

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2017), 26 (1), 66–74
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2017), 26 (1)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2017), 26 (1), 66–74
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2017), 26 (1)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.1.06

Daniel SZEJBA, Jan SZATYŁOWICZ, Tomasz GNATOWSKI

Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Department of Environmental Improvement, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Bilans wodny zielonego dachu na przykładzie obiektu w dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy Water balance of a green roof on the example of object in the Ursynów district of the Capital City Warsaw

Słowa kluczowe: zielony dach, retencja wody, ewapotranspiracja

Key words: green roof, water retention, evapotranspiration

Wprowadzenie

Pojęcie zielonego dachu definiowane jest jako otwarta, porośnięta roślinnością powierzchnia, oddzielona od powierzchni gruntu poprzez budowlę bądź inną konstrukcję inżynierską. Zielone dachy mogą być konstruowane pod powierzchnią terenu, na jego poziomie lub ponad nim (Rabiński i in., 2013). Mogą to być konstrukcje wielowarstwowe, a każda z warstw pełni ważną funkcję w całej strukturze. Pierwszą (najniżej położoną) warstwę stanowi hydroizolacja. Na niej położona jest warstwa drenażowa, której zadaniem jest odprowadzenie nadmiaru wody do systemu kanalizacji deszczowej.

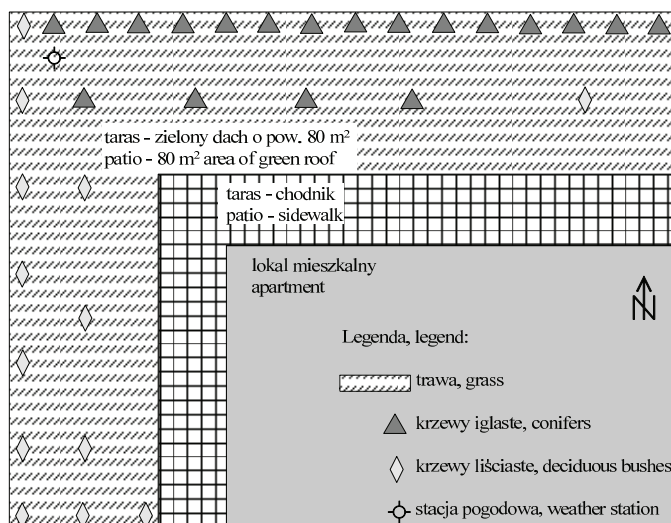
Nad nią znajduje się warstwa filtracyjna chroniąca warstwy znajdujące się poniżej przed przedostawaniem się drobnych frakcji z podłoża pod rośliny (substratu) wraz z wodą opadową. Ostatnią (górną) warstwą jest substrat, którą porasta roślinność (Burszta-Adamiak i in., 2014). Zielone dachy na obszarach zurbanizowanych mają wiele zalet, z których warto wymienić ich pozytywny wpływ na ukształtowanie środowiska przyrodniczego poprzez np. redukcję zanieczyszczeń powietrza. W pewnym stopniu przyczyniają się one również do zwiększania liczebności i różnorodności gatunków roślin oraz stwarzają warunki do zwiększania populacji różnych gatunków owadów i ptaków (Małuszyńska i in., 2014). Z hydrologicznego punktu widzenia powierzchnie nieprzepuszczalne są poważnym problemem na obszarach zurbanizowanych. Wody opadowe zamiast infiltrować

i być retencjonowane w glebie spływają po powierzchni utwardzonej i trafiają do systemów kanalizacji deszczowej. W konsekwencji tego poziom wód gruntowych ulega obniżeniu, jak również zmianie ulega miejski mikroklimat. Ponadto podczas gwałtownych lub intensywnych opadów dochodzi do podtopień, co jest spowodowane przyspieszonym spływem powierzchniowym oraz niewydolnością systemów odwodnieniowych lub zbyt małą przepustowością odborników ścieków. W wielu przypadkach ścieki z kanalizacji deszczowej odprowadzane są bezpośrednio do rzek, innych cieków lub przepływowych zbiorników wodnych, wpływając negatywnie na jakość ich wód oraz powodując przyspieszenie przejścia fali wezbraniowej i zwiększenie szczytu wezbrania (Carter i Rasmussen, 2006; Hilten i in., 2008; Burszta-Adamiak, 2014). Bezpośredni odpływ wód opadowych można spowalniać i redukować wykonując na obszarach

zurbanizowanych zielone dachy (Villarreal i Bengtsson, 2005; Bogacz i in. 2013). Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników badań dotyczących retencji wodnej zielonego dachu na przykładzie obiektu położonego w dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy.

Material i metodyka

Obiektem badawczym był taras przynależący do lokalu mieszkalnego. Taras ten jest fragmentem zielonego patio będącego częścią jedenastopiętrowego bloku, położonego w południowej części dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy, w sąsiedztwie stacji metra Kabaty. Patio położone jest na poziomie pierwszego piętra, na dachu garaży oraz lokali użytkowych położonych na poziomie 0. Poglądowy plan tarasu będącego przedmiotem badań przedstawiono na rysunku 1. Konstrukcja zielonego dachu na rozpatrywanym tarasie ma powierzchnię 80 m².



RYSUNEK 1. Poglądowy plan obiektu badawczego
 FIGURE 1. The illustrative scheme of a research facility

Na żelbetowej powierzchni dachu rozłożona jest folia izolacyjna, na której znajduje się geowłóknina. Na powierzchni dachu zainstalowane są odpływy, odprowadzające nadmiar wody do kanalizacji deszczowej. Wierzchnią warstwę zielonego dachu stanowi podłoże dla roślin o średniej miąższości 25 cm. Jest to substrat będący mieszanką torfu, piasku i keramzytu o trudnych do określenia proporcjach ze względu na brak materiału źródłowego. Widok zielonego dachu wraz z profilem substratu glebowego przedstawiono na rysunku 2.

Rozpatrywany obiekt zalicza się do intensywnych zielonych dachów (Stanowski, 2007; Karczmarczyk i in. 2012; Kania i in. 2013). Powierzchnia tarasu porośnięta jest mieszanką traw o następującym składzie: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*) 45%, życica trwała (*Lolium perenne*) 25%, kostrzewa owcza (*Festuca ovina*) 20% oraz wiechlina łąkowa (*Poa pratensis*) 10%. Na tarasie posadzono iglaste i liściaste krzewy oraz drzewka. Wzdłuż północnego ogrodzenia rośnie cis kolumnowy (*Taxus*

baccata ‘Fastigiata Aurea’). Na części tarasu od strony północnej rosną: świerk srebrzysty (*Picea pungens*), sośnica japońska (*Sciadopitys verticillata*), jodła karłowata (*Abies koreana* ‘Aurea’) oraz modrzew (*Larix*). Po stronie zachodniej tarasu znajdują się następujące krzewy liściaste: róże pienne i pnące (*Rose*), lilak (*Syringa*), hortensja (*Hydrangea*) oraz wierzba zwisająca (*Salix integra* ‘Pendula’).

Badania składowych bilansu wodnego prowadzono od 1 kwietnia do 30 września 2008 roku. Na tarasie zainstalowano stację meteorologiczną firmy Conrad typ WS 555, rejestrującą wybrane dobowe dane meteorologiczne: maksymalna i minimalna temperatura powietrza, maksymalna i minimalna wilgotność względna powietrza, prędkość wiatru oraz sumy opadów atmosferycznych. Deszczomierz korytkowy o rozdzielczości 0,2 mm zainstalowano na wysokości 1,5 m, w odległości 6 m od ściany budynku. W okresie pomiarów roślinność trawiasta zielonego dachu była koszona do wysokości około 5 cm,



RYSUNEK 2. Widok obiektu badawczego oraz profil substratu glebowego
FIGURE 2. View of the experimental site and the profile of soil substrate

w zależności od jej przyrostu, co 7–20 dni. W okresach suchych roślinność była nawadniana wodą wodociagową za pomocą ciśnieniowego systemu nawadniającego wyposażonego w zraszacz sektorowy bliskiego zasięgu o napędzie sprężynowo-młoteczkowym. Wykonano w sumie siedem nawodnień (trzy w maju, trzy w czerwcu oraz jedno w lipcu). Dla każdego nawodnienia dawka polewowa brutto wynosiła $9 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$.

Do obliczania bilansu wodnego wykorzystano model bilansowy GreenRoof opracowany przez Raesa i innych (2006). Koncepcja modelu zakłada, że ilość wody zatrzymywana na dachu i odpływająca w formie spływu powierzchniowego jest obliczana dla kolejnych dób w okresie obliczeniowym zadany przez użytkownika. Zretencjonowana woda deszczowa oraz pochodząca z nawodnienia jest zużywana w procesie ewapotranspiracji. W skład danych wejściowych do modelu wchodzi zbiory zawierające dobowe dane dotyczące opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji wskaźnikowej, jak również zbiór z parametrami dachu, takimi jak: pole powierzchni, rodzaj powierzchni, położenie względem stron świata, spadek, miąższość i właściwości retencyjne podłoża. Ilość wody docierająca na dach (W_{IN}) w formie opadu atmosferycznego i nawodnienia obliczana jest z następującej zależności (Raes i in., 2006):

$$W_{IN} = P \cdot \Omega \cdot \cos\left(\frac{X \cdot \pi}{180}\right) \cdot (1 + a_{rain} \cdot X)$$

gdzie:

P – dobowy opad atmosferyczny [mm],
 Ω – powierzchnia dachu [m^2],
 X – spadek dachu [$^\circ$],

a_{rain} – parametr zależny od położenia dachu i lokalnych warunków wietrznych [-].

W rozpatrywanym przypadku spadek dachu wynosił 0° .

Objętość odpływu wody (W_{RO}) obliczana jest według wzoru (Raes i in., 2006):

$$W_{RO} = W_{IN} - (W_{Smax} - W_{Sact})$$

gdzie:

W_{Smax} – maksymalna objętość wody, jaka może być zretencjonowana przez dach [dm^3],

W_{Sact} – aktualna objętość wody retencjonowana przez dach [dm^3].

Wartość W_{Sact} jest aktualizowana w kroku czasowym w zależności od ilości wody docierającej do dachu (W_{IN}) oraz ilości wody ubywającej w procesie ewapotranspiracji (W_{ET}), która obliczana jest według następującej zależności (Raes i in., 2006):

$$W_{ET} = \Omega \cdot k_s \cdot k_c \cdot ET_0$$

gdzie:

Ω – powierzchnia dachu [m^2],

k_s – współczynnik glebowy [-],

k_c – współczynnik roślinny [-],

ET_0 – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm].

Ewapotranspirację wskaźnikową dla badanego okresu (od 1 kwietnia do 30 września 2008 r.) obliczono rekomendowaną przez FAO metodą Penman-Monteitha (Allen 1998) według algorytmu przedstawionego przez Szejbę (2012):

$$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \cdot R_n' + \frac{\gamma'}{\Delta + \gamma'} \cdot E_a$$

gdzie:

Δ – nachylenie krzywej ciśnienia pary wodnej [$\text{kPa}\cdot\text{°C}^{-1}$],

γ' – zmodyfikowana stała psychrometryczna [$\text{kPa}\cdot\text{°C}^{-1}$],

R_n – czynnik radiacyjny [$\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$],

E_a – czynnik aerodynamiczny [$\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$].

Ewapotranspirację potencjalną można obliczyć przy zastosowaniu metody współczynników roślinnych, mnożąc ewapotranspirację wskaźnikową przez współczynnik roślinny (k_c) (Roguski i in., 1988; Allen i in., 1998). W badaniach przyjęto wartość współczynnika roślinnego (k_c) dla trawy równą jedności. Wynika to z faktu, że trawa była regularnie koszona, a przez to odpowiadała warunkom hipotetycznego trawnika o jednolitej wysokości trawy wynoszącej 12 cm, stałej rezystencji pokrywy roślinnej równej $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$, stałym albedo równym 0,23 i warunkom aktywnego wzrostu (Feddes i Lenselink, 1994). Wartość współczynnika glebowego (k_s) była bezpośrednio wyznaczana przy użyciu modelu GreenRoof zgodnie z koncepcją Allena i innych (1998) w zależności od dostępności wody dla roślin i zmieniała się w przedziale od 1 do 0.

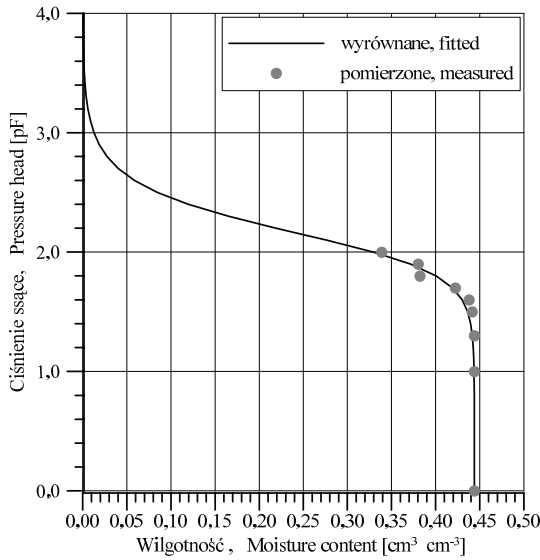
Zdolności retencyjne podłoża glebowego zostały określone przez pomiar krzywej retencyjności wodnej (krzywa pF) opisującej zależność między ciśnieniem ssącym i wilgotnością substratu. Krzywa pF została opracowana na podstawie pomiarów wartości sumarycznego odpływu wody z próbki substratu glebowego przy zastosowaniu aparatury laboratoryjnej Equi-pF (Szejba i in., 2013). Dane pomiarowe krzywej retencyjności wodnej zostały opisane funkcją Van Genuchtena (1980) i wyrównane z wykorzystaniem programu optymalizacyjnego

RETc (Van Genuchten i in., 1991). Do przeprowadzenia optymalizacji zadano następujące parametry początkowe: wilgotność przy stanie pełnego nasycenia $\theta_s = 0,44$, wilgotność resztkowa $\theta_r = 0$, parametry kształtu α , n odpowiednio 0,0083 i 2,6723.

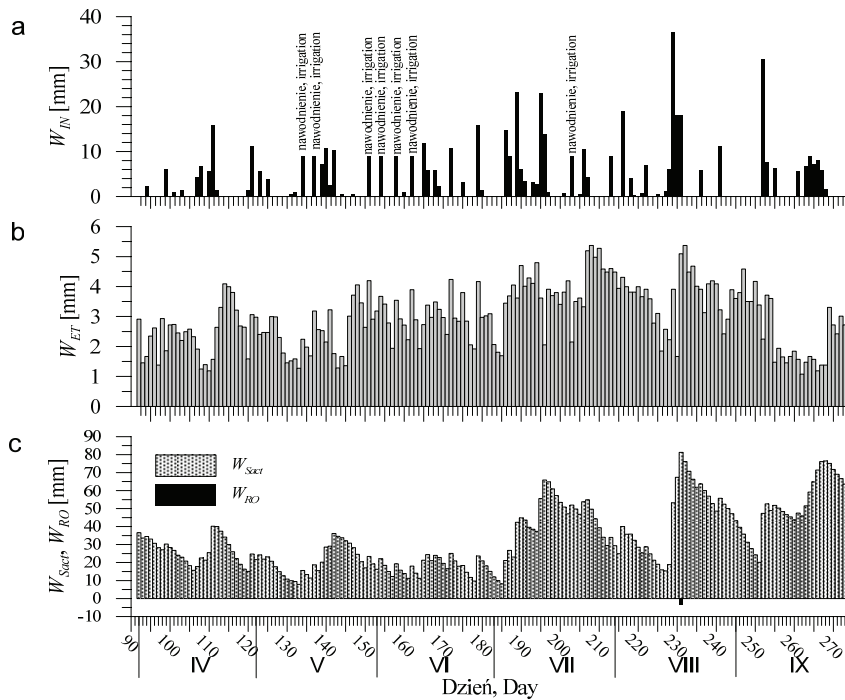
Wyniki i dyskusja

Dysponując krzywą retencyjności wodnej (rys. 3), określono ilość wody dostępnej dla roślin (32,5%) reprezentującą różnicę między wilgotnością odpowiadającą połowej pojemności wodnej ($pF = 2$) i wilgotnością punktu trwałego wędnięcia roślin ($pF = 4,2$). Jak wynikało z przeprowadzonych wcześniej obliczeń wykonanych w programie RECT, wilgotność dla punktu trwałego wędnięcia roślin była bliska zeru. Na podstawie określonej wartości wody dostępnej dla roślin oraz danej miąższości substratu równej 25 cm obliczono maksymalną objętość wody, jaka może być retencjonowana przez dach (W_{Smax}), która w przeliczeniu na 1 m^2 dachu wyniosła $81,25 \text{ dm}^3$.

Wykorzystując model GreenRoof, przeprowadzono obliczenia bilansu wodnego rozpatrywanego zielonego dachu w dobowym kroku czasowym. Wielkości opadów atmosferycznych i dawek nawodnieniowych (W_{IN}), ewapotranspiracji (W_{ET}), aktualnej objętości wody retencjonowanej przez dach (W_{Sact}) oraz objętości odpływu wody (W_{RO}) przedstawiono na rysunku 4. Przedstawione na tym rysunku składowe bilansu wodnego wyrażono w mm słupa wody poprzez przeliczenie jednostek objętości na powierzchnię 1 m^2 zielonego dachu.



RYSUNEK 3. Krzywa retencyjności wodnej badanego substratu glebowego
 FIGURE 3. Soil water retention curve of the substrate



RYSUNEK 4. Dobbowe wielkości składowych bilansu wodnego zielonego dachu: (a) opadów atmosferycznych i dawek polewowych (W_{IN}), (b) ewapotranspiracji (W_{ET}), (c) aktualnej retencji wodnej zielonego dachu (W_{Sact}) i odpływów wody (W_{RO}) w okresie wegetacji w 2008 roku
 FIGURE 4. Daily values of green roof water balance components: (a) rainfall and irrigation dozes (W_{IN}), (b) evapotranspiration (W_{ET}), (c) actual water retention of the roof (W_{Sact}) and water outflow (W_{RO}) during vegetation period in 2008

Suma opadów w rozpatrywanym okresie wyniosła 506,7 mm. Najmniejszą sumę opadów zanotowano w maju: 43,5 mm, czyli poniżej średniej dla Warszawy wynoszącej 58 mm (Kossowska-Cezak, 2000). Znaczącego opadu nie notowano od 22 maja, aż do 13 czerwca. W czerwcu suma opadów równa 58,9 mm była także mniejsza od średniej z wielolecia (71 mm), dlatego też w okresach suchych wprowadzono w sumie 63 mm wody w postaci nawodnienia. Pomimo to, aktualna objętość wody retencjonowanej przez dach systematycznie spadała, osiągając 12 czerwca wartość nieco ponad 9 mm. Skutkiem tego zjawiska było silne ograniczenie ewapotranspiracji rzeczywistej, której wartości w pierwszej dekadzie czerwca spadła do niespełna $2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$.

W lipcu i sierpniu miały już miejsce bardzo duże opady, których sumy wyniosły odpowiednio 126,2 i 129,6 mm. Wartości te przewyższyły średnie z wielolecia dla tych miesięcy o około 100%. Zastosowany substrat miał niewielką wilgotność, dlatego woda pochodząca z opadów została niemalże w całości zretencjonowana. Odpływ pojawił się 18 sierpnia i wyniósł 3,5 mm. Po intensywnych opadach w sierpniu znacznie wzrosła wartość ewapotranspiracji rzeczywistej, osiągając wartości około $5,5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. Także we wrześniu sumaryczny opad przekroczył blisko o 100% wartość średnią z wielolecia i wyniósł 85,9 mm. Poza jednym wyjątkiem, który zaobserwowano w sierpniu, wody opadowe zostały w całości zretencjonowane przez substrat. Wartość ewapotranspiracji rzeczywistej w rozpatrywanym sezonie wegetacyjnym wyniosła 543,5 mm. Retencja wody dostępnej dla roślin na koniec września wyniosła 60,2 mm.

Wnioski

Zielony dach na obiekcie badawczym Ursynów w rozpatrywanym okresie wegetacyjnym 2008 roku zretencjonował blisko 100% wody pochodzącej z opadów. Zasoby wody glebowej użyte w procesie ewapotranspiracji wyniosły 543,5 mm, co stanowi rzeczywistą pojemność retencyjną zielonego dachu w okresie wegetacji. Odpływ do kanalizacji deszczowej miał miejsce jeden raz w ciągu całego sezonu i wyniósł 3,5 mm. Przypadek ten wystąpił w sierpniu, kiedy to w ciągu pięciu kolejnych dni spadło blisko 80 mm opadu. Przeprowadzone badania wykazały, że zielone dachy na terenach zurbanizowanych obok funkcji estetycznych, rekreacyjnych i ekologicznych pełnią bardzo ważną funkcję w procesach hydrologicznych. Przechwytyują wodę pochodzącą z opadów atmosferycznych, redukując tym samym jej spływ do kanalizacji deszczowej.

Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. i Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56.
- Bogacz, A., Woźniczka, P., Burszta-Adamiak, E. i Kolasińska, K. (2013). Metody zwiększania retencji wodnej na terenach zurbanizowanych. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 22(1), 27-35.
- Burszta-Adamiak, E. (2014). *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odwadniających na terenach zurbanizowanych*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Burszta-Adamiak, E., Łomotowski, J. i Wiercik, P. (2014). Zielone dachy jako rozwiązania poprawiające gospodarkę wodami opadowymi.

- mi w miastach. *Inżynieria Ekologiczna*, 39, 26-32, doi: 10.12912/2081139X.47.
- Carter, T.L. i Rasmussen, T.C. (2006). Hydrologic behavior of vegetated roofs. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(5), 1261-1274, doi: 10.1111/j.1752-1688.2006.tb05299.x.
- Feddes, R.A. i Lenselink, K.J. (1994). Evapotranspiration. W: H.P. Ritzema (red.), *Drainage Principles and Application* (s. 145-173). ILRI, Publication 16, Second Edition. The Netherlands: Wageningen.
- Hilten, R.N., Lawrence, T.M. i Tollner, E.W. (2008). Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. *Journal of Hydrology*, 358(3), 288-293, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.06.010.
- Kania, A., Mioduszevska, M., Płonka, P., Rabiński, J.A., Skarzyński, D., Walter, E. i Weber-Siwirska, M. (2013). *Zasady projektowania i wykonywania zielonych dachów i żyjących ścian*. Poradnik dla gmin. Kraków: Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”.
- Karczmarczyk, A., Baryła, A., Charazińska, P., Bus, A. i Frąk, M. (2012). Wpływ substratu dachu zielonego na jakość wody z niego odpływającej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 7-15.
- Kossowska-Cezak, U. (2000). *Meteorologia i klimatologia. Pomiar, obserwacje, opracowania*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Małuszyńska, I., Caballero-Frączkowski, W.A. i Małuszyński, M.J. (2014). Zielone dachy i zielone ściany jako rozwiązania poprawiające zdrowie środowiskowe terenów miejskich. *Inżynieria Ekologiczna*, 36, 40-52, doi: 10.12912/2081139X.04.
- Rabiński, J., Walter, E., Weber-Siwirska, M. i Mioduszevska, M. (2013). *Funkcje i zalety zielonych dachów i żyjących ścian. Zasady projektowania i wykonywania zielonych dachów i żyjących ścian*. Poradnik dla gmin. Agencja Reklamowo-Wydawnicza „Ostoja”.
- Raes, D., Timmerman, A., Hermy, M. i Mentens, J. (2006). *GreenRoof – water balance model*. K.U. Leuven University, Faculty of Bioscience Engineering, Division of Soil and Water Management, Leuven, Belgium.
- Roguski, W., Sarnacka, S. i Drupka, S. (1988). *Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych*. Materiały Instruktażowe 66. Falenty: Wydawnictwo IMUZ.
- Stanowski, J. (2007). Zieleń na dachach. *Zieleń Miejska*, 4(7), 36-37.
- Szejba, D. (2012). Evapotranspiration of grasslands and pastures in North-Eastern part of Poland, Evapotranspiration. W: A. Irmak (red.), *Remote Sensing and Modeling* (s. 179-196). InTech Open Access Publisher.
- Szejba, D., Szatyłowicz, J. i Jaczevska, M. (2013). Zastosowanie urządzenia Equi-pf do określenia parametrów retencyjnych i hydraulicznych gleby ciężkiej metodą zadania odwrotnego. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 12(2), 131-142.
- Van Genuchten, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892-898.
- Van Genuchten, M.Th., Leij, F.J. i Yates, S.R. (1991). *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory.
- Villarreal, E.L. i Bengtsson, L. (2005). Response of a *Sedum* green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25(1), 1-7, doi:10.1016/j.ecoleng.2004.11.008.

Streszczenie

Bilans wodny zielonego dachu na przykładzie obiektu w dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników badań dotyczących retencji zielonego dachu na przykładzie obiektu położonego w dzielnicy Ursynów m.st. Warszawy. Obiektem badawczym był fragment zielonego patio zbudowanego z substratu będącego mieszaniną torfu, piasku i keramzytu, o miąższości warstwy 25 cm. Warstwę vegetacyjną zielonego tarasu stanowią darni z mieszanki traw oraz krzewy iglaste i liściaste. Do obliczania składowych bilansu wodnego w okresie vegetacji 2008 roku wykorzystano model bilansowy GreenRoof. Badania wykazały, że rozpatrywany zielony dach zretencjonował ponad 99% wody pochodzącej z opadów.

Summary

Water balance of a green roof on the example of object in the Ursynów district of the Capital City Warsaw. The aim of this study is to present the research results on the water retention of green roof on the example of a facility located in the district of Ursynów, Capital City Warsaw. The experimental site was a fragment of green patio of 25 cm substrate thickness which is a mixture of peat, sand and gravelite. Green roof area is overgrown with a mixture of grasses as well as conifers and deciduous bushes. The components of the water balance during the growing season of 2008 were calculated using the GreenRoof model. Performed studies have shown that the examined green roof retain more than 99% of water from rainfall.

Authors' address:

Daniel Szejba, Jan Szatyłowicz,
Tomasz Gnatowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Kształtowania Środowiska
Zakład Inżynierii Melioracyjnej
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
Poland
e-mail: daniel_szejba@sggw.pl
jan_szatylowicz@sggw.pl
tomasz_gnatowski@sggw.pl