

Iwona DESKA¹, Maciej MROWIEC¹, Ewa OCIEPA¹ i Katarzyna ŚLĘZAK¹

WPŁYW WARSTWY ROŚLINNOŚCI ORAZ DODATKU HYDROŻELU DO SUBSTRATU NA ZDOLNOŚCI RETENCYJNE ZIELONYCH DACHÓW

INFLUENCE OF THE VEGETATION AND THE HYDROGEL ADDITION IN THE SUBSTRATE ON THE RETENTION CAPACITY OF GREEN ROOFS

Abstrakt: Na terenach zlewni zurbanizowanych, obok tradycyjnych systemów kanalizacyjnych, coraz częściej stosuje się zrównoważone systemy drenażu (ZSD, ang. *SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems*), które umożliwiają zagospodarowanie wód opadowych możliwie jak najbliżej miejsca wystąpienia opadu. Jednym z przykładów takich rozwiązań są zielone dachy. W artykule zaprezentowano wyniki badań zdolności retencyjnych sześciu modeli zielonych dachów, oznaczonych w tekście artykułu symbolami: SHR1, SHR2, SHR3, SH, S i SR. W przypadku modeli SHR1, SHR2, SHR3 i SH zastosowano dwie warstwy substratu ekstensywnego o nazwie handlowej „Skalny kobierzec”. Dolna warstwa substratu zawierała domieszkę 0,5 % wag. hydrożelu potasowego (usieciowanego poliakrylanu potasu), natomiast górną warstwę stanowił ww. substrat bez domieszek. W przypadku modeli SHR1, SHR2, SHR3 zastosowano warstwę roślinności - rozchodnik ostry (*Sedum Acre*), natomiast model SH nie zawierał warstwy roślinności. Z kolei w przypadku modeli S i SR zastosowano jednolitą warstwę substratu ekstensywnego „Skalny kobierzec” bez dodatku hydrożelu, przy czym model SR posiadał warstwę roślinności (rozchodnik ostry), a model S był pozbawiony roślin. Modele SHR1 i SHR2 zostały skonstruowane w marcu 2017 r., modele SH i SHR3 w listopadzie 2017 r., a modele S i SR w kwietniu 2018 r. Badania były prowadzone z zastosowaniem opadów naturalnych oraz sztucznych (symulowanych). Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że zastosowanie zielonych dachów może pozwolić na zmniejszenie natężenia odpływu wody opadowej ze zlewni. Uzyskane wyniki wskazują, że w większości przypadków najlepsze zdolności retencyjne wykazywały modele zielonych dachów obsadzone dobrze ukorzenioną, gęstą warstwą roślinności, które równocześnie zawierały substrat z domieszką hydrożelu (SHR1, SHR2). W niewielkim stopniu niższą zdolnością retencyjną charakteryzował się model o bardzo zbliżonej konstrukcji (SHR3), posiadający rzadszą i słabiej ukorzenioną warstwę roślinności. W większości przypadków mniejsze objętości wody były retencjonowane w warstwach pozostałych modeli: S (niezawierającego roślin ani domieszki hydrożelu), SR (zawierającego roślinność, ale niezawierającego hydrożelu) i SH (zawierającego domieszkę hydrożelu, lecz nieposiadającego warstwy roślinności). Otrzymane wyniki wskazują, że dodatek hydrożelu może wpływać pozytywnie na zdolności retencyjne dachów obsadzonych roślinnością, pod warunkiem, że okres bezdeszczowy poprzedzający opad nie będzie bardzo krótki i dach częściowo odzyska zdolność do retencjonowania wody. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że dodatek hydrożelu do substratu w przypadku modelu pozbawionego roślinności nie powodował znaczącego zwiększenia jego zdolności retencyjnych. Otrzymane wyniki wskazują, że dużą rolę w retencjonowaniu wody opadowej odgrywa warstwa roślinności, zwłaszcza w okresie późnej wiosny i lata, kiedy panują stosunkowo wysokie temperatury.

Słowa kluczowe: zielony dach, zdolności retencyjne, zagospodarowanie wód opadowych, substrat, hydrożel

Wprowadzenie

Zmiany zachodzące w strukturze przestrzennej terenów miejskich, a zwłaszcza wysoka gęstość zabudowy i postępujący proces uszczelniania powierzchni zlewni na terenach silnie zurbanizowanych, prowadzą do zakłócenia naturalnego cyklu hydrologicznego [1-3].

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, tel. 34 325 09 17

* Autor do korespondencji: ideska@is.pcz.czest.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 18, Polanica-Zdrój, 10-13.10.2018

Postępujący proces urbanizacji miast prowadzi do stopniowego zmniejszania się powierzchni terenów zielonych, kosztem stale zwiększającej się powierzchni terenów uszczelnionych, np. placów, ulic, dachów budynków, co z kolei wpływa na zwiększenie się udziału spływu powierzchniowego w cyklu hydrologicznym przy zmniejszającym się udziale infiltracji wód opadowych [2-4]. Sytuacja ta powoduje wiele problemów, w tym zwiększenie ryzyka powstawania powodzi i podtopień na terenach zlewni miejskich [2, 5], zwłaszcza w okresach letnich, kiedy istnieje ryzyko wystąpienia opadów nawalnych [6]. Innym problemem, związanym z postępującym uszczelnianiem powierzchni zlewni, jest ryzyko skażenia wód powierzchniowych i podziemnych zanieczyszczeniami zmywanymi z powierzchni terenu i przemieszczającymi się wraz ze spływem powierzchniowym, jak również możliwość wystąpienia erozji gruntu [3, 5].

Na obszarach zlewni zurbanizowanych, w celu częściowego odciążenia konwencjonalnych systemów kanalizacji deszczowej, coraz częściej zaleca się stosowanie zrównoważonych systemów drenażu (ZSD) (ang. *SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems*) [7, 8]. ZSD pozwalają na bardziej zrównoważone gospodarowanie wodami opadowymi niż przy zastosowaniu systemów kanalizacji deszczowej. Pozwalają one nie tylko na redukcję wielkości spływu powierzchniowego, ale także korzystnie wpływają na poprawę jakości wód opadowych odprowadzanych do odbiorników [7]. Stosowanie zielonych dachów przyczynia się do zmniejszenia zagrożenia związanego z powstawaniem podtopień i powodzi w miastach, będących skutkiem intensywnych opadów [9, 10]. ZSD obejmują m.in. takie rozwiązania, jak: studnie i galerie chłonne, skrzynki i komory rozsączające, muldy i niecki retencyjne, zbiorniki retencyjno-infiltracyjne [11], ogrody deszczowe, a także zielone dachy [7].

Dachy stanowią od 40 do 50 % powierzchni nieprzepuszczalnych na obszarach silnie zurbanizowanych [7], w związku z tym stosowanie zielonych dachów jako ZSD może mieć pozytywny wpływ na zwiększenie udziału retencji w bilansie wód opadowych [3]. Zielone dachy pozwalają na zagospodarowanie wody opadowej bezpośrednio w miejscu wystąpienia opadu [1, 2, 12]. Podstawowym procesem pozwalającym na redukcję odpływu wód opadowych z zielonych dachów jest retencja, ale istotną rolę odgrywają również inne procesy, np. intercepcja, ewapotranspiracja oraz infiltracja [7].

Na zdolności retencyjne zielonych dachów wpływa bardzo wiele czynników, m.in. typ dachu (np. ekstensywny, półintensywny, intensywny), konstrukcja zastosowanych elementów drenażowych, spadek dachu, miąższość i skład substratu, a także rodzaj roślinności porastającej dach [3, 5].

Stosowanie zielonych dachów pozwala na osiągnięcie wielu korzyści, zarówno ekologicznych, jak i ekonomicznych [13, 14]. Korzyści te obejmują nie tylko zrównoważone gospodarowanie wodami opadowymi, ale przyczyniają się również m.in. do łagodzenia klimatu miejskiego i redukcji efektu miejskiej wyspy ciepła [15], a także do poprawy warunków termicznych wewnątrz budynków, co związane jest przede wszystkim z ochroną przed nadmiernym nagrzewaniem się stropu w lecie i dodatkową izolacją termiczną w okresie zimy [16]. Zielone dachy przyczyniają się do zwiększenia bioróżnorodności na terenach miejskich, stanowiąc siedliska dla wielu gatunków roślin i zwierząt (np. owadów) [17], a także odgrywając istotną rolę podczas migracji owadów w miastach [18].

Zielone dachy można konstruować jako intensywne, półintensywne oraz ekstensywne [13]. Są to obiekty składające się z warstw, z których każda jest wykonana ze zróżnicowanych materiałów i pełni odrębną funkcję. Typowe warstwy zielonych dachów, spotykane na większości tego typu obiektów, to: warstwa roślinności, substrat dachowy, warstwa filtracyjna (np. włóknina filtracyjna), warstwa drenażowa (np. mata drenażowa) [1, 2]. Dodatkowo, w wielu przypadkach należy stosować także warstwę chłonno-ochronną, położoną pod matą drenażową, oraz folię przeciwwkorzenną odporną na przerastanie korzeni, której zadaniem jest ochrona niżej położonej warstwy hydroizolacji dachu przed niszczeniem działaniem korzeni roślin [2].

Ważnym elementem każdego zielonego dachu jest substrat, będący podłożem i oparciem dla roślinności [19], jak również źródłem niezbędnych substancji odżywczych [19, 20]. Wpływ typu substratu i jego modyfikacji na vegetację roślin i zdolności retencyjne zielonych dachów są przedmiotem wielu prowadzonych badań naukowych [19, 21, 22]. Bardzo ważnym parametrem każdego substratu jest dobra przepuszczalność, zarówno dla wody, jak i dla powietrza. Dobra przepuszczalność dla wody gwarantuje prawidłowo przebiegającą infiltrację i szybkie odprowadzanie wody opadowej z powierzchni zielonego dachu do głębiej położonych warstw, przy równoczesnym zminimalizowaniu zjawiska spływu powierzchniowego, które mogłoby doprowadzić do erozji warstwy vegetacyjnej [23]. Szybki odpływ nadmiaru wody z substratu umożliwia dobre przewietrzanie korzeni roślin, co zapobiega ich gniciu [19]. Substrat powinien mieć stosunkowo niską gęstość, aby nadmiernie nie obciążać konstrukcji budynku [23].

Substraty stosowane na zielonych dachach - zwłaszcza w klimatach gorących - są narażone na suszę z uwagi na niewielką miąższość i niską pojemność wodną. Zastosowanie różnego rodzaju dodatków do substratów może zwiększać dostępność wody dla roślin, co umożliwia osiągnięcie warunków sprzyjających vegetacji, jak również pomaga roślinom przetrwać niekorzystne warunki atmosferyczne (np. suszę) [22]. Efektywność zastosowanych domieszek często zależy zarówno od rodzaju substratu, jak i gatunku roślin porastających zielony dach i związanych z tym ich wymagań środowiskowych [22]. Jedną z domieszek modyfikujących właściwości substratów mogą być superabsorbenty polimerowe (SAP), określane także jako hydrożele, które są trójwymiarowymi usieciowanymi hydrofilowymi polimerami [20, 22]. Hydrożele posiadają zdolność do absorbowania znacznych ilości wody (od kilku do kilkuset razy większej niż wynosi ich sucha masa) w zależności od nacisku wywoływanego przez warstwę umieszczonego nad nimi gruntu [24]. Farrell i in. w prowadzonych przez siebie badaniach [22] stwierdzili, że superabsorbenty mogą zwiększać pojemność wodną substratu i ilość wody dostępnej dla roślin, jednak ich zastosowanie nie powodowało znacznego wydłużenia czasu, po którym osiągnąłby punkt trwałego wędnięcia [22]. Lejcuś i in. dowiedli, że hydrożele mogą być stosowane jako bufory wilgotności i zmniejszają stres wodny roślin, a równocześnie chronią przed nadmiernym wypłukiwaniem składników ze strefy przykorzeniowej roślin [24]. Young i in. pokazali, że zastosowanie superabsorbentów może mieć pozytywny wpływ na kondycję roślin w początkowym stadium vegetacji, gdy są one stosunkowo słabo odporne na niekorzystne warunki atmosferyczne [19].

Artykuł przedstawia wyniki badań zdolności retencyjnych sześciu modeli zielonych dachów o zróżnicowanej budowie. Do konstrukcji stanowisk badawczych zastosowano zarówno substrat ekstensywny z domieszką hydrożelu potasowego (usieciowanego

poliakrylanu potasu), jak i ww. substrat bez domieszek. Na czterech stanowiskach zastosowano warstwę roślinności (rozchodnik ostry *Sedum Acre*), a dwa były pozbawione roślin. Badania miały na celu ustalenie wpływu dodatku hydrożelu do substratu oraz wpływu roślinności na zdolności retencyjne modeli ekstensywnych zielonych dachów.

Metodyka badań

Badania zdolności retencyjnych zielonych dachów były prowadzone w naturalnych warunkach atmosferycznych na terenie Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej, który jest zlokalizowany w Częstochowie przy ul. Brzeźnickiej 60a. W badaniach wykorzystano 6 modeli zielonych dachów, wykonanych na tacach uprawowych z lekkiego plastiku o wymiarach wewnętrznych 55,7 cm × 55,7 cm × 7 cm (rys. 1). W każdej tacy w prawym dolnym narożniku wykonany był otwór połączony z przewodem służącym do odprowadzania wody opadowej, która nie została zretencjonowana wewnątrz warstw modeli. W celu umożliwienia dopływu wody w kierunku otworów odpływowych modele zostały ułożone ze spadkiem wynoszącym ok. 5 % (licząc wzdłuż każdej z prostopadłych krawędzi modelu). Całkowita masa substratu w przypadku każdego modelu wynosiła 11 kg, natomiast pola powierzchni substratów były równe ok. 31 dm².

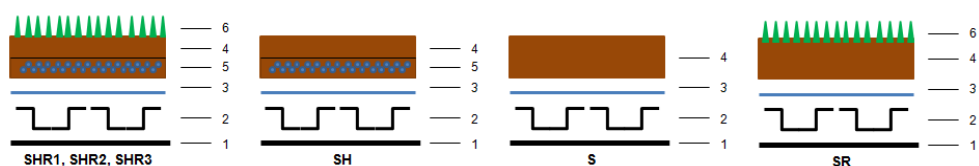


Rys. 1. Stanowisko badawcze - modele zielonych dachów

Fig. 1. The experimental setup - green roof models

Na dnie każdej tacy uprawowej umieszczono matę drenażową Floradrain FD25 o wysokości 25 mm. Z kolei na powierzchni każdej z mat ułożono arkusz włókniny filtracyjnej SF o wymiarach 70 × 70 cm. Na powierzchni włókniny w przypadku każdego modelu umieszczono odpowiednio przygotowane substraty. W przypadku modeli oznaczonych symbolami SHR1, SHR2, SH i SHR3 zastosowano dwie warstwy substratu ekstensywnego o nazwie handlowej „Skalny kobierzec”. Dolna warstwa tych modeli zawierała 6 kg ww. substratu z domieszką 30 g (0,5 % wag.) hydrożelu potasowego (usiecianego poliakrylanu potasu), natomiast górną warstwę stanowiło 5 kg ww. substratu bez domieszek. W przypadku modeli oznaczonych symbolami S i SR

zastosowano jednolitą warstwę substratu ekstensywnego „Skalny kobierzec” (o masie 11 kg) bez dodatku hydrożelu. Średnia (całkowita) miąższość substratu na każdym z modeli wynosiła ok. 32 mm. Terminy utworzenia modeli były zróżnicowane. Modele SHR1 i SHR2 zostały przygotowane w marcu 2017 r., modele SH i SHR3 w listopadzie 2017 r., a modele S i SR w kwietniu 2018 r. W przypadku czterech modeli: SHR1, SHR2, SHR3 i SR zastosowano warstwę roślinności - rozchodnik ostry (*Sedum Acre*). Modele S i SH nie posiadały warstwy roślinności. Wiek roślin zastosowanych w badaniach był zróżnicowany. Rośliny na modelu SHR1 posadzono w marcu 2017 r., rośliny na modelu SHR2 wysiano z nasion pod koniec sierpnia 2017 r., natomiast rośliny na modelach SHR3 i SR posadzono w kwietniu 2018 r. Szczegółowy układ warstw na modelach dachów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Układ warstw na modelach zielonych dachów: 1 - dno tacy uprawowej, 2 - mata drenażowa Floradrain FD 25, 3 - włóknina filtracyjna SF, 4 - substrat „Skalny kobierzec” bez dodatkowych domieszek, 5 - substrat „Skalny kobierzec” z dodatkiem ok. 0,5 % wag. hydrożelu potasowego (poliakrylanu potasu), 6 - rozchodnik ostry (*Sedum Acre*)

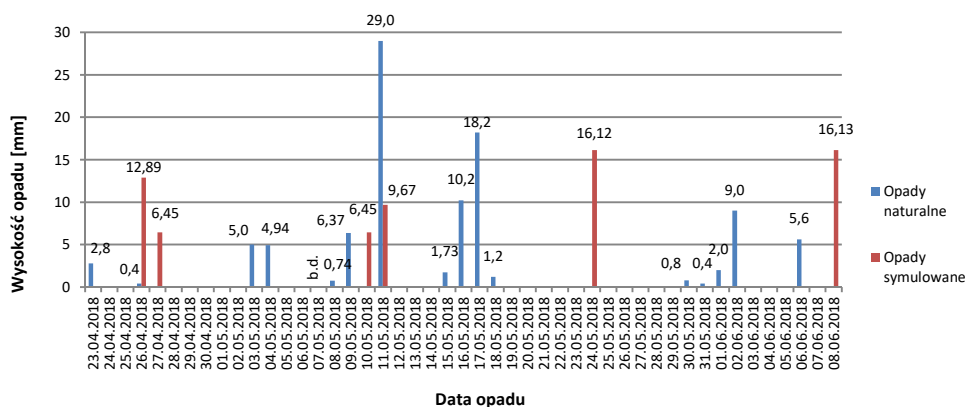
Fig. 2. Layers of the green roof models: 1 - the garden tray bottom, 2 - the drainage element Floradrain FD 25, 3 - the filter sheet SF, 4 - the substrate „Skalny kobierzec” without additions, 5 - the substrate „Skalny kobierzec” with addition of about 0.5 % by weight of hydrogel (potassium polyacrylate), 6 - the Goldmoss stoncrop (*Sedum Acre*)

Badania prowadzono w okresie od 26.04.2018 r. do 08.06.2018 r. w naturalnych warunkach atmosferycznych z wykorzystaniem opadów sztucznych (symulowanych) oraz naturalnych. Temperatura powietrza w okresie, w którym były prowadzone badania, wahała się od minimalnej, wynoszącej 5,1 °C, do maksymalnej, wynoszącej 32,1 °C. Maksymalna zarejestrowana wilgotność powietrza wynosiła 97 %, natomiast minimalna 21 %. Maksymalna temperatura punktu rosy wynosiła 19,8 °C, natomiast minimalna: -0,3 °C. Maksymalna zarejestrowana prędkość wiatru wynosiła 6,3 m/s, natomiast minimalna 0 m/s. Średnia prędkość wiatru obliczona dla całego okresu badawczego wynosiła 1,21 m/s.

Badania polegały na określaniu objętości wody opadowej zretencjonowanej wewnątrz warstw modeli. Objętość ta była obliczana na podstawie różnicy pomiędzy objętością opadu, jaka spadła na powierzchnię każdego modelu, a objętością wody, która nie została zretencjonowana i odpłynęła z warstw modelu. Objętości opadów naturalnych obliczono na podstawie odczytanej wysokości opadów. Wysokości opadów, jak również temperaturę, wilgotność powietrza i prędkość wiatru zarejestrowano przy zastosowaniu stacji pogodowej Davis Vantage Pro 2 Plus, która jest zlokalizowana na terenie Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej.

Wyniki badań i ich dyskusja

Na rysunku 3 zamieszczono wykres przedstawiający wysokości wszystkich opadów (sztucznych i naturalnych), jakie wystąpiły w okresie badawczym. Wysokości opadów sztucznych obliczono na podstawie objętości wody użytej do nawodnienia każdego z modeli. W artykule wykorzystano wyniki badań prowadzonych z zastosowaniem wszystkich opadów symulowanych w okresie od 23.04.2008 r. do 08.06.2018 r. oraz wyniki uzyskane podczas czterech opadów naturalnych (daty uwzględnionych opadów zostały podane w opisach pod rysunkami 4 i 5).

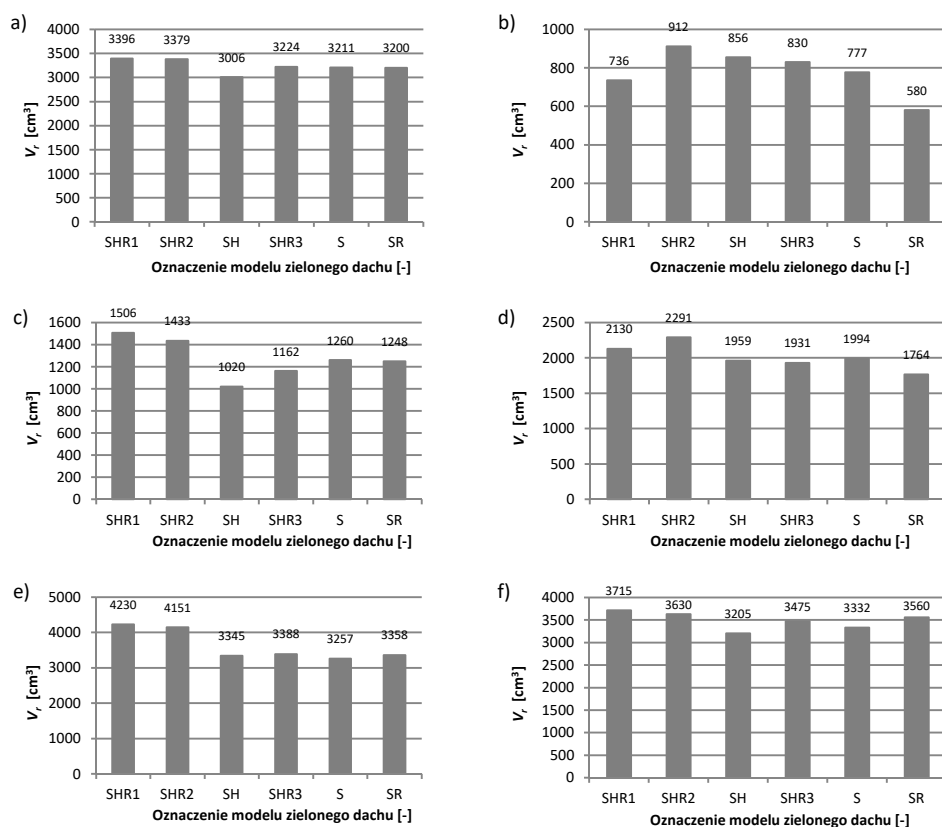


Rys. 3. Wysokości opadów naturalnych i symulowanych (b.d. - brak danych: 07.05.2018 r.)

Fig. 3. Natural and simulated precipitations values (b.d. - no data: 07/05/2018 (dd/mm/yyyy))

Na rysunku 4 zamieszczono wykresy przedstawiające objętości wody zretencjonowanej wewnątrz warstw modeli zielonych dachów w trakcie opadów sztucznych. Na podstawie sumarycznych objętości wody zretencjonowanej na każdym modelu w trakcie 6 symulowanych opadów można stwierdzić, że najlepsze wyniki uzyskano w tym przypadku dla modeli posiadających domieszkę hydrożelu w składzie substratu oraz pokrytych warstwą roślinności. Największa objętość wody, wynosząca $15\,796\text{ cm}^3$ (odpowiadająca sumarycznej wysokości opadu 51 mm), została zretencjonowana w warstwach modelu SHR2, a nieznacznie mniejszą wartość, $15\,713\text{ cm}^3$, uzyskano dla SHR1 (co odpowiadało wysokości opadu 50,7 mm). Trzecia co do wartości sumaryczna objętość wody, wynosząca $14\,010\text{ cm}^3$ (odpowiadająca wysokości opadu 45,2 mm), została zretencjonowana w warstwach modelu SHR3. Należy podkreślić, że modele SHR1 i SHR2 były skonstruowane wcześniej i posiadały gęściejszą szatę roślinną i zdecydowanie lepiej ukorzenione rośliny, przy czym nieznacznie lepsze wyniki uzyskano w tym przypadku dla modelu z młodszymi roślinami wysianymi z nasion pod koniec sierpnia 2017 r., u których znaczny przyrost biomasy nastąpił dopiero na wiosnę w 2018 r., przy czym rośliny te w 2018 r. nie przeszły jeszcze fazy kwitnienia. Z kolei model SHR3 został obsadzony roślinnością dopiero w kwietniu 2018 r.

Nieznacznie niższe sumaryczne objętości wody zostały zretencjonowane w warstwach modeli: S (13 831 cm³), odpowiadające wysokości opadu 44,62 mm, oraz SR (13 710 cm³), odpowiadające wysokości opadu 44,22 mm. Najniższa sumaryczna objętość wody została zretencjonowana w warstwach modelu SH (13 391 cm³), co odpowiadało wysokości opadu 43,20 mm. Należy podkreślić, że modele zielonych dachów wykazywały lepsze zdolności retencyjne podczas opadów występujących po dłuższych okresach bezopadowych, trwających dłużej niż 1 dobę (rys. 4a, 4e i 4f), natomiast mniejsze objętości wody były retencjonowane po krótszych okresach bezdeszczowych (rys. 4b, 4c i 4d).

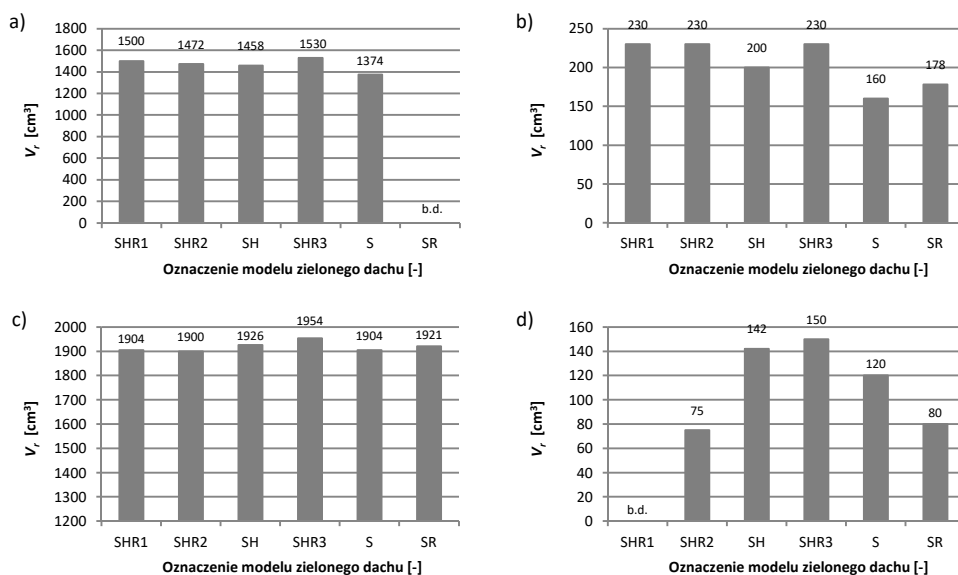


Rys. 4. Objętości wody zretencjonowanej w warstwach modeli zielonych dachów (V_r) podczas opadów symulowanych. Terminy opadów: a) 26.04.2018, b) 27.04.2018, c) 10.05.2018, d) 11.05.2018, e) 24.05.2018, f) 08.06.2018

Fig. 4. Volumes of water stored in the layers of green roof models (V_r) during simulated precipitations: Terms of precipitations (dd/mm/yyyy): a) 26/04/2018, b) 27/04/2018, c) 10/05/2018, d) 11/05/2018, e) 24/05/2018, f) 08/06/2018

Na rysunku 5 przedstawiono objętości wody zretencjonowanej wewnątrz warstw modeli zielonych dachów podczas czterech opadów naturalnych, jakie występowały

w okresie obejmującym badania. Uzyskane wyniki nie są w tym przypadku jednoznaczne. Wyniki przedstawione na rysunku 5a dotyczą opadów, które nastąpiły po kilkudniowym okresie bezopadowym, natomiast wyniki na rysunkach 5b, 5c i 5d odnoszą się do opadów następujących niecałą dobę po poprzednich deszczach. Dla odpływów, jakie nastąpiły po opadach w dniach 03-04.05.2018 r. nie było możliwe odczytanie danych dla modelu SR. Na podstawie dostępnych wyników zarejestrowanych w tym okresie można stwierdzić, że największe objętości wody zostały zretencjonowane w warstwach modeli SHR3 (najlepszy wynik), SHR1 i SHR2. Wszystkie z wyżej wymienionych modeli posiadały warstwę roślinności oraz substrat z domieszką hydrożelu. Nieznacznie słabszy wynik uzyskano w przypadku modelu SH, a najmniejszą objętość wody została zretencjonowana w warstwach modelu S (brak roślin i substrat bez domieszki). Z kolei na rysunku 5b przedstawiono objętości wody, jakie zostały zretencjonowane w warstwach modeli w trakcie opadu o małej wysokości, jaki nastąpił w dniu 08.05.2018 r., prawdopodobnie po krótkim okresie bezdeszczowym (poprzedzający go opad z 07.05.2018 r. nie został zarejestrowany przez deszczomierz). Największą objętość wody zretencjonowały stanowiska obsadzone roślinnością, zawierające w składzie substratu hydrożel (SHR1, SHR2 i SHR3), natomiast najniższe zdolności retencyjne wykazywał ponownie model S, nieobsadzony roślinami, z substratem bez domieszki hydrożelu. Należy podkreślić, że z modeli SHR1, SHR2 i SHR3 w ogóle nie uzyskano odpływu, więc ich zdolność retencyjna mogła być wyższa niż przedstawiona na wykresie (rys. 5b).



Rys. 5. Objętości wody zretencjonowanej w warstwach modeli zielonych dachów (V_r) podczas opadów naturalnych. Terminy opadów: a) 03-04.05.2018, b) 08.05.2018, c) 09.05.2018, d) 18.05.2018

Fig. 5. Volumes of water stored in the layers of green roof models (V_r) during natural precipitations (dd/mm/yyyy): a) 03/05/2018–04/05/2018, b) 08/05/2018, c) 09/05/2018, d) 18/05/2018

Opad zarejestrowany w dniu 09.05.2018 r. nastąpił po krótkim okresie bezdeszczowym. Poprzedzający go opad miał miejsce ok. 1 dobę wcześniej, ale charakteryzował się bardzo małym natężeniem. Najlepszą zdolność retencyjną wykazał w tym przypadku model SHR3 (krócej istniejące stanowisko z roślinami i hydrożelem), a najłabsze zdolności retencyjne wykazały modele SHR1, SHR2 (dłużej istniejące stanowiska z roślinami i hydrożelem) oraz model S. Na rysunku 5d przedstawiono objętość odpływów po opadzie o niewielkim natężeniu, który miał miejsce 18.05.2018 r., niecałe 24 godziny po poprzednim opadzie. Podobnie jak w przypadku pozostałych opadów naturalnych, najlepszą zdolność retencyjną wykazał model SHR3, natomiast najmniejszą objętość wody wchłonięły warstwy modelu SHR2 (w przypadku SHR1 wyniku nie udało się zarejestrować). Na podstawie wyników badań prowadzonych z wykorzystaniem opadów naturalnych można stwierdzić, że najwyższą zdolnością retencyjną charakteryzował się model SHR3 z substratem zawierającym hydrożel oraz zawierający warstwę roślinności. Jednak po bardzo krótkich okresach bezdeszczowych modele o podobnej konstrukcji, z dobrze ukorzoną, gęstą roślinnością i dodatkiem hydrożelu (SHR1 i SHR2), wolniej odzyskiwały swoją zdolność retencyjną niż pozostałe stanowiska i tym samym wchłaniały mniejszą objętość wody.

Wnioski

1. Zastosowanie zielonych dachów pozwala na zmniejszenie natężenia fali odpływu wód opadowych ze zlewni. Podczas badań obejmujących ogół opadów sztucznych model SHR2, wykazujący najwyższą zdolność retencyjną, zmagazynował w swych warstwach ok. 83,1 % całkowitej objętości wody użytej do symulacji opadów. Z kolei w warstwach modelu wykazującego w trakcie badań najniższą zdolność retencyjną zostało zatrzymane ok. 70,5 % objętości symulowanych opadów.
2. W trakcie badań prowadzonych z zastosowaniem opadów symulowanych w większości przypadków najlepsze zdolności retencyjne wykazywały modele SHR2 i SHR1, zawierające substrat z domieszką hydrożelu oraz gęstą warstwę dobrze ukorzonej roślinności. Nieznacznie słabsze zdolności retencyjne odnotowano w przypadku modelu o podobnej budowie (SHR3), lecz obsadzonego rzadszą warstwą roślin, które były młodsze i słabo ukorzone. Słabsze zdolności retencyjne odnotowano w przypadku pozostałych modeli: S, SR i SH, zawierających odpowiednio: substrat bez domieszki, substrat i warstwę roślinności oraz substrat z domieszką hydrożelu (bez warstwy roślinności).
3. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że długość okresu bezopadowego wpływała na objętość wody zretencjonowanej przez modele zielonych dachów. Objętość ta w większości przypadków wzrastała wraz z wydłużaniem się czasu trwania okresów bezdeszczowych. Na podstawie wyników badań prowadzonych z zastosowaniem opadów naturalnych zauważono także, że w przypadku bardzo krótkich okresów bezopadowych modele SHR1, SHR2 (zawierające zarówno warstwę gęstej, dobrze ukorzonej roślinności, jak i hydrożel) nie wykazywały lepszych zdolności retencyjnych niż pozostałe modele.
4. Dodatek hydrożelu do substratu może wpłynąć korzystnie na zdolności retencyjne zielonych dachów, ale tylko w przypadku zastosowania na tym dachu szaty roślinnej.

W przypadku dłuższych okresów bezopadowych model SH (z domieszką hydrożelu, bez warstwy roślinności) w większości przypadków charakteryzował się słabszą zdolnością retencyjną niż modele SHR1, SHR2 i SHR3 (zawierające hydrożel i rośliny), a w kilku przypadkach wykazywał także słabszą zdolność retencyjną niż modele S i SR (w których nie zastosowano domieszki hydrożelu).

5. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że rośliny zastosowane na zielonym dachu pozytywnie wpływają na jego zdolności retencyjne. Korzystny wpływ roślin na objętość retencjonowanej wody był obserwowany zwłaszcza w przypadku okresów bezopadowych dłuższych niż 1 doba. Wraz ze wzrostem gęstości szaty roślinnej oraz wieku roślin na ogół wzrastały zdolności retencyjne zielonych dachów. Należy podkreślić, że w większości przypadków najlepszą zdolność retencyjną wykazywały modele zawierające równocześnie roślinność oraz domieszkę hydrożelu w substracie (SHR1, SHR2 i SHR3).

Podziękowania

Praca została sfinansowana w ramach badań statutowych BS/PB-401-301/17.

Literatura

- [1] Burszta-Adamiak E. Analysis of the retention capacity of green roofs. *J Water Land Dev.* 2012;16(I-VI):3-9. DOI: 10.2478/v10025-012-0018-8.
- [2] Burszta-Adamiak E. Analysis of stormwater retention on green roofs. *Arch Environ Protect.* 2012;38(4):3-13. DOI: 10.2478/v10265-012-0035-3.
- [3] Mentens J, Raes D, Hermy M, Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape Urban Plan.* 2006;77:217-226. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2005.02.010.
- [4] Jato-Espino D, Charlesworth SM, Bayon JR, Warwick F. Rainfall-runoff simulations to assess the potential of SuDS for mitigating flooding in highly urbanized catchments. *Int J Environ Res Public Health.* 2016;13(1):149. DOI: 10.3390/ijerph13010149.
- [5] Getter KL, Rowe DB, Andresen JA. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecol Eng.* 2007;31:225-231. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2007.06.004.
- [6] Malmur R. Transfer reservoir as a new solution for transfer of stormwater to water receivers. *ASEE17. E3S Web Conf.* 2017;22:00110. DOI: 10.1051/e3sconf/20172200110.
- [7] Stovin V, Vesuviano G, Kasmin H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *J Hydrol.* 2012;414-415:148-161. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.10.02.
- [8] Edwards EC, Harter T, Fogg GE, Washburn B, Hamad H. Assessing the effectiveness of drywells as tools for stormwater management and aquifer recharge and their groundwater contamination potential. *J Hydrol.* 2016;539:539-553. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.05.059.
- [9] Czemieli-Berndtsson J. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecol Eng.* 2010;36:351-360. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.12.014.
- [10] Bengtsson L, Grahn L, Olsson J. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nord Hydrol.* 2005;36(3):259-268. <http://hr.iwaponline.com/content/36/3/259>.
- [11] Petrucci G, De Bondt K, Claeys P. Toward better practices in infiltration regulations for urban stormwater management. *Urban Water J.* 2017;14(5):546-550. DOI: 10.1080/1573062X.2016.1176224.
- [12] Shafique M, Kim R, Kyung-Ho K. Green roof for stormwater management in a highly urbanized area: The case of Seoul, Korea. *Sustainability.* 2018;10(584). DOI: 10.3390/su10030584.
- [13] Czemieli-Berndtsson J, Bengtsson L, Jinno K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecol Eng.* 2009;35:369-380. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2008.09.020.
- [14] Shafique M, Kim R, Rafiq M. Green roof benefits, opportunities and challenges - A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2018;90:757-773. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.006.
- [15] Vijayaraghavan K, Joshi UM, Balasubramanian R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water Res.* 2012;46:1337-1345. DOI: 10.1016/j.watres.2011.12.050.

- [16] Jaffal I, Ouldboukhitine SA, Belarbi R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renew Energy*. 2012;43:157-164. DOI: 10.1016/j.renene.2011.12.004.
- [17] Emilsson T, Czemieli Berndtsson J, Mattsson JE, Rolf K. Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated roof systems. *Ecol Eng*. 2007;29:260-271. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2006.01.001.
- [18] Kirichenko-Babko M, Łagód G, Majerek D, Franus M, Babko R. The effect of landscape on the diversity in urban green areas. *Ecol Chem Eng S*. 2017;24(4):613-625. DOI: 10.1515/eces-2017-0040.
- [19] Young T, Cameron DD, Sorrell J, Edwards T, Phoenix GK. Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban Forestry Urban Greening*. 2014;13(3):507-516. DOI: 10.1016/j.ufug.2014.04.007.
- [20] Savi T, Marin M, Boldrin D, Incerti G, Andri S, Nardini A. Green roofs for a drier world: Effects of hydrogel amendment on substrate and plant water status. *Sci Total Environ*. 2014;490:467-476. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.020.
- [21] Olszewski MW, Young CA. Physical and chemical properties of green roof media and their effect on plant establishment. *J Environ Hort*. 2011;29(2):81-86. <http://hrijournal.org/doi/pdf/10.24266/0738-2898-29.2.81>.
- [22] Farrell C, Ang XQ, Rayner JP. Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates. *Ecol Eng*. 2013;52:112-118. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.12.098.
- [23] Akther M, He J, Chu A, Huang J, van Duin B. Managing urban stormwater in different climatic zones. *Sustainability*. 2018;10(8), 2864. DOI: 10.3390/su10082864.
- [24] Lejcuś K, Śpitalniak M, Dąbrowska J. Swelling behaviour of superabsorbent polymers for soil amendment under different loads. *Polymers*. 2018;10(3):271. DOI: 10.3390/polym10030271.

INFLUENCE OF THE VEGETATION AND THE HYDROGEL ADDITION IN THE SUBSTRATE ON THE RETENTION CAPACITY OF GREEN ROOFS

Institute of Environmental Engineering, Faculty of Infrastructure and Environment
Czestochowa University of Technology, Czestochowa

Abstract: In urbanized areas, in addition to the traditional sewer systems, increasingly are used the sustainable urban drainage systems (SUDS), inter alia, the green roofs. The focus of the research described in the article was to investigate the retention capacities of six green roof models denoted in the paper by symbols: SHR1, SHR2, SHR3, SH, S, and SR. The models were constructed with use of the plastic garden trays (with internal dimensions $55.7 \times 55.7 \times 7$ cm). On the bottom of each tray the drainage element Floradrain FD 25 was placed. On each drainage element the filter sheet SF (70×70 cm) was spread. On the surface of each filter sheet the required amount of the specified substrate was placed. The total thickness of substrate layer on each model was equal. Models SHR1, SHR2, SHR3, SH were built of two layers of the extensive substrate "Sedum Carpet". The lower layer contained the admixture of 0.5 % by weight of hydrogel (the cross-linked potassium polyacrylate). The upper layer consisted of the substrate "Sedum Carpet" without hydrogel amendment. Models SHR1, SHR2, and SHR3 contained the layer of vegetation - the goldmoss stonecrop (*Sedum Acre*), while model SH did not contain the plants. The models S and SR contained the uniform layer of extensive substrate "Sedum Carpet" without hydrogel amendment. The model SR contained the vegetation (the goldmoss stonecrop) and S did not contain plants. Models SHR1 and SHR2 were constructed in March 2017, models SH and SHR3 were constructed in November 2017, and models S and SR were constructed in April 2018. The investigations were conducted with use of natural and artificial (simulated) precipitations. The obtained results show that the green roofs can help to reduce the outflow of rainwater from the catchment. The results indicate that in most cases the best retention capacities had models prepared in March 2017, with dense, well-rooted plants and substrate layer amended with hydrogel (SHR1 and SHR2). The similarly constructed model (SHR3) having a less dense and less rooted vegetation layer had a slightly lower retention capacity. In most cases smaller volumes of water were stored in the layers of other models: S (substrate without hydrogel amendment and without plants), SR (substrate without hydrogel amendment + plants), and SH (substrate with hydrogel amendment and without plants). The obtained results indicate that the addition of hydrogel into the growing medium can have a positive effect on the retention capacity of vegetated roof, provided that the antecedent dry period will not be very short. On the other hand, the results show that the hydrogel amendment did not cause a significant increase in retention capacity in the case of model without plants.

The obtained results indicate that the vegetation layer plays an important role in the retention of rainwater, especially in the late spring and summer, when the temperatures were relatively high.

Keywords: green roof, retention capacity, stormwater management, substrate, hydrogel