

PAROWANIE WODY ZE ZRASZANEGO DACHU BUDYNKU PRZEMYSŁOWEGO

Wioletta Żarnowiec

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem pracy było określenie ilości wody, która w zróżnicowanych warunkach atmosferycznych może wyparować w rejonie Krakowa z dachu o konstrukcji i materiale stosowanych do pokrycia magazynów. Dla określenia wielkości ewaporacji przeprowadzono badania w okresie IV–X 2011 r., w warunkach odpowiednio zaprojektowanego eksperymentu – w stacji doświadczalnej wyposażonej w dach eksperymentalny zwilżany za pośrednictwem systemu zraszania oraz automatyczną stacją meteorologiczną. Przedstawiono wartości i zmienność ewaporacji wody wraz z podziałem na ewaporację występującą w godzinach dziennych i nocnych dla całego okresu badań oraz miesięcy w okresie badań. Obliczono średnie dobowe oraz godzinowe parowanie wody z dachu. W okresie badań parowanie z dachu budynku przemysłowego było zmienne. W każdym okresie pomiaru suma parowania w godzinach dziennych była kilkakrotnie wyższa od parowania w godzinach nocnych, co ze względów ekonomicznych uzasadnia odparowywanie wody z dachów tylko w ciągu dnia. Przedstawione dane mogą być wykorzystane do szacunkowego określania powierzchni dachowych niezbędnych do wyparowania określonej ilości wody, pod warunkiem zastosowania identycznych rozwiązań konstrukcyjnych dachu i systemu zraszania.

Słowa kluczowe: wody opadowe, parowanie, dach, system zraszania

WSTĘP

Gospodarowanie wodami opadowymi, zgodnie z artykułem pierwszym ustawy regulującej zarządzanie wodami w Polsce [Ustawa... 2001], powinno zmierzać przede wszystkim do ograniczania ich odpływu oraz odprowadzanych wraz z nimi zanieczyszczeń

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Wioletta Żarnowiec, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30–059 Kraków, e-mail: wzarnowiec@ur.krakow.pl.

Niniejsze opracowanie jest syntezą części pracy doktorskiej autorki pt. *Dynamika ewaporacji wody z dachu budynku przemysłowego*.

[Gudelis-Taraszkiewicz 2005, Bogdał i Ostrowski 2007, Nowakowska-Błaszczuk 2007a, 2007b, Chudziak 2008, Ociepa i in. 2009, Bogdał i in. 2012, Burszta-Adamiak 2012a, 2012b, Królikowska i Królikowski 2013, Wałęga i in. 2013]. Systemy odprowadzające wody opadowe zgodnie z powyższą zasadą określa się jako tzw. zrównoważone systemy drenażu. W ich skład wchodzi, obok urządzeń do zbierania oraz transportu i infiltracji wody do gruntu, również urządzenia do retencji i oczyszczania [Geiger i Dreiseitl 1999, Ociepa i in. 2009, Januchta-Szostak 2010, Burszta-Adamiak 2012a].

Oczyszczanie wód opadowych przed ich wprowadzeniem do cieków lub gruntu jest konieczne, gdy pochodzą one z uszczelnionych powierzchni: terenów przemysłowych, obiektów magazynowania i dystrybucji paliw, placów składowych, baz transportowych lub manewrowych, a także niektórych dróg i parkingów itp., ponieważ najczęściej stężenia substancji zanieczyszczających w nich zawartych przekraczają dopuszczalne wartości. W wielu przypadkach odprowadzanie wód z takich obiektów do cieków lub do gruntu, ze względu na ich ilość, złą jakość lub lokalizację jest prawnie ograniczone lub zabronione [Ustawa... 2001, Rozporządzenie ... 2006].

Jedną z metod ograniczających odprowadzanie zanieczyszczeń przez wody spływające z takich powierzchni może być ich odparowywanie do atmosfery z dachów budynków przemysłowych, po uprzednim zmagazynowaniu i podczyszczeniu w zbiorniku retencyjnym, a następnie rozprowadzeniu odpowiednio dobranym systemem zraszania na powierzchni dachu. Parowanie wody z powierzchni płaskiego dachu przemysłowego jak dotąd nie było przedmiotem zainteresowań badaczy, dlatego nie ma danych odnośnie ilości wody, która w zróżnicowanych warunkach atmosferycznych może wyparować z takiego dachu.

Celem pracy jest określenie wartości i zmienności ewaporacji wody ze zraszanego dachu o konstrukcji i materiale wykorzystywanym do pokrycia budynków przemysłowych.

MATERIAŁ I METODY

W pracy, na tle warunków meteorologicznych, analizowano sumy parowania w mm za okres badawczy i w poszczególnych miesiącach z podziałem na godziny nocne i dzienne oraz przedstawiono średnie dobowe i godzinowe wartości parowania.

Badania prowadzono od 9 kwietnia do 13 października 2011 r. na terenie magazynowego centrum logistycznego w Modlniczce k. Krakowa (ryc. 1).

Na potrzeby badań urządzono specjalistyczną stację doświadczalną, w skład której wchodziły: eksperymentalny dach i odpowiednio skonfigurowana stacja meteorologiczna. Parowanie określano na podstawie pomiarów wykonywanych na dachu eksperymentalnym o długości 24,0 m (odpowiadającej rzeczywistej długości jednej połaci dachowej magazynów) i szerokości 3,0 m. Wysokość dachu wahała się od 3,10 do 3,58 m, co wynikało z potrzeby nadania powierzchni dachowej 2% spadku, równego spadkom połaci dachowych na magazynach. Pokrycie dachu eksperymentalnego stanowiła membrana PVC. W skład stacji doświadczalnej wchodziła, tworząca obieg zamknięty, instalacja doprowadzająca, zraszająca i odprowadzająca wodę z dachu wraz z urządzeniami do pomiaru i rejestracji danych. Do pomiaru ilości wody doprowadzanej na dach wykorzystano elektroniczny wodomierz przepływowy, natomiast do pomiaru ilości wody odpły-

wającej z dachu – uchylne korytko pomiarowe. W okresie badań dach zraszano sześcioma mikrozraszczaczami o średnicy dyszy 0,8 mm, wydajności $q_{mz} = 0,023 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ i zasięgu 1,8 m, przy ciśnieniu roboczym $H_z = 1,0 \text{ atm}$. Mikrozraszczacze rozmieszono wzdłuż dłuższej osi dachu w rozstawie 1,5 m, co pozwoliło objąć zraszaniem powierzchnię na ponad $\frac{3}{4}$ długości dachu. Stacja doświadczalna umożliwiała automatyczną rejestrację wyników pomiarów dopływu i odpływu wody z dachu oraz danych meteorologicznych w interwale 30-minutowym. Pomiar ilości dopływu i odpływu wody z dachu odbywał się tylko w okresach bezopadowych. Instalacja doprowadzająca wodę wyposażona była w elektrozawór sterowany czujnikiem z deszczomierza stacji meteorologicznej, zamykający dopływ wody do mikrozraszczaczy z chwilą wystąpienia opadu atmosferycznego. W ciągu jednej godziny na dach wprowadzano około $100 \div 120 \text{ dm}^3$ wody. Podstawę ustalenia grubości warstwy ewaporacji wody w milimetrach stanowiły cotygodniowe pomiary powierzchni zwilżanych przez mikrozraszczacze na dachu eksperymentalnym. W okresie badawczym mikrozraszczacze zwilżały średnio $42,31 \text{ m}^2$, co stanowiło 58,8% powierzchni dachu. W celu ustalenia wartości parowania w ciągu dnia i nocy dokonano rozdziału sum ewaporacji na dzienne i nocne. Rozdziału dokonano na podstawie godzinowych wartości nasłonecznienia (S). Przyjęto, że ewaporacja w godzinach dziennych występowała, gdy wartości $S > 0$.

Warunki meteorologiczne w okresie badań scharakteryzowano na podstawie miesięcznych sum opadów atmosferycznych, nasłonecznienia, średnich miesięcznych temperatur i wilgotności względnych powietrza, prędkości wiatru i ciśnień atmosferycznych notowanych na stacji doświadczalnej, na tle średnich z trzydziestolecia 1971–2000, pozyskanych ze stacji meteorologicznej IMGW w Balicach, położonej najbliżej obiektu badawczego. W celu scharakteryzowania warunków termicznych wykorzystano kryterium według Ziernickiej [2001] dla miasta Krakowa.



Ryc. 1. Położenie centrum logistycznego

Fig. 1. Location of the logistics centre

WYNIKI BADAŃ

W okresie badań (IV–X) suma opadu atmosferycznego wyniosła 392 mm. W miesiącach IV i VII wartości sum opadu przewyższyły średnie z wielolecia, odpowiednio o 18 mm i 63 mm. W pozostałych miesiącach opady były mniejsze od przeciętnych z wielolecia, przy czym wyraźne różnice stwierdzono w VI (70 mm) i IX (49 mm). Nasłonecznienie w okresie badań wyniosło $814,0 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Miesięczne nasłonecznienie przyjmowało wartości z przedziału $48,6 \text{ (X)} \div 160,3 \text{ (V)} \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Nasłonecznienie wyższe od normy wieloletniej zanotowano w miesiącach VIII (o $13,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$) i IX ($13,7 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$). Pozostałe, na tle wielolecia, charakteryzowały się niższymi sumami całkowitego natężenia promieniowania słonecznego. Największe odchylenie sumy miesięcznej od średniej z wielolecia zanotowano w VII. Nasłonecznienie w tym miesiącu było mniejsze od średniej z wielolecia o $39,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Miesiące IV ($10,6^\circ\text{C}$) i VIII ($19,3^\circ\text{C}$) zakwalifikowano jako bardzo ciepłe, IX ($15,3^\circ\text{C}$) – ciepły, a miesiące V (14°C), VI ($18,4^\circ\text{C}$) i VII ($17,7^\circ\text{C}$) oraz X ($8,3^\circ\text{C}$) jako miesiące normalne. Średnie miesięczne temperatury powietrza, niższe od normy wieloletniej, zanotowano tylko w miesiącach VII i X. W pozostałych miesiącach wartości te były wyższe od średnich z wielolecia. W okresie badań średnie miesięczne wilgotności względnej powietrza i ciśnienia atmosferycznego nie wykazywały znacznego zróżnicowania. Największą średnią miesięczną wilgotność zanotowano w X (87%), natomiast najmniejszą w IV (72,3%). Średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne przyjmowało wartości z przedziału $986,8 \text{ hPa} \div 990,7 \text{ hPa}$. Przy czym największe zanotowano w V, a najmniejsze w VI. W porównaniu ze średnimi z wielolecia, średnie miesięczne wartości wilgotności względnej powietrza zanotowane na stacji doświadczalnej charakteryzowały się, poza dwoma wyjątkami, wyższymi wartościami. Niższe wartości zanotowano tylko w miesiącach IV (o 0,9%) i IX (o 0,2%). Największe odchylenie od średniej z wielolecia zanotowano w VII (większa o 9,3%). W okresie badań średnie miesięczne prędkości wiatru osiągały wartości od $1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (X)} \div 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (VII)}$. Średnie miesięczne prędkości wiatru, wyższe od normy, zanotowano w pięciu miesiącach. Pozostałe miesiące (IV i X) charakteryzowały się niższymi wartościami. Największe ujemne odchylenie od średniej miesięcznej z wielolecia, wynoszące $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, zanotowano w X, natomiast największe dodatnie, wynoszące $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, stwierdzono w VII.

Czas ewaporacji wyniósł 3951,5 godziny i obejmował 92,0% sumy wszystkich godzin (4296) w 179 dniach pracy stacji. Pozostałe 8,0% stanowiły nieanalizowane godziny z opadem atmosferycznym. Suma godzin dziennych w okresie badań wyniosła 2615, z czego analizowano 92% (2406) godzin pomiarów ewaporacji. Podobnie – 91,9% sumy wszystkich godzin nocnych (1681) analizowano w pracy (1545,5). Pozostałe 8,0% (209) i 8,1% (135,5) godzin dziennych i nocnych nie analizowano ze względu na występowanie opadu (tab. 1).

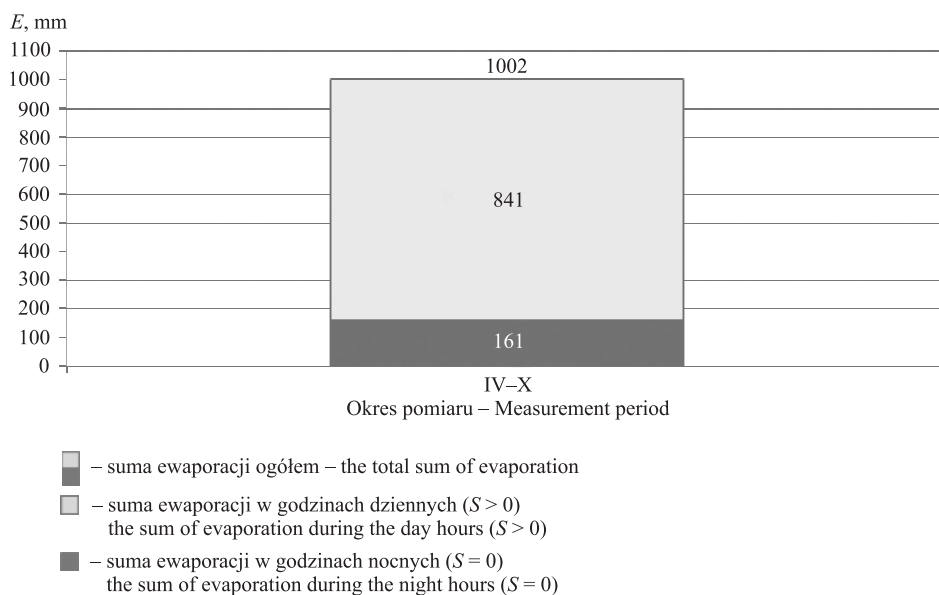
W ciągu 3951,5 godziny, przy zróżnicowanych powierzchniach parowania i parametrach meteorologicznych, z 1 m^2 powierzchni zwilżonej dachu wyparowało do atmosfery w sumie 1002 dm^3 wody (tj. warstwa o grubości 1002 mm). Suma parowania w godzinach dziennych pięciokrotnie przewyższyła parowanie w godzinach nocnych (rys. 2).

Tabela. 1. Liczba godzin ewaporacji i opadu atmosferycznego w poszczególnych miesiącach badań i za cały okres z podziałem na godziny dzienne i nocne

Table 1. The amount of hours of evaporation and rain on individual months and during the whole period of investigations with detailing on day and night hours

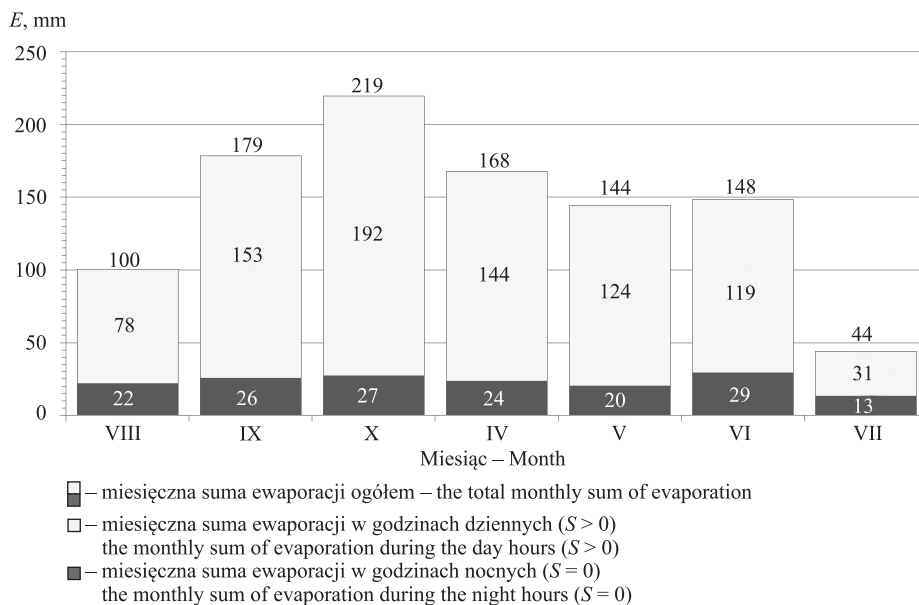
Miesiąc Month	Godziny dzienne Day hours			Godziny nocne Night hours		
	Liczba godzin Amount of hours	Ewaporacja Evaporation	Opad atmosferyczny (deszcz) Precipitation (rain)	Liczba godzin Amount of hours	Ewaporacja Evaporation	Opad atmosferyczny (deszcz) Precipitation (rain)
IV	308,0	280,5	27,5	220,0	194,5	25,5
V	479,0	446,5	32,5	265,0	247,5	17,5
VI	487,5	469,5	18,0	232,5	214,5	18,0
VII	489,5	398,5	91,0	254,5	224,5	30,0
VIII	334,0	321,0	13,0	218,0	202,5	15,5
IX	380,5	369,0	11,5	339,5	326,5	13,0
X	136,5	121,0	15,5	151,5	135,5	16,0
IV-X	2615,0	2406,0	209,0	1681,0	1545,5	135,5

Przy zmiennej liczbie godzin ewaporacji w poszczególnych miesiącach okresu badawczego, przyjmujących wartości z przedziału $256,5$ (X)– $695,5$ (IX) (tab. 1), największą miesięczną sumę parowania stwierdzono w czerwcu (rys. 3). W godzinach dziennych, w okresie V–IX (pełne miesiące), w ciągu jednego miesiąca wyparowało z dachu do atmosfery średnio 146 mm wody. Średnie miesięczne parowanie w godzinach nocnych wyniosło 25 mm. Miesięczne sumy parowania w godzinach dziennych przewyższały ponad dwukrotnie (w X), około czterokrotnie (w IV oraz IX), sześciokrotnie (w V, VII i VIII) oraz siedmiokrotnie (w VI) sumy parowania w godzinach nocnych (rys. 3).



Ryc. 2. Suma ewaporacji wody w okresie badań z podziałem na godziny nocne i dzienne
Fig. 2. The sum of water evaporation during the whole research period divided on the night and day hours

Średnio za okres badawczy w ciągu doby z 1 m² powierzchni zwilżonej dachu wyparowywało $5,6$ dm³. Maksymalne dobowe parowanie odnotowano 12 VI ($12,9$ mm), minimalne zaś 7 X ($0,9$ mm). Natomiast średnie godzinowe parowanie wody z dachu wyniosło $0,25$ mm · h⁻¹.



Ryc. 3. Miesięczne sumy ewaporacji w okresie badań z podziałem na godziny dzienne i nocne
 Fig. 3. The monthly sum of evaporation of the whole research period during the day and night hours

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wartości parowania wody ze zraszanego dachu budynku przemysłowego były zróżnicowane w analizowanych okresach. Zróżnicowanie to było spowodowane zmiennymi wartościami czynników meteorologicznych, powierzchniami parowania, a także liczbą występowania godzin z opadem atmosferycznym podczas realizacji badań. Przyjęte w metodyce prowadzenie pomiarów ilości dopływu i odpływu wody z dachu tylko w okresach bezopadowych powodowało, że rzeczywiste wartości sum ewaporacji były zaniżone.

W okresie pomiarowym IV–X z powierzchni dachu, w warunkach sztucznego zraszania, wyparowało w sumie o 610 mm więcej wody niż w tym samym czasie spadło w postaci deszczu na teren stacji doświadczalnej. Suma parowania w godzinach dziennych za cały okres pomiarowy, a także w poszczególnych miesiącach, przewyższyła sumy opadu. Teoretycznie, poprzez zraszanie w okresach bezopadowych powierzchni dachowych możliwe byłoby odparowanie opadu. W praktyce jednak całkowita objętość wody generowana na danym terenie nie zależy wyłącznie od sumy opadu, ale też od wielkości powierzchni i rodzaju nawierzchni spływu, do których należałoby, poprzez obliczenia, dobrać odpowiednią powierzchnię dachu do zraszania.

Na podstawie analizy danych uzyskanych z przeprowadzonych badań nad parowaniem wody z dachu budynku przemysłowego, można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W okresie badań parowanie z dachu wykazało wyraźną zmienność sezonową. Największe wartości osiągało w miesiącach letnich (VI–VIII), najmniejsze w jesiennych (IX–X).

2. W każdym okresie pomiaru parowanie z powierzchni dachu budynku przemysłowego było kilkakrotnie wyższe w godzinach dziennych niż nocnych, co ze względów ekonomicznych uzasadnia odprowadzanie wody z dachów tylko w ciągu dnia.
3. Ustalone wartości ewaporacji wody z jednostki powierzchni zwilżanej mogą być wykorzystane do szacunkowego określania powierzchni dachowych niezbędnych do wyparowania żądanej ilości wody, przy zastosowaniu identycznych rozwiązań konstrukcyjnych dachu, systemu zraszania i w zbliżonych warunkach meteorologicznych.
4. Kontynuacja podobnych badań może doprowadzić do opracowania skutecznych sposobów ochrony środowiska poprzez pozbywanie się zanieczyszczonych wód opadowych spływających z powierzchni utwardzonych, w warunkach braku innych możliwości ich oczyszczania i zagospodarowania.

PIŚMIENNICTWO

- Bogdał, A., Ostrowski, K. (2007). Wpływ rolniczego użytkowania zlewni podgórskiej i opadów atmosferycznych na jakość wód odpływających z jej obszaru. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 7, 2a(20), 59–69.
- Bogdał, A., Kowalik, T., Kanownik, W., Ostrowski, K., Wiśnios, M. (2012). Ocena stanu fizykochemicznego wód opadowych i odpływających ze zlewni potoku Wolninka. *Gaz Woda Tech. Sanit.*, 8, 362–365.
- Burszta-Adamiak, E. (2012a). Gospodarowanie wodami opadowymi na dachach zielonych. *Wodociągi Kanalizacja*, 7, 101–102.
- Burszta-Adamiak, E. (2012b). Wody opadowe w miastach. *Rynek Instal.*, 5, 35.
- Chudziak, A. (2008). Ścieki opadowe i roztopowe a środowisko. *Wodociągi Kanalizacja*, 1, 44–45.
- Geiger, W., Dreiseitl, H. (1999). Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. *Poradnik retencjonowania i infiltracji wód deszczowych do gruntu na terenie zabudowanym*. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz.
- Gudelis-Taraszkiewicz, K. (2005). Odprowadzanie wód deszczowych – tradycyjne i nowe rozwiązania. *Ekotechnika*, 2, 22–23.
- Januchta-Szostak, A. (2010). Miasto w symbiozie z wodą. *Czas. Techn.*, ser. *Architektura*, 107, 14, 95–102.
- Królikowska, J., Królikowski, A. (2013). Opłaty za odprowadzanie wód opadowych – potrzeby i możliwości. *Rocz. Ochr. Środ.*, 15, 2, 1143–1152.
- Nowakowska-Błaszczuk, A. (2007a). Infiltracja wód opadowych do gruntu. *Wodociągi Kanalizacja*, 11, 50–53.
- Nowakowska-Błaszczuk, A. (2007b). Infiltracja deszczu do gruntu – zalecenia. *Wodociągi Kanalizacja*, 12, 30–32.
- Ociepa, E., Kisiel, A., Lach, J., (2009). Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków deszczowych z sieci kanalizacyjnych. *Proceedings of ECOpole*, 3, 1, 115–120.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić, przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. *Dz.U. z 2006 r. Nr 137, poz. 984 (z późn. zm.)*.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo Wodne. *Dz.U. z 2001 r., Nr 115, poz. 1229 (tekst jednolity z późn. zm.)*.
- Wałęga, A., Radecki-Pawlik, A., Kaczor, G. (2013). *Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków.

Ziernicka, A. (2001). Klasyfikacja odchyień od normy temperatury powietrza w Polsce południowo-wschodniej. Zesz. Nauk. AR Krak., ser. Inżyn. Środ., 390, 27, 7–18.

THE EVAPORATION OF WATER FROM A SPRINKLED ROOF OF AN INDUSTRIAL BUILDING

Abstract. The paper is aimed to determine the quantity of water which under diverse atmospheric conditions may evaporate from a roof with a construction and covering used to cover storage facilities in the region of Krakow. In order to determine the quantity of evaporation research was conducted in the period from April to October in the form of a tailor-made experiment – at the experimental station equipped in a roof moistened by means of spraying and the automatic meteorological station. Values and variation of water evaporation during night and daytime of the whole research period and particular months have been presented. The average daily and hourly evaporation of water from the roof have been calculated. During the research the evaporation of water from the roof was variable. In every period of measurement the sum of evaporation during the day was several times higher than the evaporation at night. It shows that it is better for water to evaporate on the roofs during the day. The presented data can be used to estimate the area of the surface necessary to evaporate a particular amount of water from the roof provided identical structure of the roof and sprinkler system is used.

Key words: rainwater, evaporation, roof, sprinkler system

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.06.2015

Do cytowań – For citation: Żarnowiec, W. (2015). Parowanie wody ze zraszanego dachu budynku przemysłowego. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 14(2), 243–251.