INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/III/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 7–15
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Agnieszka Karczmarczyk, Anna Baryła, Paulina Charazińska,
Agnieszka Bus, Magdalena Frąk

WPŁYW SUBSTRATU DACHU ZIELONEGO NA JAKOŚĆ WODY Z NIEGO ODPŁYWAJACEJ

INFLUENCE OF THE GREEN ROOF SUBSTRATE ON RUNOFF QUALITY

Streszczenie

Dachy zielone są ogólnie uznaną metodą odtwarzania powierzchni biologicznie czynnej w miastach. Wśród pozytywnych oddziaływań dachów zielonych w obszarach zurbanizowanych wymienia się oczyszczanie powietrza, łagodzenie mikroklimatu aglomeracji i temperatury wewnątrz budynków oraz funkcję siedliskową i estetyczną. Zielone dachy retencjonują także wodę opadową, odciążając tym samym miejskie kanalizacje deszczowe. Celem badań było określenie potencjalnego wpływu substratu dachu zielonego na jakość wód z niego odprowadzanych. Wstępne wyniki badań jakości odcieków z wybranych substratów w skali laboratoryjnej, wykazały zwiększone stężenia zawiesin i fosforu. Średnie stężenie zawiesin w odcieku z substratu intensywnego wynosiło 231 mg dm^{-3} a z substratu ekstensywnego 274 mg dm^{-3}, przy stężeniu w opadzie symulowanym 6-7 mg dm^{-3}. W przypadku fosforu średnie stężenie w odcieku z substratu intensywnego wynosiło 0,112 mgPO_4-P dm^{-3} a z substratu ekstensywnego 0,126 mgPO_4-P dm^{-3}, przy stężeniu w opadzie symulowanym 0,056 mgPO_4-P dm^{-3}. Przeanalizowano związek pomiędzy ilością wypłukiwanych zawiesin i fosforu a wilgotnością początkową substratu. Przedyskutowano potencjalny wpływ substratów dachów zielonych na jakość odbiorników ścieków deszczowych.

Słowa kluczowe: dach zielony, fosfor, substrat, wody opadowe, zawiesina

Summary

Green roofs are one of the method of recovering green space in urban areas. They are also effective in improvement of air quality and local climate as well as play an important role in thermal insulation of buildings. The most important role they play in urban areas is rain water retention and delaying of the runoff. The main goal of the research was to estimate potential influence of the green roof substrate on runoff water quality. Preliminary results show increase of the concentration of phosphates and total solids in leachate. Mean concentration of solids in intensive roof substrate leachate amounted 231 mg dm^{-3} and in extensive substrate leachate 274 mg dm^{-3}, comparing to concentration 6-7 mg dm^{-3} in simulated rain. Phosphorus concentration in intensive and extensive substrate runoff amounted 0,112 mgPO_4-P dm^{-3} and 0,126 mgPO_4-P dm^{-3} respectively. Phosphorus concentration in simulated rain amounted 0,056 mgPO_4-P dm^{-3}. Even if the concentrations in substrate leachate are low, phosphorus can still be an important factor influencing green roofs runoff receiver quality.

Key words: *green roof, phosphorus, storm water, substrate, total solids*

WSTĘP

Dachy zielone to pokryte roślinnością powierzchnie odtwarzające warunki gruntowe na konstrukcjach budowli (dachach budynków lub podziemnych parkingów). Są one metodą zwiększenia powierzchni biologicznie czynnej w obszarach zurbanizowanych i mogą przynieść wiele korzyści ekologicznych oraz ekonomicznych. Jedną z najważniejszych funkcji dachów zielonych jest odciążenie miejskich kanalizacji deszczowych poprzez retencjonowanie i spowolnienie odpływu wód opadowych [Szajda i in. 2008].

Jakość wody odpływającej z dachów zielonych jest obecnie przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych [m.in. Czemiel Berndtsson i in. 2009, Aitkenhead-Peterson i in. 2011, Aslup i in. 2011, Buccola , Spolek 2011, Gregoire, Clausen 2011, Mendez i in. 2011, Vialle i in. 2011, Teemusk , Mander 2011]. Powszechnie od tego typu konstrukcji oczekuje się redukcji zanieczyszczeń i poprawy jakości wód z nich odprowadzanych. Czynnikiem warunkującym jakość odpływu jest substrat glebowy, zastosowana roślinność oraz sposób pielęgnacji i wiek dachu [Moran 2004, Czemiel Berndtsson i in. 2009]. Substrat glebowy, zwany warstwą wegetacyjną, stanowi podłoże zapewniające prawidłowy wzrost i rozwój roślin. Składa się ze zmieszanych w odpowiednich proporcjach części mineralnych (np. piasek, kruszywa, gruz) i organicznych (np. kora, torf, kompost), które dobiera się w zależności od rodzaju dachu i projektowanej roślinności. Substraty mogą zawierać od kilku do kilkudziestu procent kompostu, choć duży udział kompostu nie jest zalecany ze względu na możliwy rozkład i osiadanie [Moran 2004, Getter , Rowe 2006]. Substraty powinny charakteryzować się odpowiednią porowatością i pojemnością wodną, aby zapewnić

niski ciężar warstwy i odpowiednią zdolność retencyjną. Miąższość warstwy wegetacyjnej zależy od rodzaju dachu i jest mniejsza dla dachów ekstensywnych (do15 cm) niż intensywnych (powyżej 25 cm).

Celem badań było określenie wpływu substratu na jakość odprowadzanej z niego wody. Badania skoncentrowano na zawartości zawiesin i fosforu. Podjęto próbę oceny, czy substraty stosowane w zielonych dachach mogą być źródłem zanieczyszczeń w odbiornikach wód deszczowych.

METODYKA BADAŃ

Potencjalny wpływ substratu na jakość odcieku określono w doświadczeniu laboratoryjnym symulując opady wodą wodociągową. Dwa dostępne na polskim rynku rodzaje substratów: dla dachu ekstensywnego (E1,E2,E3,E4) i intensywnego (I1,I2,I3,I4) umieszczono w kolumnach (d 145 mm) w czterech powtórzeniach. Substraty zalewano nieregularnie w dawkach 15 mm lub 30 mm, a w uzyskanym odcieku analizowano stężenia fosforu metodą analizy przepływowej przy wykorzystaniu aparatu FIA-STAR. Określono także stężenia zawiesiny ogólnej. Każdorazowo analizowano całą objętość uzyskanego odcieku, który stanowił 40-48% objętości dostarczonej wody. Przed zalaniem substratu mierzono jego wilgotność sondą WET-2. Doświadczenie prowadzono przez 71 dni w okresie od grudnia 2011 r. do marca 2012 r. W doświadczeniu wykorzystano wodę wodociągową o stężeniu zawiesin 6-7 mg dm^{-3} i średnim stężeniu fosforanów 0,056 mgPO_4-P dm^{-3}. Jakość wykorzystanej w doświadczeniu wody wodociągowej w zakresie średnich stężeń fosforu jest zbliżona do jakości opadów w Polsce (tab.1).

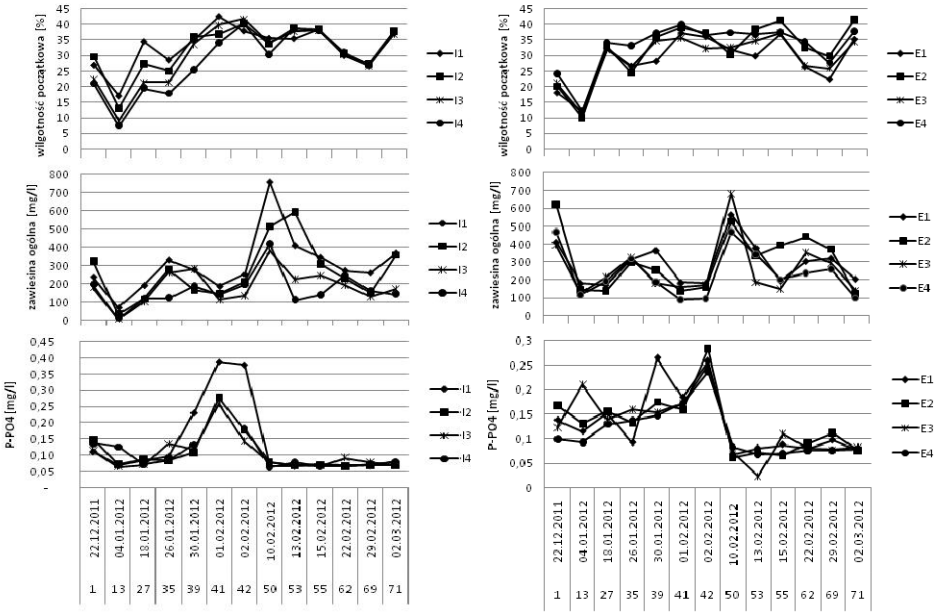
Tabela 1. Zakresy stwierdzonych stężeń fosforu ogólnego [mgP dm^{-3}] w próbkach miesięcznych opadów atmosferycznych na stacjach monitoringowych wg danych GIOŚ (2002-2010)
Table 1. Total phosphorus concentration [mgP dm^{-3}] in rain water in Poland. Based on GIOŚ monitoring data (2002-2010)

Rok / year	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
min	0,004	0,003	0,005	0,004	0,002	0,002	0,005	0,000	0,002
max	0,303	0,213	0,194	0,288	0,470	0,821	0,686	0,713	0,553
średnia / mean	0,048	0,053	0,045	0,049	0,058	0,055	0,059	0,052	0,040

WYNIKI I DYSKUSJA

Zarówno w przypadku substratu dachu intensywnego jak i ekstensywnego stwierdzono zwiększone stężenia zawiesin i fosforu w odciekach (rys. 1). Stężenia zawiesiny ogólnej w odcieku z substratu dachu intensywnego wahały się od 6 do 758 mg dm^{-3}, przy wartości średniej dla doświadczenia wynoszącej 231 mg

dm^{-3}. Dla substratu dachu ekstensywnego wartości te wynosiły odpowiednio 91, 682 i 274 mg dm^{-3}. Stężenia fosforu w odcieku z substratu dachu intensywnego wahały się od 0,064 do 0,387 mgPO_4-P dm^{-3}, przy wartości średniej dla doświadczenia wynoszącej 0,112 mgPO_4-P dm^{-3}. Dla substratu dachu ekstensywnego wartości te wynosiły odpowiednio 0,023; 0,284 i 0,126 mgPO_4-P dm^{-3}. W obydwu substratach stężenie zawiesin w odcieku było zmienne w czasie doświadczenia. W przypadku fosforu zaobserwowano natomiast obniżenie i stabilizację stężenia w odcieku po około 50 dniach trwania doświadczenia na poziomie 0,072 mgPO_4-P dm^{-3} (0,064-0,092) dla substratu intensywnego i 0,079 mgPO_4-P dm^{-3} (0,023-0,113) dla substratu ekstensywnego. Nie zaobserwowano istotnego statystycznie związku pomiędzy ilością wypłukiwanych zawiesin i fosforu a wilgotnością początkową substratu, chociaż związek pomiędzy stężeniem fosforu a wilgotnością substratu był widoczny w początkowej fazie doświadczenia, przed ustabilizowaniem się stężeń fosforu w odcieku (dla substratu intensywnego r = 0,82; dla substratu ekstensywnego r = 0,57). Mogło to być również związane z większymi dawkami opadu symulowanego, co potwierdzało by wyniki uzyskane przez Köhlera i in. [2002]. Jednak badania symulacyjne Czemiel Berndtsson i in. [2006] oraz Monterusso i in. [2004] nie potwierdzają tej teorii.



Rysunek 1. Wilgotność substratu oraz stężenia zawiesiny ogólnej i fosforanów w odcieku z substratu dachu intensywnego (z lewej) i ekstensywnego (z prawej)
Figure 1. Moisture of the substrate and concentration of solids and phophates in leachate from intensive (left) and extensive (right) substrate

Wody opadowe zawierają fosfor w małych ilościach. Ścieki opadowe (spływ z powierzchni obszarów zurbanizowanych) mogą być zanieczyszczone w różnym stopniu, w zależności od powierzchni z której odpłyną. Źródłem fosforu mogą być nawozy stosowane w pielęgnacji zieleni miejskiej oraz odchody psie i ptasie. Z przeglądu dotychczasowych wyników badań wynika, że także w wodach odpływających z dachów zielonych można spodziewać się zwiększonych stężeń fosforu w odcieku, szczególnie w przypadku, gdy do przygotowania substratu wykorzystuje się kompost [Moran 2004, Teemusk, Mander 2007, Hathaway i in. 2008]. Na stężenie fosforu w odcieku mogą także wpływać wiek dachu oraz sposób jego pielęgnacji. Köhler i in. [2002] stwierdzili, że ładunek odprowadzanego fosforu związany jest z retencją wód opadowych. Stwierdzili również, że odpływ fosforu maleje w czasie, co jest związane z rozwojem szaty roślinnej, ale również zmniejszonym wypłukiwaniem z substratu. Również badania Czemiel Berndtsson i in. [2006] wykazały brak odpływu fosforu ze starego (ponad dziesięcioletniego) dachu zielonego. Większość fosforu uwalnianego z substratu występuje w postaci fosforanów [Czemiel Berndtsson 2009]. W analizowanym doświadczeniu laboratoryjnym nie stosowano nawożenia, a wypełnienie kolumn substratem nastąpiło trzy tygodnie przed rozpoczęciem badań.

Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w literaturze przedmiotu (tab. 2). Czemiel Berndtsson i in.[2009] stwierdzili uwalnianie fosforu w formie fosforanów z dachu ekstensywnego (0,27 mg PO_4-P dm^{-3}; 0,31 mgP dm^{-3}). Moran i in. [2005] uzyskali znacznie wyższe stężenia wynoszące 0,6-1,5 mgP dm^{-3}. Aitkenhead-Peterson i in. [2011] stwierdzili w odcieku stężenia fosforu w granicach 0,27-0,37 mgPO_4-P dm^{-3} dla dachu z roślinnością i 0,4 mgPO_4-P dm^{-3} dla dachu bez okrywy wegetacyjnej. Najniższe stężenia fosforu uzyskali Gregoire i Clausen [2011]. Wynosiły one średnio 0,025 mg PO_4-P dm^{-3} i 0,043 mgP dm^{-3}, ale przy bardzo niskich stężeniach w opadzie (0,004 mgPO_4-P dm^{-3} i 0,007 mgP dm^{-3}). Podobne wyniki uzyskali Teemusk i Mander [2007] dla substratu z dodatkiem LWA (Lightweight Aggregate), który może wykazywać zdolność sorpcji fosforu. Pomimo iż uzyskane w doświadczeniu stężenia fosforu w odpływie z badanych substratów są małe, nadal mogą one być źródłem fosforu w odbiornikach wód odprowadzanych z dachów zielonych.

Całkowity ładunek PO_4-P odprowadzony z badanych substratów w czasie trwania doświadczenia oszacowano na 1,69 mg kg^{-1} s.m. substratu intensywnego i 1,90 mg kg^{-1} s.m. substratu ekstensywnego. Podobne wyniki uzyskali Aitkenhead-Peterson i in. [2011], którzy w pierwszych sześciu miesiącach funkcjonowania dachu zielonego uzyskali w odpływie ładunek od 1,0 do 2,0 mgPO_4-P kg^{-1}. Gregoire i Clausen [2011] oszacowali całkowity roczny odpływ fosforu z dachu zielonego na 0,21 kg PO4-P ha^{-1} (0,032 kgP ha^{-1}). Przy założeniu, że ciężar substratu w stanie suchym dla dachu intensywnego (miąższość 25 cm) wynosi 300 kg m^{-2}, a dla dachu ekstensywnego (miąższość 10 cm) wynosi 96 kg m^{-2} [Kożuchowski 2009] oraz zakładając, że stężenie fosforu w odcieku ustabilizuje się na

poziomie 0,07 mgPO_4-P dm^{-3} dla substratu intensywnego i 0,08 mgPO_4-P dm^{-3} dla substratu ekstensywnego, jak to zaobserwowano w drugiej fazie doświadczenia, w odpływie z dachu zielonego o powierzchni 1 ha wypełnionego badanym substratem możemy uzyskać nawet 1,1 kgPO_4-P (dach ekstensywny) oraz 3,3 kgPO_4-P (dach intensywny). Jest to wartość przekraczająca roczne ładunki fosforu wymywane z gleb mineralnych w Polsce (poniżej 1 kg P ha^{-1}).

Tabela 2. Stężenia fosforu ogólnego i fosforanów w odcieku z dachów zielonych wg literatury
Table 2. Total phosphorus and phosphates concentrations from green roof runoff based on literature review

Rodzaj substratu/ dachu/miejsce	Fosfor ogólny [mg/ dm^{-3}]	PO_4-P [mg/ dm^{-3}]	źródło	uwagi
LWA® , Estonia	0,036* – 0,090** 0,026* – 0,074**	0,012* – 0,036** 0,006* – 0,066**	Teemusk i Mander 2007	*opad średni ** opad wysoki
LWA® , Estonia	0,273	0,234	Teemusk i Mander 2011	stężenie w opadzie 0,021mgP dm^{-3} 0,008mgPO_4P dm^{-3}
Dach darniowy, Estonia	0,238	0,184	Teemusk i Mander 2011	stężenie w opadzie 0,021mgP dm^{-3} 0,008mgPO_4P dm^{-3}
North Carolina,USA	0,6 – 1,5 1,0*		Moran i in. 2005	* średnia
Dach mszysto-darniowy, Szwecja	0,31	0,27	Czemiel Berndtsson i in. 2009	dach ekstensywny
AquaSoil®, Japonia	0,01	0,00	Czemiel Berndtsson i in. 2009	dach intensywny
Dach mszysto-darniowy, Szwecja	0,4 - 1,2 0,6 - 1,1	0,28 - 0,38 0,45 - 0,50	Czemiel Berndtsson i in. 2006	substrat zawiera kompost
GreenGrid® USA	0,018 – 0,096 0,043*	0,003 – 0,079 0,025*	Gregoire i Clausen 2011	stężenie w opadzie 0,007mgP dm^{-3} 0,004mgPO_4P dm^{-3} *średnia geometryczna
Rooflite® Texas, USA		0,27 – 0,37* 0,4**	Aitkenhead-Peterson i in. 2011	* dach porośnięty **dach nieporośnięty
North Carolina, USA	0,6 – 1,4		Hathaway i in. 2008	dach ekstensywny

Porównując średnie stężenia fosforu w odpływie z badanych substratów z wartościami charakteryzującymi jakość wód powierzchniowych można stwierdzić, iż mieszczą się one w I klasie dla wód naturalnych (Dz.U.2011, nr 257, poz. 1545). Jadczyszyn [2008] jako kryterium wód drenarskich bezpiecznych pod względem zawartości fosforu proponuje przyjęcie wartości progowej dla procesu eutrofizacji równej 0,7 mgPO_4 dm^{-3}. Jest to wartość dziesięciokrotnie większa od stężeń uzyskiwanych w odpływie z analizowanych substratów.

WNIOSKI

1. Zaobserwowano zwiększone stężenie zawiesin w odcieku z obydwu badanych substratów. W odcieku z substratu dachu ekstensywnego stężenie zawiesin wahało się od 91 do 682 mg dm^{-3}, przy wartości średniej dla doświadczenia wynoszącej 231 mg dm^{-3}. W odcieku z substratu intensywnego wahało się od 6 do 758 mg dm^{-3}, przy wartości średniej dla doświadczenia wynoszącej 274 mg dm^{-3}. W warunkach technicznych wymywane z substratu zawiesiny będą zatrzymywane poprzez warstwy konstrukcyjne dachu (geowłókninę i warstwę drenażowa) i mogą powodować ich kolmatację.
2. Stężenia fosforu w odcieku z substratu dachu intensywnego wahały się od 0,064 do 0,387 mgPO_4-P dm^{-3}, przy wartości średniej dla doświadczenia wynoszącej 0,112 mgPO_4-P dm^{-3}. Dla substratu dachu ekstensywnego wartości te wynosiły odpowiednio 0,023; 0,284 i 0,126 mgPO_4-P dm^{-3}. Zaobserwowano obniżenie i stabilizację stężenia w odcieku po około 50 dniach trwania doświadczenia na poziomie 0,072 mgPO_4-P dm^{-3} dla substratu intensywnego i 0,079 mgPO_4-P dm^{-3} dla substratu ekstensywnego.
3. Średnie stężenia fosforu w odpływie z badanych substratów mieszczą się w I klasie dla wód naturalnych i nie powinny negatywnie wpływać na jakość odbiorników. Całkowity ładunek PO_4-P odprowadzony z badanych substratów w czasie trwania doświadczenia oszacowano na 1,69 mg kg^{-1} s.m. substratu intensywnego i 1,90 mg kg^{-1} s.m. substratu ekstensywnego. Przy dużej powierzchni, dachy z analizowanymi substratami mogą znacząco obciążać wody odbiornika ładunkiem fosforu.
4. Doświadczenie prowadzone w warunkach laboratoryjnych ma szereg ograniczeń w stosunku do skali technicznej. Na ilość odpływających zawiesin będą miały wpływ inne warstwy jak geowłóknina i drenaż a także studzienki (obniżenie). Na ilość fosforu będzie miała wpływ roślinność oraz sposób pielęgnacji dachu (obniżenie lub wzrost). Na ilość wymywanych zanieczyszczeń wpływ może mieć także jakość opadu.

BIBLIOGRAFIA

Aitkenhead-Peterson J., Dvorak B.D., Volder A., Stanley N.C., 2011: *Chemistry of growth medium and leachate from green roof systems in south-central Texas*. Urban Ecosyst 14, 17-33

Aslup S.E., Ebbs S.D., Battaglia L.L., Retzlaff W.A., 2011: *Heavy metals in leachate from simulated green roof systems.* Ecological Engineering 37, 1709 - 1717

Buccola N., Spolek G., 2011*: A Pilot-Scale Evaluation of Greenroof Runoff Retention, Detention, and Quality*. Water Air Soil Pollut 216, 83-92

Czemiel Berndtsson J., Bengtsson L., Jinno K., 2009*: Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs.* Ecological Engineering 35, 369-380

Czemiel Berndtsson J., Emilsson T., Bengtsson L., 2006: *The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality.* Science of the Total Environment 355, 48-63

Getter K.L., Rowe D.B., 2006: *The role of extensive Green roofs In sustainable development*. Hort Science 41 (5), 1276-1285

GIOŚ 2002-2010: *Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża*. http://www.gios.gov.pl/chemizm2010/index.html

Gregoire B.G., Clausen J.C., 2011*: Effect of modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality*. Ecological Engineering 37, 963-969

Hathaway A.M., Hunt W.F., Jennings G.D., 2008: *A field study of green roof hydrologic and water quality performance.* Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers 51(1), 37-44

Jadczyszyn T., 2008: *Zasobność gleb w fosfor i jakość wód drenarskich jako kryteria wyznaczania obszarów wrażliwych na zanieczyszczenie wód składnikami biogennymi.* W: *Ocena stanu zanieczyszczenia płytkich wód gruntowych, narażonych bezpośrednio na zrzuty składników biogennych, w tym szczególnie z rolnictwa oraz możliwości potencjalnego wpływu zanieczyszczeń pochodzących z produkcji rolnej na środowisko*. Opracowanie zbiorowe pod redakcją doc. dr hab. Janusza Igrasa wykonane na zlecenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, *bip.minrol.gov.pl/*

Köhler M., Schmidt M., Grimme F.W., Laar M., de Assunção Paiva V.L., Tavares S., 2002: *Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the asthetics*. Environ. Manage. Health 13(4), 382-391

Kożuchowski P., 2009: *Dachy zielone cz.4. Strach i pokusa – czy, jak i za ile zbudować dach zielony?* Administrator 1, 7-10

Mendez C.B., Klenzendorf J.B., Afshar B.R, Simmons M.T., Barrett M.E., Kinney K.A., Kiristis M.J., 2011: *The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater*. Water Research 45, 2049-2059

Moran A.Ch., 2004: *A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth. MsC Thesis,* Biological and Agricultural Engineering. Raleigh, North Carolina. http://repository.lib.ncsu.edu/ir/handle/1840.16/803

Moran A., Hunt B., Smith J., 2005: *Hydrological and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina.* In: *Green Roofs for Healthy Cities* Conference, Washington DC.

Monterusso M.A., Rowe D.B., Rugh C.L., Russell D.K., 2004*: Runoff water quantity and quality from green roof systems.* Acta Hort 639, 369-376

Szajda E., Pływaczyk A., Pęczkowski G., 2008: *Wykorzystanie „zielonych dachów" do ograniczania odpływu wód opadowych w aglomeracjach miejskich*. W: *Problemy zagospodarowania wód opadowych.* Praca zbiorowa pod redakcją Janusza Łomotowskiego. Wrocław, 49-57

Vialle C., Sablayrolles C., Lovera M., Jacob S., Huau M.C., Montrejaud-Vignoles M., 2011: *Monitoring of water quality from roof runoff*: Interpretation using multivariate analysis. Water Research 45, 3765-3775

Teemusk A., Mander Ü., 2011: *The Influence of Green Roofs on Runoff Water Quality*: A Case Study from Estonia. Water Resour Manage 25, 3699-3713

Teemusk A., Mander Ü., 2007: *Rainwater runoff quantity and quality performance from a green-roof:* The effects of short-terms events. Ecological Engineering 30, 271-277

Dz.U.2011, nr 257, poz. 1545: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych.

Doświadczenie zostało zrealizowane dzięki wykorzystaniu zasobów oraz aparatury Pracowni Ekotechnologii oraz Pracowni Nawodnień i Odwodnień, Centrum Wodne SGGW

Dr inż. Agnieszka Karczmarczyk
e-mail: agnieszka_karczmarczyk@sggw.pl

Dr inż. Anna Baryła
e-mail: anna_baryla@sggw.pl

Inż. Paulina Charazińska

Mgr inż. Agnieszka Bus
e-mail: agnieszka_bus@sggw.pl

Dr Magdalena Frąk
e-mail:magdalena_frak@sggw.pl

Katedra Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa