

Iwona DESKA¹, Ewa OCIEPA¹, Maciej MROWIEC¹ i Katarzyna ŁACISZ¹

BADANIE WPLYWU HYDROŻELU NA ZDOLNOŚCI RETENCYJNE ZIELONYCH DACHÓW

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF HYDROGEL ADDITION ON THE RETENTION CAPACITY OF GREEN ROOFS

Abstrakt: Postępujący rozwój i urbanizacja wpływają na kształtowanie odpływu wód opadowych ze zlewni. Wzrost stopnia uszczelnienia powierzchni powoduje zwiększanie natężenia spływu powierzchniowego, co często przyczynia się do podwyższenia zagrożenia powodziowego. W związku z tym na terenach silnie zurbanizowanych, obok tradycyjnych systemów kanalizacji deszczowej, coraz częściej stosuje się rozwiązania mające na celu zagospodarowanie wód deszczowych w miejscu wystąpienia opadu. Rozwiązania te noszą nazwę zrównoważonych systemów drenażu. Jednym z takich rozwiązań są zielone dachy. W artykule przedstawiono wyniki badań zdolności retencyjnych czterech modeli zielonych dachów, na których zastosowano zróżnicowane substraty dachowe. Jedno podłoże glebowe stanowił tradycyjny substrat dachowy bez domieszek, dwa podłoża stanowiły substraty z domieszkami hydrożelu, odpowiednio wynoszącymi około 1 i 0,25% wagowych. Jako czwarte podłoże zastosowano substrat dachowy z domieszką keramzytu i perlitu ogrodniczego. Na modelach zielonych dachów nie zastosowano roślinności, aby badania dotyczyły wyłącznie zdolności retencyjnych zastosowanych substratów. Pierwsza część eksperymentu opisanego w artykule polegała na badaniu zdolności retencyjnych substratów dachowych podczas pierwszego symulowanego opadu oraz opadu występującego po długim okresie bezdeszczowym (substrat i inne elementy modelu zielonego dachu w stanie powietrzno suchym). W tym przypadku najlepsze zdolności retencyjne wykazał substrat z zawartością ok. 1% hydrożelu. Drugą co do wartości pojemności retencyjną odznaczał się substrat zawierający ok. 0,25% wag. hydrożelu. Z kolei najslabsze zdolności retencyjne posiadał substrat z dodatkiem materiałów silnie porowatych (keramzytu i perlitu ogrodniczego). Druga część eksperymentu polegała na badaniu zdolności retencyjnych substratów podczas opadu, jaki wystąpił po okresie bezdeszczowym, wynoszącym 4 doby. Otrzymane wyniki wskazują, że w tym przypadku najlepsze zdolności retencyjne wykazał substrat zawierający ok. 0,25% hydrożelu, drugą co do wartości chłonność posiadał substrat z dodatkiem i keramzytu, i perlitu ogrodniczego, trzecią co do wartości chłonność wykazywał substrat bez żadnych dodatków. Najslabszą chłonność w tym przypadku posiadał substrat z dodatkiem około 1% hydrożelu.

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

Wprowadzenie

Cechą charakterystyczną obszarów silnie zurbanizowanych jest gęsta zabudowa i duży udział powierzchni nieprzepuszczalnych, co skutkuje znacznym utrudnieniem odprowadzania wód opadowych w głąb gruntu i zakłóceniem przebiegu naturalnych procesów hydrologicznych, takich jak retencja i infiltracja [1, 2]. Na obszarach silnie zurbanizowanych ok. 55% opadu odpływa po powierzchni zlewni i może trafić do systemów kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, podczas gdy spływ powierzchniowy na terenach niezurbanizowanych stanowi jedynie ok. 10% objętości opadu. W warunkach naturalnych ok. 40% wody opadowej jest w stanie odparować i powrócić do atmosfery, natomiast z terenów silnie zurbanizowanych odparowuje maksymalnie ok. 30% wody [3, 4]. Coraz większy stopień uszczelnienia powierzchni zlewni wiąże się z powstaniem

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.czest.pl
Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 15, Jarnołtówek, 14-17.10.2015

szeregu problemów, z których najpoważniejsze to zwiększenie zagrożenia powodziowego, a także redukcja stopnia infiltracji wód opadowych do środowiska gruntowo-wodnego [5]. Występowanie zwiększonego zagrożenia powodziowego w miesiącach letnich jest związane z pojawianiem się gwałtownych opadów deszczu, podczas gdy w miesiącach zimowych i wiosennych może być spowodowane szybkim topnieniem śniegu i lodu [6]. W związku z możliwością występowania zagrożeń powodziowych należy dążyć do stosowania takich rozwiązań, które będą wspomagały działanie tradycyjnych systemów kanalizacyjnych i będą pozwalały na zagospodarowanie wody opadowej jak najbliższej miejsca, w którym opad występuje [2]. Rozwiązania te są elementem strategii określanej jako zrównoważone systemy drenażu ZSD (ang. *SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems* lub *LID - Low Impact Development*) [1, 7]. Celem tej strategii jest zminimalizowanie wpływu powierzchni nieprzepuszczalnych i zabudowanych na obieg wody w ekosystemach, wiążące się ze wspieraniem lub przywracaniem naturalnego cyklu hydrologicznego w zlewniach oraz prowadzeniem działań na rzecz ochrony i poprawy jakości wód naturalnych, zarówno podziemnych, jak i powierzchniowych [7]. Zrównoważone systemy drenażu obejmują m.in. takie rozwiązania, jak: zastosowanie systemów do infiltracji wody opadowej [8] lub zbiorników retencyjno-infiltracyjnych [9], a także zastosowanie, zwłaszcza na obszarach silnie zurbanizowanych, powierzchni przepuszczalnych, umożliwiających bezpośrednie wsiąkanie wody opadowej w głąb gruntu [10]. Innym przykładem zrównoważonych systemów drenażu są systemy bioretencyjne (np. ogrody deszczowe) lub zielone dachy [11].

Zielone dachy, zwane także ekodachami lub dachami z roślinnością, to dachy złożone z wielu warstw, m.in.: warstwy drenażowej, warstwy filtracyjnej, warstwy substratu dachowego (gruntu) oraz porastającej go roślinności [12]. Zielone dachy, ze względu na przeznaczenie, sposób użytkowania i rodzaj zastosowanych roślin, można podzielić na: intensywne, semiintensywne oraz ekstensywne [13].

Pokrycie powierzchni dachowych warstwą roślinności niesie ze sobą wiele korzyści ekologicznych i ekonomicznych, takich jak m.in.: zwiększenie retencji wód opadowych i wiążące się z tym zmniejszenie zagrożenia powodziowego, poprawa właściwości cieplnych budynków i związana z tym oszczędność energii, redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła, przedłużenie trwałości elementów pokrycia dachowego, poprawa i złagodzenie mikroklimatu miejskiego, pozytywny wpływ na jakość powietrza [5, 12, 14-17]. Nie do przecenienia jest także poprawa estetyki krajobrazu miejskiego [12, 15, 18]. Na zdolności retencyjne zielonych dachów wpływa bardzo wiele czynników, z których najistotniejsze to: rodzaj dachu (intensywny, ekstensywny, semiintensywny), spadek dachu, grubość substratu dachowego itp. [5, 19]. Wyniki badań dostępne w literaturze wskazują, że spośród zielonych dachów najlepsze zdolności retencyjne wykazują dachy intensywne [19]. Prowadzone dotychczas badania dowodzą, że w miarę zwiększania się spadku maleje zdolność retencyjna zielonych dachów [5].

Jednym z ważniejszych komponentów zielonych dachów jest warstwa gleby, którą obsadza się odpowiednią roślinnością (substrat dachowy) [20]. Zadaniem substratu jest stanowienie podłoża dla roślin, a także dostarczanie wody i składników odżywczych, niezbędnych do ich rozwoju [17, 20]. Jednocześnie substrat musi odznaczać się niską gęstością, aby nadmiernie nie obciążać konstrukcji budynku, musi być stabilny chemicznie i posiadać dostatecznie dobrą przepuszczalność powietrzną i zdolność swobodnego

oddawania wody, aby zapewnić dostatecznie dobre przewietrzenie korzeni roślin [20]. Pomimo tak ważnej roli, jaką spełnia substrat, w literaturze ciągle brak jest dostatecznej ilości wyników badań naukowych poświęconych temu ważnemu elementowi zielonych dachów [20]. W związku z tym istnieje potrzeba prowadzenia badań, które mogą przyczynić się nie tylko do lepszego poznania tego ważnego elementu zielonych dachów, ale także prowadzić do ciągłej poprawy jego jakości i, w konsekwencji, do wprowadzania modyfikacji, które mogą korzystnie wpływać na jego parametry i na rozwój roślin porastających zielony dach [18, 20].

Jedną z modyfikacji substratu dachowego może być zastosowanie domieszki substancji sorbujących wodę (superabsorbentów, polimerów hydrofilowych), których celem jest zwiększenie dostępności wody opadowej dla roślin, co może zwiększyć szansę na ich prawidłową vegetację podczas długotrwałych okresów bezopadowych, zwłaszcza w przypadku dachów ekstensywnych [18]. Jednym z takich dodatków może być hydrożel potasowy, np. usieciowany poliakrylan potasu. Dotychczas prowadzone badania potwierdzają, że dodatek hydrożelu może zwiększać pojemność wodną substratu, a tym samym umożliwiać magazynowanie wody, która może być wykorzystana przez rośliny w okresie suszy [17]. Zmiana charakterystyki zwykłego substratu dostępnego na rynku może znacząco wpływać na vegetację roślin zastosowanych na zielonym dachu, zwłaszcza w początkowym stadium vegetacji, gdy rośliny są słabo odporne na zmienne i niekorzystne warunki klimatyczne [20].

Eksperymenty scharakteryzowane w niniejszym artykule mają na celu zbadanie, jak dodatek substancji sorbujących wodę, takich jak: hydrożel, keramzyt oraz perlit, wpływa na zdolności retencyjne zielonych dachów.

Metodyka badań

Do konstrukcji modeli zielonych dachów wykorzystano 4 tace uprawowe o wymiarach wewnętrznych $55,7 \times 55,7 \times 7$ cm, wykonane z wysokiej jakości lekkiego plastiku. W dnie każdej tacy (w prawym dolnym rogu) wykonano otwór i zainstalowano przewód służący do odprowadzania nadmiaru wody niezretencjonowanej przez elementy chłonne modelu dachu. Na dnie każdej z tac umieszczono matę drenażową Floradrain FD 25 (o wysokości 25 mm), przyciętą dokładnie do wymiarów dna tacy. Na każdej z mat ułożono włókninę filtracyjną typu SF o wymiarach 70×70 cm. W każdej z tak przygotowanych tac umieszczono 10 dm^3 odpowiednio przygotowanego substratu dachowego, zwracając uwagę na to, by na całej powierzchni tacy, wynoszącej 31 dm^2 , miąższość substratu była względnie stała. W tym przypadku wynosiła ona ok. 3,2 cm. Charakterystykę substratów zamieszczono w tabeli 1.

Doświadczenie składało się z 2 etapów. W pierwszym etapie badano zdolności retencyjne modeli zielonych dachów podczas pierwszego opadu oraz opadu, jaki wystąpił po długim okresie bezdeszczowym, wynoszącym 34 dni, gdy elementy drenażowe i substraty pozostawały w stanie powietrzno suchym (średnia wilgotność węgla substratów wynosiła $4,86 \pm 1,57\%$). Powierzchnię substratu na każdym modelu dachu zraszano równomiernie odpowiednią ilością wody co najmniej do momentu uzyskania oddziaływania nadmiaru wody z modelu. Objętość wody zretencjonowanej na każdym modelu

dachu obliczono na podstawie różnicy między objętością wody rozsączonej na powierzchni substratu a objętością wody, która odpłynęła otworem w dnie tacy.

W drugim etapie badano zdolności retencyjne modeli zielonych dachów po okresie bezdeszczowym wynoszącym 4 doby według tej samej metodyki.

Tabela 1

Właściwości substratów dachowych zastosowanych w badaniach

Table 1

Properties of substrates used in the experiments

Nr i oznaczenie modelu zielonego dachu	Skład substratu	Gęstość substratu [kg·m ⁻³]	Masa substratu [kg]
Model 1	Substrat „Ogród dachowy” - 12,120 kg	1212,15 ±12,10	12,120
Model 2	Substrat „Ogród dachowy” - 12,000 kg Hydrożel potasowy - 0,120 kg	1212,15 ±12,10	12,120
Model 3	Substrat „Ogród dachowy” - 12,090 kg Hydrożel potasowy - 0,030 kg	1212,15 ±12,10	12,120
Model 4	Substrat „Ogród dachowy” - 6,630 kg Keramzyt - 0,597 kg Perlit ogrodniczy - 0,398 kg	762,51 ±41,03	7,625

Badania były prowadzone w warunkach laboratoryjnych od 21.05.2015 r. do 04.09.2015 r. Dzięki ustawieniu stanowisk badawczych bezpośrednio pod świetlikiem dachowym możliwe było odpowiednie nasłonecznienie powierzchni substratów oraz zachowanie dobowych wahań temperatury. Temperatura powietrza panująca przy największym nasłonecznieniu tac uprawowych (w godz. 11.00-15.00) zawarta była w przedziale od 30,1 do 41,4°C. Minimalna temperatura odnotowana w porze nocnej wynosiła 25,2°C. Wilgotność powietrza wahała się w granicach od 27 do 58%.

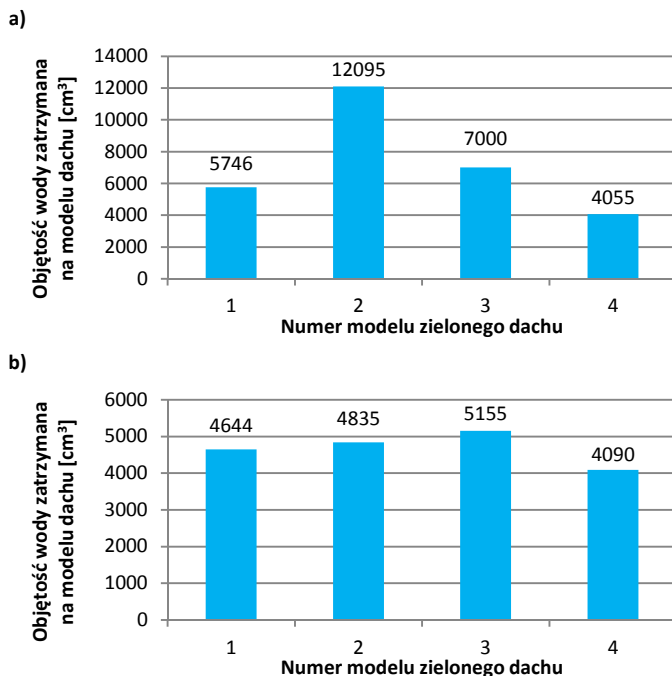
Wyniki badań i dyskusja

Na rysunku 1 przedstawiono wykresy pokazujące objętość wody zatrzymanej na każdym modelu: a) podczas pierwszego zasymulowanego opadu; b) podczas opadu, jaki miał miejsce po 34 dniach bezdeszczowych (substraty w stanie powietrzno suchym).

Wyniki przedstawione na rysunku 1a wskazują, że podczas pierwszego opadu najlepsze zdolności retencyjne wykazał model 2, na którym zastosowano substrat z dodatkiem ok. 1% wag. hydrożelu. Objętość zretencjonowanej wody wynosiła w tym przypadku 12,095 dm³. Druga co do wartości objętość wody (7 dm³) została zretencjonowana na modelu 3, gdzie substrat zawierał ok. 0,25% wag. hydrożelu. Trzecią w kolejności ilość wody (5,746 dm³) zatrzymał model 1 z substratem bez dodatków. Najslabsze zdolności retencyjne podczas pierwszego opadu wykazał model 4 z substratem zawierającym domieszkę keramzytu i perlitu ogrodniczego (objętość zretencjonowanej wody 4,055 dm³).

Podczas opadu, jaki został zasymulowany po 34 dniach bezdeszczowych i równocześnie po 106 dniach od pierwszego opadu (rys. 1b), różnice w objętości wody zatrzymanej przez poszczególne modele nie były już tak duże, jak w przypadku pierwszego opadu. Najwyższą zdolność retencyjną wykazał w tym przypadku model 3 (objętość zatrzymanej wody 5,155 dm³). Nieznacznie mniejsza objętość wody została

zretencjonowana na modelu 2 ($4,835 \text{ dm}^3$) i modelu 1 ($4,644 \text{ dm}^3$). Najmniejszą objętość wody ($4,090 \text{ dm}^3$), nieznacznie wyższą od zatrzymanej podczas pierwszego opadu, zretencjonował model 4.



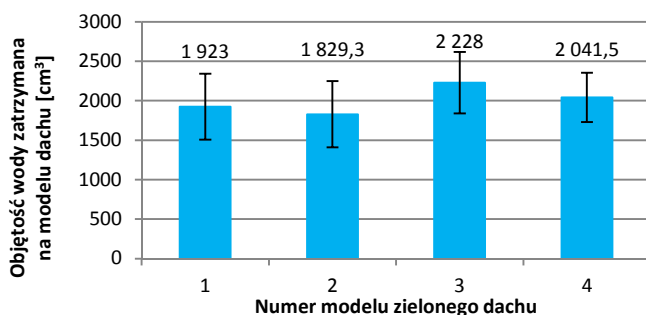
Rys. 1. Objętość wody zatrzymanej na modelach zielonych dachów podczas: a) pierwszego opadu oraz b) opadu, jaki wystąpił po 34 dniach bezdeszczowych

Fig. 1. Volume of water stopped on green roof models during: a) the first precipitation and b) the precipitation that occurred after 34 antecedent dry days

Na rysunku 2 zamieszczono wykres pokazujący uśrednioną objętość wody zretencjonowaną na każdym modelu zielonego dachu w trakcie 3 symulowanych opadów, jakie następowały po okresach bezopadowych trwających 4 doby.

Wyniki wskazują, że najlepsze zdolności retencyjne, podobnie jak w przypadku 34-dniowego okresu bezdeszczowego, wykazał model 3 (substrat z dodatkiem ok. 0,25% wag. hydrożelu). Uśredniona objętość zatrzymanej wody wyniosła w tym przypadku $2,228 \pm 0,390 \text{ dm}^3$. Drugą co do wartości uśrednioną objętość wody ($2,041 \pm 0,313 \text{ dm}^3$) zatrzymał model 4 (substrat z domieszką materiałów silnie porowatych - perlitu ogrodniczego i keramzytu), który w przypadku długich okresów bezopadowych wykazywał najsłabsze zdolności retencyjne. Trzecią co do wartości objętość wody ($1,923 \pm 0,418 \text{ dm}^3$) została zretencjonowana przez model 1 (substrat dachowy bez domieszek). Najsłabsze zdolności retencyjne po 4 dniach bezdeszczowych wykazał model 2 ($1,829 \pm 0,422 \text{ dm}^3$ zatrzymanej wody), gdzie substrat zawierał dodatek ok. 1% wag. hydrożelu.

Otrzymane wyniki wskazują, że dodatek hydrożelu, jak również substancji silnie porowatych (keramzytu i perlitu ogrodniczego), wpływał na zdolności retencyjne zielonych dachów. O tym, czy był to wpływ pozytywny czy negatywny, decydowała długość okresu bezdeszczowego, która w niniejszych badaniach była silnie skorelowana ze stopniem przesuszenia substratów i innych elementów drenażowych modeli zielonych dachów, z uwagi na stabilne czynniki atmosferyczne panujące w laboratorium w okresie, w którym były prowadzone badania (zbliżone dobowe zmiany temperatury i wilgotności powietrza).



Rys. 2. Uśredniona objętość wody zatrzymanej na modelach zielonych dachów podczas opadu, jaki wystąpił po 4 dniach bezdeszczowych

Fig. 2. Average volume of water stopped on green roof models during the precipitation that occurred after 4 antecedent dry days

Wyniki wskazują, że jedynie podczas pierwszego opadu duży dodatek hydrożelu (ok. 1% wag.) bardzo znacząco zwiększył zdolności retencyjne substratu dachowego. Podczas następnych opadów największe objętości wody zatrzymywał substrat z mniejszym dodatkiem hydrożelu (ok. 0,25% wag.). Przy krótszym okresie bezopadowym substrat z większą zawartością hydrożelu posiadał nawet słabsze zdolności retencyjne niż substrat bez żadnych dodatków lub z dodatkiem materiałów silnie porowatych. W trakcie prowadzenia badań zaobserwowano wyraźny spadek zdolności retencyjnych substratów z domieszkami hydrożelu wraz z upływem czasu (rys. 1), ponieważ objętości zatrzymanej wody podczas pierwszego opadu były znacznie wyższe niż podczas opadu, jaki wystąpił 106 dni później (opad po 34 dniach bezdeszczowych), mimo że w jednym i w drugim przypadku elementy drenażowe modeli dachów i substraty znajdowały się w stanie powietrzno suchym. Ten znaczny spadek zdolności retencyjnych modeli 2 i 3 był spowodowany tym, że hydrożel znajdujący się w wierzchnich warstwach substratu uległ stosunkowo szybkiemu rozkładowi pod wpływem promieniowania słonecznego (UV). Ubytek hydrożelu był znaczny z uwagi na względnie cienką warstwę substratu (jedynie 3,2 cm) i brak obecności roślin, które utrudniałyby dostęp promieni słonecznych do powierzchni substratu. Spadek efektywności działania hydrożelu w substratach po około 5 miesiącach od założenia modeli zielonych dachów zauważyli w swych badaniach Savi i in. [17]. Jednak w przypadku prowadzonych przez nich badań na modelach zielonych dachów zastosowano roślinność oraz grubsze warstwy substratów.

Wnioski

1. Dodatek hydrożelu wpływa na zdolności retencyjne substratów dachowych. W przypadku pierwszego opadu (elementy drenażowe oraz substraty dachowe w stanie powietrzno suchym) najwięcej wody zretencjonował substrat z dodatkiem ok. 1% wag. hydrożelu, natomiast drugą co do wielkości ilość wody zatrzymał substrat z dodatkiem ok. 0,25% wag. hydrożelu.
2. W przypadku opadu, jaki wystąpił po 34 dniach bezdeszczowych (elementy drenażowe oraz substraty w stanie powietrzno suchym), najwyższą objętość wody zretencjonował substrat z dodatkiem ok. 0,25% wag. hydrożelu. Drugą co do wartości objętość wody zatrzymał substrat z dodatkiem ok. 1% wag. hydrożelu, natomiast najmniejszą objętość wody zretencjonował substrat z dodatkiem materiałów porowatych - keramzytu i perlitu ogrodniczego. Na uwagę zasługuje to, że w stosunku do pierwszego opadu w bardzo dużym stopniu zmniejszyła się zdolność retencyjna substratu z zawartością ok. 1% hydrożelu. Dość wyraźnie zmniejszyła się też zdolność retencyjna substratu z zawartością ok. 0,25% hydrożelu oraz substratu bez dodatków, natomiast prawie nie uległa zmianie zdolność retencyjna substratu z dodatkiem keramzytu i perlitu ogrodniczego.
3. W przypadku opadu, jaki wystąpił po 4 dniach bezdeszczowych, najwyższą zdolność retencyjną wykazywał substrat z dodatkiem ok. 0,25% hydrożelu. Drugą co do wielkości uśrednioną objętość wody zatrzymywał substrat z dodatkiem substancji silnie porowatych - keramzytu i perlitu. Z kolei najslabszą zdolność retencyjną wykazywał substrat z dodatkiem ok. 1% wag. hydrożelu.
4. Otrzymane wyniki wskazują, że zbyt duży dodatek hydrożelu może negatywnie wpływać na zdolności retencyjne substratów dachowych.
5. Dodatek substancji silnie porowatych (keramzytu i perlitu ogrodniczego) może wpływać korzystnie na zdolności retencyjne substratów dachowych zwłaszcza podczas opadów występujących po względnie krótkich okresach bezdeszczowych.

Podziękowania

Praca została sfinansowana w ramach badań statutowych BS-PB/401/306/11.

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, 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.
- [3] 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.
- [4] Karczmarczyk A, Mosiej J. Racjonalne zagospodarowanie wód opadowych na terenach o zwartej i rozproszonej zabudowie. *Ekoinnowacje na Mazowszu. Poradnik transferu technologii w ochronie środowiska. Cz. II - Gospodarka wodna.* 2011. http://www.ekoinnowacjenamazowszu.pl/files/podrecznik/misc/Racjonalne_zagospodarowanie_wod_opadowych.pdf.
- [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, Mrowiec M. Zbiornik retencyjno-przerzutowy jako nowe rozwiązanie przerzutu ścieków opadowych do odbiorników wodnych. *Roczn Ochr Środow.* 2013;15:2339-2351. http://ros.edu.pl/images/roczniki/2013/pp_2013_153.pdf.
- [7] USEPA. Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices, EPA 841-F-07-006, December 2007. <http://www.nrc.gov/docs/ML1102/ML110270042.pdf>.
- [8] Ociepa E. Sposoby ograniczenia niekorzystnego wpływu rzutu ścieków opadowych. *Chem Dydak Ekol Metrol.* 2011;16(1-2):47-50. http://tchie.uni.opole.pl/freeCDEM/CDEM11/Ociepa_CDEM16%281-2%29.pdf.
- [9] Mrowiec M. Wyznaczanie objętości zbiorników infiltracyjnych z zastosowaniem wzorów IDF. *Inż Ochr Środow.* 2011;14(1):73-86. https://is.pcz.pl/static/pdf/2011/zeszyt1/2011_1_7-Mrowiec.pdf.
- [10] Geiger W, Dreiseitl H. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. *Poradnik.* Bydgoszcz: Wyd PROJPRZEM-EKO Sp.z.o.o.; 1999.
- [11] Burszta-Adamiak E. Zagospodarowanie spływów opadowych za pomocą systemów bioretencji. *Rynek Instal.* 2011;3:91-93. <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artukul/id1734,zagospodarowanie-splywow-opadowych-za-pomoca-systemow-bioretencji>.
- [12] 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.
- [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] 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.
- [15] Bengtsson L, Grahn L, Olsson J. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrol.* 2005;36(3):259-268. <http://hr.iwaponline.com/content/36/3/259>.
- [16] 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>.
- [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] 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.
- [19] 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.
- [20] 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 Urban Green.* 2014;13:507-516. DOI: 10.1016/j.ufug.2014.04.007.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF HYDROGEL ADDITION ON THE RETENTION CAPACITY OF GREEN ROOFS

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

Abstract: Progressive economic development and urbanisation influence the characteristics of the stormwater runoff. Persistent sealing of drainage basin surface prompts the rise of runoff intensity. This results in a rise of threat of flood. Therefore, in urbanized areas in addition to the traditional sewer systems are used the ecological sustainable urban drainage systems (SUDS). One of these solutions are the green roofs. The paper presents the results of investigation of retention capacities of 4 green roof models with following substrates: the typical green roof substrate, the substrate with addition of about 1% of hydrogel, the substrate with addition of about 0.25% of hydrogel, the substrate with addition of expanded clay and perlite. In the models weren't applied the vegetation layers in order to explore only the retention capacities of substrates and drainage layers. The objective of the first part of experiment described in the paper was to investigate the retention capacities of roof substrates during the first rain and the rain that occurred after long antecedent dry period of time (the substrates and drainage layers

were air-dry). The best retention capacity had in this case the substrate with addition of about 1% of hydrogel. The second largest retention capacity had the substrate with addition of about 0.25% of hydrogel. The weakest retention capacity had the substrate with addition of expanded clay and perlite. The objective of second part of experiment was to investigate the retention capacities of green roof substrates after 4 antecedent dry days. In this case the best retention capacity had the substrate with addition of about 0.25% of hydrogel. The second largest retention capacity had the substrate with addition of expanded clay and perlite. The weakest retention capacity had the substrate with addition of about 1% of hydrogel.

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

