

# Dachy zielone

## a gospodarka wodami opadowymi na terenach zurbanizowanych

*Influence of green roofs on rainwater management in urban areas*

**W ostatnich latach bardzo dynamicznie rozwijają się technologie gospodarki wodami opadowymi na terenach zurbanizowanych. Jedną z nich są dachy zielone. Przedstawione w artykule wyniki badań wykazały, że zastosowanie ekstensywnych dachów zielonych może istotnie zredukować objętość wód opadowych spływających do kanalizacji. Brak jest jednak w Polsce odpowiednich norm i wytycznych projektowania i wykonawstwa tych systemów.**

Stopniowe zwiększanie stopnia urbanizacji aglomeracji miejskich powoduje zwiększenie ilości wód opadowych trafiających do systemów kanalizacyjnych. Z tego względu konieczne jest wdrażanie rozwiązań technicznych ukierunkowanych na redukcję objętości ścieków odpływających z powierzchni nieprzepuszczalnych [1]. Tego typu podejście określane jest jako zrównoważony rozwój

systemów odwodnienia miast (ang. *sustainable urban drainage systems*). Realizacja zrównoważonych systemów odwodnienia wiąże się zazwyczaj z zastosowaniem urządzeń służących do infiltracji wód opadowych do gruntu w postaci niecek, zbiorników, studni czy rowów chłonnych [3]. Koncepcja zielonych dachów (nazywanych też ekodachami bądź dachami roślinnymi) stanowi cenne uzupełnienie szerokiego wachlarza dostępnych rozwiązań technicznych dających możliwość realizacji zrównoważonych systemów odwodnienia zlewni charakteryzujących się gęstą zabudową [5].

Korzyści z zastosowania dachów zielonych zostały wielokrotnie opisane w literaturze i można je podzielić na trzy główne kategorie [4]:

- gospodarka wodna,
- energetyka oraz ochrona atmosfery,
- bioróżnorodność oraz estetyka architektoniczna.

Efekty osiągnięte w każdej z grup są zróżnicowane w zależności od wybranego typu, lokalizacji globalnej (strefa klimatyczna, temperatura, wilgotność, opady itp.) oraz lokalnej (orientacja względem kierunków, zacienienie przez inne budynki, odległość od centrum, bezpośrednie otoczenie itp.). Niektóre korzystne efekty są stosunkowo łatwe do określenia w ujęciu ilościowym (np. oszczędność energii), inne w zasadzie niemożliwe do przełożenia na finanse (np. kwestie estetyczne, zwiększenie bioróżnorodności). Budowa dachów zielonych jest zazwyczaj kojarzona z kwestią regulacji przepływu wody na obszarze zurbanizowanym. W wielu przypadkach wpływ na bilans wodny zlewni miejskiej traktowany jest jako podstawowy powód budowy instalacji. Pozytywny

wpływ dachów zielonych jest w tym zakresie oczywisty i przekłada się na [2]:

- redukcję objętości wód opadowych spływających do kanalizacji,
- zmniejszenie szczytowych wartości przepływów w systemach kanalizacyjnych,
- redukcję częstotliwości działania przelewów burzowych,
- poprawę efektywności działania oczyszczalni ścieków w okresach deszczowej pogody.

Różnice w obserwacjach różnych autorów dotyczą skali wpływu dachów zielonych na redukcję ilości wód opadowych trafiających do systemów kanalizacyjnych.

### Modelowanie odpływu wód deszczowych z dachów zielonych

Dla potrzeb modelowania odpływu z dachów zielonych zastosowano program EPA SWMM 5.0, który umożliwia przeprowadzanie symulacji hydrodynamicznych zarówno dla zdarzeń pojedynczych, jak i ciągłych danych o opadach [6]. Zakres możliwych praktycznych zastosowań tego programu został szeroko opisany w literaturze zagranicznej i krajowej.

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad wpływem zastosowania ekstensywnych dachów zielonych na redukcję odpływu wód opadowych z terenów zurbanizowanych. Przy użyciu programu EPA SWMM5 przeprowadzono symulacje hydrodynamiczne dla opadów obliczeniowych (wzór Blaszczyka oraz IMGW) oraz dla zarejestrowanych rzeczywistych opadów nawałnych. Oddziaływanie dachów zielonych przedstawiono za pomocą dwóch parametrów: redukcji chwilowych maksymalnych natężeń przepływu i redukcji objętości odpływających ścieków opadowych.

#### Abstract

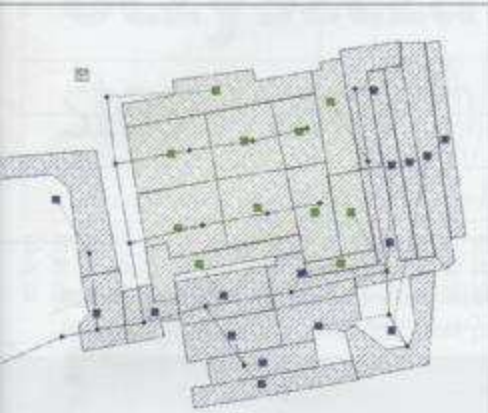
The article presents the results of research on the influence of extensive green roofs to reduce stormwater runoff from urbanized areas. Using software EPA SWMM5 hydrodynamic simulations were performed for rainfalls calculated using IDF relationships (Blaszczyk and IMGW equations) and recorded rainfall events. The impact of green roofs is shown by two parameters: the reduction of the maximum instantaneous flow rates and reduction of the volume of the runoff.



Fot. 1. Modelowany obiekt

Fot. zam. 0

Analizy dotyczyły istniejącej zlewni – budynku Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej, a także znajdujących się przy budynku parkingu i ciągów pieszo-jezdnymi (fot. 1). Na potrzeby oceny wpływu zastosowania dachu zielonego przeanalizowano dwa warianty: a) stan istniejący (dach tradycyjny), b) zastosowanie dachu zielonego. Analizowany



Rys. 1. Podział na powierzchnie cząstkowe (kolor zielony – dachy zielone, niebieski – pozostałe dachy, drogi)



Rys. 2. Schemat modułu LID [6]

obszar ma powierzchnię 1,33 ha, w zdecydowanej większości są to tereny uszczelnione, przy czym powierzchnia samego dachu wynosi 0,57 ha. Teren zlewni został podzielony na 27 zlewni cząstkowych (rys. 1). Wody opadowe odprowadzane są z poszczególnych powierzchni zgodnie z kierunkiem spadku terenu do kanalizacji deszczowej.

Parametry potrzebne do wykonania modelu wprowadzone zostały na podstawie map sytuacyjno-wysokościowych, można tu wymienić m.in. rzędne terenu, rzędne dna kanału, a także średnice kanałów. Ustalono jednakową wartość współczynnika  $n$  dla wszystkich nieprzepuszczalnych ( $n_{\text{imp}} = 0,015 \text{ s/m}^{1/3}$ ), natomiast dla kanałów betonowych przyjęto  $n = 0,13 \text{ s/m}_{1,0}$ . Wysokość retencji dla powierzchni nieprzepuszczalnych przyjęto indywidualnie dla każdej powierzchni, uwzględniając występujące zagłębienia (zakres wartości:

1,0–2,5 mm). Ponieważ na rozpatrywanej zlewni powierzchnie przepuszczalne (trawniki) miały minimalny udział w całkowitej powierzchni zlewni, pominięto je w modelu (nie określano parametrów równania Hortona i wysokości retencyjnej). Parametrem modelu zlewni obciążonym największą niepewnością jest szerokość pasa spływu. W przypadku modeli, w których podział na zlewnie dokonywany jest na poziomie poszczególnych dachów, możliwe jest jednak dość dokładne jego oszacowanie. Przedmiotowy model zlewni charakteryzował się średnią powierzchnią ok. 500 m<sup>2</sup>, dlatego można przyjąć, że wartości tego parametru zostały określone dokładnie (w zakresie od 8 do 80 m), m.in. uwzględniając rozmieszczenie wpustów.

Odrębną kwestią pozostawało modelowanie zielonego dachu przy zastosowaniu modułu LID (Low Impact Development). Przyjęto substrat,

Parametr	Jednostka	Wartości zalecane	Wartości przyjęte
<b>Powierzchnia</b>			
Głębokość składowania	mm	-	30,48
Pokrycie warstwą wegetatywną	-	<1	0,9
<b>Warstwa substratu</b>			
Grubość warstwy	mm	18-36	25,4
Porowatość	-	-	0,55
Pojemność pola	-	-	0,45
Wodoprzepuszczalność	mm/h	-	600
<b>Warstwa magazynująca</b>			
Wysokość warstwy	mm	24-36	30,48
Wskaźnik porowatości	-	0,5-0,75	0,65

Tabela 1. Parametry modułu LID w programie SWMM 5.0

Rodzaj opadu	Czas trwania deszczu, min	Objętość odprowadzanych ścieków, m <sup>3</sup>		Redukcja objętości, %	Przepływ, dm <sup>3</sup> /s		Redukcja przepływu, %
		Dach konwencjonalny	Dach zielony		Dach konwencjonalny	Dach zielony	
Wzór Błaszczyka	10	144,9	27,6	81	79,2	47,8	40
Wzór Błaszczyka	15	173,7	34,5	80	74,4	45,4	39
Wzór Błaszczyka	30	220,9	46,1	79	64,9	32,8	49
Wzór IMGW	10	210,5	47,3	78	81,7	62,6	24
Wzór IMGW	15	247,5	57,2	77	80,3	61,2	24
<b>Opad rzeczywisty</b>							
26.05.2007	57	269,2	135,1	50	80,6	61,6	24
21.06.2007	214	464,9	238,5	49	82,4	68,7	17
14.07.2007	70	97,5	44,8	54	64,2	35,7	45
27.07.2007	77	118,6	57,7	52	82,9	62,8	25
18.09.2007	49	156,5	78,3	50	82,2	64,0	22
13.07.2008	88	133,9	62,5	53	80,7	58,7	27
2.08.2008	58	232,3	149,7	36	85,3	82,5	4
8.08.2008	20	158,8	77,3	51	83,3	61,0	27
16.08.2008	74	200,5	94,7	53	72,5	40,6	44

Tabela 2. Przedstawienie wyników przeprowadzonych symulacji

» w którego skład wchodzi keramzyt, porowate kruszywo mineralne, piasek ostry, kompost, torf niski oraz nawozy. Wszystkie parametry zastosowane dla dachu ekstensywnego są zgodne z wytycznymi FLL [7] i zostały oparte na rzeczywistości stosowanych materiałach do budowy tego typu obiektów oraz danych podawanych przez producentów substratów.

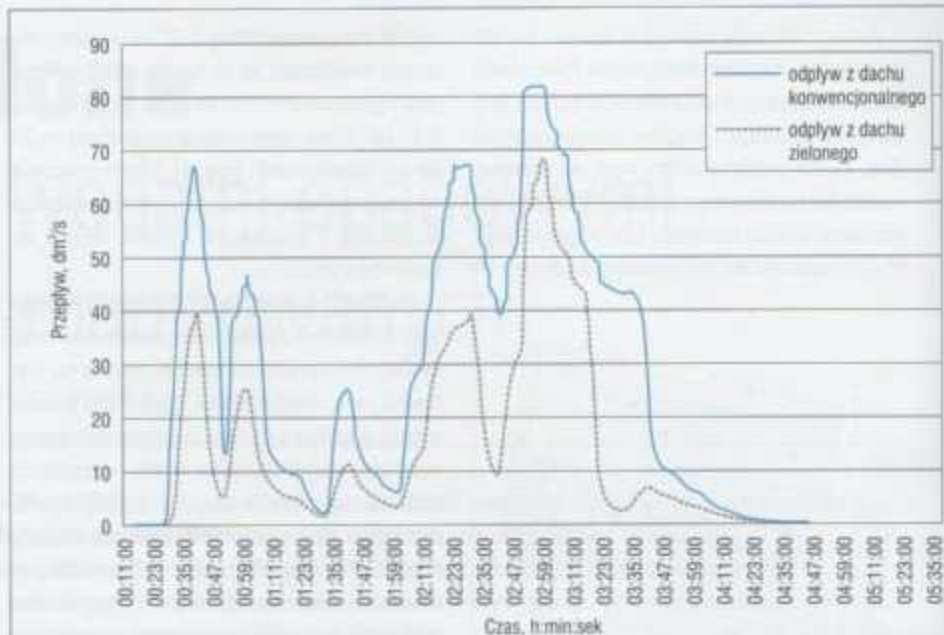
Modelowanie powierzchni biologicznie czynnych przy użyciu modułu LID przewiduje wprowadzenie parametrów dla następujących warstw pokrywających dach zielony: powierzchnia, warstwa substratu, warstwa magazynująca oraz opcjonalnie drenaż (rys. 2). Dla poszczególnych warstw należy określić wiele parametrów, szczególnie dla substratu. Najważniejsze wartości przyjęte przy konstruowaniu modelu zawarto w tabeli 1.

### Analiza wyników

Podstawą przeprowadzonych analiz były opady rzeczywiste zarejestrowane w Częstochowie (budynek IIS) w latach 2007–2008. Wyselekcjonowano zdarzenia opadowe charakteryzujące się podwyższonymi natężeniami krótkotrwałymi. W sumie wzięto pod uwagę 10 opadów o zróżnicowanej wysokości całkowitej (od kilku mm do blisko 30 mm) oraz chwilowych natężeń szczytowych (od kilku-dziesięciu  $\text{dm}^3/\text{s}/\text{ha}$  do ponad  $150 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{ha}$ ). Dodatkowo wykonano symulacje dla opadów obliczonych na podstawie wzorów Błaszczyka (dla 10, 15 i 30 min) oraz IMGW (dla 10 i 15 min) dla częstotliwości występowania opadu  $c = 2$  lata. Opady o takich parametrach są przyjmowane standardowo przy sporządzaniu dokumentacji projektowej do odwadniania pojedynczych obiektów. Wyniki symulacji zestawiono w tabeli 2.



promocja



Rys. 3. Porównanie hydrogramów odpływu z dachu tradycyjnego i ekstensywnego dachu zielonego dla opadu z 21.06.2007 r.

Źródło: [1]

Analizując wyniki uzyskane dla opadów obliczeniowych, widać, że redukcja objętości wyniosła we wszystkich przypadkach 80%, podczas gdy dla chwilowych natężeń zakres ten wyniósł od 25 do 50%. W odniesieniu do opadów rzeczywistych redukcja ta była wyraźnie mniejsza i wyniosła przeciętnie ok. 50%. Najmniejszy spadek zanotowano dla opadu o najwyższej całkowitej wysokości (z 2.08.2008). W przypadku chwilowych maksymalnych natężeń odpływu wód opadowych z analizowanej zlewni uzyskane wyniki mieściły się w zakresie od 4 do 44%. Oceniając skuteczność oddziaływania zielonych dachów na odciążenie systemów kanalizacyjnych, należy w większym stopniu kierować się wartościami uzyskanymi dla opadów rzeczywistych.

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe porównanie hydrogramów odpływu z dachu tradycyjnego i zielonego dla opadu z 21 czerwca 2007 r. Redukcja objętości wyniosła 49%, a szczytowego natężenia przepływu 17%, przy czym pierwszy szczytowy przepływ został zredukowany aż o 43%.

### Podsumowanie

W ostatnich latach zaobserwować można znaczącą ewolucję myśli technicznej dotyczącej urządzeń i obiektów gospodarki wodami opadowymi na terenach zurbanizowanych, która ma na celu zrównoważony rozwój tych systemów. Przykładem ekologicznego gospodarowania wodami opadowymi w miastach są dachy zielone. Ich budowa przynosi korzyści dla gospodarki wodnej, energetyki, ochrony środowiska oraz estetyki krajobrazu. Przedstawione w artykule wyniki badań wykazały,

że zastosowanie ekstensywnych dachów zielonych może zredukować o połowę objętość wód opadowych spływających do kanalizacji w czasie intensywnych opadów. W odniesieniu do szczytowych wartości przepływów redukcja wyniosła przeciętnie 20–25%.

Istotne jest także opracowanie odpowiednich norm i przepisów określających warunki projektowania i wykonawstwa dachów zielonych. Przykładowo substraty dachowe powinny spełniać określone wymagania w zakresie materii organicznej, pojemności wodnej i powietrznej, przepuszczalności, stabilności strukturalnej, składu chemicznego i wielu innych parametrów niezbędnych dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Brakuje obecnie uregulowań zachęcających do zagospodarowywania opadów w ekologiczny i zarazem ekonomiczny sposób.

### Literatura

1. Błaszczyk P., *Gospodarowanie wodami opadowymi w mieście. Główne problemy i kierunki*, „Instal” nr 2/2010.
2. Graham P., Kim M., *Evaluating the stormwater management benefits of green roofs through water balance modelling*, Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago, 29–30 May 2003.
3. Królikowska J., Królikowski A., *Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczenie i wykorzystanie*, Wyd. Seidel-Przywecki, 2012.
4. Mrowiec M., *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odprowadzania wód opadowych*, Wyd. Seidel-Przywecki 2008.
5. Mrowiec M., *Rozwój systemów kanalizacyjnych w aspekcie przeciwdziałania zjawiskom powodzi miejskich*, Wyd. Seidel-Przywecki, 2011.
6. [www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm](http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm).
7. *Guidelines for Planning*, wytyczne FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Construction and Maintenance of Green Roofing, Bonn 2008.