially limiting rainwater runoff to the sewage system.

The conditions for the effective operation of green infrastructure facilities are primarily:

- proper selection of the element of the green infrastructure system. The possibilities of using sustainable stormwater management systems in various types of urban space depend on many factors [13]. It is primarily the characteristic of land development, affecting the imperviousness and runoff coefficient, the needs for the development of public space, (e.g. improving the aesthetics of public spaces, creating places for the integration of residents and recreation) but also the structure of ownership
- appropriate design of the facility in technical terms, including the correct assumption of rainfall parameters, during which the device should collect the entire volume of rainwater, protecting the given area /object from flooding. Due to the observed climate changes, it is generally now recommended to design drainage systems assuming a few dozen percent higher rainfall intensity than before.
- appropriate selection of vegetation. The facilities of green infrastructure used for rainwater management should use plants suitably selected in terms of their vegetation requirements and transpiration capacity. Species characteristic is not the only factor conditioning performance in the regulation of rainfall runoff. For example, in the case of trees [2], their effectiveness depends on from atmospheric factors (climatic zone, precipitation parameters, wind, temperature, evaporation, length of dry weather between rainfall), soil parameters (water capacity, density, fertility), landscape features (land use and degree of surface sealing, course of watersheds, slope, density and type of planting - open grown or overlapping crowns, type of cover, eg shrubs, turfgrass, bare ground). Trees can increase the reliability and performance of rainforests and other devices used in green infrastructure thanks to the fact that they contribute to the regulation of soil moisture. They also help to improve water quality by reducing nutrients.
- proper operations: repair of mechanical damages of the structure, removal of coarse dirt from the surface, checking the degree of soil colmatation and possibly its replacement, care of greenery, mowing the grass, pruning plants, new plantings, etc. The proper maintenance is aimed at preventing the occurrence of unwanted phenomena, such as the appearance of the mosquito scourge, the development of putrefactive processes in the sediments at the bottom of the reservoirs, uncontrolled development of vegetation

[3]. Proper maintenance of the infiltration surface allows for keeping their high efficiency for many years, whereas negligence in this respect may cause that after 1-2 years the infiltration capacity will be significantly reduced [8].

The overriding objective of using objects with greenery to manage rainwater is protection against flooding, but the use of these solutions also brings many other benefits (Table 1), which in this type of solutions should be analyzed in detail. Some benefits are visible immediately, others appear in the longer term and may relate to the regional, national and international scale [8]. It is estimated that the optimal use of sustainable water management methods can contribute to reducing energy consumption and reducing greenhouse gas emissions by around 10% [18].

Table 1 The main benefits of using green infrastructure in stormwater management.

<b>Benefits resulting from the use of green infrastructure</b>			
<b>Technical</b>	<b>Economic</b>	<b>Environmental</b>	<b>Social</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitation of the amount of rainwater discharged from impervious areas</li> <li>- Mitigate of maximum intensity and outflow delay to the receiver</li> <li>- The increase in permeable areas in the city</li> <li>- Increase the reliability and safety of operation of the drainage system of the city</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lower investment costs compared to the construction of a traditional sewage system</li> <li>- Reduction the use of tap water for watering greenery</li> <li>- Reduction of energy consumption for heating and air conditioning in buildings</li> <li>- Reduction the costs of stormwater treatment</li> <li>- Reduction the financial impact of urban flooding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protection of natural circulation of water in the environment and restoration of groundwater resources</li> <li>- Improvement of air quality and microclimate</li> <li>- Improvement of the quality of rainwater discharged from impervious areas to surface and ground waters, protection of receivers against pollution</li> <li>- Limiting the occurrence of heat Island effect</li> <li>- Reduction of noise</li> <li>- Increase of biodiversity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduction the adverse impact on health of residents of such factors as air pollution and high temperatures</li> <li>- Creating recreation facilities</li> <li>- Improving the aesthetics of urban space</li> <li>- Increase in the market value of the property</li> <li>- Public education</li> </ul>

While investment costs and economic benefits are relatively easy to assess and they are usually taken into consideration in the first place, the environmental and social benefits of using such solutions are increasingly emphasized. It is noted that when planning green infrastructure these benefits can not be considered as additional, "by the way", but should be analyzed in detail by planners and engineers and taken into account when deciding on city development and water management. Among other things, due to environmental and social benefits, it is now estimated that investing in green infrastructure is more profitable than traditional solutions.

Although generally only the benefits resulting from the use of green infrastructure to manage rainwater are emphasized, the potential negative effects and threats should also be taken into account when selecting and planning the location of facilities. Recently, attention is paid to on the following possible consequences and conditions [5,11]:

- a large share of green areas reduces population density, so the mobility of residents and increases fuel consumption increases
- shade of a tree can reduce solar radiation penetration, increasing the energy demand for heating in a cold climate, it can also reduce the thermal comfort on streets and parks
- tall trees can limit visibility
- tree roots can cause damage to underground infrastructure
- large trees on both sides of the street can contribute to the reduction of wind velocity and thus increase the air pollution at street level
- animals and insects in green areas: they may be nuisance or pose a carrier of diseases a threat to human health, tree pollen can cause allergies

- the use of fertilizers and pesticides in green areas may lead to a deterioration of the quality of water discharged from these surfaces
- there may also be a noticeable increase in crime in areas with increased vegetation coverage.



Fig. 1. 2. Sustainable urban drainage system composed into local street and playground in Malmo Source: fot. Joanna Jaskułowska

Rys.1 2. System drenażu miejskiego wkomponowany w osiedlową ulicę i plac zabaw w Malmo. Źródło: fot. Joanna Jaskułowska

However, Wahl emphasizes that if ecological solutions are not applied on an appropriate scale, in relation to their systemic context and cultural context and conditioning, even the

best intentions of creating in accordance with the principles of sustainable development may become unsuccessful [26].

## 5. EXAMPLES OF GREEN INFRASTRUCTURE APPLICATION

Green infrastructure in cities is a system which brings opportunity to integrate spatial solutions of urban green at a different scale. Local projects which arrange rainwater on site affect various aspects of life in the city at a global scale. Systemic perception of green areas in cities transforms singular elements into a whole, which is more than sum of its parts. It gives synergistic effect. Beneficiary of green infrastructure can be various: residents, home owners, institutions and local governments. There are no restraints of size and population of place where these solutions can be implemented. For example, people living in single family housing can consciously arrange their gardens by increasing pervious areas, building rainwater containers or rain gardens. These actions can increase quality of the landscape, lead to water resource saving and create new habitats of fauna and flora, which improve biodiversity. In the City of Portland, Oregon, the leader of rainwater management, between 1993 and 2011 Downspout Disconnection Program has been conducted. 42.000 of homeowners were engaged in the program, which aim was to redirecting roof runoff to a yard, garden or stormwater planter instead directing it instantly to sewer system. As a result of the program each years there is 49 billion litres of water less in the sewer system [16]. This is one of many strategies related to stormwater management the City of Portland carried out since early nineties, among which were building green infrastructure, ecological education, city landscape improvement. The example of Portland exposes that active and conscious resident's participation in shaping urban landscape can make a change. It is also apparent that the key aspect of integrating the idea of green infrastructure is the activity of local authorities and other professionals from the field of strategic planning.

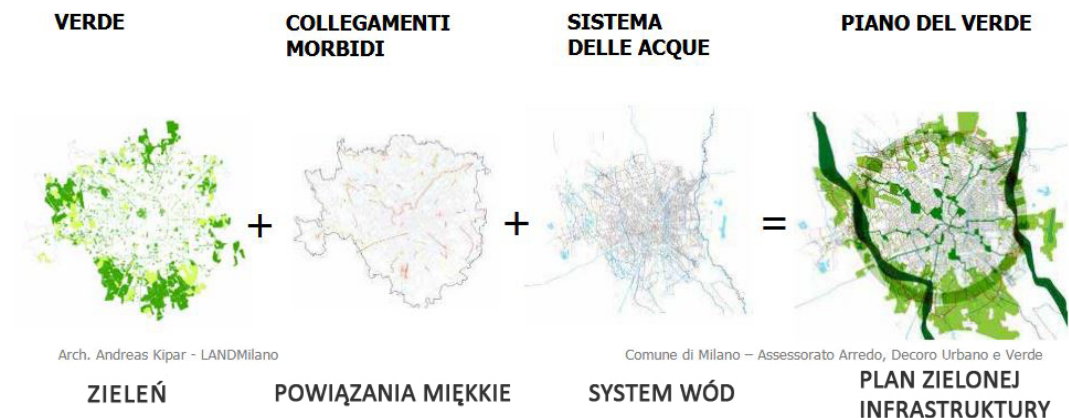


Fig. 3. Scheme of Milan green infrastructure components by LAND Milano srl and AIM. Source: Comune di Milano - Assessorato Arredo, Decoro Urbano e Verde.

Rys. 3. Schemat pokazujący elementy składowe zielonej infrastruktury Mediolanu, opracowany przez LAND Milano srl i AIM. źródło: Comune di Milano - Assessorato Arredo, Decoro Urbano e Verde.

Green Infrastructure can be initiated from: recognition of analysed space structure, inventory of existent green infrastructure such as parks, plazas, street greenery, river banks and analysis of potential development directions with a use of public spaces, parking, fallow lands, post-industrial areas etc. After initial analysis existing and potential spaces can be synthesized by graphic outlining green network on map and subsequently conducting a research which site-specific tools should be implemented. Elements delineating GI are green rings around the city or district, linear parks, green vedges and corridors. Interesting example of green infrastructure implementation is the strategy of transforming

Milan into a green city, which was presented as a part of World Expo 2015 strategy. Land Studio Milano Srl. together with AIM created the concept of green belt around Milan and eight wedges leading to the city centre. The aim was to improve biodiversity, increase of green space attractiveness for residents, underlining the role of water and its relation to public spaces. As a part of the strategy the city authorities planted 500.0000 trees and created 70 km of green corridors with walkways and bicycle lanes [15]. The Milan authorities improved quality of resident's life, natural environment and simultaneously used green infrastructure for promotion of the city and of sustainable design on the world arena. Attempts to create green belt have been taken also in Polish cities, such as Warsaw metropolitan area and Lublin agglomeration [14].

Systems of urban green improve rainwater purification and retention, they can be also a component of drainage system, however, sustainable stormwater arrangement solutions should be implemented into the design process from its earliest stages. Januchta-Szostak [13] remarks, that very valuable initiative in the context of water management in cities are buffer river parks, which aim is ecosystem protection of river valleys, retention and initial purifying of storm water runoff, and simultaneously assigns flood prone areas recreational function.



Fig. 4. Scheme of green infrastructure of river Brzeznica ravine park. Source: Joanna Jaskułowska

Rys.4 Schemat zielonej infrastruktury w nadrzecznym parku buforowym Jaru Rzeki Brzeznicy. Źródło: Joanna Jaskułowska

Project of spatial arrangement of river Brzeznica ravine elaborated by Joanna Jaskułowska and Michał Wolski was an attempt to introduce green infrastructure to the area. The project of the 170-ha river valley between centre of Płock and Petrochemical industrial area received in 2013 the first prize in the competition organised by President of Płock. One of main theme of the project was water arrangement, including designing for flooding, surface run-off reduction and purification of river and surface water. All solutions have emerged in an effect of synergy of solutions for water, wildlife protection and creation of spaces for people.





Fig. 5-6 Visuals displaying opportunities of integration of river's natural environment and citizens of Plock.  
Source: Joanna Jaskułowska

Rys. 5-6 Wizualizacje przedstawiające możliwości integracji środowiska naturalnego, rzeki i mieszkańców Płocka. Źródło: Joanna Jaskułowska

Main elements of the concept were: shaping a coherent, well communicated, multifunctional recreational area for residents, enhancement of biodiversity, revealing and sustaining natural environment and landscape values of the area and creating sustainable blue-green infrastructure.

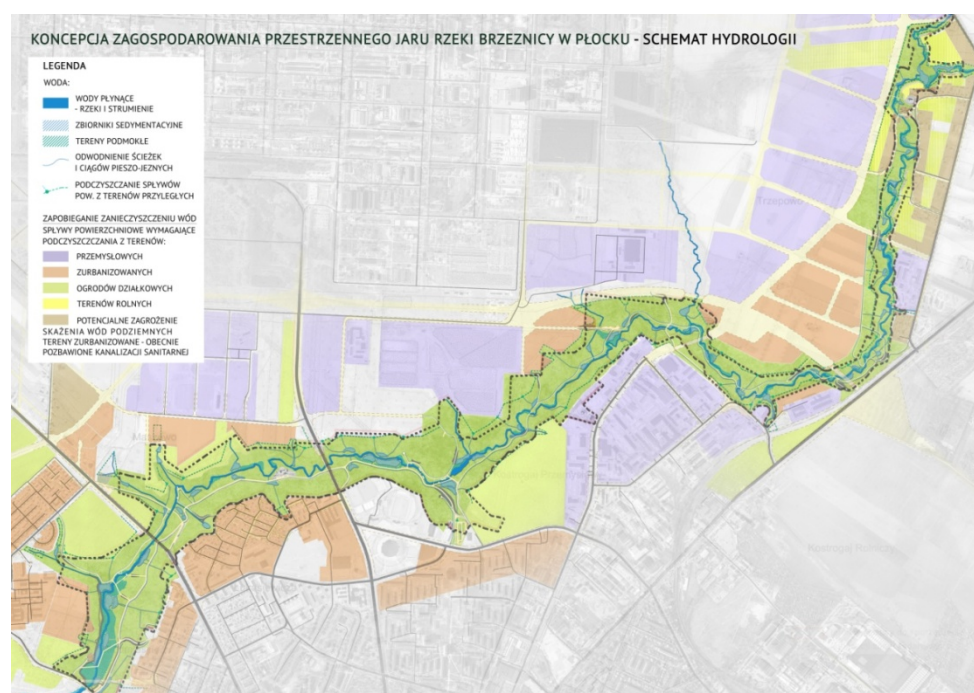


Fig. 7 Scheme of blue infrastructure of river Brzeznica ravine park. Source: Joanna Jaskułowska

Rys. 7 Schemat błękitnej infrastruktury w nadrzeczonym parku buforowym Jaru Rzeki Brzeznicy. Źródło: opracowanie własne autorstwa Joanny Jaskułowskiej

Along Brzeznica river a chain of sediment basins was designed, to achieve biological purification of surface water, storm water and creeks. In scope of improvement of retention capacity of the valley, increased river meandering was designed and areas covered by wetlands were enlarged in the project. One of aims was to improve the accessibility of the area by introducing new walkways and bicycle lanes. The whole area has a potential to transform into an attractive, sustainable public space, which would stimulate the city's development.



Fig. 8-9 Visuals showing current rainwater storage system and designed rain water storage located near Wyspiańskiego and Mehoffera streets in Płock. Źródło: Joanna Jaskułowska

Rys. 8-9 Wizualizacje przedstawiające stan istniejący i projektowany, pokazujące przekształcenia podziemnego zbiornika na wody opadowe usytuowanego u zbiegu ulic Wyspiańskiego i Mehoffera w Płocku w otwarty. Źródło: Joanna Jaskułowska

Implementation of GI in river buffer park would help Płock achieve ecological balance and would become valuable element, which educates and shapes multifunctional city space.

Despite the fact, the presented examples show GI application in bigger cities, the rules of shaping green infrastructure can be followed also in smaller towns. Pro-ecological solutions for stormwater in public spaces of towns are equally important due to increased water contamination from agricultural areas which are neighbouring to cities [12]. Each instance of GI application enriches urban areas with natural habitats, which gives people an opportunity to enhance their own relation with nature. Contact with natural environment plays also a significant role in sustaining in good health and well-being. Though, in most Polish cities the area taken by green space per a resident is often much lower than recommendations [6]. The accessibility of green and recreational spaces is one of key factor shaping the comfort of life in cities. Thus, it can be assumed that the areas taken by green spaces in cities will gradually increase. Combining recreational and aesthetical functions with hydrological systemic management in cities is creating new values. Moreover, creating green systems in city to implement GI can be one of planning tools regulating the process of urban sprawl.

## 6. GREEN INFRASTRUCTURE AND SLOW CITY MOVEMENT

Life in small Polish towns is associated with peaceful life, that is why implementation of the Cittaslow movement is well received. Slow movement stands in opposition to fast civilisation development, which triggers increase of globalisation, industrialisation and urbanisation. The idea of slow cities concerns all aspects of life and relies on achieving state of balance [22]. Similarly, implementation of green infrastructure has an impact on building relations between people, spaces and natural environment. Arrangement of storm water locally, in the place it appears teaches more rational and attentive resource management, whereas urban landscape arrangement with storm water improves site aesthetics and ecology. Conscious green infrastructure planning brings new values into public space and uncovers potential which lays in separated green public spaces, which earlier haven't been identified in systemically. So far, small towns haven't been often perceived as beneficiary of green infrastructure despite the fact they are the most numerous group of urban settlements in Poland – 701 out of 930 cities is inhabited by less than 20.000 people. Thoughtful planning of the small urban areas has significant influence on the quality of natural environment and resident's well-being. Applying the concept of slow cities and green infrastructure together enhances creation of attractive

and people-friendly cities according with Aristoteles quote The whole is greater than the sum of its parts.

## 7. SUMMARY

Solving problems related to stormwater management in the urban areas through the use of green infrastructure can be an important element to meet the needs of residents and improve their quality of life. A precondition for the development of sustainable rainwater management systems is the existence of appropriate formal and legal instruments, but also important systems of economic support and various financial incentives for both large investors and private owners of small plots, which unfortunately is rare in Poland. The education of the society plays an important role in the implementation of this type of solutions. On the one hand, it is necessary to raise the awareness of threats of the use of previously dominant solutions - excessive sealing of urban areas and rapid drainage of rainwater from them to the receiver, on the other hand - making aware that the condition for a safe functioning of the city during wet weather may not be traditional sewage system. Solutions of green infrastructure, visible and of high aesthetic value, have significant educational values, make people aware of the importance of rational management of rainwater in urban areas and the need for connectedness with nature. For many years this was an unnoticed problem, so there is a need to conduct thorough research, analysis and adaptation of activities to the expectations of residents in the field of urban space development [4]. It is necessary to broadly promote solutions that allow sustainable management of rainwater. Acceptance from the residents, who should see in them the possibility of developing a modern, attractive city adapted to climate change is also required [4].

## ZIELONA INFRASTRUKTURA W MAŁYCH MIASTACH JAKO ELEMENT ZRÓWNOWAŻONEJ GOSPODARKI WODAMI OPADOWYMI

### 1. WSTĘP

Zasadniczym celem systemów odwodnień w miastach od początku ich tworzenia do lat 60-tych ubiegłego wieku było łagodzenie skutków powodzi, a więc jak najszybsze zebranie i odprowadzenie do odbiornika wód opadowych. Od około pięćdziesięciu lat ten pogląd zaczął się stopniowo zmieniać [9], m.in. ze względu na dostrzeganie negatywnych skutków takiego podejścia zarówno dla środowiska jak i mieszkańców obszarów zurbanizowanych. Skutkiem funkcjonowania tradycyjnych systemów kanalizacyjnych jest m.in. zakłócenie naturalnego obiegu wody w środowisku, obniżenie poziomu wód gruntowych, stepowanie gleb i pogorszenie mikroklimatu. Ponadto systemy te coraz częściej są przeciążone hydraulicznie, czego skutkiem są zalania, podtopienia a nawet powodzie miejskie, w czasie których dochodzi do narażenia bezpieczeństwa funkcjonowania miasta i znacznych strat materialnych. Z drugiej strony, w warunkach stopniowego, znacznego wzrostu cen wody wodociągowej, a niekiedy jej niedostatecznej dostępności, np. w okresach długotrwałej suszy, zaczęto dostrzegać wartość materialną i gospodarczą wód opadowych, które mogą zastępować wodę wodociągową w przypadku, gdy nie jest wymagana woda o jakości wody pitnej. Obecnie więc systemy odwodnień w miastach tworzone i modernizowane są w taki sposób, aby umożliwić gospodarcze wykorzystanie wód opadowych, a także wykorzystanie ich potencjału w racjonalnym kształtowaniu systemów

hydrologicznych na terenach zurbanizowanych i tworzeniu obiektów o wysokich walorach estetycznych, przyjaznych dla mieszkańców.

Artykuł analizuje możliwości i warunki zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi, dokonano przeglądu i analizy stanu wiedzy i doświadczeń w zakresie wykorzystania obiektów zielonej infrastruktury w systemach odwodnień obszarów zurbanizowanych. Przedstawiono przykładowe realizacje i opracowane koncepcje. Wskazano na potrzebę kształtowania zielonej infrastruktury w taki sposób, aby spełnić oczekiwania mieszkańców i poprawić bezpieczeństwo funkcjonowania miasta w czasie opadów. Podane rozwiązania mogą być również stosowane w małych miastach.

## 2. WYMAGANIA FORMALNO-PRAWNE

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [7] ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej zawiera nakaz gospodarowania wodami opadowymi zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, co zostało wdrożone w podstawowych polskich aktach prawnych w tym zakresie, jak Ustawa Prawo wodne [23] i Ustawa Prawo ochrony środowiska [24]. Z kolei Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [25] nakazuje uwzględnienie w planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym wymagań ochrony środowiska, w tym gospodarowania wodami i ochrony gruntów rolnych i leśnych. Według tejże ustawy, miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego powinien zawierać parametry określające m.in. minimalny udział procentowy powierzchni biologicznie czynnej w odniesieniu do powierzchni działki budowlanej.

Podstawowe regulacje prawne dotyczące zagospodarowania wód na terenie działki budowlanej zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [19] oraz w Ustawie Prawo wodne [23]. Według Rozporządzenia działka budowlana, na której sytuowane są budynki, powinna być wyposażona w kanalizację umożliwiającą odprowadzenie wód opadowych do sieci kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej. W razie braku takiej możliwości dopuszcza się odprowadzanie wód opadowych na własny teren nieutwardzony, do dołów chłonnych lub do zbiorników retencyjnych. Istotne zmiany w podejściu do problematyki wód opadowych na obszarach zurbanizowanych zostały wprowadzone w nowej Ustawie Prawo wodne. Jako instrumenty ekonomiczne służące gospodarowaniu wodami Ustawa wymienia m.in. opłaty za odprowadzanie wód opadowych lub roztopowych ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacji deszczowej służące do odprowadzania opadów atmosferycznych albo systemy kanalizacji zbiorczej w granicach administracyjnych miast, a ponadto, co jest nowością, opłaty za zmniejszenie naturalnej retencji terenu na skutek wykonywania na nieruchomości o powierzchni powyżej 3500 m<sup>2</sup> robót lub obiektów budowlanych trwale związanych z gruntem, mających wpływ na zmniejszenie tej retencji przez wyłączenie więcej niż 70% powierzchni nieruchomości z powierzchni biologicznie czynnej na obszarach nieujętych w systemy kanalizacji otwartej lub zamkniętej. Ustawa przewiduje znacznie niższe stawki opłat w przypadku zastosowania urządzeń do retencjonowania wody z powierzchni uszczelnionych, co prawdopodobnie będzie stanowiło istotną zachętę do stosowania tego typu rozwiązań.

Obecnie nie ma formalnych wytycznych dotyczących minimalnej wielkości ogólnodostępnych terenów zieleni i rekreacji na danym obszarze. Obowiązujące uregulowania odnoszą się tylko do terenu działek budowlanych, przeznaczonych pod zabudowę wielorodzinną, budynki opieki zdrowotnej (z wyjątkiem przychodni) oraz oświaty, ustalając, że minimum 25% jego powierzchni powinna stanowić powierzchnia biologicznie czynna, o ile nie wynika inaczej z ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego [28]. Dla zapewnienia odpowiednich warunków zdrowotnych powierzchnia terenów zielonych przypadająca na jednego mieszkańca w warunkach miejskich powinna wynosić 50 m<sup>2</sup> [6].

### 3. PRZYCZYNY PROBLEMÓW ZWIĄZANYCH Z ODPROWADZANIEM WÓD OPADOWYCH

Problemy związane z bezpieczeństwem funkcjonowania miasta w okresie opadów zaczęły gwałtownie narastać w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat i nie dotyczą one jedynie dużych miast. Główną przyczyną jest wzrost powierzchni uszczelnionych i przyłączanie do istniejącej już sieci odwodnieniowej nowych terenów, stąd nasilenie problemu dotyczy przede wszystkim dzielnic centralnych. Budowę tradycyjnych systemów kanalizacyjnych rozpoczynano tam na ogół ok. 100 lat temu, od tego czasu zagospodarowanie powierzchni uległo znacznym zmianom, zabudowa stawała się bardziej zwarta, przybywało nie tylko budynków, ale zagęszczała się też sieć ciągów komunikacyjnych. Tendencja do maksymalnego wykorzystania powierzchni na obszarach zurbanizowanych oznaczała jednocześnie jej uszczelnienie, a oczekiwania mieszkańców co do zabezpieczenia przed powodzią narzucały konieczność szybkiego odprowadzenia wód opadowych. Tradycyjne systemy kanalizacyjne z czasem stawały się niewydolne w okresie opadów, ze względu na szybki spływ wód opadowych z coraz większych powierzchni dochodzi coraz częściej do ich hydraulicznego przeciążenia. Sytuację dodatkowo pogarszają obserwowane zmiany klimatyczne, przejawiające się m.in. zmianą charakteru opadów.

Na większości obszaru Polski nastąpił zdecydowany wzrost liczby dni z opadem dobowym o dużym natężeniu. Struktura opadów zmieniła się głównie w cieplej porze roku; opady są bardziej gwałtowne, krótkotrwałe, niszczycielskie powodujące coraz częściej gwałtowne powodzie [17]. Wzrost częstości pojawiania się opadów nawalnych i zwiększenie stopnia uszczelnienia miast przekłada się bezpośrednio na nasilenie problemów związanych z odprowadzaniem wód opadowych: częściej dochodzi do wylań ścieków z systemu kanalizacyjnego, co może stanowić zagrożenie dla mieszkańców, przeciążone są również odbiorniki, zarówno hydraulicznie jak pod względem ładunku odprowadzanych zanieczyszczeń [20]. Rozwiązań tych problemów poszukuje się albo w modernizowaniu i rozbudowie konwencjonalnych systemów odwadniania – budowa nowych kanałów o większej przepustowości, budowa zbiorników retencyjnych, co jednak jest coraz trudniejsze w zwartej zabudowie miasta, albo wprowadza się nowe rozwiązania tzw. zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi, kładące nacisk na zagospodarowanie tych wód w miejscu wystąpienia opadu, np. poprzez ich gospodarcze wykorzystania lub skierowanie do gruntu lub przynajmniej retencjonowanie przed odprowadzeniem do odbiornika z opóźnieniem i przy zmniejszeniu natężenia odpływu. Szczególnymi zaletami wśród tych rozwiązań cechują się obiekty z zielenią. Zielona infrastruktura (*green infrastructure – GI*) obszarów zurbanizowanych najczęściej jest postrzegana jako obszary z zielenią, o wysokich walorach rekreacyjnych i estetycznych, zapewniające mieszkańcom możliwość kontaktu z przyrodą. Stosowane rozwiązania to rozwiązania typu NBS (*nature-based solutions*) inspirowane i wspierane przez naturę, definiowane przez IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) jako działania na rzecz ochrony, zrównoważonego zarządzania i odtwarzania naturalnych lub zmodyfikowanych ekosystemów, które skutecznie i adaptacyjnie zajmują się wyzwaniami społecznymi, zapewniając jednocześnie wysoki poziom życia i warunki do wzmacniania bioróżnorodności [27].

W kontekście hydrologii miejskiej GI najczęściej jest definiowana jako system zdecentralizowanych rozwiązań w gospodarowaniu wodami opadowymi, takich jak dachy zielone, drzewa, ogrody deszczowe, powierzchnie przepuszczalne, pozwalających na ich zebranie i infiltrację w miejscu wystąpienia opadu, a przez to zmniejszenie odpływu tych wód i poprawę stanu wód sąsiadujących [1]. Wykorzystanie zielonej infrastruktury jest coraz powszechniejsze zarówno w dzielnicach centralnych miast przy modernizacji istniejących systemów odwadniania, jak i tworzeniu nowej infrastruktury powstających osiedli mieszkaniowych czy dzielnic usługowych. Rozwój terenów zurbanizowanych nie wyznacza jednak konkretnych rozwiązań w zakresie hydrologii miejskiej. Nawet w miastach o podobnych uwarunkowaniach społecznych i ekologicznych rozwój i wykorzystanie infrastruktury deszczowej może być odmienne, a zmiany pokrycia terenu i inżynieria hydrologiczna nie są procesami równoległymi [10]. Nowsze i mniejsze miasta stosują bardzo

zróżnicowane sposoby odwodnienia powierzchni uszczelnionych, maleje dominująca do niedawna rola tzw. szarej infrastruktury, co jest skutkiem zmiany priorytetów w podejściu do gospodarowania wodami opadowymi i edukacji społeczeństwa.

#### **4. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH Z WYKORZYSTANIEM ZIELONEJ INFRASTRUKTURY**

Elementy zielonej infrastruktury, które mogą być wykorzystane do planowego zagospodarowania wód opadowych to przede wszystkim ogrody deszczowe, zielone dachy (ekstensywne i intensywne), zielone ściany, trawiaste niecki i zagłębienia terenu, zielone elementy infrastruktury drogowej, skwery, tereny zadrzewione, pasaże roślinne, wetlandy itp. Ich wspólnym elementem jest podłoże o dużej przepuszczalności i roślinność, co umożliwia wsiąkanie wód opadowych, a także ewapotranspirację i wpisuje się w procesy naturalnego obiegu wody w środowisku. Utworzenie obiektów zielonej infrastruktury wymaga niekiedy znacznej powierzchni, zależnej od wielkości przyłączonej powierzchni uszczelnionej, z której odprowadzane są wody deszczowe, przepuszczalności gruntu i charakterystyki gatunkowej roślin. Sprzyjające warunki do stosowania rozwiązań zwiększających retencjonowanie i wsiąkanie wód opadowych istnieją więc na terenach o rozproszonej zabudowie [3], ale jak wykazują doświadczenia krajów zachodniej Europy i Ameryki Północnej nawet w zwartej zabudowie centrów miast mogą one być z powodzeniem stosowane przynajmniej do częściowego ograniczenia spływu wód opadowych do kanalizacji.

Warunkiem skutecznego działania obiektów zielonej infrastruktury jest przede wszystkim:

- właściwy dobór elementu systemu zielonej infrastruktury. Możliwości zastosowania zrównoważonych systemów gospodarowania wodami opadowymi w różnych typach przestrzeni miejskiej zależą od wielu czynników [13]. Jest to przede wszystkim charakter i funkcja zabudowy, rzutujące na stopień uszczelnienia powierzchni i współczynnik spływu wód opadowych, potrzeby w zakresie zagospodarowania przestrzeni publicznej (np. poprawa estetyki przestrzeni publicznych, tworzenie miejsc integracji mieszkańców i rekreacji), ale także struktura własności.
- odpowiednie zaprojektowanie urządzenia pod względem technicznym, w tym prawidłowe przyjęcie parametrów opadu, w czasie którego urządzenie powinno przejąć całą objętość wód opadowych, zabezpieczając dany teren/obiekt przed zalaniem. Ze względu na obserwowane zmiany klimatyczne na ogół obecnie zaleca się projektowanie systemów odwadniających zakładając o kilkadziesiąt procent większą intensywność opadów niż dawniej.
- odpowiedni dobór roślinności. Obiekty zielonej infrastruktury stosowane do zagospodarowania wód opadowych powinny wykorzystywać rośliny odpowiednio dobrane pod względem ich wymagań wegetacyjnych i zdolności transpiracji. Charakterystyka gatunkowa nie jest jednak jedynym czynnikiem warunkującym efektywność w regulacji spływów opadowych. Np. w przypadku drzew [2] ich skuteczność zależna jest m.in. od czynników atmosferycznych (strefa klimatyczna, parametry opadów, wiatr, temperatura, parowanie, długość okresów pogody suchej między opadami), parametrów gruntu (pojemność wodna, stopień zagęszczenia, żyzność), cech krajobrazu (sposób zagospodarowania terenu i stopień uszczelnienia powierzchni, przebieg wododziałów, spadek terenu, gęstość i typ nasadzeń - pojedynczo czy w skupiskach z nachodzącymi na siebie koronami, typ okrywy np. krzewy, trawa darniowa, goły grunt). Drzewa mogą zwiększyć niezawodność i wydajność ogrodów deszczowych i innych urządzeń wykorzystywanych w zielonej infrastrukturze dzięki temu, że przyczyniają się do regulacji wilgotności gleby. Przyczyniają się również do poprawy jakości wody przez redukcję biogenów.
- właściwa eksploatacja: naprawa uszkodzeń mechanicznych konstrukcji obiektu, usuwanie grubszych zanieczyszczeń z powierzchni, sprawdzanie stopnia kolmatacji gruntu i ewentualnie jego wymiana, pielęgnacja zieleni, koszenie trawy, przycinanie roślin, nowe nasadzenia itp. Zabiegi konserwatorskie mają na celu zapobieganie wystąpieniu niepo-

żądanym zjawisk, jak pojawienia się plagi komarów, rozwoju procesów gnilnych w wytrąconych na dnie zbiorników osadów, niekontrolowany rozwój roślinności [3]. Właściwe utrzymanie powierzchni do wsiąkania pozwala na utrzymanie ich wysokiej sprawności przez wiele lat, natomiast zaniedbania w tym zakresie mogą spowodować, że już po okresie 1-2 lat nastąpi istotny spadek zdolności infiltracyjnych [21].

Nadrzędnym celem wykorzystywania obiektów zielonej infrastruktury do zagospodarowania wód deszczowych jest ochrona przed powodzią, ale stosowanie tych rozwiązań przynosi również wiele innych korzyści (Tab.1), które w przypadku tego typu rozwiązań powinny być szczegółowo analizowane. Niektóre korzyści są widoczne natychmiast, inne pojawiają się w dłuższej perspektywie i mogą dotyczyć skali regionalnej, krajowej i międzynarodowej [8]. Ocenia się, że optymalne wykorzystanie metod zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi może przyczynić się do ograniczenia zużycia energii i zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych o ok. 10% [18].

Tabela 1 Główne korzyści wynikające ze stosowania zielonej infrastruktury w zagospodarowywaniu wód opadowych

Korzyści wynikające ze stosowania zielonej infrastruktury			
Techniczne	Ekonomiczne	Środowiskowe	Spoleczne
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ograniczenie ilości wód opadowych odprowadzanych z powierzchni uszczelnionych</li> <li>- Łagodzenie maksymalnych natężeń i opóźnienie odpływu do odbiornika</li> <li>- Wzrost powierzchni przepuszczalnych w mieście</li> <li>- Wzrost niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonowania systemu odwodnienia miasta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niższe koszty inwestycyjne w porównaniu z budową tradycyjnej sieci kanalizacyjnej</li> <li>- Ograniczenie zużycia wody wodociągowej do podlewania zieleni</li> <li>- Ograniczenie zużycia energii do ogrzewania i klimatyzacji w budynkach</li> <li>- Zmniejszenie kosztów oczyszczania ścieków</li> <li>- Ograniczenie finansowych skutków powodzi miejskich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zachowanie naturalnego obiegu wody w środowisku, odbudowa zasobów wód podziemnych</li> <li>- Poprawa jakości powietrza i mikroklimatu</li> <li>- Poprawa jakości wody deszczowej odprowadzanej z powierzchni uszczelnionych do wód powierzchniowych i podziemnych, ochrona odbiorników przed zanieczyszczeniem</li> <li>- Ograniczenie występowania tzw miejskiej wyspy ciepła</li> <li>- Ograniczenie hałasu</li> <li>- Wzrost bioróżnorodności</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejszenie niekorzystnego wpływu na zdrowie mieszkańców takich czynników jak zanieczyszczenie powietrza czy wysokie temperatury</li> <li>- Tworzenie obiektów rekreacji</li> <li>- Poprawa estetyki przestrzeni miejskiej</li> <li>- Wzrost wartości rynkowej nieruchomości</li> <li>- Edukacja społeczeństwa</li> </ul>

Koszty inwestycyjne i korzyści ekonomiczne jest stosunkowo łatwo ocenić i są one na ogół brane pod uwagę w pierwszej kolejności, jednak to korzyści środowiskowe i społeczne stosowania tego typu rozwiązań są ostatnio bardziej akcentowane. Zwraca się przy tym uwagę, że przy planowaniu zielonej infrastruktury korzyści te nie mogą być rozpatrywane jako dodatkowe, osiągnane „przy okazji”, lecz powinny być szczegółowo analizowane przez planistów i inżynierów i uwzględniane przy podejmowaniu decyzji dotyczących rozwoju miasta i gospodarowania wodami. Między innymi właśnie z powodu uzyskiwania korzyści środowiskowych i społecznych obecnie ocenia się, że inwestowanie w zieloną infrastrukturę jest bardziej opłacalne niż rozwiązania tradycyjne.

Choć na ogół podkreśla się jedynie korzyści, jakie wynikają ze stosowania zielonej infrastruktury do zagospodarowania wód deszczowych, przy doborze i planowaniu lokalizacji obiektów należy uwzględnić również potencjalne negatywne skutki i zagrożenia związane z implementacją tego typu rozwiązań. Ostatnio zwraca się uwagę m.in. na następujące możliwe konsekwencje i uwarunkowania [5,11]:

- duży udział powierzchni zielonych powoduje zmniejszenie gęstości zaludnienia, wzrost mobilności mieszkańców i zwiększone zużycie paliw
- cień drzewa może zmniejszyć dopływ promieniowania słonecznego, w zimnym klimacie zwiększając zapotrzebowanie na energię do ogrzewania pomieszczeń, może też powodować zmniejszenie komfortu cieplnego na ulicach i parkach

- wysokie drzewa mogą ograniczać widoczność
- korzenie drzew mogą powodować zniszczenie infrastruktury podziemnej
- duże drzewa po obu stronach ulicy mogą przyczynić się do zmniejszenia prędkości wiatru i w ten sposób zwiększają poziom zanieczyszczenia powietrza na poziomie ulicy
- zwierzęta i owady bytujące w obszarach zielonych: mogą być uciążliwe lub też mogą stanowić, jako nosiciele chorób, zagrożenie dla zdrowia ludzi, pyłki drzew mogą powodować alergie
- stosowanie nawozów i pestycydów na obszarach zielonych może prowadzić do pogorszenia jakości spływającej z tych powierzchni wody
- może również wystąpić dostrzegalny wzrost przestępczości na obszarach o zwiększonej pokryciu roślinności.

Jeżeli zaplanowane i realizowane systemowo, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, działania ekologiczne nie będą uwzględniać kontekstu społeczno-gospodarczego – kulturowego, to mogą zakończyć się niepowodzeniem [26].

## 5. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ ZIELONEJ INFRASTRUKTURY

Zielona infrastruktura miast jest systemem, który daje możliwość integracji rozwiązań przestrzennych o różnej skali. Lokalne projekty wykorzystujące tereny zieleni do zagospodarowania wody na miejscu dają globalny efekt, przekładający się na wiele aspektów życia w mieście. Systemowe postrzeganie zieleni w mieście daje efekt synergii: sprawia, że rozdrobnione elementy stają się całością, która stanowi więcej niż suma jej składników. Beneficjentami zielonej infrastruktury mogą być zarówno właściciele prywatni oraz instytucjonalni nieruchomości, jak i władze samorządowe, nie ma również ograniczeń dotyczących rozmiaru miasta, w którym stosuje się powyższe rozwiązania i stopnia jego zaludnienia. Osoby mieszkające na przykład w domach jednorodzinnych mogą świadomie kształtować teren zielony, który do nich należy, zwiększając powierzchnię biologicznie czynną, zakładając zbiorniki na wodę opadową czy wprowadzając ogrody deszczowe. Takie działania podnoszą walory krajobrazowe przestrzeni, prowadzą do oszczędzania zasobów wodnych oraz kształtują nowe siedliska dla roślin i zwierząt, dzięki czemu rozwija się bioróżnorodność. W mieście Portland w stanie Oregon, które jest jednym z liderów w zarządzaniu wodą deszczową, między 1993 a 2011 rokiem prowadzony był Program Odłączenia Rynny Odplywowej (Downspout Disconnection Program). W ramach inicjatywy, w którą zaangażowało się 42,000 właścicieli domów, zamiast odprowadzać wodę z dachów prosto do systemu kanalizacji deszczowej zastosowano ją do nawadniania terenów zieleni przydomowej. Dzięki wdrożeniu powyższego programu każdego roku do kanalizacji trafia 49 miliardów litrów wody opadowej mniej [16]. Nie jest to jedyna tego typu strategia w mieście Portland, które od wczesnych lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku wdraża liczne programy związane z zagospodarowaniem wód opadowych: rozbudowujące zieloną infrastrukturę, jak również podejmujące tematykę edukacji ekologicznej i podnoszenia walorów krajobrazowych. Powyższy przykład pokazuje, że czynne i świadome uczestnictwo mieszkańców w kształtowaniu środowiska miejskiego jest bardzo istotne. Daje się również zauważyć, iż kluczowym aspektem scalającym ideę zielonej infrastruktury są działania samorządów i innych środowisk zajmujących się planowaniem przestrzennym oraz strategicznym.

Planowanie zielonej infrastruktury w danym miejscu można rozpocząć od: rozpoznania struktury analizowanej przestrzeni, inwentaryzacji istniejącej zielonej tkanki jak parki, skwery, zieleń przyuliczna, tereny nadrzeczne oraz analizy potencjalnych kierunków jej rozwoju, przy wykorzystaniu przestrzeni publicznych, parkingów terenowych, odłogów, obszarów przemysłowych itd. Po dokonaniu wstępnej analizy istniejące i potencjalne przestrzenie, uznane jako część infrastruktury można zsyntetyzować poprzez graficzne nakreślenie zielonej sieci na mapie, a następnie przeprowadzić badania, jakie najodpowiedniejsze narzędzia zastosować w danej lokalizacji. Elementami krystalizującymi zielo-



na infrastrukturę w przestrzeni są zielone pierścienie okalające miasto bądź dzielnicę, parki w układzie pasmowym, koncentryczne zielone kliny oraz zielone korytarze. Ciekawym przykładem wdrożenia zielonej infrastruktury opierającej się na powyższych elementach składowych jest strategia przekształcenia Mediolanu w zielone, przyjazne środowisku miasto, opracowana w ramach przygotowań do organizacji Expo 2015. Biuro projektowe LAND Milano srl we współpracy z AIM (Associazione Interessi Metropolitani) stworzyli koncepcje pierścienia (la cintura verde) okalającego miasto i ośmiu zielonych promieni (raggi verdi), prowadzących do centrum. Celem planu było podniesienie bioróżnorodności w mieście, zwiększenie atrakcyjności zieleni dla mieszkańców oraz wyeksponowanie wody i kształtowanie jej w relacji z zielenią miejską. W ramach strategii posadzono między innymi 500.000 drzew oraz stworzono 70 km zielonych korytarzy ze ścieżkami pieszymi i rowerowymi [15]. Władze Mediolanu podniosły jakość życia i środowiska, a jednocześnie użyły zielonej infrastruktury jako narzędzia promocji miasta oraz idei zrównoważonego rozwoju na arenie międzynarodowej. Próby kształtowania zielonego pierścienia były podejmowane również w Polsce, m.in. w obszarze metropolitalnym Warszawy i w aglomeracji lubelskiej [14].

Systemy zieleni miejskiej wzmacniają retencję, mogą sprzyjać oczyszczaniu wód i być jednym z elementów systemu odwodnienia, jednak już na etapie ich tworzenia należy uwzględnić ich wykorzystania do zagospodarowania wód opadowych. Jak zauważa Januchta-Szostak [12] bardzo cenną inicjatywą w kontekście zarządzania wodą w mieście jest zakładanie nadrzecznych parków buforowych, których celem jest ochrona ekosystemów dolin rzecznych, retencja i podczyszczanie spływów burzowych, a równocześnie nadanie terenom zalewowym funkcji rekreacyjnej.

Autorską próbą wdrożenia idei zielonej infrastruktury jest Projekt Zagospodarowania Terenu Jaru Rzeki Brzeźnicy w Płocku wykonany w zespole: J. Jaskułowska i M. Wolski. Projekt ten otrzymał 1 nagrodę w ogólnopolskim konkursie urbanistycznym, zorganizowanym przez Urząd Miasta w Płocku w 2013 roku i obejmował 170 hektarów terenu doliny rzecznej pomiędzy centrum Płocka, a obszarem przemysłowym Petrochemii. W projekcie zastosowano szereg rozwiązań związanych z zagospodarowaniem wody. Poruszone zostały zagadnienia dotyczące kwestii ochrony przeciwpowodziowej, redukcji spływu powierzchniowego i oczyszczenia zarówno wody deszczowej jak i samej rzeki Brzeźnicy. Wszystkie rozwiązania powstały w wyniku synergii propozycji związanych z wodą, dziką naturą i przestrzenią dla ludzi.

Głównymi elementami zaproponowanej koncepcji były: ukształtowanie spójnego, dobrze skomunikowanego, wielofunkcyjnego terenu rekreacyjnego dla wszystkich mieszkańców, wspieranie bioróżnorodności i wydobycie wartości przyrodniczo-krajobrazowych terenu, a także stworzenie zielonej i błękitnej infrastruktury zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Między innymi wzdłuż rzeki zaprojektowano łańcuch zbiorników sedymentacyjnych, w których mógłby zachodzić proces biologicznego oczyszczania wód powierzchniowych, opadowych oraz strumieni zasilających rzekę, zaplanowano wzmocnienie meandrowania koryta rzecznej - by zwiększyć pojemność retencyjną doliny oraz zdolność wód płynących do samooczyszczania, w celu dalszej rozbudowy potencjału retencyjnego obszarów zielonych zwiększony został obszar zajmowany przez tereny podmokłe. Położony został również nacisk na powiększenie dostępności obszaru poprzez wprowadzenie ścieżek pieszych i rowerowych zarówno wzdłuż rzeki jak i w poprzek. Całość miałaby stać się atrakcyjną przestrzenią publiczną o funkcjach ekologicznych, która stałaby się bodźcem dla rozwoju miasta. Wdrożenie zielonej infrastruktury w nadrzecznym parku buforowym przybliżyłoby Płock do osiągnięcia równowagi ekologicznej i stałoby się wartościowym elementem edukującym i kształtującym wielofunkcyjną przestrzeń miasta.

Pomimo iż przykłady zastosowania zielonej infrastruktury pojawiają się częściej w większych miastach, zasady kształtowania zielonej infrastruktury można przełożyć również na małe ośrodki miejskie. Zastosowanie proekologicznych rozwiązań zagospodarowujących wodę opadową w przestrzeniach publicznych i zielonych małych miast jest równie po-

trzebne w związku ze wzrostem skażenia wód szkodliwymi substancjami pochodzącymi z obszarów rolniczych, które sąsiadują z miastami [12]. W każdym przypadku zastosowania zielonej infrastruktury wzbogacenie terenów miejskich przyrodą daje mieszkańcom możliwość bliskiego obcowania i zrozumienia własnej relacji z naturą. Kontakt z przyrodą ma również istotnie znaczenie dla zdrowia ludzkiego. W polskich miastach jednak powierzchnia terenów zielonych przypadająca na jednego mieszkańca jest na ogół znacznie niższa, niż zalecana [6]. Tymczasem coraz częściej oczekiwania mieszkańców w zakresie komfortu życia koncentrują się właśnie na dostępności terenów zielonych i rekreacyjnych. Można więc przypuszczać, że powierzchnia terenów urządzonej zieleni w miastach będzie stopniowo wzrastać. Warto, aby nowe rozwiązania w tym zakresie spełniały nie tylko funkcje rekreacyjne i estetyczne, ale również pełniły ważną, ściśle określoną rolę w systemie hydrologicznym miast. Należy również zauważyć, że tworzenie systemów terenów zielonych, celem wdrażania idei zielonej infrastruktury, może stanowić jeden z instrumentów planistycznych służących zapobieganiu procesowi nieograniczonego rozprzestrzeniania się zabudowy.

## 6. ZIELONA INFRASTRUKTURA A RUCH SLOW CITY

Życie w małych polskich miastach kojarzy się z sielskością i spokojem, dlatego z powodzeniem wprowadza się w nich idee Cittaslow. Ruch Slow przeciwstawia się szybkiemu tempu życia i nadmiernemu rozwojowi cywilizacyjnemu, który pociąga za sobą procesy globalizacji, uprzemysłowienia i urbanizacji. Idea Slow dotyczy wszystkich sfer życia i opiera się na wprowadzeniu równowagi. [22]. Wdrażanie zielonej infrastruktury, podobnie jak idei Slow, wpływa na budowanie więzi między człowiekiem, przestrzenią i środowiskiem naturalnym. Zagospodarowanie wód opadowych lokalnie w miejscu występowania opadu uczy dbałości o zasoby naturalne i racjonalnego zarządzania nimi, natomiast przekształcenia krajobrazu występującego w otoczeniu zabudowy wzbogacają je nie tylko o walory ekologiczne, ale również estetyczne. Świadome kształtowanie zielonej infrastruktury wnosi do przestrzeni miast nowe wartości i wydobywa potencjał drzemiący w rozdrobnionych terenach zielonych, które dotychczas nie były postrzegane jako część systemu. Warto zwrócić szczególną uwagę na małe miasta, które dotychczas bardzo rzadko były postrzegane jako odbiorcy zielonej infrastruktury, mimo iż stanowią najliczniejszą grupę: spośród 930 jednostek osadniczych o prawach miejskich w Polsce – 701 to miasta małe, czyli liczące do 20 tys. mieszkańców. Odpowiednie planowanie tych niewielkich obszarów zurbanizowanych ma istotny wpływ na jakość środowiska naturalnego. Stosując idee miasta Slow i zielonej infrastruktury razem, można kształtować bardziej atrakcyjne i przyjazne do życia miasta, zgodnie ze stwierdzeniem Arystotelesa, iż całość to więcej niż suma jej składników.

## 7. PODSUMOWANIE

Rozwiązywanie problemów związanych z gospodarowaniem wodami opadowymi na terenach miast przez wykorzystanie zielonej infrastruktury może być ważnym elementem służącym zaspokojeniu potrzeb mieszkańców i poprawy jakości ich życia. Warunkiem rozwoju systemów zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi jest istnienie odpowiednich instrumentów formalno-prawnych, ale istotną rolę mogą też odgrywać systemy ekonomicznego wsparcia i różnego rodzaju zachęt finansowych zarówno dla dużych inwestorów, jak i prywatnych właścicieli małych działek, co niestety w warunkach krajowych jest rzadko spotykane. Ogromną rolę w implementacji tego typu rozwiązań odgrywa edukacja społeczeństwa. Z jednej strony konieczne jest uświadamianie zagrożeń, jakie niesie stosowanie dotychczas dominujących rozwiązań – nadmierne uszczelnianie powierzchni miast i szybkie odprowadzanie z nich wód opadowych do odbiornika, z drugiej uświadamianie, że warunkiem bezpiecznego funkcjonowania miasta w okresie opadów nie musi być budowa tradycyjnego systemu kanalizacyjnego. Obiekty zielonej

infrastruktury, o wysokich walorach estetycznych, mają istotne walory edukacyjne, uświadamiają znaczenie racjonalnego gospodarowania wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych i potrzebę współdziałania w tym zakresie z naturą. Przez wiele lat był to problem niedostrzegany, stąd istnieje potrzeba prowadzenia dokładnych badań, analiz i dostosowania działań do oczekiwań mieszkańców w zakresie zagospodarowania przestrzeni w mieście [4]. Konieczna jest szeroka promocja rozwiązań umożliwiających zrównoważone gospodarowanie wodami opadowymi i akceptacja ze strony mieszkańców, którzy powinni dostrzegać w nich możliwość rozwoju miasta nowoczesnego, atrakcyjnego i przystosowanego do zmian klimatu.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Ashley, R.M., Nowell, R., Gersonius, B., Walker, L., *A Review of Current Knowledge: Surface Water Management and Urban Green Infrastructure*. FR/R0014. Foundation for Water Research 2011, <http://www.fwr.org/greeninf.pdf>. dostęp/access 2018-02-12
- [2] Berland A., Shiflett S.A., Shuster W. D., Garmestani A. S., Goddard H. C., Herrmann D. L., Hopton M. E., *The role of trees in urban stormwater management, Landscape and Urban Planning*, 2017, 162, 167-177
- [3] Burszta-Adamiak E., Łomotowski J., *Odprowadzanie wód opadowych na terenach o rozproszonej zabudowie, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2006, 3, 141-153
- [4] Church S.P., *Exploring Green Streets and rain gardens as instances of small scale, Nature and environmental learning tools, Landscape and Urban Planning*, 2015, 134, 229-240
- [5] Demuzere M., Orru K., Heidrich O., Olazabal E., Geneletti D., Orru G. H., Bhave A.G., Mittal N., Feliu E., Faehnle M., *Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure, Journal of Environmental Management*, 2014, 146 107-115
- [6] Dubel K., *Uwarunkowania przyrodnicze w planowaniu przestrzennym*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 2000, Białystok, ISBN 83-85792-83-X
- [7] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>, dostęp/access 2018-02-20
- [8] Fenner R.A., *Spatial Evaluation of Multiple Benefits to Encourage Multi-Functional Design of Sustainable Drainage in Blue-Green Cities, Water*, 2017, 9, 953
- [9] Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W. F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davis A., Bertrand-Krajewski J.-L., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D., Viklander M., *SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage, Urban Water J.*, 2015, 12(7), 525-542
- [10] Hale R. L., *Spatial and Temporal Variation in Local Stormwater Infrastructure Use and Stormwater Management Paradigms over the 20th Century, Water*, 2016, 8, 310-315
- [11] Hoang, L.; Fenner, R.A., *System interactions of flood risk strategies using Sustainable Urban Drainage Systems and Green Infrastructure. Urban Water J.*, 2016, 13(7), 739–758
- [12] Izydorczyk K., Michalska-Hejduk D., Frątczak W., Bednarek A., Łapińska M., Jarosiewicz P., Kosińska A., Zalewski M., *Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych, Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk*, 2015, Łódź
- [13] Januchta-Szostak A., *Rola urbanistyki i architektury w gospodarowaniu Wodą, Zrównoważony Rozwój — Zastosowania*, 2014, 5, 31-47
- [14] Kozłowski S., red., *Żywiłowe rozprzestrzenianie się miast, KUL*, PAN, Białystok-Lublin-Warszawa, 2006, ISBN 83-923139-1-7
- [15] Milan sempre più verde [http://www.comune.milano.it/wps/portal/ist/it/news/primopiano/archivio\\_2007-2011/arredo\\_urbano\\_verde/Ambiente\\_PIANO+DEL+VERDE](http://www.comune.milano.it/wps/portal/ist/it/news/primopiano/archivio_2007-2011/arredo_urbano_verde/Ambiente_PIANO+DEL+VERDE) dostęp/access 2018-02-10
- [16] Portland, Oregon [http://www.werf.org/liveablecommunities/studies\\_port\\_or.htm](http://www.werf.org/liveablecommunities/studies_port_or.htm) dostęp/access 2018-02-20
- [17] Projekt KLIMADA „Opracowanie i wdrożenie strategicznego planu adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu” <http://klimada.mos.gov.pl/> dostęp/access 2018-02-02

- [18] Rodríguez-Sinobas L., Zubezu S., Perales-Momparler S., Canogar S., *Techniques and criteria for sustainable urban stormwater management. The case study of Valdebebas (Madrid, Spain)*, *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172, 402-416
- [19] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tekst jednolity Dz.U. 2015, poz. 1422) dostęp/access 2018-02-20
- [20] Sakson G., *Wpływ zmian charakteru opadów i wzrostu uszczelnienia zlewni na funkcjonowanie systemu kanalizacyjnego*, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 2017, 11, 458-462
- [21] Sakson G., Bandzierz D., *Zasadność stosowania urządzeń do lokalnego zagospodarowania wód opadowych*, *Wodociągi i Kanalizacja*, 2016, 5(147), 74-80
- [22] Twardzik M., *Wyzwania rozwojowe dla małych miast w Polsce – przegląd wybranych koncepcji*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach Nr 327 red. Harasim J., Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 2017
- [23] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566) <http://isap.sejm.gov.pl/dostep/access> 2018-02-20
- [24] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (tekst jednolity Dz.U.2017, poz. 519), <http://isap.sejm.gov.pl/>, dostęp/access 2018-02-20
- [25] Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (tekst jednolity Dz.U. 2017 poz. 1073), <http://isap.sejm.gov.pl/>, dostęp/access 2018-02-20
- [26] Wahl D. *Designing Regenerative Cultures*, *Triarchy Press Ltd, Axminster*, 2016, ISBN-13: 978-1909470774, ISBN-10: 1909470775
- [27] <https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions>, dostęp/access 2018-03-29
- [28] § 39 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (tekst jednolity Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690), <http://isap.sejm.gov.pl/>, dostęp/access 2018-03-22

## O AUTORZE

**Grażyna Sakson-Sysiak** – specjalność inżynieria środowiska, zaopatrzenie w wodę i unieszkodliwianie ścieków, pracownik Instytutu Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Łódzkiej, autorka/współautorka publikacji oraz opracowań naukowych i inżynierskich z zakresu inżynierii środowiska, w szczególności funkcjonowania i modernizacji systemów kanalizacyjnych, ochrony wód i zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych

**Joanna Jaskułowska** – architekt i urbanista, absolwentka studiów doktoranckich i magisterskich Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Członkini Izby Architektów Polskich. Specjalizuje się w projektowaniu przestrzeni publicznych. Obecnie prowadzi badania związane z zastosowaniem proekologicznych rozwiązań w projektowaniu przestrzeni publicznych miast.

## AUTHOR'S NOTE

**Grażyna Sakson-Sysiak** - Ph.D., specializing in environmental engineering, water supply and sewage disposal, employee of the Institute of Environmental Engineering and Building installations at the Lodz University of Technology, author/co-author of publications as well as scientific and engineering studies in the field of environmental engineering, in particular modernization of sewage systems, water protection and sustainable stormwater management in urban areas.

**Joanna Jaskułowska** - master of architecture and urban planning, graduate of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering in Lodz University of Technology. PhD candidate at Lodz University of Technology. Member of Polish Chamber of Architects. Specialises in public space design. Currently doing a research on sustainable site design in dense urban areas.

Kontakt | Contact: [grazyna.sakson-sysiak@p.lodz.pl](mailto:grazyna.sakson-sysiak@p.lodz.pl), [jaskulowska@gmail.com](mailto:jaskulowska@gmail.com)