INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr IV/1/2015, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 1081–1088
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.4.1.086

ZMIANY TEMPERATURY RÓŻNYCH FORM UŻYTKOWANIA ZIELONEGO DACHU

Anna Baryła[1], Barbara Siedlicka[2], Agnieszka Karczmarczyk[1]
[1]Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, [2]Uniwersytet Warszawski

TEMPERATURE CHANGES OF DIFFERENT USE FORMS OF THE GREEN ROOF

Streszczenie

W miastach temperatura może być o kilka, a nawet kilkanaście stopni wyższa niż na otaczającym je terenie niezurbanizowanym. Powoduje to tzw. efekt miejskiej wyspy ciepła, która jest skutkiem nagrzewania się powierzchni betonowych, asfaltowych i stalowych. Jednym z rozwiązań, które mogą przyczynić sie do zmniejszenia tego zjawiska są zielone dachy. Celem pracy była analiza zmian temperatury na różnie zagospodarowanych powierzchniach dachu (deska, substrat dachowy intensywny, bez okrywy roślinnej, z roślinami (krzewy liściaste –tawuły). Badania prowadzono na terenie zielonego dachu budynku Wydziału Neofilologii Uniwersytetu Warszawskiego. Pomiar temperatury radiacyjnej wykonywano stosując system termowizyjny Flir SC620. Przeprowadzone badania wykazały, że najmniejsze różnice średniej temperatury pomiędzy powierzchnią pokrytą roślinnością a tarasem wyniosły 1,9°C (w godzinach porannych), natomiast największe 16°C (w godzinach południowych). Pomiary wykonane na powierzchni bez roślin (substrat dachowy) wykazały, że średnia temperatura radiacyjna mieści się pomiędzy średnimi temperaturami z tarasu i krzewów. Uzyskane wyniki porównano z danymi meteorologicznymi (temperatura powietrza, predkośc wiatru).

Słowa kluczowe: zielony dach, kamera termowizyjna, temperatura radiacyjna

Summary

In the cities, the temperature may be a few or even several degrees higher than the surrounding area. The result is called" urban heat island effect" which is due to heating of the surface of concrete, asphalt and steel. One of the solutions that can help reduce this phenomenon are green roofs. The aim of the study was the analysis of temperature changes of different roof surfaces (board, intensive roof substrate without plant cover, substrate covered with plants (shrubs – tawuły). The study was conducted on the roof of the building of the Faculty of Modern Languages, University of Warsaw. The measurement was performed using the FLIR SC620 thermal imaging system. The study showed that the smallest differences in average temperature between the surface covered with vegetation and a terrace amounted to 1,9°C (in the morning), while the largest reached 16 °C. The measurements made on the substrate without plants showed that the average radiation temperature is between the average temperatures from the terrace and shrubs. The results were discussed with the meteorological data (air temperature, wind speed).

Key words: *green roof, thermal imaging, radiation temperature*

WSTĘP

Zwarta zabudowa miast charakteryzuje się negatywnym wpływem na środowisko, który w efekcie prowadzi do zwiększenia ryzyka wystąpienia powodzi, zanieczyszczenia wód powierzchniowych, zmian miejskiego klimatu oraz zwiększonego zużycia wody i energii (Schmidt 1992). Przeciwdziałanie nagrzewaniu się miast wymaga niestandardowych rozwiązań, zarówno technologicznych, finansowych czy administracyjnych. Oprócz sadzenia drzew, aby przynajmniej częściowo zacieniały budynki i ulice, można także zakładać zielone dachy, czyli „uprawiać" na dachach budynków ogródki lub trawniki. Aby ochłodzić miasta można stosować na powierzchni dachów, dróg i chodników specjalne materiały odbijające promieniowanie cieplne. Tego typu rozwiązania z powodzeniem realizowane są m.in. w Ameryce Północnej (Zieliński i in. 2010) Oprócz łagodzenia klimatu miejskiego dachy pokryte zielenią zaliczane są do zrównoważonych systemów odwadniających SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), których głównym zadaniem jest odtworzenie w największym możliwym stopniu naturalnej infiltracji i retencji oraz kontrola ilości i jakości odpływu z terenów zabudowanych (Burszta-Adamiak 2010). Innym pozytywnym aspektem budowania zielonego dachu są jego walory estetyczne oraz poprawa mikroklimatu. Zieleń na dachu budynku mieszkaniowego, biurowego,

czy na płycie parkingu podziemnego pozytywnie wpływa na samopoczucie mieszkańców miasta.

W pracy zastosowano kamerę termowizyjną do określenia zmian temperatury powierzchni różnie użytkowanych na zielonym dachu budynku Neofilologii Uniwersytetu Warszawskiego. Zaletą metody termograficznej jest możliwość jednoczesnej analizy rozkładu temperatury radiacyjnej dużych obszarów (Mularz i Wróbel 2003). Wykonane pomiary porównano z danymi meteorologicznymi (temperatura powietrza, prędkość wiatru, radiacja słoneczna).

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Obiekt badań stanowił zielony dach Wydziału Neofilologii Uniwersytetu Warszawskiego (fot. 1). Analizie poddano powierzchnie pokryte roślinnością – tawuły, substratem, deskami ryflowanymi.

Fotografia 1. Zielony dach na budynku Neofilologii Uniwersytetu Warszawskiego (www.targeo.pl).
Photo 1. Green roof on the building of Modern Languages, University of Warsaw (www.targeo.pl).

Pomiar temperatury radiacyjnej mierzono stosując system termowizyjny Flir SC620 pracujący w zakresie 7,5-13µm. Poszczególne zobrazowania reje-

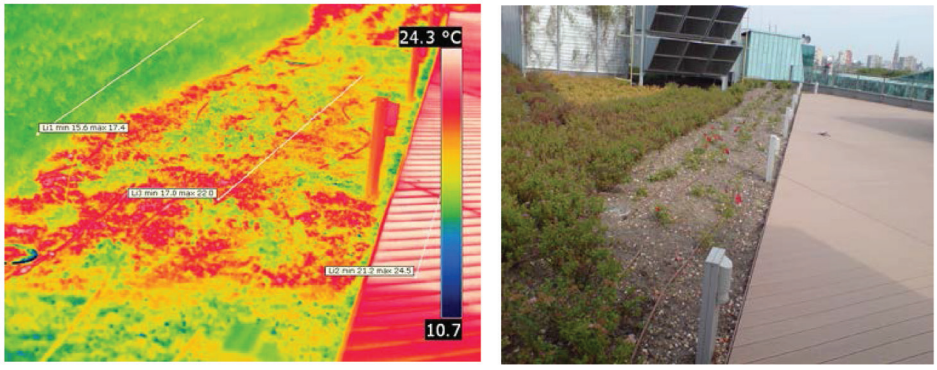
strowano na karcie pamięci. Pomiary wykonano z utrzymując kamerę na wysokości 1 m nad analizowanymi powierzchniami. Termogramy zarejestrowane w sposób numeryczny analizowano przy użyciu programu FLIR QuickReport 1.2. Obliczono temperatury uwzględniając korekcje:

- rzeczywistego współczynnika emisyjności (współczynnik emisyjności dla gleb jak i dla pokrywy roślinnej wynosi 0,95),
- wpływu promieniowania otoczenia (jako temperaturę otoczenia przyjęto temperaturę powietrza, ponieważ otoczenie jest jednakowe dla całego obszaru testu, to jego wpływ nie obarcza zróżnicowania poszczególnych fragmentów pola testowego (Mularz i Wróbel, 2003).

Celem porównania temperatur radiacyjnych na trzech różnie użytkowanych powierzchniach wyznaczono proste wzdłuż analizowanych obszarów (193 punkty). Rozmieszczenie pomiaru temperatury przedstawiono na fot. 2. Porównanie przeprowadzono dla pomiaru wykonanego w dniu 19.09.2014 godz. 10.50. Kolejną analizę przeprowadzono zestawiając wyliczone średnie arytmetyczne z 193 punktów dla 3 powierzchni w różnych odstępach czasowych. Uzyskane średnie porównano z temperaturą powietrza, prędkością wiatru, radiacją słoneczną.

WYNIKI BADAŃ

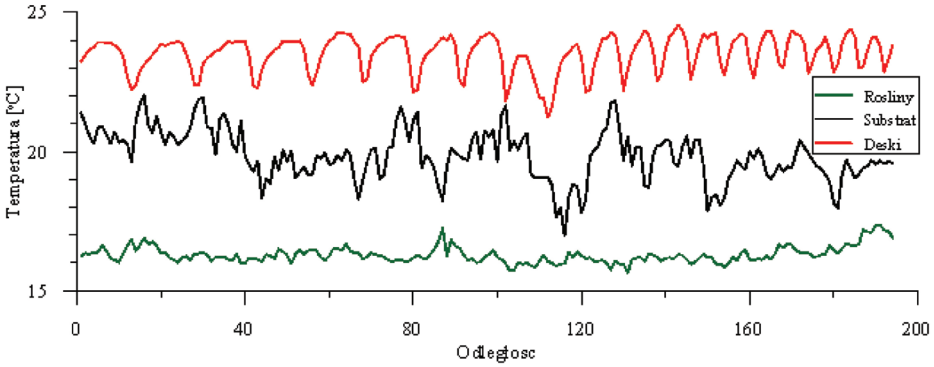
W wyniku przeprowadzonej analizy rozpoznano wyraźną zależność pomiędzy temperaturą powierzchni a rodzajem użytkowania terenu, wynikającą ze zróżnicowania właściwości cieplnych różnych rodzajów powierzchni (fot. 2).



Fotografia 2. Zdjęcie termowizyjne i cyfrowe 19.09.2014.
Photo 2. Thermal and digital image 19.09.2014.

Badania wykonane 19.09.2014 roku o godzinie 10.50 wykazały, że różnica pomiędzy średnimi wartościami powierzchniowej temperatury roślin a substra-

tem wyniosła 3,58°C (rys. 1, tab. 1), natomiast różnica pomiędzy temperaturą roślin a temperaturą desek wyniosła 7,23 °C. Temperatura powietrza wyniosła 17 °C i była o 0,7°C wyższa od średniej temperatury roślin.



Rysunek 1. Wartości temperatury różnie użytkowanych powierzchni zielonego dachu.
Figure 1. The temperatures used differently surface of the green roof.

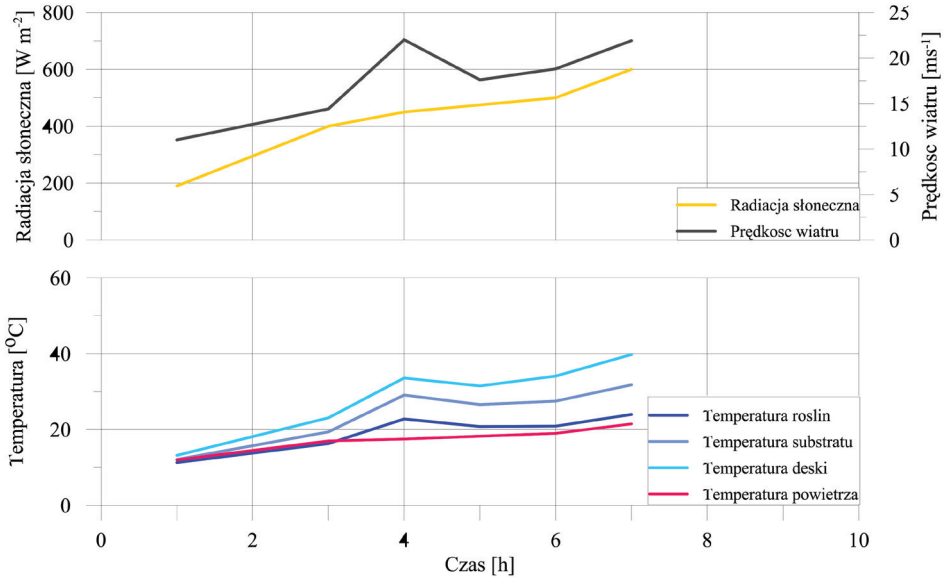
Wartości odchylenia standardowego (tab. 1) świadczą o małej zmienności w przypadku roślin (SD – 0,3), największe uzyskano w przypadku substratu może być to związane z nierównomiernym nagrzewaniem substratu oraz miejscami porośniętymi pojedyńczymi roślinami.

Tabela 1. Podstawowe statystyki temperatury powierzchni róznie użytkowanych na zielonym dachu.
Table 1. Basic statistics used differently surface temperature on a green roof.

Materiał	Min.	Max.	Max.-min.	Średnia	Odchylenie std.
Rośliny	15,64	17,37	1,73	16,29	0,30
Substrat	16,99	22,02	5,03	19,87	0,91
Deski	21,22	24,56	3,45	23,52	0,66

Wstępne badania przeprowadzone przy zmiennych warunkach meteorologicznych wykazały, że (rys. 2) przy temperaturze powietrza poniżej 20°C i radiacji słonecznej poniżej 400 Wm^{-2} temperatura radiacyjna roślin jest zbliżona do temperatury powietrza. Natomiast przy wzroście radiacji słonecznej wzrasta temperatura wszystkich powierzchni. Największe zmiany temperatury zaobserwowano w przypadku desek ryflowanych, najmniejsze w roślinach. Wzrost promieniowania cieplnego, powoduje wyższą temperaturą powierzchni utwardzo-

nych (np. deski) wiąże się to z i ich zdolnością do akumulowania ciepła Badania porównania temperatury na zielonych dachach i dachach tradycyjnych prowadzone przez wielu autorów (Köhler i Schmidt 2002, Rosenzweig i in. 2006, Walawander 2015), wykazały znaczne zróżnicowanie nagrzewania się powierzchni.



Rysunek 2. Zmiany temperatury na powierzchniach różnie użytkowanego dachu zielonego w podczerwieni na tle warunków meteorologicznych.
Figure 2. Variation of the temperature on the different used surfaces on the background of meteorological parameters.

Badania prowadzone w Nowym Jorku (Rosenzweig i in. 2006) wykazały, że w upalne letnie popołudnie temperatura powierzchni dachu standardowego może być nawet o 40 °C wyższa od temperatury powierzchni dachu zielonego. Średnio (pomiary prowadzone w lipcu 2003) temperatura powierzchni dachu standardowego była wyższa o 19 °C w ciągu dnia i niższa o 8 stopni nocą od powierzchni dachu zielonego.

Walawender (2015) przeprowadził badania na terenie Krakowa, które wykazały, że temperatura dachu zielonego była niższa od temperatury dachów zabudowy staromiejskiej o ok 8-10°C i aż ok. 20°C od dachu centrum handlowego. Temperatura powierzchni dachu zielonego była zbliżona do temperatury zieleni miejskiej (Plant).

Jednym ze skutków nagrzewania się powierzchni dachowych jest podwyższona temperatura wewnątrz budynków co prowadzi do dyskomfortu termicznego lub zwiększonych nakładów energetycznych na klimatyzację. Według pomia-

rów, przeprowadzonych przez Köhlera i Schmidta (2002) na terenie UFA Fabrik w Berlinie, 58% bilansu radiacyjnego jest wykorzystywane przez ekstensywne „dachy zielone" na ewapotranspirację w miesiącach letnich. Średnie roczne wykorzystanie energii wynosi 81%, co oznacza, że uzyskana wartość chłodzenia wynosi 302 kWh/(m^2 rok^{-1}) przy wartości bilansu promieniowania 372 kWh/(m^2 rok^{-1}). Autorzy wykazali, że logicznym rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie komfortowej temperatury powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynków jest zazielenienie ich fasad oraz dachów. W ten sposób energia słoneczna jest zużywana na ewapotranspirację roślin. Poprzez zużycie mniejszej ilości energii, zmniejszamy emisję CO_2 do atmosfery, co dodatkowo wpływa na finanse (wg ceny uprawnień do emisji CO_2 to ok. 30 euro za tonę). Należy również pamiętać, że prawidłowo wykonany dach zielony wydłuża funkcjonalność dachu, chroniąc go przed promieniowaniem UV oraz ekstremalną temperaturą.

W polskich miastach wyspa ciepła, czyli różnica temperatur pomiędzy terenem miejskim i poza miejskim, osiąga zwykle od 5 do 8°C, choć w dużych miastach może osiągać nawet 12°C (Kłysik 1998). Tereny zielone to enklawy chłodu i wilgoci, ale żeby mogły poprawić warunki termiczne powinny okrywać minimum połowę powierzchni miasta. Zieleń na 50% powierzchni dachów jest wstanie obniżyć efekt miejskiej wyspy ciepła o 0,8°C (dachy ekstensywne) do 2°C (dachy nawadniane) (Bass 2002).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zielone ściany i dachy są nie tylko atrakcją terenów zurbanizowanych, ale też izolują budynki przed zimnem i gorącem, co pomaga oszczędzać energię i tym samym zmniejsza ślad ekologiczny miast. Przeprowadzone wstępne badania temperatury radiacyjnej różnie użytkowanych powierzchni zielonego dachu wykazały, że średnia różnica temperatur pomiędzy pokryciem roślinami a zagospodarowaniem deskami ryflowanymi wyniosła 7,23°C. Substrat dachowy (bez roślinności) również miał temperaturę niższą o 3,65°C. Wzrost radiacji słonecznej o 450 Wm^{-2} spowodował wzrost temperatury radiacyjnej roślin o 5,2°C, substratu 10°C, desek reflowanych13,6°C.

Wprowadzanie na szerszą skalę zielonych dachów jest jedną ze strategii przeciwdziałania negatywnym skutkom klimatu miasta przede wszystkim w zakresie powstrzymania efektu miejskiej wyspy ciepła co znacząco przyczynia się do poprawy jakości życia mieszkańców.

PODZIĘKOWANIA

W pracy wykorzystano aparaturę będącą na wyposażeniu Pracowni Nawodnień i Odwodnień Centrum Wodne SGGW.

LITERATURA

Burszta-Adamiak (2010) Retencja wód opadowych na dachach zielonych w warunkach wrocławskich. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Nr. 3, 21-24.

Bass, B., Krayenhoff, S., Martilli, A., Stull, R. (2002) Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. In: Urban Heat island summit: Mitigation of and Adaptation to Extreme summer Heat, 2002, 1–4 May 2002, Toronto, 10 pp.

Karczmarczyk, A., Baryła, A., Charazińska, P., Bus, A., Frąk, M. (2012) Influence of the green roof substrate on runoff quality. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 03/III, 7-15.

Kłysik K. (1998) Struktura przestrzenna miejskiej wyspy ciepła w Łodzi, Acta. Univ. Lodz, Folia Geogr. Phys., 3, 385–391.

Köhler M., Schmidt M., Grimme F.W., Laar M., Gusmão F. (2001) Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate. IFLA-Congress, Singapore.

Köhler M., Schmidt M. (2002) Roof-greening, annual report (Jahrbuch Dachbegrünung). Thalacker, Braunschweig, pp. 28 – 33 ISBN 3-87815-179-9.

Mularz S., Wróbel A. (2003) Badanie rozkładu temperatury powierzchni terenu z wykorzystaniem zobrazowań termowizyjnych.

Rosenzweig, C., S. Gaffin, and L. Parshall (Eds.), (2006) Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies.

Schmidt, M. (1992) Extensive greened roofs to improve the urban climate (Extensive Dachbegrünung als Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas). Master, TU Berlin, 75 p.

Walawender J.P. (2015) Wpływ dachów zielonych na warunki klimatyczne w mieście, portal Zielona Infrastruktura (http://zielonainfrastruktura.pl).

Zieliński K., Monczyńska Ę., Monczyński B. (2010) Wpływ pokryć dachowych o wysokiej refleksyjności na zużycie energii w budynku. Dachy, nr 2 (122) 2010.

Anna Baryła, Agnieszka Karczmarczyk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
Agnieszka_baryla@sggw.pl

Barbara Siedlicka
Uniwersytet Warszawski

Wpłynęło: 9. 03.2015
Akceptowano do druku: 15.10.2015