



**AGNIESZKA DUDZIŃSKA-JARMOLIŃSKA** 

University of Warsaw, Faculty of Geography and Regional Studies, Poland

e-mail: a.dudzinska-ja@uw.edu.pl

## **BIOSWALES JAKO ELEMENTY DOSTOSOWANIA MIAST DO ZMIAN KLIMATU I NOWY SPOSÓB KSZTAŁTOWANIA KRAJOBRAZU MIEJSKIEGO NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY\***

*BIOSWALES AS ELEMENTS WHICH ADAPT CITIES TO CLIMATE CHANGE AND AS A NEW CONCEPT OF THE SHAPING OF THE CITY LANDSCAPE, TAKING WARSAW AS EXAMPLE\*\**

### **Streszczenie**

Dzisiejsze miasta – rozwijając się niezwykle dynamicznie, zajmują coraz to więcej terenów zewnętrznych, skutkiem czego, zwiększa się między innymi powierzchnia nawierzchni nieprzepuszczalnych. Przyczynia się to, po nawałnicowych opadach do powstawania lokalnych podtopień, co prowadzi do strat zarówno gospodarczych, jak i środowiskowych. Jednym z narzędzi przeciwdziałania negatywnym skutkom uszczelnienia zbyt dużej ilości nawierzchni w miastach mogą być rozwiązania oparte na tzw. usługach ekosystemowych (wykorzystujących naturalne procesy zachodzące w przyrodzie), z ang. Nature Based Solution (NBS). Jednym z adekwatnych w tym kierunku działań jest tworzenie rabat retencyjnych zwanych z angielska bioswales (po polsku można je nazwać liniowymi ogrodami deszczowymi), które to rozwiązania coraz częściej spotykane są w miastach na całym świecie. W niniejszym artykule przedstawione zostanie narzędzie z zakresu błękitno – zielonej infrastruktury, które można implementować w istniejącej tkance miejskiej na przykładzie ulic Dobrej i Solec w Warszawie.

### **Abstract**

Today's cities – develop in a very dynamic way and, thus, occupy more and more external areas. In consequence, among other things, the area of impermeable surfaces is increased. After torrential rains, this contributes to local flooding, which leads to both economic and environmental losses. One tool to counteract these negative effects – caused by the sealing of large areas – may be concepts based on the so-called Nature Based Solution (NBS). An adequate action in this field is the creation of bioswales – linear channels designed to concentrate and convey stormwater runoff (in Polish they could be referred to as rain gardens); they are becoming more and more common in towns worldwide. This article presents a tool belonging to blue-green infrastructure which may be implemented in the existing urban structure, taking as examples Dobra Street and Solec Streets in Warsaw.

**Słowa kluczowe:** ogrody deszczowe, adaptacja miast do zmian klimatu, Nature Based Solution, Warszawa

**Key words:** rain gardens, adaptation of towns to climate change, Nature Based Solution, Warsaw

\*Artykuł jest elementem badań finansowanych w ramach grantu badawczego NCBiR, nr. EraNet -Lac/3/Citadine/2/2019 z dnia 18.03.2019 r.

\*\*The article has been compiled using research with financial support from the NCBiR grant, no. EraNet -Lac/3/Citadine/2/2019 of 18.03.2019 r.

## WSTĘP

Postępująca na całym świecie urbanizacja prowadzi m.in. do tzw. rozlewania się miast (zajmujących obecnie około 2% całej powierzchni ziemi) – a więc zwiększania ich obszaru kosztem terenów zewnętrznych. Ekspansja obszarów zurbanizowanych niesie za sobą wiele konsekwencji, między innymi prowadzi do nieodwracalnych zmian klimatu, które obecnie odczuwalne są na całym świecie, a to z kolei ma swoje odzwierciedlenie w zwiększaniu się częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych (unhabitat.org 2019), mających znaczący wpływ na jakość życia ludzi, szczególnie tych zamieszkałych w miastach (Carter i in., 2015). Miasta bowiem charakteryzują się dużą ilością zmodyfikowanych przestrzeni i małą ilością naturalnej zieleni.

Jednym z takich zjawisk są deszcze nawalne, które przyczyniają się do powstawania powodzi śródlądowych<sup>1</sup> (unhabitat.org 2019). Są one wynikiem zakłóceń związanych z infiltracją wód opadowych do gleby, co jest skutkiem stałego zwiększania się powierzchni nieprzepuszczalnych (Xiao, McPherson, 2011), z których woda jest bezpośrednio i szybko odprowadzana do kanalizacji burzowej (Markowska, Hamerla, 2015). Inna przyczyna występowania tych zjawisk to zagęszczona gleba – bez dostatecznej roślinności pokrywającej jej powierzchnię – co prowadzi do zmniejszenia infiltracji wody opadowej, a także jej ewaporacji (Winston, Hunt, in., 2012). Kolejnym niepokojącym zjawiskiem jest obniżanie się poziomu wód gruntowych na terenach zurbanizowanych, skutkiem czego obserwuje się zanikanie naturalnych zbiorników wodnych czy też cieków wodnych. Zjawisko to ma wpływ na zmiany w krajobrazie miejskim, przykładem może być Warszawa – glinianki Schneidera na Bemowie czy kurczące się Jezioro Powsinkowskie w Wilanowie. Istnieją również przypadki całkowitego ich zaniku (Markowska, Hamerla, 2015), przykładem mogą być liczne glinianki znajdujące się jeszcze 200 lat temu na terenie dzisiejszej Woli w Warszawie (Bartosiewicz, Wespiański, 2017). Tendencja ta wpływa na zmiany w krajobrazie miejskim, w którym woda pełni funkcje nie tylko

<sup>1</sup> „Nastąpi wzrost wrażliwości ludzkich osad ze względu na wzrost poziomów mórz, powodzie śródlądowe, częste i silniejsze cyklony tropikalne, okresy fal upałów i rozprzestrzeniania się chorób. Zmiany klimatu mogą pogorszyć jakość życia w miastach i dostęp do podstawowych usług. Najbardziej dotknięte są miejskie obszary ubóstwa – mieszkańcy slumsów w krajach rozwijających się” (unhabitat.org, 2019).

## INTRODUCTION

Progressive urbanization worldwide leads, among other things, to so-called town sprawling (occupying as much as approx. 2% of the earth's surface), viz. when urban areas increase to the detriment of external areas. Any expansion of urbanized areas brings about a large number of consequences, for example, it leads to irreversible climatic changes, which are perceptible worldwide nowadays, and which, in turn, is reflected in the increased frequency of extreme weather events (unhabitat.org 2019) considerably influencing quality of life, especially that of city inhabitants (Carter et al., 2015). Cities are characterized by a large quantity of modified spaces and few natural green areas.

One extreme weather event is torrential rain, which contributes to inland floods<sup>1</sup> (unhabitat.org 2019). It results from disturbances connected with the infiltration of rainfall water into soil, which is caused by the constant expansion of impermeable surfaces (Xiao, McPherson, 2011) from which water is drained quickly and directly towards the storm drainage system. (Markowska, Hamerla, 2015). Another reason for such phenomena is compacted soil – without sufficient vegetation covering its surface – which diminishes the infiltration of rainfall water as well as its evaporation. (Winston, Hunt et al., 2012). Yet another phenomenon is the lowering of ground waters in urbanized areas the disappearance of natural water reservoirs and watercourses can be observed. Such a phenomenon influences changes in the urban landscape, such as in the Schneider clay-pits in Bemowo or the shrinking Powsinkowskie Lake in Wilanów. There are also cases of their complete disappearance (Markowska, Hamerla, 2015), for example in the numerous clay pits occurring only 200 years ago in the area of today's Wola in Warsaw (Bartosiewicz, Wespiański, 2017). Such a trend favors changes occurring in the urban landscape in which water plays not only ecological, but also aesthetic and socio-cultural functions (Jankowski, 2003). The urban landscape may be enriched by introducing into its structures, for example, some

<sup>1</sup> „The vulnerability of human settlements will increase through rising sea levels, inland floods, frequent and stronger tropical cyclones, periods of increased heat and the spread of diseases. Climate change may worsen the access to basic urban services and the quality of life in cities. Most affected are the urban poor – the slum dwellers in developing countries” (unhabitat.org, 2019).

ekologiczne, ale również estetyczne oraz społeczno-kulturowe (Jankowski, 2003). Krajobraz miejski można wzbogacać wprowadzając w jego struktury np. obiekty błękitno – zielonej infrastruktury pełniące zróżnicowane funkcje, np. infiltracyjne w formie specjalnie zaprojektowanych zbiorników retencyjnych (Januchta-Szostak, 2008). Z czasem tak zmienione przestrzenie mogą stać składnikiem tzw. krajobrazu kulturowego<sup>2</sup> danej aglomeracji.

Dzisiejsza gospodarka wodami opadowymi w miastach oparta jest na sieci kanalizacji burzowej (Olszewski, Davis, 2012), którą woda odprowadzana jest na tereny zewnętrzne, co prowadzi do wielu negatywnych konsekwencji zarówno dla miasta, jak i naturalnego środowiska (Sørup, Lerer, in., 2016), między innymi do podtopień, powodzi, czy też niszczenia siedlisk (Xiao, McPherson, 2011). Istotny jest również stan istniejącej infrastruktury kanalizacyjnej, która często jest już przestarzała (Sørup, Lerer, in., 2016). Przykładowo w centralnych częściach Warszawy nadal używa się systemów burzowych zaprojektowanych i wdrożonych jeszcze przez W.H. Lindleya w 1886 r. (www.mpwik.com.pl). Poza tym, tradycyjna gospodarka wodami burzowymi opiera się na liniowym procesie eksploatacji, a obecnie na całym świecie dąży się do tworzenia zamkniętych cykli obiegu wody (Sørup, Lerer, in., 2016). Ma to swoje odniesienie w wymiernych kosztach (gospodarczych czy też środowiskowych). Obliczono, iż w Polsce suma strat ponoszonych w wyniku występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych wynosi obecnie około 54 mld złotych (pierwsza dekada XXI w.), a w przypadku zaniechania jakichkolwiek działań mających na celu przeciwdziałaniu tym stratom, koszty te w 2020 r. mogą sięgnąć nawet 86 mld złotych, natomiast do roku 2030 mogą wzrosnąć do astronomicznej kwoty 120 mld złotych (PAP, 2017). Czasem nawet pojedyncze zdarzenia pogodowe przynoszą ogromne straty – przykładem może być Kopenhaga, która w wyniku nawałnicy w 2011 r., poniosła koszty w wysokości 1 mld dolarów (www.asla.org 2016).

Wynika stąd konieczność znalezienia odpowiednich narzędzi planistycznych, które pozwolą na przeciwdziałanie lub też łagodzenie skutków występowania tego rodzaju zjawisk w miastach – tzw. adaptacja miast (Carter, Cavan, 2015) (w Polsce opracowano plany adaptacji dla 44 największych polskich miast liczących ponad 100 tys. mieszkańców

components of blue and green infrastructures holding diversified functions, for example, infiltrative – in the form of purpose-built retention basins (Januchta-Szostak, 2008). As time goes by, converted spaces may become a component of the so-called cultural landscape<sup>2</sup> within a given agglomeration.

Today's rainwater management in cities is based upon a network of storm drainage systems (Olszewski, Davis, 2012) which conveys the water outside, which leads to a large number of negative consequences for both cities and the natural environment (Sørup, Lerer, et al., 2016), among others, flooding, inundations or destruction of habitats (Xiao, McPherson, 2011). Another essential factor is the condition of the existing sewerage infrastructure, which is often obsolete (Sørup, Lerer et al., 2016). For instance, storm drainage systems designed and inaugurated by W.H. Lindley in 1886 in the central parts of Warsaw are still in operation (www.mpwik.com.pl). Moreover, traditional rainwater management is based on a linear operating process; and now, there is a worldwide tendency towards closed water cycles (Sørup, Lerer, et al., 2016). This is reflected in measurable costs (both economic or environmental). It has been calculated that, nowadays, the losses sustained in Poland due to extreme weather events total approx. 54 billion Polish zloty (first decade of the 21st century); in the case of neglecting actions aimed at counteracting such losses, in 2020 those costs may even reach 86 billion PLN, whereas in 2030 they may reach an exorbitant value of 120 billion (PAP, 2017). Sometimes, even individual weather incidents may bring about immense losses – an example may be Copenhagen, which experienced a rain squall in 2011 and sustained 1 billion dollars in losses (www.asla.org 2016).

Hence, it is necessary to find suitable planning tools which would enable either the counteracting or attenuating of such events in cities – the so-called adaptation of cities (Carter, Cavan, 2015) (in Poland, adaptation plans for the 44 top Polish towns with a population of more than 100,000, and Warsaw, have been elaborated (www.44mpa.pl)).

2 „Za krajobraz kulturowy uważa się krajobraz przekształcony przez człowieka w wyniku rozwoju cywilizacyjnego” (Myga-Piątek, 2010)

2 „For cultural landscape is considered to a landscape transformed by man as a result of civilization development” (Myga-Piątek, 2010)

i Warszawy (www.44mpa.pl). Istnieje również potrzeba działań w zakresie planowania (tzw. planowanie zintegrowane<sup>3</sup>), np. w kierunku zwiększenia przestrzeni przepuszczalnych, takich jak chodniki przepuszczalne czy też ogrody deszczowe (Al-Rubaei, Viklander, Blecken, 2015). Istotne są również zmiany w zakresie zarządzania wodami burzowymi, takie jak: kontrolowanie wód burzowych, zielono – błękitna infrastruktura, zrównoważone systemy odwadniające oraz dostosowanie miejskiej infrastruktury, np. poprzez profilowanie dróg (Sørup, Lerer, i in., 2016). Obecnie w UE promuje się adaptację miast do zmian klimatu z użyciem rozwiązań opartych między innymi na przyrodzie, tzw. Nature Based Solution oraz błękitno – zielonej infrastrukturze (<http://klimada.mos.gov.pl> 2013). Działania te przyczynią się do budowania tzw. miast odpornych, na trwałe zmieniając miejski krajobraz, w tym krajobraz kulturowy.

## CEL I METODY BADAŃ

W artykule przedstawiono w jaki sposób, przy pomocy specjalnie projektowanych form roślinnych, można zbierać i magazynować wodę deszczową – w kierunku adaptacji miast do zmian klimatu. Pokazano również, iż implementacja nowego typu kompozycji roślinnych w struktury dzisiejszych aglomeracji, przyczyni się do korzystnych zmian w istniejącym jego krajobrazie kulturowym. W niniejszym artykule zdefiniowano dwa problemy badawcze: pierwszy z nich dotyczy tego w jaki sposób implementować, w istniejącej strukturze miasta, rozwiązania typu NBS (Nature Based Solution) służące retencji wody opadowej. Drugi natomiast, związany jest z pytaniem, czy takie rozwiązania, pełniące wieloaspektowe funkcje, mogą być narzędziem adaptacji miast do zmian klimatu?

Odpowiedzią na te pytania będzie przedstawienie konkretnego studium przypadku – autorskiego projektu modernizacji ulic Dobrej i Solec w Warszawie poprzez wprowadzenie liniowych ogrodów deszczowych tzw. *bioswales*.

3 „Zintegrowane planowanie, projektowanie i zarządzanie miastem daje możliwość powiązania priorytetów ekologicznych, hydrologicznych, przestrzennych, społeczno-kulturowych, technicznych i ekonomicznych. W procesie tym konieczna jest integracja najnowszych osiągnięć badawczych i projektowych z potrzebami społeczności lokalnych i długoterminowymi strategiami rozwoju miast” (Januchta-Szostak, 2012)

It is also necessary to adopt some actions related to planning<sup>3</sup> (so-called integrated planning<sup>4</sup>) e.g. towards extending permeable surfaces, such as permeable walkways or rain gardens (Al-Rubaei, Viklander, Blecken, 2015). Changes in rainwater management are also essential, viz. rainwater monitoring, green and blue infrastructure, sustained dewatering systems and adaptation of the urban infrastructure, e.g. by road profiling (Sørup, Lerer et al, 2016). Nowadays, in the EU, an adaptation of cities to climate change is promoted with solutions based, among other things, on nature – the so-called Nature Based Solution, as well as blue and green infrastructure (<http://klimada.mos.gov.pl> 2013). Such actions will contribute to the construction of so-called resistant cities, permanently modifying the urban landscape, incl. cultural landscape.

## RESEARCH OBJECTIVES AND METHODS

This article shows how, by means of purpose-designed vegetation forms, rainwater can be collected and stored – in relation to the adaptation of cities to climate change. It was also proved that the implementation of a new composition of vegetation in the structures of today's agglomerations will contribute to advantageous changes in the existing cultural landscape. This article defines two research issues. The first is how to implement NBS (Nature Based Solutions), aimed at rainfall retention, into today's urban structure, whereas the second is related to the question of whether such solutions having multi-aspect functions might be a tool for adapting cities to climatic changes.

One answer to these questions will be in the presentation of a specific case study – viz. the author's design of upgrading Dobra and Solec Streets in Warsaw by using linear rain gardens: so-called *bioswales*.

This article consists of two parts – the first is theoretical and describes in a nutshell what blue and green infrastructure is, as well as NBS concepts, and then *bioswales* structures are described in detail.

3 „Integrated planning, design and management of the city gives the opportunity to link ecological, hydrological, spatial, socio-cultural, technical and economic priorities. In this process, it is necessary to integrate the latest research and design achievements with the needs of local communities and long-term urban development strategies” (Januchta-Szostak, 2012)

Niniejszy artykuł składa się z dwóch części – pierwszej teoretycznej – gdzie pokrótce opisano czym jest błękitno – zielona infrastruktura oraz rozwiązania oparte na naturze, a następnie szczegółowo scharakteryzowano konstrukcje *bioswales*. Opisano również wpływ implementacji wspomnianych wyżej rozwiązań na zmiany w krajobrazie kulturowym dzisiejszych miast. Ta część artykułu powstała w wyniku analizy dostępnej literatury monograficznej oraz artykułów naukowych, a także materiałów edukacyjnych i raportów. W drugiej części artykułu – części praktycznej – przedstawiono autorski projekt liniowych ogrodów retencyjnych na wybranym fragmencie miasta Warszawy. Powstał on na bazie przeprowadzonych prac terenowych (zakres tych prac objął m.in. inwentaryzację roślinności przy ulicach Dobrej i Solec w Warszawie; badanie to przeprowadzone zostało w kwietniu 2019 r.). Sporządzono również analizy zakresu łączności wskazanych ulic z obszarami biologicznie czynnymi – bezpośrednio z nimi sąsiadującymi – co ma na celu podjęcie próby wytyczenia tzw. sieci błękitno – zielonej infrastruktury. Autorskie analizy i obliczenia ilości obszarów biologicznie czynnych wykonane zostały na mapie zasadniczej z 2016 r. Zastosowano przy tym takie metody badawcze jak: obserwację w postaci inwentaryzacji dendrologicznej terenu objętego opracowaniem oraz wykonano eksperyment w postaci projektu i wyliczeń związanych ze zwiększeniem się obszarów biologicznie czynnych. Wynikiem przeprowadzonych badań jest koncepcja modernizacji ulic Dobrej i Solec w Warszawie, przy użyciu modelowych rozwiązań NBS, w postaci tzw. liniowych ogrodów deszczowych (*bioswales*).

## IDEA BŁĘKITNO-ZIELONEJ INFRASTRUKTURY I ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA PRZYRODZIE NBS

Idea tzw. błękitno-zielonej infrastruktury powiązana jest z koncepcją zielonej infrastruktury (Ghofrani, Sposito, Faggian, 2017). Jako „zieloną infrastrukturę definiuje się sieć obszarów naturalnych i półnaturalnych, zaprojektowanych w taki sposób, by spełniały one określone usługi ekosystemowe” (Według Europejskiej Agencji Środowiska i Komisji Europejskiej) (Trząski, Gieroszka, 2015). Błękitno – zielona

The impact of the implementation of the solutions upon the changes occurring in the cultural landscape of today's cities is also discussed.

This part of the article has been compiled based on available monograph literature and research articles, as well as educational materials and reports. The second, practical part of the article presents the author's design for linear retention gardens in a selected part of the city of Warsaw. The design took shape based on field work performed (the range of such works included, among others, a survey of vegetation on Dobra and Solec Streets in Warsaw, which took place in April 2019). At that time, some analyses aimed at connecting the indicated streets with biological active areas in the immediate neighborhood were also carried out, which were aimed at trying to trace the so-called network of blue and green infrastructure. The author's analyses and calculations for biologically active areas were made on the master map of 2016. Research methods such as observations in the form of a dendrologic survey of the area herein referred to were applied, and an experiment was performed related to an extension of biologically active areas. The result of the research done is a concept for upgrading Dobra and Solec Streets by means of model NBSs in the form of so-called linear rain gardens (*bioswales*).

## THE IDEA OF BLUE AND GREEN INFRASTRUCTURE AND NBS-BASED CONCEPTS

The idea of the so-called blue and green infrastructure is linked to the concept of green infrastructure (Ghofrani, Sposito, Faggian, 2017). A 'green infrastructure is defined as a network of natural and semi-natural habitats arranged in such a way that certain ecosystem services should be provided. (Trząski, Gieroszka, 2015). Blue and green infrastructure is a kind of green infrastructure in which, as well as greenery, there are also water reservoirs and water courses (Szulczewska, 2018). The operation of such networks is based upon the possibility of being supplied by rainwater, additionally purified by the vegetation present (Szulczewska, 2018). So, in the city, diversified habitats holding a lot of important ecosystem functions are established, for instance, the air temperature is lowered. (Brudler, Arnbjerg-Nielsen, et al., 2016). Those systems can

infrastruktura jest więc pewnego rodzaju zieloną infrastrukturą gdzie oprócz terenów zieleni, występują również zbiorniki i ciekły wodne (Szulczewska, 2018). Podstawą funkcjonowania tego rodzaju sieci jest możliwość jej zasilania przez wody deszczowe (Wagner, Krauze, Zalewski, 2013), dodatkowo oczyszczane dzięki wchodzącej w jej skład roślinności (Szulczewska, 2018). Tworzy zróżnicowane siedliska w mieście oraz pełni wiele ważnych usług ekosystemowych np. obniża temperaturę powietrza (Brudler, Arnbjerg-Nielsen in., 2016). Systemy te mogą pełnić wiele funkcji: „strukturotwórcze, środowiskotwórcze, społeczne, ekonomiczne, produkcyjne i techniczne” (Puzdrakiewicz, 2017), także ochronne np. przed lokalnymi podtopieniami. Funkcje te można wzmocnić czy też usprawnić poprzez integrację form zielono – błękitnej infrastruktury z szarą infrastrukturą (Somarakis, Stagakis, Chrysoulakis, 2019), pozwala to na tworzenie wydajnych narzędzi wykorzystywanych w adaptacji miast do zmian klimatu ([www.44mpa.pl](http://www.44mpa.pl)). O ważności tej problematyki świadczy wiele konferencji, warsztatów i seminariów organizowanych także w Polsce (np. [www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/adaptacja-zmiany-klimatu-Slask-warsztaty-7690.html](http://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/adaptacja-zmiany-klimatu-Slask-warsztaty-7690.html)).

Elementami błękitno – zielonej infrastruktury mogą być rozwiązania NBS (Nature Based Solution), promowane przez IUCN (International Union for Conservation of Nature) oraz UE. Ich implementacja w danej przestrzeni powinna być przeprowadzona poprzez działania o charakterze planistycznym, dzięki czemu mogą tworzyć spójną sieć terenów zieleni (Zölch, 2017). Wdrażanie takich rozwiązań powinno być realizowane według z góry zdefiniowanego planu (Hewelke, Graczyk, 2016), przez zespoły multidyscyplinarne, przy współdziałaniu lokalnej społeczności i tzw. partnerstwa publiczno–prywatnego (Januchta-Szostak, 2012). Przykładem takiego podejścia może być park High Line w Nowym Jorku.

Ideę NBS można zdefiniować jako “działania mające na celu ochronę, zrównoważone zarządzanie i przywracanie naturalnych lub zmodyfikowanych ekosystemów, które skutecznie i adekwatnie zajmują się wyzwaniem społecznym, jednocześnie zapewniając dobrobyt ludzkości i korzyści dla różnorodności biologicznej” ([www.iucn.org](http://www.iucn.org)). Z przedstawionej definicji wynika, iż wdrażanie tych rozwiązań może mieć istotne znaczenie np. w obniżeniu temperatury powietrza czy też magazynowaniu, infiltracji i ewaporacji wody deszczowej,

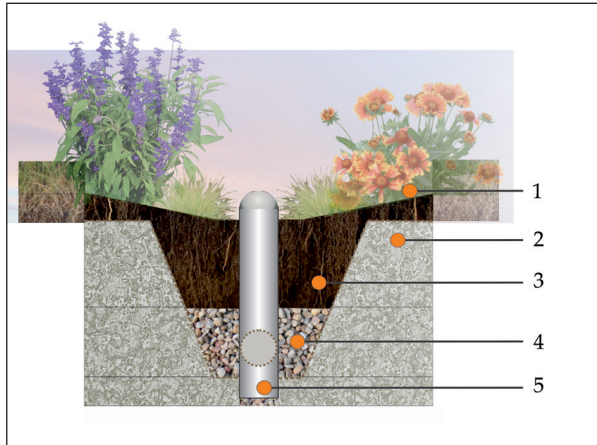
have various functions: *framegenic, environment-building, social, economic, productive and technical* (Puzdrakiewicz, 2017), as well as protective functions, e.g. saving from local flooding. Such functions can be enhanced or streamlined through an integration of blue and green infrastructure with grey infrastructure (Somarakis, Stagakis, Chrysoulakis, 2019), which enables the creation of efficient tools used in adapting cities to climate change ([www.44mpa.pl](http://www.44mpa.pl)). The importance of those issues is corroborated by many conferences, workshops and seminars also organized in Poland (np. [www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/adaptacja-zmiany-klimatu-Slask-warsztaty-7690.html](http://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/adaptacja-zmiany-klimatu-Slask-warsztaty-7690.html)).

Elements of blue and green infrastructure may be NBS concepts promoted by the IUCN (International Union for Conservation of Nature) and the EU. Their implementation into a given space should be performed through actions of planning nature which can allow the establishment of a cohesive network of green areas (Zölch, 2017). Implementation of such solutions ought to be executed according to a predefined schedule (Hew Elke, Graczyk, 2016), by multidisciplinary panels and with the co-participation of local communities and the so-called public-private partnership (Januchta-Szostak, 2012). An example of such an approach can be The High Line in New York.

The idea of NBS can be defined 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’ ([www.iucn.org](http://www.iucn.org)). In compliance with this definition, implementation of such solutions can be significant, e.g. for lowering air temperature or the storage, infiltration and evaporation of rainwater, as well as for increasing biodiversity. Such NBS concepts are, among other things, retention basins, green roofs, green walls and ‘linear rain gardens’ or *bioswales*, and many others.

Bioengineering structures – *bioswales* – can be used for linear facilities resembling rain gardens situated along transport routes, streets or walkways, or in parking areas. They are formed into flat triangular or trapezoid channels (Winston, Hunt, in., 2012) (fig. 1), covered by plants (Komlos, Traver, 2012). One of their functions is to prevent surface runoff directly into the storm water drainage system, reducing it by 88.8% and at the same time cleaning the water of pollution. (Xiao, McPherson, 2011), due to the process of phytoremediation.

a także zwiększeniu bioróżnorodności. Rozwiązaniami typu NBS są między innymi: baseny retencyjne, zielone dachy czy też zielone ściany, a także tzw. „liniowe ogrody deszczowe” zwane *bioswales* oraz wiele innych.



**Ryc. 1.** Przekrój przez konstrukcję bioswales, opracowanie własne. **Fot. 1.** Widok bioswales. **Objaśnienia:** 1 – warstwa wegetacyjna; 2 – grunt rodzimy; 3 – warstwa magazynująca wodę; 4 – warstwa przepuszczalna – żwir; 5 – drenaż odprowadzający nadmiar wody. **Źródło:** <https://learn.extension.org/events/3230>

**Fig. 1.** Cross section of a bioswales structure, author's own study. **Photo 1.** A view of bioswales. **Explanations:** 1 – vegetation layer; 2 – native soil; 3 – water storage layer; 4 – permeable layer – gravel; 5 – drains to convey excess water. **Source:** <https://learn.extension.org/events/3230>

Struktury bioinżynieryjne – *bioswales* – można określić mianem liniowych obiektów przypominających ogrody deszczowe, lokalizowanych wzdłuż ciągów komunikacyjnych – ulic czy też chodników, a także na parkingach. Mają one formę płytkich kanałów o przekroju trójkątnym lub też trapezowym (Winston, Hunt, in., 2012) (ryc. 1) i obsadzonych roślinnością (Komlos, Traver, 2012). Jedną z ich funkcji jest zapobieganie tzw. spływowi powierzchniowemu wody bezpośrednio do kanalizacji burzowej – zmniejszając go o 88,8%, a jednocześnie oczyszczając wodę z zanieczyszczeń (Xiao, McPherson, 2011), w wyniku procesu fitoremediacji. Ważnym elementem owej konstrukcji są drenaży znajdujące się w warstwie żwiru, tuż pod materiałem filtrującym (Brown, Hunt, 2011), nimi odprowadzany jest nadmiar wody do tradycyjnej kanalizacji burzowej. Do tworzenia tych rozwiązań wykorzystuje się podłoże o porowatej strukturze, zdolne do przechowywania jak największej ilości wody deszczowej. Dochodzi tu bowiem do rozwoju odpowiednich szczepów bakterii uczestniczących również w procesie oczyszczania wody (Xiao, McPherson, 2011). Dopelnieniem *bioswales* jest

For such a solution a porous base is used which is suitable for the storage of as much rainwater as possible. Here, appropriate bacterial strains are propagated which also participate in the water purification process (Xiao, McPherson, 2011). *Bioswales* are complemented with specially selected plants, including various species of shrubs, perennial plants and grass adapted to the given environmental conditions (Roy-Poirier, Champagne, Filion, 2010).

Apart from carrying out important ecosystem functions (Piro in., 2017), linear rain gardens can offer some benefits to quality of life in the urban space (Solon, 2008). They constitute a decorative element in the city where they can replace traditional flower beds (Houdeshel, 2014)<sup>4</sup> (photo 1). This has a beneficial effect upon landscape reception (Sudra, 2015), due to the possibility of observing cyclical transformations which take place in a given space (so-called phenological variability), which influences both seasonal changes in the image of the city and diversification of the cultural landscapes existing

<sup>4</sup> An excellent solution are all kinds of linear compositions made of blooming plants and arranged along circulation routes (Błaszczuk, et al., 2017), also naturalistic (Jakubowski, 2013).

specjalnie dobrana roślinność, na którą składają się różnorodne gatunki krzewów, bylin i traw dostosowanych do danych warunków środowiskowych (Roy-Poirier, Champagne, Filion, 2010).

Liniowe ogrody deszczowe oprócz spełniania ważnych usług ekosystemowych (Piro in., 2017), tworzą pewnego rodzaju korzyści wpływające na podniesienie jakości życia człowieka w miejskiej przestrzeni (Solon, 2008). Są również elementem dekoracyjnym w mieście i mogą w nim zastępować tradycyjne rabaty kwiatowe (Houdeshel, 2014)<sup>4</sup> (fot. 1). Wpływa to korzystnie na percepcję krajobrazu (Sudra, 2015), ze względu na możliwość obserwowania cyklicznych przemian zachodzących w danej przestrzeni (tzw. zmienność fenologiczna), co ma wpływ na sezonowe zmiany wizerunku miasta i zróżnicowanie istniejących w nich krajobrazów kulturowych, które wraz z rozwojem globalizacji, stają się coraz bardziej podobne do siebie. Stąd istotne jest promowanie rozwiązań opartych o naturę (NBS) szczególnie tych ujętych w sieć tzw. błękitno – zielonej infrastruktury, takie podejście na trwale zmieni działanie miast a także ich krajobraz kulturowy.

## **PROPOZYCJA MODERNIZACJI ULIC DOBREJ I SOLEC NA CELE WPROWADZENIA ROZWIĄZAŃ BIOSWALES I ZMIANY W KRAJOBRAZIE KULTUROWYM**

Tworzenie liniowych ogrodów deszczowych jest już szeroko stosowane w Stanach Zjednoczonych, ale coraz częściej konstrukcje te powstają również w Europie Zachodniej. Warto wprowadzać je także na terenach polskich miast.<sup>5</sup> I o ile projektowanie nowych ciągów jezdnych czy też pieszych, uzupełnionych o zielono – błękitną infrastrukturę – a w tym przypadku o liniowe ogrody deszczowe – wydaje się dość proste do wdrożenia, to wprowadzanie tych rozwiązań na terenach zagospodarowanych, może narażać już pewnych trudności. Na przykład może

therein; as globalization grows, those landscapes become more and more similar to each other. Hence, it is important to promote NBS-based concepts, especially those belonging to the network of blue-green infrastructure. Such an approach will permanently change the operation of cities and their cultural landscape, too.

## **A PROPOSAL FOR UPGRADING DOBRA AND SOLEC STREETS AIMED AT IMPLEMENTING BIOSWALES SOLUTIONS AND CHANGES IN THE CULTURAL LANDSCAPE**

Linear rain gardens are widely established in the USA, but more and more often such gardens are also arranged in Western Europe.

It is worth establishing them in Polish cities<sup>5</sup> too. Although designing and implementing new circulation routes and walkways supplemented with blue and green infrastructure – in this case, with linear rain gardens – seems quite easy, the implementation of such solutions in developed areas may present some difficulties. For example, there may be insufficient space for such solutions. This could also be connected with the necessity of narrowing streets and walkways or the liquidation of parking areas, which may raise objections among inhabitants, or there might be excessive interference with the existing cultural landscape of the given site. Hence, keeping a dialogue with the local community is of considerable significance (Madsen in. 2017), so that local people may understand the multi-aspect importance of such structures in rendering various ecosystem services (Brudler, Arnbjerg-Nielsen, in., 2016), in conjunction with pro-ecological changes in their neighborhood.

4 Znakomicie nadają się do tego wszelkiego rodzaju kompozycje linowe złożone z roślin kwitnących i zlokalizowanych wzdłuż ciągów komunikacyjnych (Błaszczuk, in. 2017), również te o charakterze naturalistycznym (Jakubowski, 2013).

5 Odwadnianie dróg poprzez niewielkie rowy melioracyjne jest bowiem praktykowane od dawna na terenach wiejskich.

5 Road drainage through small drainage ditches has long been practiced in rural areas



brakować dostatecznej ilości miejsca na realizację takich rozwiązań. Mogłyby one również wiązać się z koniecznością zwięzienia ulic, chodników, albo likwidacją miejsc parkingowych, co może spotkać się ze sprzeciwem mieszkańców lub byłoby zbyt dużą ingerencją w istniejący krajobraz kulturowy danego miejsca. Stąd niebagatelne znaczenie w procesie zmian jest dialog prowadzony z lokalną społecznością (Madsen in., 2017), aby zrozumiała ona wieloaspektowe znaczenie owych konstrukcji w dostarczaniu różnych usług ekosystemowych (Brudler, Arnbjerg-Nielsen, in., 2016), a także proekologicznych zmian w jej najbliższym otoczeniu.

### Opis terenu opracowania

Miejscem, które zostało wytypowane do zastosowania rozwiązań mających na celu retencję wody deszczowej przy pomocy liniowych ogrodów deszczowych, w istniejącej tkance miejskiej Warszawy, jest ciąg ulic począwszy od Dobrej – przechodzącej dalej w ulicę Solec. Ulice te znajdują się na terenie dzielnicy Śródmieście – na Osiedlu Powiśle-Solec (ryc. 2). Powiśle należało do terenów, które bardzo często były narażone na powódzie, co sprawiło, że osiedlili się tu ludzie biedni, a powstająca wzdłuż ulicy zabudowa była drewniana. Ulica Dobra jest jedną ze starszych ulic w Warszawie, powstała w 1778 r. Początkowo biegła na usypanym przez lata zwałowisku śmieci i gruzu, które pozwoliło odsunąć nieco nurt Wisły od Skarpy Wiślanej. Grupy te pochodziły między innymi ze zniszczonych domów po potopie szwedzkim (Derek, Dudek-Mańkowska 2015). Wraz ze stopniową regulacją rzeki oraz rozwojem dzielnicy w kierunku przemysłowym, zaczęto wzdłuż ulicy Dobrej stawiać nie tylko fabryki i zakłady przemysłowe – ale również murowane budynki mieszkalne. Na początku XX w. wzdłuż ulicy Dobrej budowano domy spółdzielcze oraz infrastrukturę miejską w postaci Stacji Pomp Kanałowych czy Elektrowni „Powiśle”. Z kolei ulica Solec swoją nazwę zawdzięcza wsi Solec, która znajdowała się na tym obszarze już w X w., gdzie mieściły się magazyny, w których przeładowywano sól. Dzięki bliskiej odległości rzeki, która pełniła wówczas ważne funkcje transportowe, w czasie rozwoju przemysłu na Powiślu, właśnie przy ulicy Solec lokowane były duże zakłady przemysłowe i fabryki (Derek, Dudek-Mańkowska, 2015).

Przełomową datą dla rozwoju Powiśla jest rok 1914, kiedy to zakończono budowę dwupoziomowych bulwarów nad rzeką, które

### Description of the area under analysis

The place selected for the application of the solutions aimed at rainwater retention in linear rain gardens in the existing urban structure of Warsaw is the sequence of streets starting with Dobra Street passing then into Solec Street. Those streets lie in the district of Śródmieście – at [housing estate] Osiedle Powiśle-Solec (fig. 2). Powiśle belonged to the areas often exposed to inundations and, in consequence, poor people once used to settle there; therefore, local houses were made of wood. Dobra Street is one of the oldest streets in Warsaw, dating back to 1778. Initially, it used to run on a man-made dumping ground for trash and debris which allowed a slight shifting of the Visual River current from the Vistula escarpment. That debris came from houses destroyed in the Swedish invasion [‘deluge’], among other things. (Derek, Dudek-Mańkowska, 2015). With gradual river control and the industry-oriented development of the district, not only factories and industrial facilities, but also stone dwelling premises started to appear along Dobra Street. In the early 20th century, along Dobra Street, housing cooperative buildings and urban facilities were erected in the form of the Channel Pumps Station and ‘Powiśle’ Power Plant. In turn, the name Solec Street is derived from the village of Solec, which had been on that area as early as the 10th century, together with warehouses for salt transshipment. Due to its short distance from the river, which was then important for transport reasons, when industry was being developed at Powiśle, big industrial facilities and factories were located on Solec Street. (Derek, Dudek-Mańkowska, 2015).

The landmark date for the development of Powiśle is 1914, when two-level boulevards on the river were completed. For that part of the town, these boulevards constituted an effective protection against inundations and flooding. In turn, due to the construction of the building for the Academy of Fine Arts, that part of the city was converted into a downtown zone. (Derek, Dudek-Mańkowska, 2015). After World War Two, along Dobra Street there were still industrial facilities, for example, the ‘Powiśle Power Plant, nowadays subject to transformations aimed at converting and adapting that site to a new role – viz. a commercial and residential zone. Today, the Powiśle landscape is subject to dynamic changes and it is becoming one of the more prestigious parts of Warsaw. Therefore, Dobra and Solec Streets are becoming more and more important and prestigious



**Ryc. 2.** Na obrazie satelitarnym Warszawy w kolorze różowym zaznaczono obszar Powiśla, na kolejnej ilustracji w przybliżeniu pokazano obszar Powiśla oraz zaznaczono obszar ulic Dobrej i Solec objętych projektem. **Źródło:** opracowanie własne na mapach z Google Earth

**Fig. 2.** In a satellite image of Warsaw, pink stands for the Powiśle area; the successive illustration shows approximately the Powiśle area, with a marked zone of Dobra and Solec Streets covered by the design. **Source:** author's own elaboration on Google Earth maps

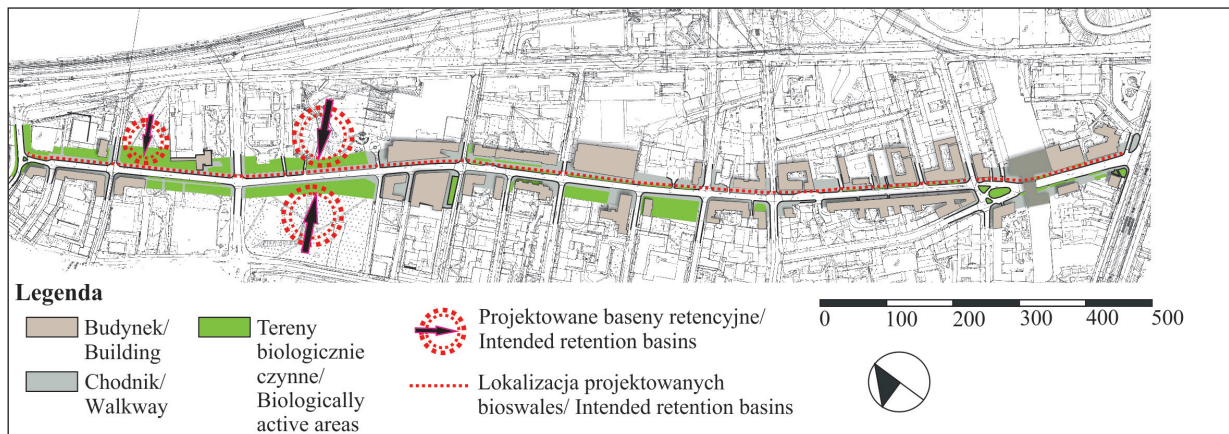
skutecznie zabezpieczyły dzielnicę przed powodzią i podtopieniami. Z kolei budowa budynku Akademii Sztuk Pięknych na tym obszarze pozwoliła na przeobrażenie się tej części miasta w obszar śródmiejski (Derek, Dudek-Mańkowska, 2015). Po II wojnie światowej wzdłuż ulicy Dobrej nadal znajdowały się tereny przemysłowe, między innymi elektrownia „Powiśle”, dziś ulegająca przemianom mającym na celu transformację tego miejsca do nowej roli – przestrzeni o charakterze komercyjnym i mieszkaniowym. Obecnie krajobraz Powiśla bardzo dynamicznie się zmienia, stając się jedną z bardziej prestiżowych części Warszawy. Sprawia to, iż wzrasta znaczenie ulic Dobrej i Solec, wzdłuż których to lokowane są ważne instytucje, takie jak: BUW (Biblioteka Uniwersytetu Warszawskiego), Wydział Lingwistyki UW czy Muzeum Azji i Pacyfiku, a także powstają nowoczesne apartamentowce.

Obszar objęty badaniem charakteryzuje się dużą powierzchnią terenów nieprzepuszczalnych oraz małą ilością powierzchni biologicznie czynnych, jest także w granicach tzw. wody stulecia (UM.Warszawa). Wzdłuż omawianych ulic znajdują się trzy duże obszary zieleni (Skwer Jankowskiego Agatona, Ogrody BUW oraz Skwer Radiowej Rodziny Matysiaków). Te zielone przestrzenie w łatwy sposób można połączyć ze sobą tworząc tzw. sieć zielono-błękitnej infrastruktury, którą będzie można rozwijać o kolejne tereny, poprzez zastosowanie liniowych ogrodów deszczowych tzw. *bioswales*. Propozycje ich lokalizacji przedstawiono na rysunku numer 3.

instytucje są położone wzdłuż nich, takie jak BUW (University of Warsaw Library), The Faculty of Linguistics of The University of Warsaw and the Museum of Asia and The Pacific; then, there are also modern apartment buildings.

The territory under study is characterized by large impermeable areas and small biologically active surfaces, and it lies within the boundaries of the so-called base flood (UM.Warszawa). Along the streets under analysis three vast green areas are arranged (viz. Skwer Jankowskiego Agatona, Ogrody BUW and Skwer Radiowej Rodziny Matysiaków). Those green spaces can easily be linked with each other by establishing the so-called network of blue and green infrastructure, which may be supplemented with further areas by way of linear rain gardens, viz. *bioswales*. Proposed locations are shown in fig 3.

Instead, in the squares situated on Dobra street – on a part of some local lawns – it will be possible to design retention basins to be utilised for the drainage of excessive water from the postulated linear rain gardens along Dobra and Solec Streets e.g. after heavy rainfall. Just now, while analyzing the map with interventions of fire brigades due to rainfall and rising water in the years 2008-2016, it can be noticed that fire brigades had to act on the area herein referred to because of the events aforementioned (<http://mapa.um.warszawa.pl>). Such basins are usually used in recreational areas e.g. in New York (Segment 5, Hudson River Park or Hunter's Point South Waterfront Park); such solutions are also met in Warsaw, for instance,



Ryc. 3. Koncepcja modernizacji ulic Dobrej i Solec. Źródło: opracowanie własne.

Fig. 3. A concept of upgrading Dobra and Solec Streets. Source: own elaboration.

Natomiast na znajdujących się przy ulicy Dobrej skwerach – na części z ich trawników – możliwe będzie zaprojektowanie basenów retencyjnych – byłyby one wykorzystywane jako miejsce odprowadzania nadmiernej ilości wody z proponowanych liniowych ogrodów deszczowych wzdłuż ulic Dobrej i Solec, np. po obfitych opadach deszczu. Już dzisiaj, analizując mapę interwencji straży pożarnej w związku z opadami deszczu i przyborami wody w latach 2008-2016, można zauważyć, że na opisywanym terenie występują interwencje straży pożarnej w związku z wyżej wymienionymi czynnikami (<http://mapa.um.warszawa.pl>). Na co dzień tego typu zbiorniki stosowane są na terenach rekreacyjnych, np. w Nowym Jorku (Segment 5, Hudson River Park czy też Hunter's Point South Waterfront Park), takie rozwiązania występują również na terenie Warszawy – np. przy budynku mieszczącym się przy ulicy Al. Rzeczpospolitej w Wilanowie. Mają one formę dużych trawiastych powierzchni, wykorzystywanych do tzw. rekreacji biernej. Jednakże są one w ten sposób wyprofilowane, iż w razie nagłego podniesienia się poziomu wody, obszar ten jest zalewany i pełni wówczas funkcję tzw. basenu retencyjnego, co pozwala na ochronę przeciwpowodziową czy też złagodzenie skutków podtopień w tej gęsto zabudowanej części miasta.

Przeprowadzone w kwietniu 2019 r. badania terenowe wykazały, iż na analizowanym obszarze znajduje się (dotyczy zieleni zlokalizowanej przy skraju dróg) 2040,42 m<sup>2</sup> tzw. powierzchni biologicznie czynnej. W skład tej przestrzeni wchodzi powierzchnie trawiaste, krzewy oraz drzewa.

at the building situated at Rzeczpospolita street in Wilanów. They are arranged as large grassy areas, used for so-called passive recreation. However, they are profiled in such a way that in cases of sudden water level rises, such an area is flooded and acts as a so-called retention basin, which enables both flood protection and attenuation of ground water-logging consequences in that congested urban area.

Field research, carried out in April 2019, showed that the so-called biologically active area in the territory under investigation amounted to 2040,42m<sup>2</sup> (which regards the greenery situated on the side of the roads). This area includes grassy surfaces, shrubs and trees. In the area covered by this study, along Dobra and Solec Streets (a 1,700 m stretch) there are 9 trees (incl.: *Acer platanoides* 'Globosum' (4 pcs.), *Populus nigra* (1 piece.), *Acer negundo* (2 pcs.), *Rhus typhina* (1 piece), *Acer campestre* (1 piece), and about 306.77m<sup>2</sup> is covered by shrubs, their species being *Syringa vulgaris*, to be saved at an obelisk commemorating a place sanctified by the blood of Poles in the time of the Warsaw Uprising, *Spiraea*, *Forsythia*, *Berberis*, *Ilex*, and *Ligustrum vulgare*. In many places perennial plants are arranged (most likely planted by local inhabitants themselves, typical of a short stretch of Dobra Street between numbers 8 and 4), including the liliaceous, cranesbills, mallows and lilies (which implies that local inhabitants themselves became involved in the layout of the space in which they live). An area of 1733.43m<sup>2</sup> is occupied by quite neglected lawns. The state of health of the trees was evaluated as good, whereas the greenery was deemed insufficient.

Na terenie opracowania wzdłuż ulicy Dobrej i Solec na długości 1700 m rośnie 9 szt. drzew, (w tym: *Acer platanoides* ‚Globosum‘ (4 szt.), *Populus nigra* (1 szt.), *Acer negundo* (2 szt.), *Rhus typhina* (1 szt.), *Acer campestre* (1 szt.)), około 306,77 m<sup>2</sup> jest porośnięte krzewami, na co składają się gatunki: (*Syringa vulgaris* – do zachowania przy obelisku upamiętniającym miejsce uświęcone krwią Polaków w czasie trwania Powstania Warszawskiego), *Spiraea*, *Forsythia*, *Berberis*, *Ilex*, *Ligustrum vulgare*. W wielu miejscach znajdują się nasadzenia bylin (najprawdopodobniej wykonanych przez samych mieszkańców – charakterystyczne dla krótkiego odcinka ulicy Dobrej między numerami 8-4), na które składają się: liliowce, bodziszki, malwy, konwalie (co sugeruje, iż tutejsi mieszkańcy zaangażowali się w aranżację przestrzeni na której żyją). Przestrzeń o powierzchni 1733,43 m<sup>2</sup> zajmują dość zaniedbane trawniki. Stan zdrowotny drzew oceniono jako dobry, natomiast ilość zieleni jako niewystarczającą.

### Wyniki modernizacji ulicy Solec i Dobrej

Jak wykazała przeprowadzona wizja terenowa, na badanym odcinku ulic Solec i Dobra znajduje się zbyt mała ilość zieleni, pełniącej wobec tego obszaru określone usługi ekosystemowe, takie jak: retencja i oczyszczanie wody deszczowej, ochrona terenu przed lokalnymi podtopieniami, oczyszczanie powietrza, produkcja tlenu, oraz zapewnienie odpowiedniej bioróżnorodności na wskazanym obszarze (fot. 2 i 3). Istniejąca szata roślinna dodatkowo charakteryzuje się niską jakością.

Rozwiązanie bioinżynieryjne o charakterze liniowych ogrodów deszczowych proponuje się wprowadzić na odcinku ulic Solec i Dobrej, między ulicami Al. 3 Maja i Nowy Zjazd, po stronie arterii z budynkami o parzystych numerach.



Fot. 2, 3. Widok ulicy Dobrej w Warszawie (fot. A. Dudzińska-Jarmolińska)

### Results of upgrading works on Solec and Dobra Streets

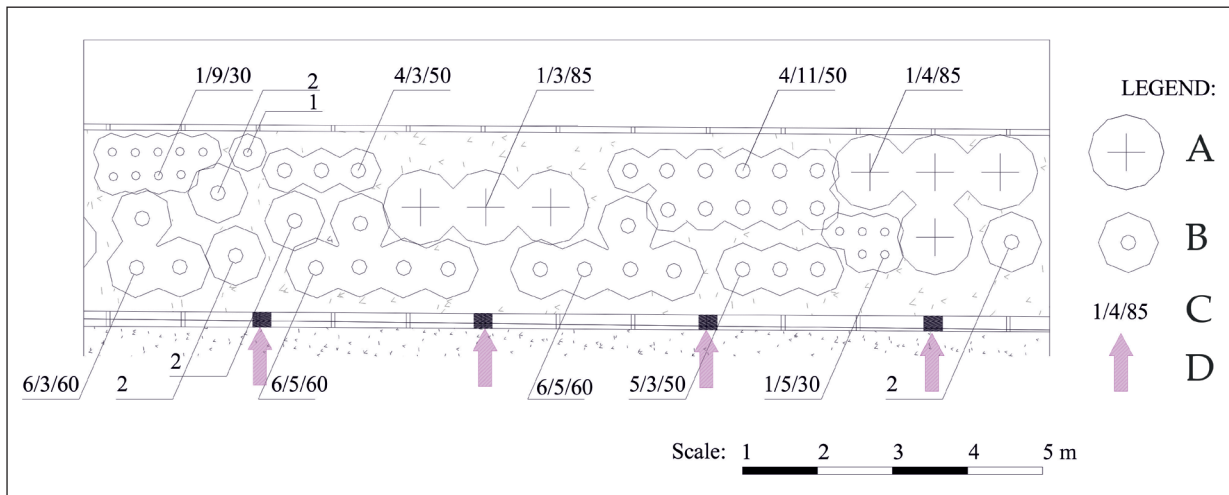
According to the field survey performed in the stretch of Solec and Dobra Streets under examination, there is insufficient greenery to ensure certain ecosystem services in that area, like rainfall water retention and purification, land protection against local flooding, air cleaning, oxygen production and to guarantee a suitable biodiversity within the area under investigation (photo 2 and 3). The existing plant cover is also of a lower quality.

It is suggested that a bioengineering solution be implemented, viz. linear rain gardens within the stretch of Solec and Dobra Streets between Al. 3 Maja and Nowy Zjazd Streets, on the side with buildings with even numbers. The reason for such a choice was that the construction of retention systems in said site will not entail expensive conversions resulting from the liquidation of parking spots or replacement of some trees (no tree clearance is intended).

Almost all the way along the stretch of the streets herein referred to, a 3m wide walkway will be saved. The intended structures will then be located in lieu of today's lawns and where shrubs are planted. New plantings – in the form of linear rain gardens – are also scheduled at the sites so far destitute of greenery, where there only is a walkway of car parking spots. One bus stop bay will be liquidated and converted to a stop without a bay. For shaping such areas, will be proposed appropriately selected plant species which exhibit an optimum tolerance of urban conditions and generate no high costs related to their maintenance have been utilized. This will certainly render the existing urban landscape of the streets under analysis more attractive and enliven the space, too. The proposed plant species are



Fig. 2, 3. A view of Dobra Street in Warsaw (photos by A. Dudzińska-Jarmolińska)



**Ryc. 4.** Konceptja nasadzeń konstrukcji bioretencyjnych dla ulic Dobrej i Solec. Przykładowy dobór gatunkowy roślin: krzewy: 1 – *Salix purpurea* 'Nana', byliny: 1 – *Liatris spicata*, 2 – *Carex* sp., 4 – *Coreopsis lanceolata*, 5 – *Echinacea purpurea*, 6 – *Rudbeckia fulgida*, A – krzew liściasty, B – bylina, C – gatunek/iłość/rozsada, D – miejsce ujęcia wody z ulicy do bioswale. **Źródło:** opracowanie własne

**Fig. 4.** A planting concept for bioretention structures for Dobra and Solec Streets. An exemplary selection of plant species: shrubs 1 – *Salix purpurea* 'Nana', perennial plants: 1 – *Liatris spicata*, 2 – *Carex* sp., 4 – *Coreopsis lanceolata*, 5 – *Echinacea purpurea*, 6 – *Rudbeckia fulgida*, A – deciduous shrub, B – perennial plant, C – species/quantity/seedling, D – water intake from the street to the bioswale. **Source:** own elaboration

Wybór podyktowany był tym, iż stworzenie systemów retencyjnych we wskazanej lokalizacji, nie będzie wymagało kosztownych przekształceń związanych z likwidacją miejsc parkingowych czy też koniecznością przesadzenia części drzew (nie planuje się bowiem ich wycinki). Niemalże na całym odcinku omawianego ciągu ulic zostanie zachowany 3 m szerokość chodnik. Proponowane obiekty zostaną więc zlokalizowane na terenie obecnych trawników oraz w miejscach nasadzeń krzewów. Powstaną również nowe nasadzenia w formie liniowych ogrodów deszczowych w lokalizacjach, gdzie do tej pory zieleni nie było, a jedynie szeroki chodnik lub miejsca postojowe dla samochodów. Zlikwidowana została również jedna zatoczka autobusowa na rzecz przystanku autobusowego bez zatoczki. Do kształtowania tych kompozycji wykorzystano specjalnie dobrane gatunki roślin, które optymalnie znoszą warunki panujące w środowisku miejskim, nie generując przy tym wysokich kosztów związanych z ich pielęgnacją. Niewątpliwie pozwoliłoby to również uatrakcyjnić istniejący krajobraz miejski omawianych ulic oraz ożywić tę przestrzeń. Zaproponowane gatunki roślin charakteryzują się sezonowo barwnym kwitnieniem, a to niewątpliwie korzystnie wpłynie na postrzeganie owej przestrzeni przez jej użytkowników. Jest to szczególnie istotne w przypadku przestrzeni gęsto zabudowanych, charakteryzujących się jednolitością

characterized by seasonal colorful blooming, which will undoubtedly have a positive impact upon the perception of that space among its users. It is particularly important in the case of dense housing developments characterized by uniform architecture and facade colors, with insufficient greenery and subject to seasonal transformations (fig. 4).

Due to the implementation of the solution, viz. linear rain gardens, in the area referred to in this study it will be possible to arrange a network of green and blue infrastructure; at the same time, the share of biologically active area will be increased by 2083.81m<sup>2</sup> (in which case the increase would be almost as high as 100%). Then, the diversity of plant species along the streets under discussion will also be increased. The use of appropriately selected plants will provide the opportunity for the arrangement of new habitats for insects and birds, and will also create a new form and ecological quality of cultural landscape in that area.

While shaping a landscape – incl. urban landscapes – the surrounding space, viz. both natural environments and man-made environments (material heritage) should be closely monitored, which will allow the creation of a cultural landscape in a given space. Its shape depends upon many interrelated factors (Myga-Piątek, 2014), natural factors (soil types, water availability, insolation, temperature), spatial factors (appropriate space availability, neighborhood etc.), and legal and

**Tab. 1.** Spis roślin do obsadzenia konstrukcji *bioswales* wzdłuż ulic Dobra i Solec*Tab. 1. List of plants to be placed in the bioswales structure along Dobra and Solec Streets*

Latin name	English name	Environmental prerequisites	Remarks
<i>Salix purpurea</i> 'Nana'	'Nana' purple willow	A small shrub, suitable for dry to humid sites, tolerant of soil pH, prefers sites in sunny to partially shadowed places	Needs pruning
<i>Cotoneaster lucidus</i>	Sharp leaf cotoneaster	A shrub tolerant of soil types and insolation. Resistant to environmental pollution	Suitable for intensive pruning
<i>Cephalanthus occidentalis</i>	Common buttonbush	A small shrub. Prefers sunny places, waterlogged or humid soils	Its flowers attract butterflies
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Sea-buckthorn	Prefers poor soils and sunny places	Resistant to pollution
<i>Spirea tomentosa</i>	Steeplebush	A small shrub. Prefers humid soils and sunny places	
<i>Viburnum nudum</i>	Smooth witherod	A small shrub, not very demanding in view of soils; prefers humid, sunny and shadowed places. Resistant to frost	Decorative plant due to colors of fructifications
<i>Achillea millefolium</i>	Yarrow	A perennial plant for sunny places, soil tolerant	Suitable for planting in towns
<i>Carex</i> sp.	Sedges	A group of perennial plants tolerant of habitat conditions. May be planted on streets, since it tolerates soil salinity	
<i>Coreopsis lanceolata</i>	Lance-leaved coreopsis	A perennial plant for sunny places, soil tolerant. With yellow ornamental flowers	
<i>Echinacea purpurea</i>	Eastern purple coneflower	A perennial plant for sunny and half-shady places. Tolerant of soil types. Planted in cities, characterized by decorative pink flowers	
<i>Filipendula rubra</i>	Queen-of-the-prairie	A decorative perennial plant for sunny and humid places. Pink flowers	
<i>Liatris spicata</i>	Prairie gay feather	A perennial plant with oblong, decorative inflorescences. Requires fertile and humid soil	
<i>Rudbeckia fulgida</i>	Orange coneflower	A perennial plant with decorative, long blooming flowers. Suitable for sunny places. Soil tolerant	Suitable for planting in towns

**Źródło:** opracowanie własne na podstawie: Dropkin E., Bassuk N., Signorelli T.: *Woody Shrubs for Stormwater Retention Practices, Northeast and Mid-Atlantic Regions*: Cornell University: School of Integrative Plant Science, Horticulture Section, [www.stage.mortonarb.org](http://www.stage.mortonarb.org), [www.e-katalogroslin.pl](http://www.e-katalogroslin.pl)

**Source:** author's own study based upon: Dropkin E., Bassuk N., Signorelli T.: *Woody Shrubs for Stormwater Retention Practices, Northeast and Mid-Atlantic Regions*: Cornell University: School of Integrative Plant Science, Horticulture Section, [www.stage.mortonarb.org](http://www.stage.mortonarb.org), [www.e-katalogroslin.pl](http://www.e-katalogroslin.pl)

architekturą oraz barwą elewacji, z niedostateczną ilością zieleni, która ulega sezonowym przemianom (ryc. 4).

Dzięki wprowadzeniu rozwiązania w postaci liniowych ogrodów deszczowych, na terenie opracowania możliwe będzie stworzenie sieci zielonej i niebieskiej infrastruktury, a jednocześnie zwiększeniu uległby udział powierzchni biologicznie czynnej o 2083,81 m<sup>2</sup> (wzrost wyniósłby wówczas niemal 100%) oraz zwiększyłaby się różnorodność gatunkowa roślinności wzdłuż omawianych ulic. Użycie odpowiednio dobranych roślin dałoby możliwość stworzenia nowych siedlisk dla owadów i ptaków, a także umożliwiłoby

social factors (determined legal conditions, ownership situation/status of the plot under consideration, suitable funds required for establishing and maintaining as well as social acceptance). Such factors also have an effect on the possible implementation of NBS solutions in the city space.

Despite the obvious advantages pertinent to the range of adapting cities to climate change, as well as ecosystem services<sup>6</sup> or enhancing the attractive-

6 „(...) understood as a set of products and functions of the ecosystem (landscape) which are useful to human society.” (Solon, 2008) and fulfilling in cities important regulatory and cultural services (Sudra, 2015).

wykreowanie nowego w formie i jakości ekologicznej krajobrazu kulturowego tego obszaru.

Kształtując krajobraz – w tym krajobraz miejski – powinno się wnikliwie obserwować otaczającą nas przestrzeń, zarówno środowisko naturalne, jak i to ukształtowane przez człowieka (dziedzictwo materialne), co pozwoli na stworzenie krajobrazu kulturowego danej przestrzeni (Kopczyński, 2009). Na jego kształt ma wpływ „wiele powiązanych wzajemnie czynników” (Myga-Piątek, 2014), od czynników naturalnych (rodzaj gleby, dostępność wody, nasłonecznienie temperatura), przestrzennych (odpowiednia ilość miejsca, sąsiedztwo ect.), prawno-społecznych (określone uwarunkowania prawne, sytuacja własnościowa danego gruntu, odpowiednie finansowanie na założenie i pielęgnację, a także akceptacja społeczna). Czynniki te również mają wpływ na możliwość wprowadzania w przestrzeni miasta rozwiązań typu NBS.

Mimo oczywistych korzyści z zakresu adaptacji miast do zmian klimatu, jak również usług ekosystemowych<sup>6</sup> czy też zwiększenia atrakcyjności miejsca, wprowadzanie zieleni w zabudowane przestrzenie miast wiąże się z wieloma barierami. Są to między innymi niechęć mieszkańców do wprowadzania zmian w ich najbliższej przestrzeni, wynikająca np. z ograniczenia ilości miejsc parkingowych (choć w tym przypadku, na wskazanym obszarze mamy duży parking podziemny na terenie BUW). Kolejną barierą jest brak odpowiednich instrumentów związanych z polityką przestrzenną i planowaniem oraz ograniczone możliwości monitoringu zastosowanych rozwiązań w przestrzeni miejskiej. Istotnym czynnikiem są również koszty finansowe (Januchta-Szostak, 2012), należy bowiem pamiętać, iż koszty związane z prowadzeniem przedstawionych rozwiązań nie kończą się jedynie na etapie budowy. Ponoszone są one przez cały okres funkcjonowania danego *bioswales*, ponieważ roślinność wymaga całorocznej pielęgnacji, co jest szczególnie istotne w przypadku rozwiązań odpowiedzialnych za prowadzenie regulacji odwodnienia danej przestrzeni. Innym elementem wiążącym się z trudnościami we wprowadzeniu i utrzymaniu liniowych ogrodów deszczowych na wskazanej lokalizacji będzie okres zimowy, kiedy to do odładzania ulic i chodników używa się soli.

6 „(...) rozumianych jako zestaw wytworów oraz funkcji ekosystemu (krajobrazu), które są przydatne dla społeczeństwa ludzkiego.” (Solon, 2008) i spełniających w miastach ważne usługi: regulacyjne i kulturowe (Sudra, 2015).

ness of a place, the process of embedding green into developed urban spaces encounters many barriers. One of these is, among others, inhabitants' reluctance to making modifications to their surroundings, caused, for example, by a limited number of parking spots (but in this case, within the area under analysis, there is a large underground carpark on the BUW premises).

Another barrier is the lack of suitable instruments targeted at the spatial policy and planning, as well as the limited application of the monitoring of solutions used in the urban space. Another crucial factor is the financial cost (Januchta-Szostak, 2012); it should be remembered, however, that the costs related to managing the solutions presented hereunder will not end at the construction stage, and will be sustained for the entire functioning period of a given bioswale, since the vegetation requires maintenance all the year round, which is particularly important in the case of solutions aimed at controlling drainage in the given area. Another difficult issue related to the establishment and maintenance of rain gardens within a site is the winter, when salt is used for removing ice from streets and walkways.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

Solutions aimed at supporting water retention in towns are implemented most easily in newly designed areas where no urban landscape has yet been shaped. It is considerably harder to implement them in the existing urban structure. The presented author's concept for making *bioswales* at Dobra and Solec Streets shows that such solutions can be implemented by making use of the site's 'hidden' potential (which constitutes a reply to the first objective of this article: in what way should NBS-based solutions, aimed at rainwater retention, be implemented in the existing urban structure). In this case, for making small water retention supporting structures, existing lawns situated at the road lane were utilized. A wide part of walkways was also narrowed. Several parking spots were liquidated, but all existing trees have been saved. The implementation of the so-called *bioswales* is designed, however, in an area lacking in trees. It was also suggested that an optimum selection of plant species be used for such a type of structures; such plants must exhibit not only high resistance to urban conditions, but they also have to be attractive and

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Rozwiązania wspomagające retencję wody w miastach najprościej jest wdrażać na obszarach nowo projektowanych, które nie mają jeszcze ukształtowanego krajobrazu miejskiego. Znacznie trudniej implementować je w istniejącej tkance miejskiej. Przedstawiony autorski projekt budowy *bioswales* przy ulicy Dobrej i Solec, pokazuje iż takie rozwiązania można wprowadzać wykorzystując „ukryty” potencjał miejsca (co stanowi odpowiedź na pierwszy z celów niniejszego artykułu: w jaki sposób implementować w istniejącej strukturze miasta rozwiązania typu NBS, służące retencji wody opadowej?). W tym przypadku pod konstrukcje wspomagające małą retencję wykorzystano istniejące trawniki położone przy pasie jezdni oraz zwężono część i tak zbyt szerokich chodników. Zlikwidowano również kilka miejsc parkingowych, zachowano przy tym wszystkie istniejące drzewa. Pod projekt wprowadzania w przestrzeń tzw. *bioswales* wybrano bowiem taki obszar, gdzie drzew brakuje. Zaprojektowano również optymalne zestawienie gatunków roślin do obsadzania tego typu konstrukcji, które nie tylko charakteryzują się wysoką odpornością na warunki panujące w miastach, ale są atrakcyjne i wpływają na zróżnicowanie krajobrazu, posiadają więc również walory estetyczne. Po dokonaniu obliczeń nowo powstałych w projekcie powierzchni retencyjnych wykazano, iż ich powichrzenia zwiększy o ok. 2000 m<sup>2</sup>, co stanowi dwukrotność terenów biologicznie czynnych istniejących obecnie na terenie opracowania.

Wykazano również, iż stosowanie rozwiązań opartych na naturze pozwala na adaptację miast do zmian klimatu, przynosząc przy tym wiele korzyści środowiskowych, ekonomiczno-gospodarczych, społecznych a także kulturowych. (Co jest odpowiedzią na drugie pytanie czy takie rozwiązania, pełniąc wieloaspektowe funkcje, mogą być narzędziem adaptacji miast do zmian klimatu?)

Korzyści środowiskowe, jakie przynoszą kompozycje NBS, to przede wszystkim usługi ekosystemowe – w przypadku *bioswales* – jest to: retencja wody opadowej, jej oczyszczanie dzięki procesowi fitoremediacji, umożliwienie infiltracji wody opadowej w głębsze warstwy gleby, ewaporacja wody oraz inne (tworzenie siedlisk i zwiększanie bioróżnorodności w miastach).

exert a positive impact upon the landscape diversity, viz. certain aesthetic values.

Upon completion of calculations made for the newly established and designed retention areas, it was demonstrated that their area would be increased by approx. 2,000m<sup>2</sup> viz. today's biologically active areas in the space under elaboration will be doubled.

It was also proved that the application of NBS-based solutions enables the adaptation of towns to climate change, generating thereby many environmental, economic, business, social and eventually cultural advantages. (which is a reply to the second question viz. whether such solutions, due to multi-aspect functions, might be a tool for adapting cities to climate change).

The environmental advantages caused by NBS compositions are, first of all, ecosystem services (in the case of *bioswales*), such as rainfall retention, its purification due to phytoremediation, the possible infiltration of rainfall deeper into the soil, water evaporation and others (creation of habitats and increased biodiversity in towns).

Economic benefits include mainly: relief of today's sewer system, reduction of costs sustained for the rainwater drainage system. The presented solutions are also a tool for adapting towns to climate change (protection of areas against local flooding, lowering of air temperature).

The implementation of the said solutions into the structures of Polish cities may also generate some social advantages, as inhabitants are offered a closer contact with nature and microecosystems, which is of appreciable educational value. Staying among greenery has a positive effect upon both physical and mental health, and compositions made of various species of perennial plants are characterized by a high seasonal variability.

New NBS tools aimed at rainwater retention in towns improve the aesthetics of a space, and form its current landscape, too. This also has an impact upon the changes to the hitherto cultural landscape of towns. The successful implementation of NBS based solutions depends, first of all, upon the liquidation of existing legal and social barriers. It is also important to adapt the solutions under discussion to the existing cultural landscape of a site as well as to combine environmental, economic and social advantages with each other.



Na korzyści ekonomiczno-gospodarcze składają się: odciążenie istniejącej sieci kanalizacyjnej, zmniejszenie kosztów odprowadzania wody deszczowej do kanalizacji. Przedstawione rozwiązania są również narzędziem służącym adaptacji miast do zmian klimatu (ochrona terenów przed lokalnymi podtopieniami, obniżanie temperatury powietrza).

Wprowadzenie omawianych rozwiązań w strukturze polskich miast może również przynosić korzyści społeczne, dzięki umożliwieniu mieszkańcom bliskiego kontaktu z przyrodą i mikroekosystemami, co ma duże znaczenie edukacyjne. Przebywanie człowieka wśród zieleni wpływa na poprawę zdrowia fizycznego i psychicznego, a kompozycje które składają się z różnych gatunków bylin, charakteryzują się dużą zmiennością sezonową.

Nowe narzędzia NBS, służące retencji wody opadowej w miastach, wpływają na zwiększenie się estetyki danej przestrzeni, kształtując jej współczesny krajobraz. Wpływa to również na zmiany w dotychczasowym krajobrazie kulturowym miast. Sukces w implementacji rozwiązań opartych na naturze zależy przede wszystkim od likwidacji istniejących barier prawnych i społecznych. Ważne jest również dostosowanie omawianych rozwiązań do istniejącego krajobrazu kulturowego miejsca, a także połączenie korzyści środowiskowych, ekonomiczno-gospodarczych z korzyściami społecznymi.

## REFERENCES

- Al-Rubaei A., Viklander M., Blecken G., 2015: Long-term hydraulic performance of stormwater infiltration systems: *Urban Water Journal* 12, 8:660-671.
- Bartosiewicz H., Wespiański P., 2017: *Plan Warszawy 1825*, korpus inżynierów wojskowych: Muzeum Warszawy: Warszawa.
- Błaszczyk M., Suchocka M., Maksymiuk G., 2017: *Kultura czy Natura? Mechanizmy percepcji i preferencji wobec krajobrazu i form roślinnych*: *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* 36: 21-32.
- Brown R., Hunt W., 2011: Underdrain Configuration to Enhance Bioretention Exfiltration to Reduce Pollutant Loads: *Journal of Environmental Engineering* 137, 11.
- Brudler, S., Arnbjerg-Nielsen, K., Hauschild, M.Z., Rygaard, M., 2016: Life cycle assessment of stormwater management in the context of climate change adaptation: *Water Research* 106:394-404
- Carter J., Cavan G., Connelly A., Guy S., Handley J., Kazimierczak A., 2015: Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation., *Progress in Planning* 95: 1-66.
- Derek M., Dudek-Mańkowska S., 2015: *Rozwój historyczny Powiśla*: *Prace i Studia Geograficzne* 60: 7-23.
- Dropkin E., Bassuk N., Signorelli T.: *Woody Shrubs for Stormwater Retention Practices, Northeast and Mid-Atlantic Regions*: Cornell University: School of Integrative Plant Science, Horticulture Section [http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/woody\\_shrubs\\_stormwater.pdf](http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/woody_shrubs_stormwater.pdf) [access: 08.05.2019].
- Ghofrani Z., Sposito V., Faggian R., 2017: A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts: *International Journal of Environment and Sustainability* 6: 1: 15-36.

- Hewelke E., Graczyk M., 2016: Usługi ekosystemów jako instrument wspierania decyzji w gospodarce przestrzennej i ochronie środowiska: *Inżynieria Ekologiczna* 49: 33-40.
- Houdeshel D., Pomeroy Ch., 2014: Storm-Water Bioinfiltration as No-Irrigation Landscaping Alternative in Semiarid Climates: *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 140:2
- Jakubowski K., 2013: Systemy terenów zieleni kanwą ekologicznego rozwoju miasta. *Przyrodnicza jakość projektowania na przykładzie London Wetland Centre: Przestrzeń i Forma* 19: 249-262.
- Jankowski A., 2003: Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej: *Prace komisji krajobrazu kulturowego T.II:* 15-24.
- Januchta-Szostak A., 2008: Błękitna krew miasta. Woda jako ożywcza siła przestrzeni publicznych: *Czasopismo techniczne A z.3-A/2008:* 22-28.
- Januchta-Szostak A., 2012: Usługi ekosystemów wodnych w miastach: [https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/08/ZRZ3\\_str\\_91-110.pdf](https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/08/ZRZ3_str_91-110.pdf).
- Komlos J., Traver R., 2012: Long-Term Orthophosphate Removal in a Field-Scale Storm-Water Bioinfiltration Rain Garden: *Journal of Environmental Engineering* 138, 10.
- Kopczyński K., 2009: Edukacyjne walory krajobrazu kulturowego: *Problemy Ekologii Krajobrazu T. XXV:*53-62.
- Markowska M., Hamerla A., 2015: Nowoczesna gospodarka wodami opadowymi jako element kształtowania wysokiej jakości przestrzeni publicznej [in:] *Przestrzenny i środowiskowy wymiar zrównoważonego rozwoju terenów zurbanizowanych* (ed.): L. Trząski, Główny Instytut Górnictwa Katowice:122-134.
- Madsen H., Brown R., Elle M., Mikkelsen P., 2017: Social construction of stormwater control measures in Melbourne and Copenhagen: A discourse analysis of technological change, embedded meanings and potential mainstreaming: *Technological Forecasting and Social Change* 115:198-209
- Myga-Piątek U., 2010: Przemiany krajobrazów kulturowych w świetle idei zrównoważonego rozwoju: *Problemy ekorozwoju* 5: 1: 95-108 .
- Myga-Piątek U., 2014: O wzajemnych relacjach przestrzeni i krajobrazu kulturowego. *Rozważania wstępne: Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* 24: 27-44.
- Olszewski J., Davis A., 2012: Comparing the Hydrologic Performance of a Bioretention Cell with Predevelopment Values: *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 139, 2:124-130.
- Piro P., Porti M., Veltri S., Lupo E., Moroni M., 2017: Hyperspectral Monitoring of Green Roof Vegetation Health State in Sub-Mediterranean Climate: *Preliminary Results: Sensors (Basel)* 17(4): 662.
- Puzdrakiewicz K., 2017: Zielona infrastruktura jako wielozadaniowe narzędzie zrównoważonego rozwoju: *Studia miejskie* 27: 155-174.
- Roy-Poirier A., Champagne P, Fillion Y., 2010: Bio-retention processes for phosphorus pollution control: *Environmental Reviews* 18(NA): 159-173
- Solon J., 2008: Koncepcja „Ecosystem Services” i jej zastosowania w badaniach ekologiczno-krajobrazowych: *Problemy Ekologii Krajobrazu* 21: 25-44
- Somarakis G., Stagakis S., Chrysoulakis N., 2019: *Thinknature Nature-Based Solutions Handbook*. ThinkNature project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme.
- Sørup H., Lerer S., Arnbjerg-Nielsen K., Mikkelsen P., Rygaard M., 2016: Efficiency of stormwater control measures for combined sewer retrofitting under varying rain conditions: Quantifying the Three Points Approach (3PA): *Environmental Science & Policy* 63:19-26.
- Sudra P., 2015: Usługi ekosystemowe na tle wybranych koncepcji ekologii miasta: *Człowiek i Środowisko* 39:1:61-73
- Szulczewska B., 2018: Zielona infrastruktura – czy koniec historii?: *Polska Akademia Nauk Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju, Warszawa*.
- Trząski L., Gieroszka A., 2015: Szansa dla polskich miast: kształtowanie przyjaznej przestrzeni przez zieloną infrastrukturę [in:] *Przestrzenny i środowiskowy wymiar zrównoważonego rozwoju terenów zurbanizowanych* (ed.): L. Trząski, Główny Instytut Górnictwa Katowice: 21-37.
- Trząski L., Pierzchała Ł., 2015: Zielona infrastruktura miasta w świetle krajowych dokumentów strategicznych i operacyjnych [in:] *Przestrzenny i środowiskowy wymiar zrównoważonego rozwoju terenów zurbanizowanych* (ed.): L. Trząski, Główny Instytut Górnictwa Katowice: 5-20.
- Wagner I., Krauze K., Zalewski M., 2013: Błękitne aspekty zielonej infrastruktury: *Zrównoważony Rozwój – Zastosowania* 4.
- Winston R., Hunt W., Kennedy S., Wright J., Lauffer M., 2012: Field Evaluation of Storm-Water Control Measures for Highway Runoff Treatment: *Journal of Environmental Engineering* 138

- [www.asla.org, https://www.asla.org/2016awards/171784.html](https://www.asla.org/2016awards/171784.html) [access: 08.05.2019].
- [www.businessinsider.com.pl https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/zmiany-klimatu-koszt-dla-europy-i-polski/h452ktl](https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/zmiany-klimatu-koszt-dla-europy-i-polski/h452ktl) [access: 08.05.2019].
- <http://www.e-katalogroslin.pl> [access: 08.05.2019].
- [www.klimada.mos.gov.pl, http://klimada.mos.gov.pl/adaptacja-do-zmian-klimatu/europejska-polityka-adaptacyjna/](http://klimada.mos.gov.pl) [access: 08.05.2019].
- [www.iucn.org https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions](https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions) [access: 08.05.2019].
- [www.mpwik.com.pl](http://www.mpwik.com.pl) [access: 08.05.2019].
- [www.stage.mortonarb.org http://stage.mortonarb.org/files/MainParkingLot-PavingtheWay\\_o.pdf](http://stage.mortonarb.org/files/MainParkingLot-PavingtheWay_o.pdf) [access: 08.05.2019].
- [www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/adaptacja-zmiany-klimatu-Slask-warsztaty-7690.html](http://aktualnosci/adaptacja-zmiany-klimatu-Slask-warsztaty-7690.html) [access: 12.12.2019].
- [www.unhabitat.org, https://unhabitat.org/urban-themes/climate-change/](https://unhabitat.org/urban-themes/climate-change/) [access: 08.05.2019].
- [www.um.warszawa.pl](http://www.um.warszawa.pl) [access: 08.05.2019].
- Xiao Q, McPherson E, 2011: Performance of engineered soil and trees in a parking lot bioswale: *Urban Water Journal* 8, 4:241-253.
- Zölch T., 2017: The potential of ecosystem-based adaptation: Integration into urban planning and effectiveness for heat and flood mitigation <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1368091/1368091.pdf> [access: 08.05.2019].

