

ZIELONE DACHY JAKO ROZWIĄZANIA POPRAWIAJĄCE GOSPODARKĘ WODAMI OPADOWYMI W MIASTACH

Ewa Burszta-Adamiak¹, Janusz Łomotowski, Paweł Wiercik

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: ewa.burszta-adamiak@up.wroc.pl

STRESZCZENIE

Zainteresowanie zielonymi dachami wzrasta z uwagi na wiele wymiernych korzyści, które pozwalają zapewnić. Jedną z nich jest możliwość poprawy gospodarki wodami opadowymi w miastach, gdyż konstrukcja zielonych dachów umożliwi zatrzymanie i spowolnienie odpływów. Z uwagi na fakt, że rynek zielonych dachów jest w Polsce stosunkowo młody, wciąż istnieje potrzeba prowadzenia badań, celem dostarczenia informacji o ich funkcjonowaniu w warunkach krajowych. Celem artykułu jest prezentacja wyników badań nad zdolnościami retencyjnymi zielonych dachów, prowadzonych na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu. Wyniki badań wykazują, że możliwości retencyjne zielonych dachów ulegają znacznej poprawie, gdy okres bezopadowy trwa dłużej niż jeden dzień, a wysokość opadów nie przekracza 10 mm/dobę.

Słowa kluczowe: zielone dachy, wody opadowe, zrównoważone systemy drenażu, retencja, odpływ.

GREEN ROOFS AS A TOOL FOR IMPROVEMENT THE STORMWATER MANAGEMENT IN URBAN AREAS

ABSTRACT

The interest in green roof technologies is increasing due to the many tangible benefits that allow to provide. One of them is the ability to improve stormwater management in urban areas, because construction of green roofs can retain and delay in runoff. Due to the fact that the market of green roofs in Poland is relatively young, there is still a need for research to provide detailed information about green roof hydrologic performance in the national climate conditions. The objective of this study is to present the research results on retention capacity of green roofs, carried out at the Wrocław University of Life Sciences. The results show that the possibility of water retention is considerably improved at green roofs when antecedent dry weather period lasts longer than one day and the rainfall depth does not exceed 10 mm / day.

Keywords: green roofs, stormwater, sustainable drainage systems, retention, runoff.

WPROWADZENIE

Uszczelnienie powierzchni miast, będące efektem postępującego procesu urbanizacji sprawia, że woda opadowa zamiast ulegać infiltracji i retencji, przedostaje się

bezpośrednio do systemów odwadniających. W efekcie obserwuje się na tych obszarach obniżania się poziomów wód gruntowych, zmiany mikroklimatu miejskiego a w czasie trwania intensywnych opadów powódzie miejskie lub lokalne podtopienia w skutek wzrostu objętości odpływu powierzchniowego wód opadowych. Dostrzegając zachodzące zmiany środowiskowe zachodzi pilna potrzeba zmiany podejścia do gospodarowania wodami opadowymi z rozwiązań tradycyjnych, na rzecz zagospodarowania wód opadowych z wykorzystaniem bioretencji wód deszczowych, rozumianej jako zatrzymywanie części warstwy opadów przez glebę i rośliny. Funkcję tą spełniają dachy zielone, zwane także ekodachami lub dachami z roślinnością. Są one najczęściej wykonywane, jako układy wielowarstwowe. Każda z warstw konstrukcyjnych pełni ważną funkcję w strukturze i jest dopełnieniem całości. Tradycyjnie powyżej warstwy hydroizolacji i warstwy ochronnej znajduje się warstwa drenażowa, która ma za zadanie przetrzymać wodę dla roślin, a jej nadmiar odprowadzić bezpiecznie do systemu odwadniającego. Kolejną warstwą w układzie jest warstwa filtracyjna, chroniąca warstwy znajdujące się poniżej przed przenikaniem drobnych cząstek zawieszin wypłukiwanych wraz z wodą opadową z podłoża dachowych. Górną część zielonych dachów stanowi warstwa substratu wraz z porastającą ją roślinnością.

Prawidłowo wykonany zielony dach ma wiele zalet [Bowler i in. 2010; Li i in. 2010; Małuszyńska i in. 2014]. Poprawia estetykę miasta, działa, jako dodatkowa izolacja dachu, oczyszcza powietrze, pomaga odzyskać utraconą pod zabudowę powierzchnię biologicznie czynną, zwiększa trwałość materiałów konstrukcyjnych dachów, nawilża powietrze. Z tych wielu korzyści ekologicznych oraz ekonomicznych, bardzo istotne znaczenie ma retencjonowanie wody opadowej, dające możliwość poprawy lokalnych warunków hydrologicznych. Woda opadowa na zielonym dachu jest infiltrowana i retencjonowana w warstwach konstrukcyjnych. Część wody, poprzez proces parowania z powierzchni roślin (transpiracji) oraz substratów (ewapotranspiracji) oddawana jest do atmosfery. Nadmiar spływów odprowadzany jest systemem odwadniającym do odbiornika.

Wiedza o zielonych dachach jest potrzebna dla osób zajmujących się projektowaniem, wykonywaniem i eksploatacją zielonych dachów, projektantów systemów kanalizacyjnych, władz lokalnych, na etapie opracowywania strategii przeciwpowodziowych, uwzględniających zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi, przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych przy naliczaniu opłat za wody opadowe i roztopowe oraz organów administracji państwowej zarządzającymi funduszami celowymi na przedsięwzięcia z zakresu budowy systemów zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi.

Najwcześniej, bo już w latach 70. i 80. XX w. badania na zielonych dachach prowadzono na terenie Niemiec [Liesecke i in. 1989]. Oceny wielkości odpływu wody opadowej z warstw zielonego dachu przeprowadzono również w Stanach Zjednoczonych [Spolek 2008], Szwecji [Bengtsson 2005], Francji [Versini i in, 2013] oraz we Włoszech [Palla i in, 2010]. Badania prowadzone były w warunkach laboratoryjnych, na stanowiskach w skali półtechnicznej oraz technicznej (na zrealizowanych

objektach). W Polsce badania na zielonych dachach prowadziła Szajda-Birnfeld i in. {2012}. Uzupełnieniem badań terenowych są badania symulacyjne [Hilten i in. 2008; Stec i Hypiak 2011; Burszta-Adamiak i Mrowiec 2013; Sakson i Berliński 2014]. Badania zielonych dachów częściej prowadzone są na modelach niż w warunkach technicznych. Należy jednak pamiętać, że jakość symulacji zależy zarówno od rodzaju zastosowanego modelu matematycznego jak i od wprowadzonych danych o opadach atmosferycznych oraz przyjętych parametrów hydraulicznych zielonych dachów.

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań nad zdolnościami retencyjnymi zielonych dachów, prowadzonych na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu.

METODYKA BADAŃ

Badania na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu prowadzone są od czerwca 2009 roku w „Laboratorium Zielony Dach”, znajdującym się na dachu Centrum Naukowo-Dydaktycznego zlokalizowanego w śródmieściu Wrocławia przy placu Grunwaldzkim. Badane są tam ekstensywne zielone dachy o różnej konstrukcji. Modele zielonych dachów wykonane są w formie prostopadłościanów (kuwet) o wymiarach zewnętrznych długość 2,40 m, szerokość 1,20 m, wysokość 0,35 m nachylnych pod kątem 4° (rys. 1). Jedna z kuwet pełni funkcję stanowiska porównawczego (pozbawionego roślinności i pozostałych warstw zielonego dachu). Charakterystyka opisowa badanych zielonych dachów została przedstawiona w tabeli 1.

Na stanowiskach, w sposób ciągły kontrolowana jest intensywność i wysokość warstwy opadów za pomocą distrometru laserowego firmy OTT MESSTECHNIK GmbH&Co.KG zamontowanego na dachu w bezpośrednim sąsiedztwie stanowisk badawczych. Odpływy z modeli dachów kontrolowane są wagowo w sposób ciągły z zastosowaniem oryginalnego, skonstruowanego dla potrzeb badawczych przyrzą-



Rys. 1. Stanowiska badawcze

Tabela 1. Charakterystyka stanowisk badawczych

Oznaczenie i typ dachu	Układ warstw
DR- Dach porównawczy (referencyjny)	hydroizolacja z EPDM-u Resitrix SKW
DZ-1 Zielony dach ekstensywny z systemem drenażu odwadniającego – rozwiązanie niesystemowe	kostrzewa owcza odm. <i>Sina</i> , substrat typ S1, geowłóknina filtracyjna typ 105, systemowa mata drenażowa typ FKD 12, geowłóknina chłonno-ochronna RMS 500
DZ-2 Zielony dach z systemem drenażu żwirowego – rozwiązanie systemowe	rojnik odm. <i>Othello</i> , substrat typ S3, geowłóknina filtracyjna typ 105, warstwa żwiru o granulacji 2-5 cm, geowłóknina chłonno-ochronna RMS 500
DZ-3 Zielony dach ekstensywny z zastosowaniem rozwiązań drenażu wewnętrznego w substracie	rozchodnik ostry odm. <i>Golden Queen</i> , substrat typ S2 o właściwościach drenażowych, geowłóknina chłonno-ochronna RMS 500
DZ-4 Zielony dach ekstensywny z zastosowaniem drenażu magazynującego	kostrzewa odm. <i>Niedźwiedzie futro</i> , substrat typ S1, geowłóknina filtracyjna typ 105, systemowa mata drenażowa typ FKD 25, geowłóknina chłonno-ochronna RMS 500

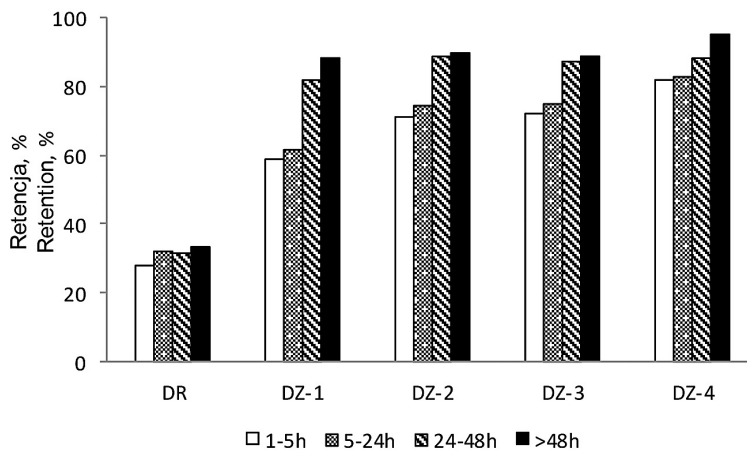
du. Wszystkie rejestrowane pomiary zbierane są systemem SCADA i zapisywane z użyciem rejestratora Memory Hilogger 8430-20 firmy HIOKI.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań wykazują, że retencja analizowanych zielonych dachów wzrasta wraz z wydłużaniem się okresów bezopadowych (rys. 2). Znaczne zwiększenie możliwości retencyjnych dla zielonych dachów następowało kiedy okres bezopadowy był dłuższy od 24h. Ustalony okres bezopadowy, w porównaniu do innych doniesień literaturowych jest krótki, co wskazuje na szybką „regenerację” badanych konstrukcji zielonych dachów. W badaniach Palla i in. [2010] uzyskano wzrost zdolności do retencjonowania wody przez zielony dach, gdy okres bezopadowy trwał dłużej niż 96h.

Retencja opadów na zielonych dachach może zmniejszać się wraz z wysokością opadu. Carter i Rasmussen [2005] prowadząc badania na dachu ekstensywnym zaobserwowali, że retencja spadła z 90% dla opadu o wysokości 13 mm do 39% przy opadzie 54 mm. Teemusk i Mander (2007) wykazali 85,7% retencję przy opadzie o wysokości 2,1 mm. Z kolei przy opadzie powyżej 12 mm odpływ z zielonych dachów był zbliżony do odpływu z dachu referencyjnego.

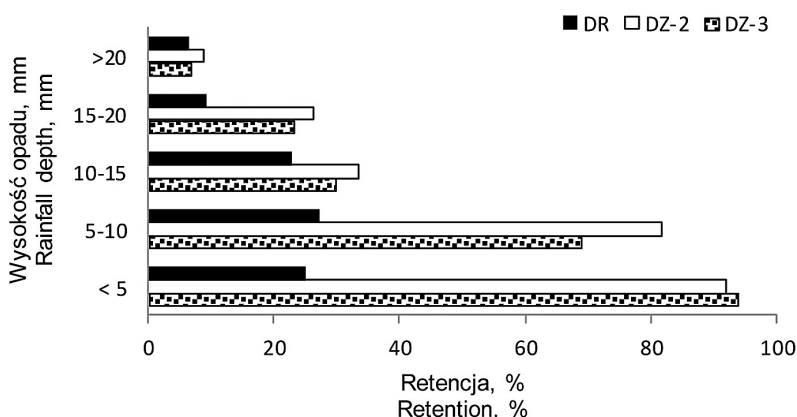
Dla warunków wrocławskich, znaczny spadek zdolności do zatrzymywania wody przez zielone dachy obserwowano, gdy warstwa opadu deszczu przekraczała 10 mm/dobę (rys. 3). Retencję 100% wód opadowych na zielonych dachach (brak odpływów) obserwowano w większości dni pomiarowych w czasie opadów deszczu o warstwie nie przekraczającej 3 mm na dachu DZ-1 i DZ-2 (odpowiednio z systemem drenażu odwadniającego i żwirowego) oraz 8 mm na dachu DZ-3 (z zastosowaniem rozwiązań drenażu wewnętrznego w substracie). Najlepszymi właściwościami retencyjnymi



Rys. 2. Średnia retencja na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w zależności od długości trwania okresu bezopadowego

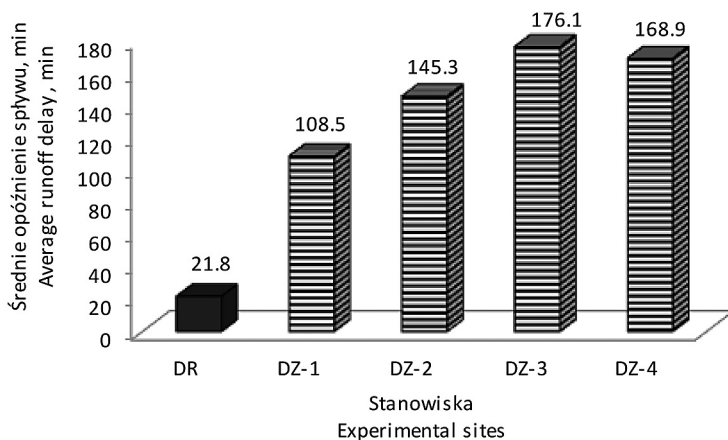
charakteryzował się zielony dach DZ-4 (z zastosowaniem drenażu magazynującego). Jego konstrukcja pozwalała na zatrzymywanie w pełni opadów o wysokości nawet 10 mm/dobę.

Funkcjonowanie zielonych dachów w aspekcie hydrologicznym obejmuje obok możliwości redukcji objętości odpływu (retencja) także zmniejszenie szczytowej fali odpływu oraz opóźnienie spływu z dachu. Badania prezentowane w literaturze wykazują spłaszczenie szczytowej fali odpływu na poziomie 60–90%, a opóźnienie spływu w granicach od 5 min do ponad 2 godz. Wyniki przeprowadzonych badań na stanowiskach badawczych we Wrocławiu, dowodzą, że odpływ z zielonych dachów może być opóźniony nawet o kilka godzin od momentu rozpoczęcia opadu. Na dachu



Rys. 3. Wielkość retencji w zależności od wysokości opadów atmosferycznych na zielonych dachach DZ-2 i DZ-3 oraz na dachu referencyjnym (DR)

tradycyjnym, przy większości opadów, odpływ następował natychmiast po rozpoczęciu opadu lub zaledwie kilka minut od tego momentu. Na rysunku 4 przedstawiono średnie wartości opóźnień zarejestrowanych na poszczególnych dachach w okresie badawczym 2009–2012.



Rys. 4. Średnia wartość opóźnienia spływów z zielonych dachów (DZ-1÷DZ-4) oraz z dachu referencyjnego (DR)

W każdym z analizowanych opadów redukcja szczytowej fali odpływu była mniejsza dla dachu referencyjnego w porównaniu z redukcją zaobserwowaną na zielonych dachach. Wielkość redukcji szczytowej fali odpływu w porównaniu z maksymalną intensywnością zarejestrowaną w opadach, wynosiła w warunkach wrocławskich, dla większości dni pomiarowych powyżej 50%. Dla porównania na dachu referencyjnym redukcja fali odpływu najczęściej nie przekraczała 20–30%. Do tej pory w prowadzonych badaniach nie zaobserwowano wyraźnego związku pomiędzy intensywnością, wysokością opadu oraz czasem jego trwania, a wielkością redukcji fali spływu zarówno dla dachu referencyjnego jak i zielonych dachów. Zjawisko to wymaga prowadzenia dalszych analiz w celu wysunięcia bardziej szczegółowych wniosków w tym zakresie.

PODSUMOWANIE

Rynek zielonych dachów w Polsce jest stosunkowo młody, ale warty większego zainteresowania z uwagi na możliwości poprawy gospodarki wodami opadowymi, co potwierdzają wyniki przeprowadzonych badań. Patrząc na doświadczenia innych krajów, które w większym stopniu wdrożyły idee zazieleniania dachów niż to ma miejsce w Polsce, warto podkreślić, że ten kierunek działań powinien być również u nas rozwijany. Obecnie najważniejszą jest edukacja społeczeństwa w zakresie zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych, realizowana w oparciu o wyniki badań

prowadzonych na tego typu systemach. Dlatego tak ważne jest, aby nowo powstające zielone dachy zamieniać w „poligony badawcze” dostarczające informacji na temat ich funkcjonowania w warunkach krajowych. Postęp w badaniach, obok dobrze przemyślanej polityki promującej dofinansowanie budowy zrównoważonych systemów może przyczynić się do ich większego rozpowszechnienia także na terenach polskich miast.

PIŚMIENNICTWO

1. Bengtsson L, Villarreal E.L. 2005. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering* 25, 1–7
2. Bowler D.E., Buyung-Ali L., Knight T.M., Pullin A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97, 147–155.
3. Burszta-Adamiak E., Mrowiec M., 2013. Modelling of green roofs hydrologic performance using EPA's SWMM. *Water Science & Technology*. 68(1), 36–42.
4. Carter T.L., Rasmussen T. C., 2006. Hydrologic behaviour of vegetated roofs. *Journal of the American Water Resources Association* 42 (5), 1261–1274.
5. Hilten R.N., Lawrence T.M., Tollner E.W., 2008. Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. *Journal of Hydrology* 358, 288–293.
6. Li J., Wai O.H.W., Li Y.S., Zhan J., Ho Y.A., Li J., Lamm E., 2010. Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Building and Environment*, 45, 2644–2651.
7. Liesecke H.J., Kropka B., Loesken G., Brueggemann H., 1989. *Grundlagen der Dachbegruenung*, Berlin, 170, 17-19.
8. Małuszyńska I., Caballero-Frączkowski W.A., Małuszyński M.J. 2014. Zielone dachy i zielone ściany, jako rozwiązania poprawiające zdrowie środowiskowe terenów miejskich. *Inżynieria Ekologiczna*, 36, 40–52.
9. Palla, A, Gnecco I., Lanza L.G., 2010. Hydrologic restoration in the urban environment using green roofs. *Water*, 2, 140-154
10. Sakson G., Berliński B., 2014. Modelowanie systemu odwodnienia miasta z uwzględnieniem obiektów LID na przykładzie zielonych dachów. *Gaz, woda i technika sanitarna*, nr 3, 99-102.
11. Spolek G. 2008. Performance monitoring of tree ecoroofs in Portland, Oregon. *Urban Ecosystems* 11, 349-359
12. Stec A., Hypiak J., 2011. Modelowanie odpływu wód deszczowych z zielonych dachów w programie Storm Water Management Model. *Instal* nr 2, 38-43.
13. Szajda-Birnfeld E., Pływaczyk A., Skarżyński D., 2012. Zielone dachy. Zrównoważona gospodarka wodna na terenach zurbanizowanych. *Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*
14. Teemusk A., Mander Ú., 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. *Ecological Engineering* 30, 271-277.
15. Versini P.A., Jouve P., Ramier D., Berthier E., De Gouvello B., 2013. Hydrological impact of green roofs on urban runoff at the watershed scale – Case studies in the Hauts-de-Seine county (France). *Novatech Lyon, France*.