

Iwona DESKA¹, Ewa OCIEPA¹, Maciej MROWIEC¹, Ewelina CICHECKA¹
i Karolina GMYREK¹

WPLYW SPOSOBU ROZMIESZCZENIA HYDROŻELU W SUBSTRACIE NA ZDOLNOŚCI RETENCYJNE ZIELONYCH DACHÓW

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

Abstrakt: Na terenach zlewni zurbanizowanych, obok tradycyjnych systemów kanalizacyjnych, coraz częściej stosowane są zrównoważone systemy drenażu (ZSD, ang. *SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems*), umożliwiające zagospodarowanie wód opadowych w miejscu wystąpienia opadu. Jednym z takich rozwiązań są zielone dachy. Artykuł prezentuje wstępne wyniki badań zdolności retencyjnych czterech modeli zielonych dachów. W przypadku modelu 1 zastosowano substrat dachowy ekstensywny bez domieszek. Modele 2 i 3 zawierały substrat ekstensywny z domieszką hydrożelu potasowego (usieciowanego poliakrylanu potasu). W przypadku modelu 2 dodatkowo zastosowano warstwę roślinności (rozchodnik ostry *Sedum Acre*). W modelu 4 zastosowano substrat ekstensywny z wkładkami z agrowłókniny wypełnionymi hydrożelem potasowym. Modele dachów 2, 3 i 4 zawierały taką samą dawkę hydrożelu (30 g). Badania były prowadzone w warunkach terenowych, w dwóch etapach. Wstępny etap obejmował pierwsze nasączenie modeli (wszystkie elementy w stanie powietrzno suchym) przy zastosowaniu opadu symulowanego. Drugi etap obejmował dalsze badania zdolności retencyjnych modeli, głównie z wykorzystaniem opadów naturalnych. Otrzymane wyniki wskazują, że podczas pierwszego, symulowanego opadu najlepsze zdolności retencyjne wykazywały modele 2 i 3 (z domieszką hydrożelu w stanie luźnym), natomiast najmniejsza objętość wody została zretencjonowana przez modele 1 (bez domieszki hydrożelu) i 4 (z wkładkami zawierającymi hydrożel). Wyniki drugiego etapu eksperymentu są zróżnicowane. W przypadku trzech analizowanych opadów naturalnych najlepsze zdolności retencyjne wykazywał model 2 z substratem zawierającym domieszkę hydrożelu, obsadzony roślinnością, ale w przypadku dwóch opadów większa objętość wody została zretencjonowana w warstwach modelu 4 z wkładkami z hydrożelu. Najsłabsze zdolności retencyjne, spośród modeli zawierających hydrożel w składzie substratu, wykazywał model 3 z hydrożelem w stanie luźnym, nieobsadzony roślinnością. Uzyskane wyniki wskazują na odmienne zachowanie się dodatku hydrożelu i inny przebieg cyklu pochłaniania i oddawania wody w zależności od tego, czy superabsorbent jest stosowany w formie luźnej domieszki czy umieszczony we wkładkach. W celu dokładniejszego zbadania zachowania hydrożelu w substracie konieczne jest kontynuowanie badań, mających na celu określenie wpływu temperatury i wilgotności powietrza oraz warstwy roślinności na zachowanie dodatku hydrożelu.

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

Wprowadzenie

Obszary zlewni silnie zurbanizowanych bardzo często charakteryzują się gęstą zabudową i dużym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych, co w znacznym stopniu zakłóca naturalny cykl hydrologiczny. Ciągłe postępujące uszczelnianie powierzchni terenu w znacznym stopniu zmniejsza natężenie infiltracji wód opadowych, równocześnie prowadząc do wzrostu natężenia spływu powierzchniowego [1-3]. Sytuacja taka przyczynia się do zwiększenia zagrożenia związanego z powstawaniem lokalnych podtopień oraz

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60A, 42-200 Częstochowa, tel. 34 325 09 17, email: ideska@is.pcz.czyst.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'17, Polanica-Zdrój, 4-7.10.2017

powodzi [3-5], do których w miesiącach letnich może dochodzić na skutek opadów nawalnych, a w miesiącach zimowych głównie na skutek szybkiego topnienia znacznych ilości śniegu lub lodu [6]. Zakłócenia w naturalnym cyklu hydrologicznym mogą prowadzić zarówno do zmniejszenia zasobów wód podziemnych, jak i do wzrostu ryzyka erozji terenu i zanieczyszczenia wód powierzchniowych, zwłaszcza wskutek zwiększenia natężenia spływu powierzchniowego w trakcie opadów o dużym natężeniu [1, 4].

W celu zminimalizowania tych niekorzystnych zjawisk na obszarach silnie zurbanizowanych, obok tradycyjnych systemów kanalizacyjnych, coraz częściej stosuje się zrównoważone systemy drenażu (ZSD) (ang. *SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems*) [7] lub elementy zielonej infrastruktury (ZI) (ang. *GI - Green Infrastructure*) [8]. ZSD łączą szereg technologii i technik stosowanych do odprowadzania wód opadowych w sposób bardziej zrównoważony niż przy zastosowaniu konwencjonalnych systemów kanalizacji. ZSD bazują na filozofii odtwarzania w obszarach zurbanizowanych, na ile to możliwe, naturalnego cyklu hydrologicznego [9]. Z kolei ZI to sieć zdecentralizowanych praktyk gospodarowania wodami opadowymi, takich jak: zastosowanie zielonych dachów, ogrodów deszczowych, powierzchni przepuszczalnych itp., które pozwalają na infiltrowanie i/lub retencjonowanie wody opadowej w miejscu wystąpienia opadu [8, 9].

Jednym z rozwiązań, które pozwala na zagospodarowanie (głównie retencjonowanie) wody opadowej w miejscu, w którym występuje opad, są zielone dachy [1, 2], które można zaliczyć zarówno do ZSD, jak i do ZI. Obok retencji, na powierzchni zielonych dachów dużą rolę odgrywają również takie zjawiska, jak: intercepcja szaty roślinnej, parowanie, transpiracja, infiltracja [10].

Zielone dachy posiadają budowę warstwową. Licząc od góry, można w nich wyróżnić m.in.: warstwę roślinności, substratu dachowego, warstwę filtracyjną, drenażową, chłonno-ochronną, folię przeciwmroźną [2]. Biorąc pod uwagę grubość warstwy substratu, rodzaj roślinności i sposób użytkowania powierzchni dachowej, zielone dachy można podzielić na: intensywne, półintensywne (semiintensywne) oraz ekstensywne [11].

Obok wielu korzyści ekonomicznych oraz ekologicznych wynikających ze stosowania zielonych dachów [12], obiekty te odgrywają bardzo ważną rolę w retencjonowaniu wody opadowej, co ma duże znaczenie na terenach silnie zurbanizowanych. W związku z tym ich stosowanie może przyczyniać się do zmniejszenia ryzyka powstawania podtopień i powodzi, występujących na skutek intensywnych opadów atmosferycznych [13, 14].

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, rodzaj roślinności porastającej dach [4, 15].

Bardzo istotnym elementem zielonego dachu jest warstwa wegetacyjna, czyli substrat, który stanowi podłoże i oparcie dla roślin [16]. Substrat powinien charakteryzować się stosunkowo niską gęstością, aby nie stanowić nadmiernego obciążenia dla budynku. Prawdłowo przygotowany substrat powinien mieć dobrą przepuszczalność, zarówno dla wody, jak i dla powietrza, i zapewniać szybkie odprowadzanie nadmiaru wody opadowej do niższych warstw zielonego dachu, co jest niezbędne dla prawidłowego przewietrzania korzeni roślin [16]. Substrat powinien dostarczać roślinom niezbędnych do ich wegetacji mikro- i makroelementów [16, 17].

W ostatnich latach wiele badań naukowych poświęcono lepszemu poznaniu wpływu rodzaju substratów na vegetację roślin oraz na właściwości retencyjne zielonych dachów [16, 18, 19]. Substraty dachowe mogą być modyfikowane np. poprzez zastosowanie domieszek superabsorbentów polimerowych (SAP), nazywanych także hydrożelami, które zatrzymują wodę opadową w podłożu gruntowym i umożliwiają jej stopniowe pobieranie przez rośliny w okresach bezopadowych [17, 19]. Hydrożele są trójwymiarowymi usieciowanymi hydrofilowymi polimerami, które mogą absorbować bardzo duże ilości wody w stosunku do ich suchej masy. Masa wody zaabsorbowanej przez hydrożel może być od kilku do kilkuset razy większa od jego suchej masy, w zależności od nacisku wywołwanego przez warstwę umieszczonego nad nim gruntu [20]. Dotychczas prowadzone badania dowodzą, że zmiana właściwości zwykłego substratu poprzez zastosowanie odpowiednich dodatków, m.in. hydrożelu (np. usieciowanego poliakrylanu potasu), może korzystnie wpłynąć na kondycję roślin, zwłaszcza w początkowym stadium vegetacji, kiedy rośliny te są jeszcze słabo odporne na niekorzystne warunki atmosferyczne [16]. Hydrożele mogą pełnić rolę bufora wilgotności i zmniejszając stres wodny roślin [20]. Chronią przed wypłukaniem makro- i mikroelementów (nutrientów) ze strefy przykorzeniowej roślin [20]. Zdolność do absorbowania wody przez hydrożele zależy jednak od składu chemicznego wody, np. od rodzaju zawartych w niej jonów oraz od ich stężenia. Im stężenie jonów jest niższe, tym lepiej woda jest absorbowana przez hydrożel [21]. Hydrożele mogą zwiększać pojemność wodną substratu oraz ilość wody dostępnej dla roślin [19], jednak parametry te mogą być zależne także od samego sposobu rozmieszczenia hydrożelu w substracie [20].

W artykule zaprezentowano wstępne wyniki eksperymentów mających na celu ustalenie wpływu dodatku hydrożelu potasowego (usieciowanego poliakrylanu potasu) oraz sposobu jego rozmieszczenia w substracie na zdolności retencyjne modeli ekstensywnych zielonych dachów.

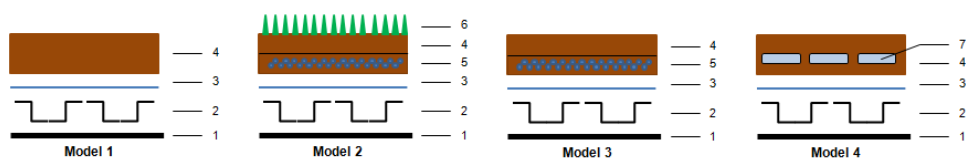
Metodyka badań

Badania prowadzono w warunkach terenowych z zastosowaniem 4 modeli zielonych dachów, zlokalizowanych w Częstochowie przy ul. Brzeźnickiej 60A, na terenie Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Modele były wykonane na tacach uprawowych o wymiarach wewnętrznych 55,7 cm × 55,7 cm × 7 cm, ułożonych ze spadkiem wynoszącym 5 % (rys. 1). Przekrój układu warstw na modelach dachów przedstawiono na rysunku 2. W każdej tacy uprawowej w prawym dolnym narożniku wykonano otwór połączony z przewodem służącym do odprowadzania nadmiaru wody opadowej, która nie została zretencjonowana na modelach. Powierzchnia substratu na każdym modelu wynosiła ok. 31 dm², przy całkowitej masie substratu na każdym stanowisku wynoszącej 11 kg. Na modelach 2, 3 i 4 zastosowano identyczną masę dodatku hydrożelu do substratu, wynoszącą 30 g, przy czym w przypadku modelu 4 hydrożel umieszczono we wkładkach z agrowłókniny o wymiarach 6 cm × 8 cm. Zastosowano w tym przypadku 16 wkładek, z których każda zawierała 1,875 g hydrożelu. Miąższość każdego substratu była względnie stała i wynosiła ok. 3,2 cm.



Rys. 1. Stanowisko badawcze - modele zielonych dachów (nr 1-3)

Fig. 1. The experimental setup - green roof models (No. 1-3)



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*), 7 - wkładka z agrowłókniny wypełniona hydrożelem

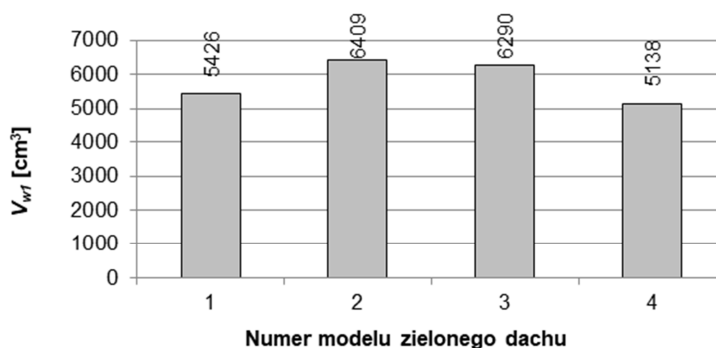
Fig. 2. Layers of the green roof models: 1 - the garden tray bottom, 2 - the drainage element Floradrain FD 25, 3 - the filter sheet SF, 4 - the substrate „Sedum carpet” without additions, 5 - the substrate „Sedum carpet” with addition of about 0.5 % by weight of hydrogel (potassium polyacrylate), 6 - the Goldmoss stonecrop (*Sedum Acre*), 7 - the agrotexile insert with hydrogel

Badania prowadzono od 27 marca do 31 maja 2017 roku w naturalnych warunkach atmosferycznych z wykorzystaniem opadów naturalnych oraz symulowanych. Temperatura powietrza w okresie, w którym były prowadzone badania, wahała się od minimalnej, wynoszącej $-1,2^{\circ}\text{C}$, do maksymalnej, wynoszącej $31,4^{\circ}\text{C}$, a wilgotność powietrza zawarta była w przedziale od 21 do 98 %. Badania podzielono na dwa etapy. Pierwszy etap obejmował początkowe nawodnienie modeli zielonych dachów z wykorzystaniem opadu symulowanego. Przed pierwszym opadem wszystkie warstwy modeli znajdowały się w stanie powietrzno suchym. Drugi etap eksperymentu, prowadzony z zastosowaniem modeli 2, 3 i 4, obejmował dalsze badania zdolności retencyjnych zielonych dachów, realizowane z zastosowaniem opadów naturalnych.

Badania polegały na określeniu objętości wody, która została zretencjonowana wewnątrz warstw poszczególnych modeli zielonych dachów w trakcie opadów. Objętość zretencjonowanej wody była obliczana jako różnica pomiędzy objętością wody opadowej, jaka spadła na dany model zielonego dachu, a objętością wody, jaka odpłynęła z warstw modelu. Objętości opadów naturalnych obliczono na podstawie wysokości opadów ustalonych z zastosowaniem deszczomierza Davis Vantage Pro 2 Plus.

Wyniki badań i ich dyskusja

Na rysunku 3 zamieszczono wykresy przedstawiające objętości wody zretencjonowanej wewnątrz warstw czterech badanych modeli zielonych dachów podczas pierwszego, symulowanego opadu, jaki miał miejsce 27.03.2017 r. Przed symulacją opadu wszystkie elementy modeli zielonych dachów znajdowały się w stanie powietrzno suchym. Objętość wody rozsączonej na powierzchnię każdego z modeli wynosiła 9 dm^3 , co odpowiadało wysokości opadu równej 29 mm. Średnie natężenie opadu wynosiło $265 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Temperatura powietrza w trakcie symulacji opadu wynosiła $8,1 \text{ }^\circ\text{C}$, natomiast wilgotność powietrza wynosiła 60,5 %.



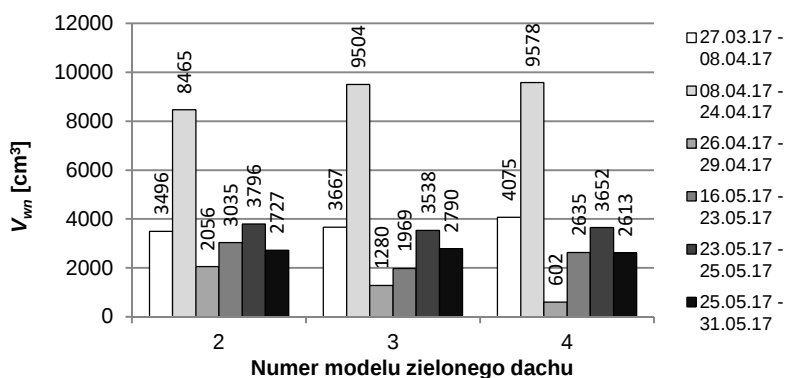
Rys. 3. Objętości wody zretencjonowanej w modelach zielonych dachów podczas pierwszego opadu (V_w)

Fig. 3. Volumes of water stored in green roof models during the first precipitation (V_w)

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że podczas pierwszego opadu najlepsze zdolności retencyjne wykazywał model 2 z substratem zawierającym domieszkę hydrożelu w stanie luźnym oraz obsadzony roślinnością (rozchodnikiem ostrym *Sedum Acre*). Wewnątrz warstw tego modelu zretencjonowano 6409 cm^3 wody. W niewielkim stopniu słabszą zdolność retencyjną wykazał model 3 z substratem zawierającym domieszkę hydrożelu w stanie luźnym, ale nieobsadzony roślinnością, gdzie zretencjonowano 6290 cm^3 wody. Trzecia co do wartości objętość wody, wynosząca 5426 cm^3 , została zretencjonowana wewnątrz warstw modelu 1, zawierającego substrat bez żadnych domieszek, natomiast najmniej wody (5138 cm^3) udało się zatrzymać w warstwach modelu 4, w którym zastosowano wkładki z agrowłókniny wypełnionej hydrożelem potasowym.

Uzyskane wyniki mogą wskazywać, że podczas pierwszego opadu hydrożel dodany do substratu w postaci luźnej domieszki pozwolił na uzyskanie dodatkowych zdolności retencyjnych. Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku modelu 4 podczas pierwszego opadu nie udało się uzyskać dodatkowej retencji wody. W tym przypadku hydrożel umieszczony we wkładkach nie uzyskał prawdopodobnie pełnego nasycenia wodą z uwagi na ograniczoną pojemność wkładek i utrudniony dostęp wody do części hydrożelu zawartego głębiej we wnętrzu wkładek.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki drugiego etapu badań prowadzonego z zastosowaniem opadów naturalnych dla modeli 2, 3 i 4, w przypadku których zastosowano hydrożel. Na wykresie pominięto opady, dla których uzyskano retencję na poziomie 100 % i nie doszło do odpływu wody z modeli zielonych dachów.



Rys. 4. Objętości wody zretencjonowanej w modelach zielonych dachów 2, 3 i 4 podczas opadów naturalnych (V_{wm})

Fig. 4. Volumes of water stored in green roof models 2, 3 and 4 during the natural precipitations (V_{wm})

Dane przedstawione na rysunku 4 wskazują, że w okresie od 27.03.2017 r. do 8.04.2017 r., przypadającym tuż po pierwszym nawodnieniu modeli zielonych dachów, najwięcej wody zretencjonowano wewnątrz modelu 4 z wkładkami z hydrożelem, który w trakcie pierwszego opadu wykazywał najsłabsze zdolności retencyjne. Prawdopodobnie dopiero podczas drugiego opadu część hydrożelu zawartego we wkładkach osiągnęła maksymalne nasycenie wodą. Z kolei w trakcie opadów zarejestrowanych od 08.04.2017 r. do 24.04.2017 r. największą i zarazem zbliżoną objętość wody zretencjonowano w warstwach modeli 3 i 4. Należy podkreślić, że w wymienionym okresie następowały zarówno bardzo intensywne opady śniegu, np. 19.04.2017 r., jak i stosunkowo intensywne opady deszczu. Od 26.04.2017 r. do 29.04.2017 r. najlepsze zdolności retencyjne wykazywał ponownie model 2 (z hydrożelem w stanie luźnym i roślinnością), a zdecydowanie najsłabsze model 4 (z wkładkami zawierającymi hydrożel). Można przypuszczać, że w tym przypadku na wynik miało wpływ wcześniejsze zretencjonowanie wewnątrz modelu 4 większej objętości wody pochodzącej z opadów śniegu i deszczu. W tym przypadku we wkładkach z hydrożelem prawdopodobnie pozostała jeszcze stosunkowo duża ilość zmagazynowanej wody, która z uwagi na zagęszczenie hydrożelu wewnątrz wkładek miała bardzo utrudnione parowanie. Podczas opadów, jakie następowały od 16.05.2017 r. do 23.05.2017 r. oraz od 23.05.2017 r. do 25.05.2017 r., najlepsze zdolności retencyjne wykazywał model 2, natomiast najsłabsze model 3. Stopniowo poprawiające się właściwości chłonne modelu 2 mogły wynikać z intensywnego przyrostu biomasy roślin i coraz lepszego stopnia ich ukorzenienia, co pozwalało na osiągnięcie dodatkowych możliwości retencjonowania wody wynikających z intercepcji szaty roślinnej oraz transpiracji. W przypadku opadów występujących od 25.05.2017 r. do 31.05.2017 r.

w warstwach modeli zretencjonowano zbliżone objętości wody, przy czym największa objętość została zatrzymana wewnątrz modelu 3.

Należy podkreślić, że sumaryczne objętości opadów przedstawione na rysunku 4 dla trzech modeli są zbliżone, przy czym największą objętość (w trakcie wymienionych opadów) zretencjonowano wewnątrz modelu 2 ($23\,575\text{ cm}^3$), drugą co do wielkości - w modelu 4 ($23\,155\text{ cm}^3$), a najmniejszą - w modelu 3 ($22\,748\text{ cm}^3$). Można stwierdzić, że uzyskane wyniki nie dają jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, czy lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie hydrożelu w stanie luźnym, zmieszanego bezpośrednio z substratem, czy też umieszczenie go we wkładkach z przepuszczalnego materiału. Zauważono zróżnicowanie w cyklu wchłaniania i oddawania wody przez hydrożel w zależności od tego, czy jest on dodany do substratu w postaci luźnej domieszki czy umieszczony we wkładkach. Należy nadmienić, że w przypadku zastosowania wkładek może występować problem z osiągnięciem przez hydrożel pełnego nasycenia wodą z uwagi na ograniczoną objętość wkładek. W takim przypadku o objętości wchłoniętej wody nie decyduje pojemność wodna hydrożelu, a jedynie pojemność wkładki.

Wnioski

1. Podczas pierwszego nasączenia modeli zielonych dachów najlepsze i zarazem zbliżone właściwości retencyjne wykazywały modele 2 i 3, w przypadku których hydrożel został zastosowany w formie luźnej domieszki do substratu, a słabsze zdolności retencyjne uzyskał model 4, w którym zastosowano wkładki z hydrożelem. Można przypuszczać, że w przypadku, gdy zarówno substrat, jak i hydrożel są bardzo mocno przesuszone i znajdują się w stanie powietrzno suchym, lepszą zdolność chłonną może posiadać superabsorbent w stanie luźnym.
2. Podczas badań prowadzonych z zastosowaniem opadów naturalnych, w określonych okresach badawczych, modele zielonych dachów retencjonowały bardzo zróżnicowane objętości wody. Najczęściej największą objętość zretencjonowanej wody uzyskiwano dla modelu 2 z substratem zawierającym hydrożel w stanie luźnym, posiadającym warstwę roślinności, ale równocześnie na przełomie całego okresu badawczego najsłabsze zdolności retencyjne wykazywał model 3, który również zawierał hydrożel w stanie luźnym, ale nie posiadał warstwy roślinności. Można więc przypuszczać, że na wysokie zdolności retencyjne modelu 2 mogły wpływać przede wszystkim rośliny, które podczas wegetacji, pobierając wodę zawartą w substracie, umożliwiały jego szybsze osuszanie.
3. Analizując sumaryczną objętość wody zretencjonowanej w drugim etapie badań, prowadzonym z wykorzystaniem opadów naturalnych, najlepsze zdolności retencyjne wykazywał model 2. Jeżeli chodzi o modele pozbawione warstwy roślinności, model, w którym zastosowano wkładki z hydrożelem (model 4), wykazał nieznacznie lepsze zdolności retencyjne niż model zawierający hydrożel w stanie luźnym (model 3). Jednak różnice w całkowitej ilości zretencjonowanej wody są bardzo niskie i nie pozwalają na jednoznaczne stwierdzenie, który sposób dodatku hydrożelu do substratu jest lepszy, zwłaszcza w przypadku, gdy opady występują w stosunkowo krótkich odstępach czasu.

4. W związku z uzyskaniem niejednoznacznych wyników badań wstępnych istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań, mających na celu określenie wpływu sposobu rozmieszczenia hydrożelu w substracie na zdolności retencyjne zielonych dachów.

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-IV):3-9. http://www.itp.edu.pl/wydawnictwo/journal/16_2012_I_VI/artykuly/Burszta%20Adamiak.pdf.
- [2] Burszta-Adamiak E, Łomotowski J, Wiercik P. Zielone dachy jako rozwiązania poprawiające gospodarke wodami opadowymi w miastach. *Inż Ekol.* 2014;39:26-32. DOI: 10.12912/2081139X.47.
- [3] Burszta-Adamiak E, Mrowiec M. Modelling of green roofs' hydrologic performance using EPA's SWMM. *Water Sci Technol.* 2013;68(1):36-42. DOI: 10.2166/wst.2013.219.
- [4] 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.
- [5] Mrowiec M, Sobczyk M. Ekologiczne zagospodarowanie wód opadowych - zielone dachy. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie.* 2014;14(48):53-61. http://www.itp.edu.pl/wydawnictwo/woda/zeszyt_48_2014/artykuly/Mrowiec%20Sobczyk.pdf.
- [6] Malmur R, Mrowiec M. Zbiornik retencyjno-przerzutowy jako nowe rozwiązanie przerzutu ścieków opadowych do odbiorników wodnych. *Roczn Ochr Środ.* 2013;15:2339-2351. http://ros.edu.pl/images/roczniki/2013/pp_2013_153.pdf.
- [7] Ociepa E. Sposoby ograniczenia niekorzystnego wpływu zrzutu ścieków opadowych. *Chem Dydak Ekol Metrol.* 2011;16(1-2):47-50. https://drive.google.com/file/d/19IXQtn5nEtoz1uLqBgP_Nz2F0Teq5tMQ/view.
- [8] European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Green Infrastructure (GI): Enhancing Europe's Natural Capital, Brussels: European Commission; 2013. http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructures/1_EN_ACT_part1_v5.pdf.
- [9] Fletcher TD, Shuster W, Hunt WF, Ashley R, Butler D, Arthur S, et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water J.* 2015;12(7):3-20. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Ociepa-Kubicka A. Ekonomiczne i ekologiczne aspekty zielonych dachów. *Zesz Nauk Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu.* 2015;15(2):289-296. <http://ojs.wsb.wroclaw.pl/index.php/WSBRJ/article/view/105>.
- [13] 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.
- [14] 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>.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.

- [18] 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>.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Banedjschafie S, Durner W. Water retention properties of a sandy soil with superabsorbent polymers as affected by aging and water quality. *J Plant Nutr Soil Sci.* 2015;178:798-806. DOI: 10.1002/jpln.201500128.

INFLUENCE OF THE HYDROGEL ADDITION ARRANGEMENT 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 article presents the results of research of retention capacities of 4 green roof models. In these models were used: in model 1 - the typical extensive substrate, in models 2 and 3 - the above-mentioned extensive substrate with addition of hydrogel (cross-linked polyacrylate potassium), in model 4 - agrotexile inserts with hydrogel. Model 2 additionally contained the plants (Goldmoss *Stoncrop Sedum Acre*). Models 2, 3 and 4 contained the same portion of hydrogel (30 g). The field experiments were conducted in two stages under natural atmospheric conditions. The initial stage included the first simulated precipitation (all layers of green roof models were air-dry during these experiments). The second stage included the further investigations of the retention capacities of green roof models, predominantly with use of natural precipitations. The obtained results of initial stage of experiments show that during the first simulated precipitation the best retention capacities had models 2 and 3 (with hydrogel admixtures). The least amount of water was absorbed in model 1 (without hydrogel additive) and model 4 (containing agrotexile inserts with hydrogel). The results of the second stage of the experiment are equivocal. In the case of three natural precipitations, the best retention capacity was demonstrated by model 2, with the substrate containing hydrogel admixture planted with vegetation, but in the case of two rainfalls more water was stored in model 4, with hydrogel inserts. The least amount of water was absorbed in model 3, with hydrogel admixture, not planted with vegetation. The results show the different behavior of hydrogel and the differences in wetting-drying cycle, depending on whether the superabsorbent is used in the form of a loose admixture or placed in the inserts. Further research is needed to evaluate of influence of temperature and humidity and the presence of vegetation on behavior of hydrogel additive in the green roof substrate.

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