

JOANNA KLIMOWICZ*

Problem przegrzewania miast XXI wieku (MWC) a zieleń miejska

The problem of the overheating of twenty-first century cities (UHI) versus greenery

Streszczenie

XXI wiek przyczynił się do rozwoju nowych, innowacyjnych technologii w wielu dziedzinach życia, m.in. w medycynie, lotnictwie, inżynierii molekularnej czy budownictwie. Współczesne technologie rozwijają się bardzo szybko, przynosząc rozmaite udogodnienia współczesnym człowiekowi. Jednakże XXI wiek przyniósł nam też niszczycielskie działanie narastających anomalii pogodowych związanych z pogłębiającymi się zmianami klimatu.

Żyjąc w dobie konsumpcjonizmu, powinniśmy się zastanowić w jaki sposób przyczyniamy się do tego stanu? Czy my współcześnie żyjący możemy wpłynąć na poprawę naszej egzystencji? Czy współcześnie proponowane rozwiązania są w stanie ochronić nas przed wieloma negatywnymi skutkami zmian klimatu? Czy możemy wpłynąć na wzrost zanieczyszczenia powietrza, wzrost temperatury oraz związane z nimi narastające zjawiska takie jak powodzie czy pożary?

Mieszkańcy współczesnych miast stykają się z wieloma tymi niedogodnościami. My jako architekci i urbaniści powinniśmy reagować i wprowadzać takie rozwiązania, które będą sprzyjały poprawie warunków życia.

Tematem artykułu jest przedstawienie wybranych przykładów rozwiązań zastosowania zieleni, wpływającej na niwelowanie niekorzystnych warunków klimatycznych panujących w miastach. Odpowiednio projektowana zieleń, zarówno w skali urbanistycznej jak i architektonicznej miasta, przyczynia się do niwelowania Miejskiej Wyspy Ciepła, wpływa na poprawę komfortu zamieszkania, jest stabilizatorem temperatury oraz wilgotności. Badania kamerą termowizyjną wykazują w jaki sposób zastosowanie zieleni przyczynia się do obniżania temperatury w zabudowie śródmiejskiej.

Wyniki badań stanowią uzupełnienie prowadzonych analiz związanych z obserwacją zachowań termicznych zabudowy miejskiej. Możliwość odniesienia wyników wpłynie na świadomość mieszkańców jest istotne jest stosowanie odpowiednich materiałów budowlanych oraz zieleni miejskiej jako jednych z elementów poprawiających komfort życia w mieście.

Abstract

The 21st century has contributed to the development of new, innovative technologies in many areas of life, including medicine, aviation, molecular engineering and construction. Modern technologies are developing very quickly, bringing various conveniences to modern man. However, the 21st century has brought us also the destructive effect of growing weather anomalies associated with deepening climate change.

Living in the age of consumerism, we should think about how we are contributing to this state? Can we, living today, improve our existence? Can the solutions proposed nowadays protect us from many negative effects of climate change? Can we influence the increase in air pollution, temperature rise and the associated growing phenomena such as floods and fires?

Citizens of modern cities are facing many of these inconveniences. We, as architects and urban planners, should react and implement solutions that will improve living conditions.

The subject of the articles is to present selected examples of solutions for the use of greenery, which will help to eliminate unfavorable climate conditions in cities. Properly designed greenery, both on the urban and architectural scale of the city, contributes to the leveling of the Urban Heat Island, improves the comfort of living, and is a stabilizer of temperature and humidity. Research with a thermal imaging camera shows how the use of greenery contributes to lowering the temperature in downtown buildings.

The results of the research are a supplement to the analyses carried out in connection with the observation of thermal behavior of urban development. The possibility of referencing the results will influence the residents' awareness. It is important to use appropriate building materials and greenery as one of the elements improving the comfort of living in the city.

Słowa kluczowe: Miejsca Wyspa Ciepła (MWC), zieleń miejska, klimat miejski

Keywords: Urban Heat Island (UHI), greenery, city climate

Wstęp

XXI wiek wpłynął na rozwój wielu dziedzin życia, m.in. przyczynił się do ekspansywnego rozwoju aglomeracji miejskich, które mają stwarzać dogodne warunki dla egzystencji swoich mieszkańców. Wraz z rozwojem urbanizacji przyczyniającej się do znacznej ekspansji i rozrostu terytorialnego miast, często obserwuje się negatywne skutki zbyt szybkiego wzrostu terenów zurbanizowanych. Migracja ludności do miast w poszukiwaniu nowych miejscami pracy¹, przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na powierzchnie mieszkalne (Raport, Ministerstwo Rozwoju, 2020), co w konsekwencji powoduje minimalizację terenów zieleni oraz zachwianie bilansu między powierzchniami biologicznie czynnymi a terenami zabudowanymi.

Kolejnymi problemami wpływającymi na działanie aglomeracji miejskich są występujące w ostatnich dziesięcioleciach zmiany klimatu. Coraz częściej słyszy się o wzroście średnich temperaturach na danym terenie, o występowaniu nietypowych dla danego obszaru zjawiskach takich jak huragany, trąby powietrzne, obfite deszcze czy pożary. W wielu miejscach świata występuję brak wód gruntowych powodujący pustynnienie, z jednoczesnym podnoszeniem się poziomu wód oceanicznych wywołany topnieniem pokrywy lodowej. Z badań przeprowadzonych przez EEA² czy IPCC³ wynika, iż w XXI wieku coraz częściej będą występowały nieprzewidywane zjawiska czy anomalie pogodowe, wpływające pośrednio lub bezpośrednio na nasze życie. Wobec tych zmian istotą dzisiejszego rozwoju miejskiego oraz budownictwa jest jak najlepsze zabezpieczenie mieszkańców przed ewentualnymi zagrożeniami związanymi ze zmianami klimatu. Współcześni mieszkańcy dużych miast stając w obliczu problemów związanych ze zmianami klimatu zadają sobie pytanie w jakich warunkach chcieliby żyć. Wiele osób nie wyobraża sobie życia w przestrzeniach pozbawionych komfortu i nie zapewniających optymalnych warunków funkcjonowania, choć z socjologicznego punktu widzenia, pojęcie komfortu dla każdego może znaczyć coś innego. Często zadajemy sobie pytanie jak powinny wyglądać miasta przyszłości? Jak powinniśmy zmieniać nasze otoczenia aby dobrze się na żyło we współczesnych miastach? Czy miasta powinny wyglądać jak wybetonowane pustynie? Czy powinniśmy wprowadzać zbilansowane tereny biologicznie czynne w strukturę tkanki miejskiej? Wg. Raportu grupy ekspertów Kongresu Polityki Miejskiej ds. Środowiska i Adaptacji do zmian Klimatu „*miasta stają się coraz bardziej wrażliwe na zmiany klimatu*”. (Sobol i in., 2020, 10) Wraz z przyrostem tkanki zurbanizowanej, źle zbilansowanymi terenami biologicznie czynnymi oraz zwiększonym występowaniem anomalii pogodowych zaczęto zauważać niekorzystny wzrost temperatur w centralnych częściach miast. Zjawisko nazwano efektem Miejskiej Wyspy Ciepła⁴ w jego występowanie wpłynęło na komfort zamieszkania w dużych aglomeracjach. W związku z występowaniem MWC zaczęto zwracać większą uwagę na potrzebę bilansowania terenów zurbanizowanych terenami zieleni ponieważ wspomaga niwelowanie zanieczyszczeń powietrza, poprawia warunki hydrologiczne i wiatrowe, wpływa na poprawę mikroklimatu miejskiego oraz przyczynia się do

Introduction

The twenty-first century has influenced development within many areas of life, but particularly through its proliferation of development within urban agglomerations creating favourable conditions for their inhabitants' existence. Along with the development of urbanisation contributing to significant expansion and territorial growth of cities, negative effects of this too rapid growth of urbanised areas are often observed. The migration of people to cities in search of new jobs¹ contributes to an increase in demand for living space, especially housing, (Raport, Ministerstwo Rozwoju, 2020), which minimises green areas and upsets the balance between biologically active areas and built-up areas.

In recent decades, climate change has also effected urban agglomerations. Reports increasingly indicate escalating average temperatures and phenomena such as hurricanes, tornadoes, heavy rainfall, or wild fires are recorded in areas not previously known for these occurrences. Globally, desertification takes place through a lack of groundwater and corresponds with a simultaneous rise in oceanic water levels caused by ice cap melting. Research carried out by the EEA² or the IPCC³ indicates increasingly unpredictable weather anomalies or phenomena affecting our lives both directly and indirectly within the twenty-first century. In the face of these changes, the essence of today's urban development and construction is to protect residents against the possible threats of climate change in the best possible way. Present-day inhabitants of large cities are confronted with the problems of climate change and the potential to shift living conditions. Many people cannot imagine living in uncomfortable spaces that do not provide optimal operating conditions. However, from a sociological point of view the concept of individual and group comfort can take on different meanings. We often ask ourselves how cities of the future should be expressed? Should our surroundings change and reflect our current social and environmental conditions? Should cities become as a desert of blocks? Should we implement balanced biologically active areas into the urban fabric? What is the relationship between ecology and the surrounding urban environment?

According to the Report of the Expert Group of the Urban Policy Congress on Environment and Climate Change Adaptation 'Cities are becoming increasingly sensitive to climate change'.(Sobol i in., 2020, p.10) Elevated temperatures in city centres are observable as well as the growth of the urban fabric, poorly balanced biologically active areas, and an increased phenomena of weather anomalies known as the Urban Heat Island,⁴ which affects the thermal comfort of living in large agglomerations. In accordance with MWC, there is a need to balance urbanised green areas, to decrease air pollution, to improve hydrological and wind conditions within the urban microclimate, and to reduce overall global temperature. The provision of urban green areas can aid in restoring

zmniejszania temperatur. Zapewniania terenów zieleni w mieście, jest bardzo istotne w przypadku zapewniania komfortu zamieszkania, choć każdy z nas inaczej podchodzi do samego znaczenia słowa komfort. Według prof. Tomasz Wiśniewskiego komfort cieplny „to stan zrównoważonego bilansu cieplnego z otoczeniem przy jednoczesnym braku dyskomfortu lokalnego”⁵. Według profesora psychologii Augustyna Bańki istotnym elementem środowiska jest człowiek, „który doświadcza skutków jego działania w sferze uczuciowej, poznawczej i zachowania się. Z drugiej strony człowiek ujmowany jest nie jako pasywny element, ale aktywny podmiot zmian w środowisku. Wpływ człowieka na środowisko odbywa się poprzez świadome działanie takiej jak np. projektowanie architektoniczne, planowanie przestrzenne, różnorodne użycie przestrzeni w rekreacji lub prac.” (Bańka, 2019, s.17) Człowiek zawsze był nierozdzielnie związany z przyrodą, dlatego tak ważne jest wykorzystanie elementów roślinnych we współczesnych rozwiązaniach urbanistycznych i architektonicznych.

Zadanie badawcze

W artykule przedstawiono część analizy wybranych czynników odnoszących się do stosowania zieleni jako elementu poprawiającego komfort życia w mieście w odniesieniu do MWC. Jest to uzupełnienie analiz przedstawionych w artykule pt „Komfort zamieszkania we współczesnym miejskim domu”. Głównym celem badań jest podkreślenie roli zieleni w energochłonności miasta. W artykule ograniczono się tylko do kilku rozwiązań. Dalsze kierunki badań będą związane z analizą zachowań zieleni jako czynnika, który wspomaga niwelowanie negatywnych skutków wzrostu temperatur w miastach, zapewnia poprawę warunków mikroklimatycznych, jest dobrym kondensatorem ciepła i wilgoci, a jej niskie albedo⁶ jest istotne z punktu widzenia pochłaniania promieniowania słonecznego.

W badaniach przeprowadzonych podczas wizji lokalnych użyta została kamera termowizyjna Seek Thermal, zapewniająca bezinwazyjny pomiar wraz z analizą występowania mostków cieplnych oraz badaniem temperatury występującej w danym momencie na badanym elemencie. Zakres odczytywania temperatury przez kamerę to -40°C – +330°C. Zebrane dane z wybranych miejsc obrazują zachowania termiczne zieleni oraz powierzchni nienasiąkliwych znajdujących się w pobliżu terenów zieleni.

Krótką charakterystyka wybranych przykładów zieleni występujących w tkance miejskiej

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat na stałe wpięły się w tkankę miejską nowe rozwiązania związane z wprowadzaniem w nią zieleni. Są to nie tylko publiczne tereny takie jak parki, skwery czy place zabaw, ale bezpośrednio zintegrowane z obiektami kubaturowymi obszary porośnięte roślinnością. Można wśród nich wymienić:

- dachy zielone – ekstensywne i intensywne
- ściany zielone – fasady porośnięte roślinnością oraz żyjące ściany.

Zarówno jedno, jak i drugie przyczyniają się do poprawy warunków mikroklimatycznych danego terenu, wpływają na komfort zamieszkania oraz zmniejszają niekorzystny

our natural climate and improve living conditions. According to Professor Tomasz Wiśniewski, thermal comfort ‘is the state of heat balance with the environment with no internal discomfort’.⁵ According to Professor of Psychology Augustyn Bańka, an individual ‘who experiences the effects of his actions in the emotional, cognitive, and behavioural sphere’ is an important element of the environment. ‘On the other hand, man is not perceived as a passive element, but as an active subject of changes in the environment. Human influence on the environment takes place through conscious action such as architectural design, spatial planning, various use of space in recreation or works’ (Bańka, 2019, p.17). Man has always been inseparably connected with nature illustrating the importance of maintaining natural elements in contemporary urban and architectural solutions.

Research task

This paper presents only a part of the analysis of selected factors relating to the use of greenery as an element improving the comfort of living in the city in relation to the UHI. It is a supplement to the analyses presented in *The Comfort of Living in a Modern Urban Home*. The main aim of the study was to emphasise the role of greenery in the energy consumption of the city. The paper is limited to a few solutions. Further directions of research will be related to the analysis of greenery’s behaviour as a factor that helps to eliminate negative effects of temperature increase in cities, ensures improvement of micro-climatic conditions, is a good capacitor of heat and moisture, and its low albedo⁶ is important from the point of view of absorbed solar radiation.

In the research carried out during site inspections, a Seek Thermal camera was used. It provided a non-invasive measurement combined with an analysis of the occurrence of the thermal bridges and the temperature the external wall at a given moment. The range of temperature reading by the camera is -40°C – +330 °C. The collected data from selected places illustrate the thermal behaviour of greenery and non-absorbent surfaces located near green areas.

Short description of selected examples of greenery occurring in the urban fabric

Over the last few decades, new solutions related to introducing greenery into the urban fabric have become a permanent feature of the city. These are not only public areas such as parks, squares or playgrounds, but also areas covered with vegetation directly integrated with buildings. These include: green roofs—extensive and intensive green walls—facades overgrown with vegetation and living walls.

Both contribute to the improvement of microclimatic conditions of a given area, affect the comfort of living, and reduce the adverse impact of the UHI effect, so often observed in twenty-first-century cities.

In November 2019, under the auspices of the Faculty of Architecture of the Warsaw University of Tech-

wpływ efektu MWC, tak często obserwowanej w miastach XXI wieku.

W listopadzie 2019 r. pod auspicjami Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej odbyła się międzynarodowa konferencja pt. „Redefining cities in a view of climatic changes” poświęcona problemom współczesnych miast w obliczu zmian klimatu. W ramach tej konferencji przeprowadzono też warsztaty zorganizowane przez WAPW i Miasto Stołeczne Warszawa, poświęcone redefiniowaniu Warszawy. Głównymi tematami w dyskusji były: pojmowanie powierzchni biologicznie czynnej w zrównoważonym mieście, rola zielonej i błękitnej infrastruktury miejskiej jak też problem minimalizacji efektu MWC w zabudowie miejskiej⁷. Zauważono, iż w dobie dzisiejszego rozwoju technologicznego, zwiększającej się liczby mieszkańców, wzrostu ilości samochodów a co za tym idzie zanieczyszczenia ważne jest stosowanie różnego rodzaju terenów biologicznie czynnych. Podkreślono, iż istotne jest, aby tereny zielone były traktowane nie tylko jako płaskie powierzchnie związane z gruntem, ale jako całe kubatury. Oczywiście wiadomym jest, iż najbardziej wydajnymi z punktu widzenia ochrony mikroklimatu i zapobiegania MWC są obszary obsadzone na gruncie rodzimym, zapewniające naturalną roślinność. Inaczej traktowane są właśnie ściany czy dachy zielone, które zgodnie z prawem można zaliczyć do terenów biologicznie czynnych tylko w 50% i jeśli ich powierzchnia przekracza 10 m² (b.a.) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych par 3 pkt 22). Jednakże rośliny mają bardzo istotny wpływ nie tylko na cyrkulację powietrza, ale też na absorpcję i retencję wody. Zarówno odgrody na dachach, jak i ogrody wertykalne zapobiegają m.in. przegrzewaniu się powierzchni ścian czy dachów, wpływają na mniejsze straty ciepłe budynku jak też na zmniejszanie przegrzewania terenów otaczających. Można powiedzieć, iż w kontekście fizyki budowli poprawiają warunki termoizolacyjności. Ważne jest zatem, aby w miastach XXI wieku zaczęto traktować je jako systemy i sieci powiązań, w których skład wchodzi zarówno horyzontalne jak i wertykalne rozwiązania (Klimowicz, 2020, s.42). Wykorzystywanie zieleni w powiązaniu z budynkami wpisuje się w też w nowy, choć czasem kontrowersyjny trend rozpowszechniony i opisany przez Edwarda Wilsona⁸ – biophilie.

W historii znane były tego typu rozwiązania, za przykład posłużyć mogą wiszące odgrody Semiramidy, które można potraktować jako przykład powiązań i relacji pomiędzy obiektami kubaturowymi a roślinnością. Ściany zielone dzielą się na dwie główne grupy: pierwsza to ściany porośnięte roślinnością (bezpośrednio lub pośrednio za pomocą konstrukcji wsporczych), druga to żyjące ściany, które w XXI wieku zyskały na popularności. (Barnaś, 2011; Perini i in., 2011; Pérez, Coma, Martorell i Cabeza, 2014; Cuce, 2016). *Poszczególne rozwiązania systemowe cechuje m.in. różny poziom odizolowania zieleni od płaszczyzny elewacji oraz odmienny stopień możliwości kontroli roślinności.* (Janiak, 2019, s.120) Żyjące ściany są stosunkowo nowym rozwiązaniem, które rozwinęło się dzięki nowym technologiom umożliwiającym kształtowanie całych systemów konstrukcyjnych m.in.: modułowych, filcowych czy kontenerowych przymocowanych do konstrukcji ścia-

nology, the ‘Redefining Cities in a View of Climatic Changes’ international conference was held. It was devoted to the problems of contemporary cities in the face of climate change. The conference included workshops organised by the WUT Faculty of Architecture and the Municipality of Warsaw concerning the redefinition of Warsaw. The main topics of the discussion were: the understanding of biologically active spaces in a sustainable city, the role of green and blue urban infrastructure, and the problem of minimising the effect of the UHI in urban development.⁷ It was noted that in the era of today’s technological development, the increasing number of citizens, cars, and resultant pollution, it is important to use various types of biologically active areas. It emphasised the importance that green areas should be treated not only as flat surfaces connected with the ground, but as entire masses. From the perspective of microclimate protection and UHI prevention, the most efficient responses are located in areas planted on natural soil, thereby providing natural plant vegetation. However, walls and green roofs are treated differently and are legally classified as biologically active only in 50% of their total area and if their area exceeds 10 m² Regulation of the Minister of Infrastructure on technical conditions to be met by buildings and their location. 3 pt. 22.). Plants are an important influence not only on air circulation but also on water absorption and retention. Both roof and vertical gardens prevent, among other things, wall or roof surfaces from overheating, reduce the heat loss of the building, and decrease overheating of the surrounding area. In the context of building physics, they improve thermal insulation conditions. Therefore, it is important that the cities of the twenty-first century should be treated as systems and networks of connections inclusive of both horizontal and vertical solutions (Klimowicz, 2020, 42). The use of greenery in connection with buildings is also relevant to the new, albeit controversial, widespread trend described by Edward Wilson⁸—biophilia.

Historically, the Hanging Gardens of Babylon demonstrate an example of connections and relations between buildings and plants. Green walls are divided into two main groups 1) walls overgrown with vegetation (directly or indirectly held by supporting structures), and 2) living walls, which gained popularity in the twenty-first century (Barnaś, 2011; Perini et al, 2011a; Pérez, Coma, Martorell and Cabeza, 2014; Cuce, 2016). ‘Individual system solutions are characterised by different levels of isolation of greenery from the façade plane and a different degree of vegetation control’. Living walls are a relatively new solution, which has developed thanks to new technologies enabling the formation of entire structural systems, such as: modular, felt or container systems attached to the building wall structure. Thanks to these, we can shape and choose the vegetation on the vertical wall with multiple organisations with the potential to build a completely new architectural expression of the building. However, it is important

ny budynku. Dzięki nim możemy w zasadzie w dowolny sposób kształtować i dobierać szatę roślinną na pionowej przegrodzie, co wpływa na zupełnie nowy wyraz architektoniczny budynku. Pamiętać jednak należy, iż ta dodatkowa konstrukcja jest dodatkowym obciążeniem dla ściany, które należy uwzględnić przy projekcie i realizacji budynku. Jednym z prekursorów żyjących ścian zielonych był Patrick Blanc⁹, twórca wielu projektów we Francji, Anglii, Hiszpanii czy w Stanach Zjednoczonych. Dachy zielone możemy podzielić też na dwie zasadnicze grupy: ekstensywne i intensywne. Zależy to od liczby nasadzeń oraz ich gabarytów. Najbardziej popularne to dachy ekstensywne obsadzone trawami i mchami, dachy intensywne rzadziej spotykane są obsadzone bądź krzewami, bądź nawet drzewami. Podobnie jak w przypadku ścian zielonych należy pamiętać, iż im bardziej intensywny dach tym większego zabezpieczenia wymaga konstrukcja. Dachy zielone miały m.in. *znaczenie użyteczne zielone dachy zyskały w Skandynawii, gdzie stosowano je jako naturalną ochronę przed niską temperaturą oraz w Niemczech i na Śląsku, gdzie zabezpieczały dach przed pożarem.* (Kowalczyk, 2011, s.66). Ogromny rozwój ich przypadł jednak na końcowe dekady XX w.

W stosowanych rozwiązaniach budowlanych rośliny są głównym absorbentem promieni słonecznych wykorzystywanych m.in. do fotosyntezy czy ewaporacji. W przypadku ścian ważna jest ich ekspozycja, inaczej będzie zachowywał się ściana w ekspozycji południowej, a inaczej w północnej, będą też wymagane tu inne rośliny. Według Pereza, Coma, Mortorellego i Cabeza (2014) najlepszymi parametrami obniżania temperatury charakteryzują się ściany z wystawą wschodnią i zachodnią, natomiast Safikhani, Abdullah, Ossen i Baharvand podkreślają, iż najlepszą skuteczność we wpływie na temperaturę mają ściany w porze południowej (Janiak, 2019, s.126). W przypadku dachów rodzaj roślin jest ważny, gdyż są one w sposób ciągły narażone na penetrację promieni słonecznych. Ściany i dachy zielone mają wpływ na współczynnik przenikania ciepła. Według Fabianowskiego zastosowanie pnączy na elewacjach może poprawić współczynnik przenikania ciepła o 3,12% do nawet 15,53% (Fabianowski, 2011, s.47). Tworząc dodatkową warstwę izolacyjną chronią budynek przed przegraniem (okresy letnie) oraz przed zbyt dużą emisją ciepła (okresy zimowe). W systemach ścian żyjących dodatkową izolację stanowi tworząca się przestrzeń powietrza pomiędzy konstrukcją samej ściany a konstrukcją roślinnej ściany żyjącej. W tym przypadku możemy mówić, o niejako dodatkowej szczelinie powietrznej zachowującej się podobnie jak w ścianach z izolacyjną termicznie warstwą powietrza (Celadyn, 1992). Z punktu widzenia fizyki budowli w analizach ścian zielonych należy jeszcze brać pod uwagę same opory cieplne pozostałych warstw wchodzących w skład całego modułu. Rozpatrując izolacyjność ścian ważna jest absorpcja wody chroniąca przed zwilgoceniem oraz wiatroszczelność roślin. Podobnie zachowują się dachy, w których zarówno same rośliny jak i warstwy gleby wpływają na poprawę bilansu wodnego.

Wybrane przykłady zastosowania zieleni w tkance miejskiej

Badania dotyczące zachowań ścian i dachów zielonych

to remember that the additional structure increases the load on the wall, and should be considered in the design and construction of the building. One of the precursors of living green walls was Patrick Blanc,⁹ the author of many projects in France, England, Spain and the USA. Green roofs can also be divided into two main groups: extensive and intensive. It depends on the number of plantings and their dimensions. The most popular are the extensive roofs planted with grasses and mosses, while the intensive roofs are less common and are planted either with bushes or trees. In the case of green walls, the more intensive the roof, the more protection the structure requires. Green roofs have gained 'utilitarian significance in Scandinavia, where they were used as a natural protection against low temperatures, and in Germany and Silesia, where they protected the roof against fire' (Kowalczyk, 2011, p.66). However, they developed enormously in the last decades of the twentieth century.

Through applied construction solutions, plants are the main absorbers of sunlight for photosynthesis or evaporation. However, their position relative to the wall is important, otherwise the wall will behave differently depending on exposure. According to Perez, Coma, Mortorelli and Cabeza (2014), walls with an eastern or western aspect have the best temperature reduction parameters, while Safikhani, Abdullah, Ossen and Baharvand emphasised that south-facing walls have the best effectiveness in influencing temperature (Janiak, 2019, p.126). With roofs, plant type is important because of constant exposure to sunlight penetration. Walls and green roofs influence the heat transfer coefficient. According to Fabianowski, the use of climbers on facades can improve the heat transfer coefficient by 3.12% to even 15.53% (Fabianowski, 2011, 47). By creating an additional insulation layer, they protect the building against overheating (summer periods) and against excessive heat emission (winter periods). In living wall systems, additional insulation is provided by the air space created between the wall itself and the living wall's plant structure. In this case, we can speak of a kind of additional air gap behaving similarly to walls with a thermally insulating void (Celadyn, 1992). From the point of view of building physics, the analysis of green walls should also take into account the thermal resistance of the remaining layers of the entire module. When considering the insulating power of the walls, it is important that water is absorbed to protect against moisture and that plants are windproof. Plants on roofs behave in a similar way where both the plants and the soil layers improve water balance.

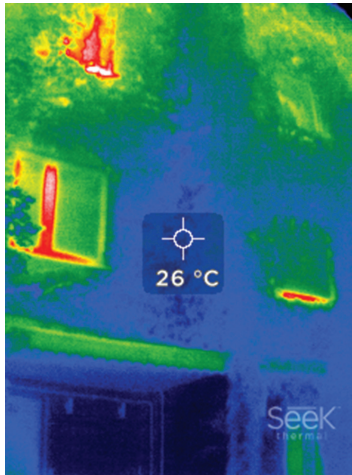
Selected examples of the use of greenery in urban fabric

The study on the behaviour of green walls and roofs presented herein began last year as a supplement to the analysis related to comfort of living in modern buildings. Initially, the research covered green walls



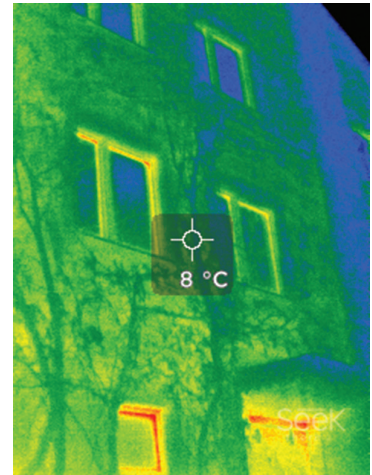
il. 1. Ściana budynku jednorodzinne w Warszawie porośnięta winoroślą. Zdjęcie J. Klimowicz 2019

ill. 1. The wall of a single-family building in Warsaw covered with vines. Photo by J. Klimowicz 2019



Zdjęcie kamerą termowizyjną ściany porośniętej winoroślą. Widoczna niższa temperatura ściany z roślinnością niż okien. Akumulowanie ciepła podczas letniego dnia. Zdjęcie J. Klimowicz lipiec 2019

Thermogram of a wall overgrown with vines. Visible lower temperature of a wall with vegetation than windows. Heat accumulation during a summer day. By J. Klimowicz July 2019



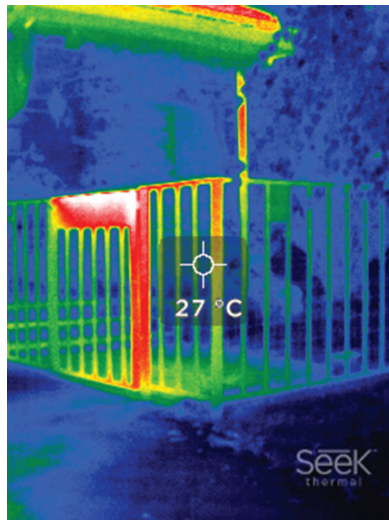
Zdjęcie kamerą termowizyjną w okresie zimowym. Zdjęcie J. Klimowicz grudzień 2019

Thermogram taken in winter. By J. Klimowicz, December 2019



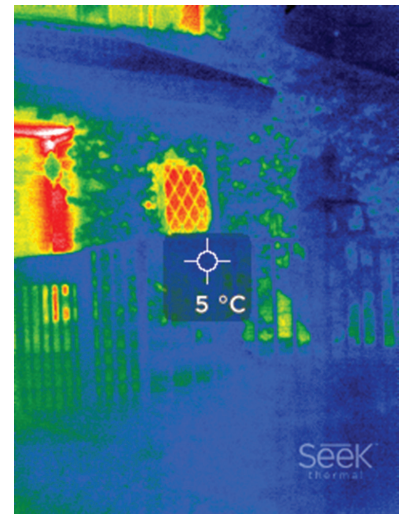
il. 2. Ściana budynku z zainstalowaną konstrukcją wsporczą dla pnączy. Zdjęcie J. Klimowicz lipiec 2019

ill. 2. The wall of the building with an installed supporting structure for climbers. By J. Klimowicz, July 2019



Zdjęcie kamerą termowizyjną fragmentu ściany pokrytej we fragmenta roślinnością. Widoczna niższa temperatura pokrywy roślinnej niż ściany Zdjęcia J. Klimowicz lipiec 2019

A thermogram of a fragment of a wall, partially covered with a groove, taken with a thermal vision camera. The temperature of the plant cover is visibly lower than that of the walls. By J. Klimowicz, July 2019



Zdjęcie kamerą termowizyjną w okresie zimowym. Zdjęcia J. Klimowicz grudzień 2019

Thermogram taken in the winter. By J. Klimowicz, December 2019

rozpoczęte zostały w ubiegłym roku, jako uzupełnienie analiz związanych z komfortem zamieszkania we współczesnych obiektach. Na wstępie badaniami objęte zostały ściany zielone z racji dogodniejszego dostępu. W tym artykule przedstawionych zostanie kilka wybranych ścian zielonych. Analizy dachów zielonych planowane są w dalszej części pracy naukowej nad zagadnieniami minimalizacji oddziaływania MWC na tereny miejskie.

because of more convenient access. This paper shall present a few selected green walls. The analysis of green roofs is planned in the further part of scientific work on the issues of minimising the impact of the UHI on urban areas.

The research was carried out on walls covered with various types of vegetation, mainly grapevine and ivy. In the photographs below, taken with a thermal

Badaniom poddano ściany porośnięte różnego rodzaju roślinnością, głównie winoroślą oraz bluszczem. Na przedstawionych poniżej zdjęciach kamerą termowizyjną, widać różnice w temperaturach pomiędzy ścianami oraz innymi elementami ściany. Latem przy wysokich temperaturach powietrza temperatura ściany z roślinami był niższa od nagrzanymi ramiaków okien oraz tafli okiennych. Widać jak rośliny chronią masę ściany przed nadmiernym nagraniem. W okresach zimowych na tych samych ścianach, choć nie wszystkie pokryte są szatą liści (winorośl traci liście zimą), widoczne jest zróżnicowanie temperatury oraz zmniejszone straty ciepłe. Zaobserwować można liczne mostki cieplne jakimi w tych przypadkach są znów ramiaki okienne, oszklenia oraz drzwi. Na zdjęciu nr 2 widać, iż latem nie ma zbyt dużych różnic pomiędzy temperaturą ściany zielonej a oknem, natomiast wyraźnie widać różnice w okresie zimowym.

Podsumowanie

Systemy ścian zielonych są bardzo istotne w terenach, gdzie występuje efekt MWC. Powinny stanowić dodatkową warstwę ochronną ściany, w której jednak nie może zabraknąć nominalnie wymaganej grubości izolacji termicznej. Ściany zielone są bardzo dobrym ale dodatkowym elementem termoizolacji. Ściany zielone podobnie jak dachy zielone wspomagają stabilność termiczną obiektów. W wielu obiektach ubiegających się o certyfikację energooszczędności zastosowanie ściany zielonej jest jednym z wymogów.

W współczesnych ekspansywnie rozwijających się miastach powinniśmy dążyć do realizowania jak największej ilości terenów zieleni. Tereny biologicznie czynne powinny być traktowane jako jedne z obowiązkowych w celu zmniejszenia występowania MWC. Ściany i dachy zielone powinny stanowić jedne z systemowych rozwiązań wspomagających poprawę warunków mikroklimatycznych danych obszarów. Dodatkowo ściany zielone mogą zapewnić niepowtarzane wrażenia estetyczne poprzez swoją różnorodność i zmienność sezonową. Dobrze poprowadzone i zadbane ściany zielone stanowią mogą uzupełnienie i połączenie miejskich systemów zieleni.

PRZYPISY

¹ *W zależności od bodźca inicjującego migrowanie można wyróżnić: a) migracje ekonomiczne, spowodowane brakiem środków do życia, dramatycznymi warunkami życia z powodu wyczerpania się zasobów, brakiem możliwości zarobkowania; b) migracje polityczno-społeczne, indukowane różnymi formami prześladowań ze strony trzymających władzę lub innych grup społecznych, religijnych, etnicznych albo z powodu wewnętrznych bądź międzynarodowych konfliktów politycznych, naruszenia praw podstawowych; c) środowiskowe, pojawiające się w następstwie zniszczenia środowiska, zaistnienia procesów naturalnych lub działalności człowieka, zdarzeń o skutkach katastroficznych lub rozciągających w czasie, w wyniku niekontrolowanej działalności gospodarczej.* Krajewski. P. „Migracje i migranci środowiskowi – konsekwencje zmian środowiska przyrodniczego” UWM Olsztyn 2019

² EEA – Europejska Agencja Środowiska

³ IPCC – Międzynarodowy Zespół ds. zmian klimatu jest organem Organizacji Narodów Zjednoczonych zajmującym się oceną nauki związanej ze zmianami klimatu

⁴ Miejska Wyspa Ciepła ang. Urban Heat Island – zjawisko polegające na wzroście temperatury w centralnych częściach miasta, związaną ze zbyt dużą ilością powierzchni nienasiąkliwych, akumulujących ciepło oraz złą energooszczędnością budynków, które emitują zbyt dużo ciepła do otaczającego je środowiska

⁵ Wiśniewski T., fragment wykładu pt „Komfort cieplny”, źródło www.itc.pw.edu.pl/content/download/haslo_komfort_cieplny_data_13.05.2019

imaging camera, one can see the differences in temperatures between the walls and other wall elements. In summer, at high air temperatures, the temperature of the wall with plants was lower than the heated window frames and window panes. It is visible how plants protect the wall mass from excessive heat. In winter periods, on the same walls, although not all of them are covered with a coat of leaves (the vine loses leaves in winter), temperature differences and reduced heat loss are visible. Numerous thermal bridges can be observed, such as window frames, glazing and doors in these cases. In photo No. 2, taken during summertime, there are no significant differences between the temperature of the green wall and the window, but clear differences in winter are visible.

Conclusions

Green wall systems are very important in areas where there is a UHI effect. There should be an additional protective wall layer, but the nominally required thickness of thermal insulation should not be missing. Green walls are a very efficient yet additional element of thermal insulation. Green walls, similarly to green roofs, support the thermal stability of buildings. In many facilities applying for energy efficiency certification, the use of green walls is one of the requirements.

In today's expansively developing cities we should strive to implement as many green areas as possible. Biologically active areas should be incorporated as one of the obligatory orders to reduce the occurrence of the UHI. Green walls and roofs prove to be a successful systemic solution supporting the improvement of microclimatic conditions of given areas. Additionally, green walls provide a unique aesthetic experience through their diversity and seasonal variation. Well-maintained green walls can complement and combine urban green systems.

ENDNOTES

¹ Depending on the stimulus that initiates the migration, one can distinguish: a) economic migration, caused by lack of livelihood, dramatic living conditions due to depletion of resources, lack of earning opportunities; b) political and social migration, induced by various forms of persecution by those in power or by other social, religious or ethnic groups, or by internal or international political conflicts, violations of fundamental rights; c) environmental migration, arising from the destruction of the environment, the occurrence of natural processes or human activities, events with catastrophic consequences or extended over time, as a result of uncontrolled economic activity. Krajewski. P. (2019). *Migracje i migranci środowiskowi – konsekwencje zmian środowiska przyrodniczego*. UWM Olsztyn

² EEA – European Environment Agency

³ Intergovernmental Panel on Climate Change is a United Nations body for the assessment of science related to climate change

⁴ Urban Heat Island—a phenomenon involving an increase in temperature in central parts of the city, associated with too many non-absorbent surfaces that accumulate heat and poor energy efficiency of buildings that emit too much heat into the surrounding environment.

⁵ Wiśniewski Tomasz, an excerpt from a lecture entitled “Komfort cieplny”, source www.itc.pw.edu.pl/content/download/haslo_komfort_cieplny_data_13.05.2019

⁶ Albedo - the ability to reflect the radiation incident on a surface, expressed as the ratio of the amount of radiation reflected in all directions to the amount of radiation incident on that surface, source www.ekologia.pl/term:albedo, download date 11.02.2020.

⁷ The author led one of the panels concerning biologically active areas in terms of problems with MWC.

⁶ Albedo – zdolność odbijania promieniowania padającego na daną powierzchnię, wyrażona jako stosunek ilości promieniowania odbitego we wszystkich kierunkach do ilości promieniowania padającego na tą powierzchnię, źródło www.ekologia.pl hasło albedo, data pobrania 11.02.2020

⁷ Autorka prowadziła jeden z paneli dotyczący terenów biologicznie czynnych w aspekcie problemów z MWC

⁸ Edward O. Wilson naukowiec z Uniwersytetu w Harvardzie w swojej książce *Biophilia* opisał, iż człowiek jako istota żyjąca w ponad 90% czasu istnienia na ziemi miał kontakt z naturą, dlatego jest ona potrzebna w naszym życiu

⁹ Patrick Blanc – francuski botanik, twórca wielu dachów i ścian zielonych, autor m.in. książki „The vertical gardens”

LITERATURA

- [1] [b.a.] Raport stan mieszkalnictwa w Polsce. Ministerstwo Rozwoju, Marzec 2020
- [2] [b.a.] Raport roboczy grupy eksperckiej Kongresu Polityki Miejskiej ds. środowiska i adaptacji do zmian klimatu pod redakcją Agnieszki Sobol Obserwatorium Polityki Miejskiej IRMiR 2019
- [3] [b.a.] Rozporządzeni Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, 2018
- [4] Barnaś, K. (2011). Elewacje zielone – nowoczesne technologie w projektowaniu i wykonawstwie. *Czasopismo Techniczne. Architektura*, 108 (2-A/2), 7–13. hasło zielone elewacje data 10.07.2019).
- [5] Bańka A., *Psychologia środowiskowa jakość życia i innowacji społecznych*.. Wydawnictwo Stowarzyszenie Psychologia i Architektura, Poznań, 2018 r. ISBN 978-83-62051-29-8,
- [6] Cuce, E. (2017). Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, 134, 247–254. doi: 0.1016/j.apenergy.2016.09.079
- [7] Janiak J. „Zieleń na elewacjach – problemy czy korzyści dla budynku”, *Acta Sci.Pol. Architectura* 18 (1), 2019 st. 120
- [8] Klimowicz J. *Zielone ściany – odpowiedź na miejską wyspę ciepła?* *Czasopismo Zieleni Miejska* wydawnictwo Abrys
- [9] Kowalczyk A., „Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych” *Zrównoważony rozwój – Zastosowania* nr 2,
- [10] Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M. i Raiteri, R. (2011a). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 1 (1), 1–8. doi: 10.4236/oje.2011.11001
- [11] Pérez, G., Coma, J., Martorell, I. i Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for Energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 139–165. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.055
- [12] Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R. i Baharvand, M. (2014). Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems. *Environmental and Climatic Technologies*, 14, 5–11. doi: 10.1515/rtuect-2014-0007
- [13] Wiśniewski T., fragment wykładu pt „*Komfort cieplny*”, źródło www.itc.pw.edu.pl/content/download hasło komfort cieplny data 13.05.2019

⁸ Edward O. Wilson, a scientist from Harvard University, described in his book *Biophilia* that man, as a being living in more than 90% of the time of existence on earth, has contact with nature, therefore it is needed in our lives.

⁹ Patrick Blanc—a French botanist, creator of many roofs and green walls, car, among others the book *The vertical gardens*.

REFERENCES

- [1] [b.a.] Raport stan mieszkalnictwa w Polsce. Ministerstwo Rozwoju, Marzec 2020
- [2] [b.a.] Raport roboczy grupy eksperckiej Kongresu Polityki Miejskiej ds. środowiska i adaptacji do zmian klimatu pod redakcją Agnieszki Sobol Obserwatorium Polityki Miejskiej IRMiR 2019
- [3] [b.a.] Rozporządzeni Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, 2018
- [4] Barnaś, K. (2011). Elewacje zielone – nowoczesne technologie w projektowaniu i wykonawstwie. *Czasopismo Techniczne. Architektura*, 108 (2-A/2), 7–13. hasło zielone elewacje data 10.07.2019).
- [5] Bańka A., *Psychologia środowiskowa jakość życia i innowacji społecznych*.. Wydawnictwo Stowarzyszenie Psychologia i Architektura, Poznań, 2018 r. ISBN 978-83-62051-29-8,
- [6] Cuce, E. (2017). Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, 134, 247–254. doi: 0.1016/j.apenergy.2016.09.079
- [7] Janiak J. „Zieleń na elewacjach – problemy czy korzyści dla budynku”, *Acta Sci.Pol. Architectura* 18 (1), 2019 st. 120
- [8] Klimowicz J. *Zielone ściany – odpowiedź na miejską wyspę ciepła?* *Czasopismo Zieleni Miejska* wydawnictwo Abrys
- [9] Kowalczyk A., „Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych” *Zrównoważony rozwój – Zastosowania* nr 2,
- [10] Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M. i Raiteri, R. (2011a). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 1 (1), 1–8. doi: 10.4236/oje.2011.11001
- [11] Pérez, G., Coma, J., Martorell, I. i Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for Energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 139–165. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.055
- [12] Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R. i Baharvand, M. (2014). Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems. *Environmental and Climatic Technologies*, 14, 5–11. doi: 10.1515/rtuect-2014-0007
- [13] Wiśniewski T., fragment wykładu pt „*Komfort cieplny*”, źródło www.itc.pw.edu.pl/content/download hasło komfort cieplny data 13.05.2019
- [14] Wiśniewski T., excerpt from a lecture entitled “Komfort cieplny”, source: www.itc.pw.edu.pl/content/download accessed on: 13.05.2019