

OCENA PRZYDATNOŚCI WSKAŹNIKA OPADÓW UPRZEDNICH DO OPISU UWILGOTNIENIA PODŁOŻY NA ZIELONYCH DACHACH TYPU EKSTENSYWNEGO

Anna Baryła, Agnieszka Karczmarczyk, Agnieszka Bus
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Paweł Kozuchowski
Laboratorium Dachów Zielonych, Słupno

Streszczenie. Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania wskaźnika opadów uprzednich (I_L) do oceny odpływów oraz uwilgotnienia w 2 modelach zielonych dachów typu ekstensywnego o różnym składzie substratu. Badania prowadzono na terenie Centrum Wodnego SGGW w Warszawie w okresie VIII–XI 2016. Do analiz wykorzystano dobowe zmiany wilgotności pomierzone metodą TDR i sumy odpływów z dachów oraz obliczone wskaźniki I_L . W celu liczbowego określenia związku I_L z wilgotnością podłoży oraz z odpływami z modeli dachów, zastosowano metody liniowej regresji. Otrzymane zależności wyjaśniały kształtowanie się dobowych wilgotności w zakresie 71–85%. Modele uwzględniające odpływy nie miały wysokiej wartości prognostycznej. Mniejsze wartości wilgotności odnotowano podczas całego okresu obserwacji maty vegetacyjnej na substracie SPG E-M (o składzie mineralnym) w odniesieniu do SPG E-E (o składzie mineralno-organicznym). Zaobserwowane różnice wilgotności zarówno w substratach, jak i w macie vegetacyjnej mogą wynikać z różnego składu substratów.

Słowa kluczowe: dachy zielone, wilgotność, odpływ, wskaźnik opadów uprzednich

WSTĘP

Zagospodarowanie wód opadowych na obszarach zurbanizowanych powinno być realizowane poprzez zatrzymanie opadu w części lub w całości, jak również spowolnienie odpływu oraz redukcję szczytowych wartości przepływu [Szajda i in. 2008].

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Anna Baryła, Katedra Kształtowania Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, SGGW w Warszawie, Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, e-mail: anna.baryla@sggw.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

Jednym z rozwiązań zrównoważonych systemów gospodarowania wodami opadowymi na terenach zurbanizowanych są zielone dachy [Karczmarczyk i in. 2014, Małuszyńska i in. 2014, Stovin i in. 2015, Pęczkowski i in. 2016, Bus i in. 2016, Carpenter i in. 2016, Sims i in. 2016, Karczmarczyk i in. 2017]. Parametrami wpływającymi na wielkość odpływu na zielonych dachach są m.in. konstrukcja warstw, warunki meteorologiczne, skład i gatunki roślin. Badania wielu Autorów [Liu 2003, Moran i in. 2003, Monterusso i in. 2005, Stovin i in. 2012] wskazują, że w przypadku zielonych dachów wielkość odpływu wzrasta, kiedy występują opady jeden za drugim i tym samym wzrasta wilgotność substratu do stanu pełnego nasycenia. Próby określenia zależności między rozkładem opadów a poziomem wilgotności gleby podejmowano wielokrotnie [Wąsek 1980, Baryła 2006, Nidzgorska-Lencewicz 2006, Biniak-Pieróg 2008, Niemczyk i in. 2010], natomiast nie analizowano związku pomiędzy uwilgotnieniem podłoża a opadami atmosferycznymi na zielonych dachach.

W hydrologii, ze względu na brak sieci pomiarowej wilgotności gleby oraz pracochłonność pomiarów zaczęto posługiwać się do jej opisu wskaźnikiem wilgotności gruntu. Wielkość tego parametru zależna jest m.in. od warunków meteorologicznych, okresu poprzedzającego głównie sumy i natężenia opadów oraz innych elementów kształtujących zdolność ewaporacyjną powietrza w tym okresie. Stąd, stosuje się w prognozach hydrologicznych tzw. wskaźnik opadów uprzednich [Wąsek 1980, Niemczyk i in. 2010]. Jest on funkcją opadów, które wystąpiły w okresie poprzedzającym dni, dla którego określa się wskaźnik. Badania wykazały, że pomiędzy wskaźnikiem opadów uprzednich a uzyskaną na drodze pomiarów wilgotnością gleby istnieje słaba, ale istotna zgodność [Wąsek 1980, Rozbicki 1995, 1997, Niemczyk i in. 2005]. Silniejsza zależność występuje na glebach słabszych o mniejszych zdolnościach retencyjnych.

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania wskaźnika opadów uprzednich do opisu uwilgotnienia maty wegetacyjnej oraz substratu ekstensywnego na 2 modelach zielonych dachów o różnym składzie substratu. Następnie poszukiwano zależności pomiędzy uzyskanymi wskaźnikami opadów uprzednich a odpływami z modeli zielonych dachów typu ekstensywnego. Dokonano oceny, czy skład substratu wpływa na wilgotność maty wegetacyjnej na zielonym dachu.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w okresie VIII–XI 2016 roku na terenie Centrum Wodnego SGGW w południowej części Warszawy. Zakres badań obejmował dwa modele dachów zielonych typu ekstensywnego o zróżnicowanym składzie warstwy wegetacyjnej. Ocenie poddano zmiany wilgotności maty wegetacyjnej oraz warstwy substratu na tle opadów atmosferycznych. Na podstawie uzyskanych wyników podjęto próbę ustalenia zależności między wilgotnością i odpływami a wskaźnikiem opadów uprzednich.

W dwóch kuwetach wykonano modele zielonych dachów typu ekstensywnego o wymiarach $1,0 \times 2,0$ m i nachyleniu w stosunku do powierzchni terenu 2% (ryc. 1). Pomiary wysokości opadów atmosferycznych prowadzono w sposób ciągły za pomocą deszczomierza Hellmana zlokalizowanego w pobliżu stanowisk pomiarowych. W konstrukcjach



Ryc. 1. Stanowisko badawcze

Fig. 1. Experimental stand

zielonych dachów zastosowano dwa typy substratów, które zostały wykonane zgodnie z wytycznymi FLL [2008] przetłumaczonymi przez DAFA [2015]. Pomiary wilgotności prowadzono w wierzchniej warstwie – w macie roślinnej (ryc. 2) oraz w warstwie substratu pod matą, metodą TDR (Time Domain Reflektometry) [Malicki i Skierucha 2002, Oleszczuk i in. 2007]. Wyniki wilgotności rejestrowano w przedziałach czasowych 10-minutowych, które zostały przeliczone na średnie dobowe. Odpływ mierzono po każdym opadzie objętościowo.

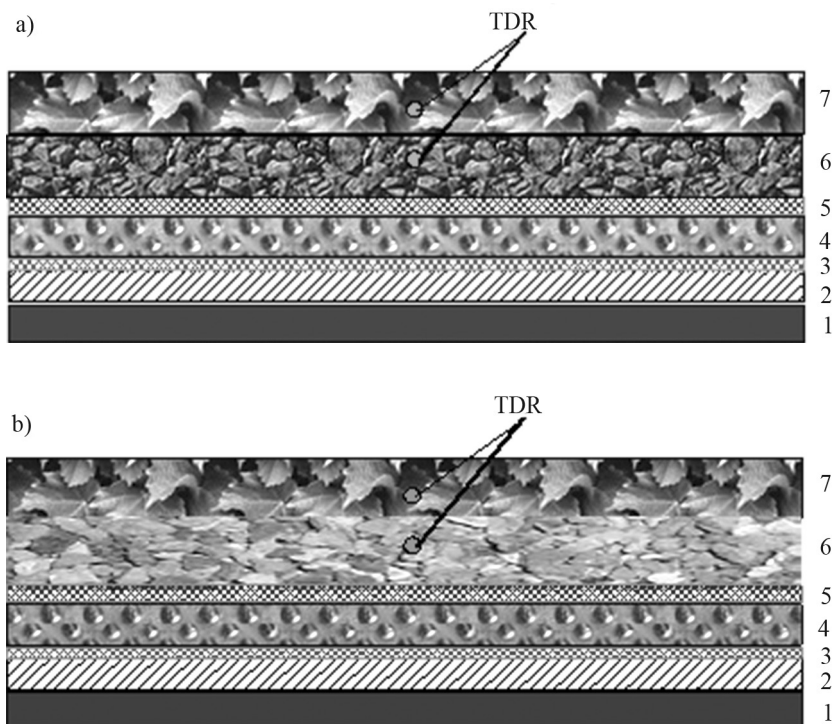
Wskaźnik opadów uprzednich, określono według wzoru podanego przez Lambora [1951, 1962]:

$$\sqrt{I_L} = \frac{1}{120} \sum_{i=1}^{15} W_i \sqrt{P_i} \quad (1)$$

gdzie:

- I_L – wskaźnik opadów uprzednich,
- P_i – dobową wysokość opadu,
- W_i – współczynnik wagowy.

W metodzie tej sumuje się opady z 15 dni poprzedzających dzień, dla którego określa się warunki wilgotnościowe wierzchniej warstwy gleby. Współczynniki wagowe przyjęto następująco: $W_i = 15$ dla opadu z dnia bezpośrednio poprzedzającego analizowany dzień, $W_i = 14$ dla opadu, występującego dwa dni wcześniej itd. Tak obliczoną sumę ważoną podzielono przez sumę szeregu, czyli przez 120 biorąc pod uwagę 15 dni. Obliczona wartość jest wskaźnikiem wilgotności gruntu. Wartość współczynnika I_L waha się w granicach od 0 do 10, wskaźnik 10 oznacza pełne nasycenie gleby i terenu wodą. Z konstrukcji formuły wynika, że udział opadu w zasilaniu strefy aeracji zależy od okresu jego wystąpienia. Największy udział ma opad z dnia bezpośrednio poprzedzającego, najmniejszy zaś opad sprzed 15 dni, licząc od dnia, dla którego wyznacza się wskaźnik. Ponieważ bardzo wysokie sumy opadu wpływają na warunki wodne nieproporcjonalnie silniej od opadów niskich, w równaniu stosuje się pierwiastek z pomierzonej wysokości opadu.



Ryc. 2. Przekrój przez modelowy profil dachu zielonego typu ekstensywnego: a) profil z substratem SPG E-E (mieszanka piasku płukanego, żwiru płukanego, gysu wapiennego, cegły kruszonej, keramzytu łamanego drobnego, torfu niskiego i kompostu), b) profil z substratem SPG E-M (mieszanka piasku płukanego, żwiru płukanego, gysu wapiennego, cegły kruszonej); 1 – konstrukcja modelu płyty OSB o grubości 16 mm ze szczelinami nie przekraczającymi 5 mm, 2 – hydroizolacja (papa termozgrzewalna odporna na przerastanie korzeni roślin zgodnie z normą PN-EN ISO 13948), 3 – warstwa ochronna (geowłóknina polipropylenowa DuPont Typar SF 32), 4 – warstwa drenażowa (mata drenażowa Terrafond Garden 20L, wys. 2 cm), 5 – warstwa filtracyjna (geowłóknina polipropylenowa Polyfelt TS 20), 6 – warstwa roślinności (substrat ekstensywny o miąższości 15 cm), 7 – roślinność ekstensywna (prekultywowana mata roślinności XF317 mech-rozchodnik-zioła o grubości 2,5 cm)

Fig. 2. Construction details of green roofs extensive models: a) green roof substrate SPG E-E (mixture of washed sand, gravel, limestone, crushed red brick, peat and compost), b) green roof substrate SPG E-M (mixture of washed sand, gravel, limestone, crushed red brick); 1 – OSB boards with thickness 16 mm with slots not exceeding 5 mm, 2 – water insulation heat-sealable bitumen sheeting root resistant in accordance with PN-EN ISO 13948, 3 – protective layer (DuPont Typar SF32), 4 – drainage layer (Terrafond Garden drainage mat 20L, height 2 cm), 5 – filter layer (Polyfelt TS 2), 6 – vegetation layer (an extensive substrate with a thickness of 15 cm), 7 – extensive vegetation (pre-cultivated vegetation mat XF317 moss-sedum-herbs; thickness of 2.5 cm)

Do porównań i analiz statystycznych wykorzystano program komputerowy STATGRAPHICS Centurion XVI. W analizie wykorzystano procedurę prostej regresji liniowej, w której zależność pomiędzy zmienną objaśnianą a zmiennymi objaśniającymi jest opisywana za pomocą funkcji liniowej:

$$Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i} + \dots + \alpha_k X_{ki} + \xi_i \quad (2)$$

gdzie:

α_j – dla $j = 0, 1, \dots, k$ – nieznane parametry strukturalne modelu,

ξ_i – dla $i = 1, \dots, n$ – składnik losowy.

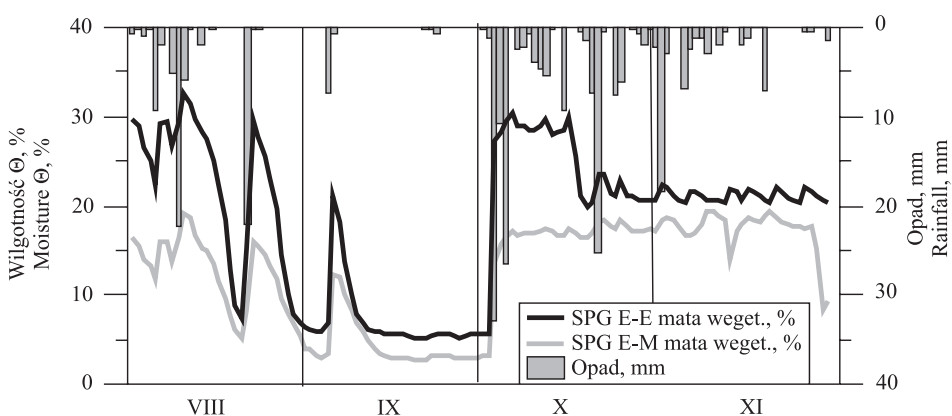
Weryfikację istotności otrzymanych równań regresji liniowej przeprowadzono za pomocą testu t-Studenta, przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI

Analizowane miesiące były zróżnicowane pod względem ilości opadów. Miesiącem o najwyższej sumie, wynoszącej 152,2 mm, był październik. Największy dobowy opad wystąpił 3 października 2016 i wyniósł 32,8 mm. Miesiącem o najniższej sumie opadów był wrzesień, w którym suma opadów wynosiła 9,6 mm.

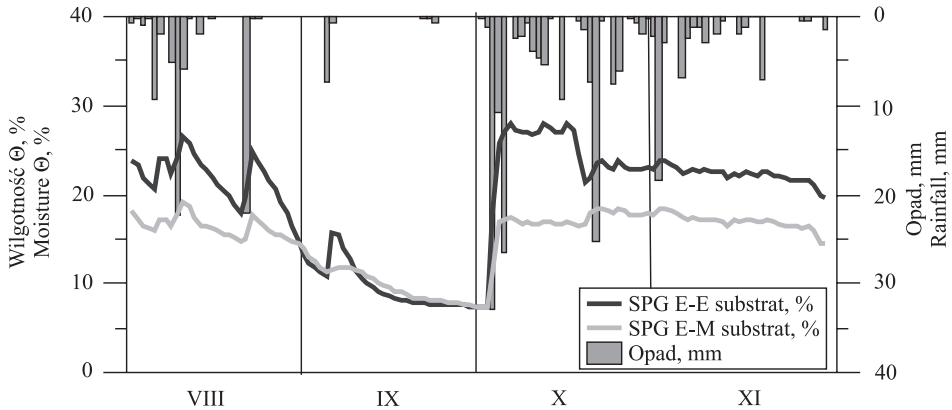
Zmiany uwilgotnienia maty vegetacyjnej (prekultywowana mata vegetacyjna XF317 mech-rozchodnik-ziola) na różnych warstwach vegetacyjnych (SPG E-E i SPG E-M) wykazały znaczne różnice (ryc. 3 i 4).

Różnica pomiędzy maksymalnymi wartościami wilgotności maty vegetacyjnej na substracie SPG E-E (32,6%) a maty vegetacyjnej na substracie SPG E-M (19,3%) wyniosła 13,3% (tab. 1). Podczas całego okresu obserwacji zdecydowanie mniejsze wilgotności odnotowano dla maty vegetacyjnej na substracie SPG E-M niż dla maty na



Rys. 3. Zmiany uwilgotnienia maty vegetacyjnej modeli zielonych dachów ekstensywnych na tle opadów atmosferycznych w okresie VIII–XI 2016 roku

Fig. 3. Changes of the moisture in extensive vegetation and the rainfall in time VIII–XI 2016



Rys. 4. Zmiany uwilgotnienia substratu modeli zielonych dachów ekstensywnych na tle opadów atmosferycznych w okresie VIII–XI 2016 roku

Fig. 4. Changes of the moisture in substrate and the rainfall in time VIII–XI 2016

Tabela 1. Statystyki wilgotności w substratach i macie wegetacyjnej w okresie VIII–XI 2016.

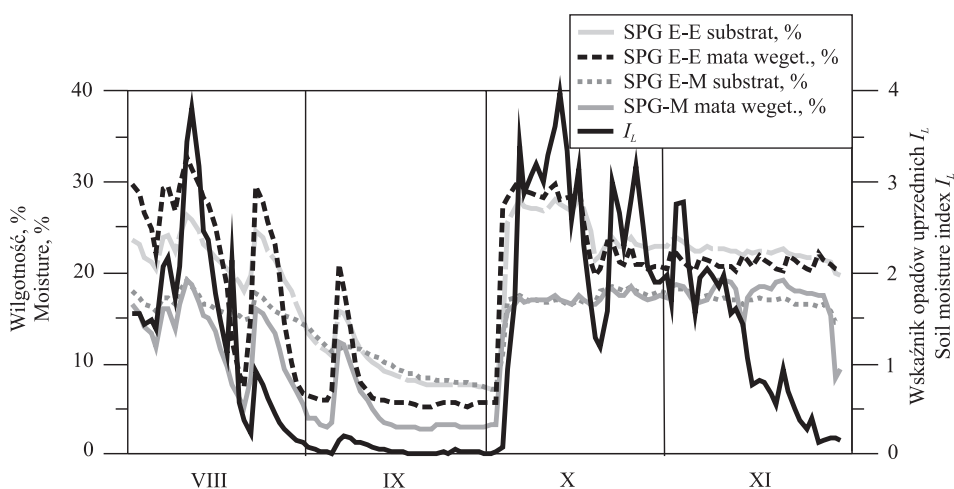
Table 1. Statistical characteristics of the moisture in the substrate and extensive vegetation mate in VIII–XI 2016.

Wilgotność Θ , % Moisture Θ , %	Mata wegetacyjna SPG-E-E Extensive vegetation	Mata wegetacyjna SPG E-M Extensive vegetation	Substrat SPG-E-E Substrate SPG-E-E	Substrat SPG E-M Substrate SPG E-M
Max	32,6	19,3	28,0	19,1
Min	5,30	2,70	7,30	7,30
Średnia – Mean	18,6	12,6	19,3	14,9
Odchylenie Standardowe Standard deviation	8,60	6,00	6,50	3,50

substracie SPG E-E. Zaobserwowane różnice wilgotności zarówno w substratach, jak i macie wegetacyjnej mogą wynikać z różnego składu substratów. Substrat SPG E-E jest mieszanką mineralno-organiczną, natomiast substrat SPG E-M mieszanką mineralną. Średnie wartości wilgotności dobowej wykazały, że maty wegetacyjne charakteryzowały się mniejszym uwilgotnieniem niż substraty. W przypadku powierzchni pokrytej roślinnością należy pamiętać o zjawisku intercepcji, na skutek której część wody pochodzącej z opadów nie może zostać wykorzystana przez rośliny. Przy niskich sumach opadów o małym natężeniu pokrywa roślinna może zatrzymać nawet całą ilość wody opadowej, natomiast w czasie intensywnych i długotrwałych opadów tylko ich część [Kowalik 2010].

Najwyższe wilgotności w macie roślinnej (ryc. 3) i w substracie (ryc. 4) odnotowano po ulewnych deszczach w sierpniu oraz w październiku (który był miesiącem skrajnie mokrym). W sierpniu poziom uwilgotnienia zarówno maty roślinnej, jak i substratu wyraźnie spadał w okresach pomiędzy dobowymi opadami wynoszącymi poniżej 20 mm, co może być związane z wysokimi temperaturami powietrza powodującymi szybkie parowanie wody z obu warstw. Systematyczny spadek wilgotności obserwowano we wrześniu, kiedy to w przypadku mat roślinnych był on ekstremalnie niski (2,7% na substracie SPG E-E, 5,3% na substracie SPG E-M) – ma to związek z długo utrzymującym się brakiem opadów. Ulewne opady października spowodowały znaczny wzrost wilgotności zarówno mat roślinnych, jak i substratów. W listopadzie większe zmiany wilgotności odnotowano w macie roślinnej, natomiast w substratach nie zaobserwowano dużych zmian uwilgotnienia.

Przebieg obliczonych wskaźników opadów uprzednich, wilgotności mat roślinnych i substratów przedstawiono na ryc. 5. W większości terminów wykresy wilgotności i wskaźników opadów uprzednich miały podobny przebieg. Największe rozbieżności zanotowano w listopadzie.



Ryc. 5. Zmiany wilgotności substratów SPG E-E i SPG E-M, mat roślinnych Θ (%) i wskaźnika opadów uprzednich I_L w analizowanych terminach.

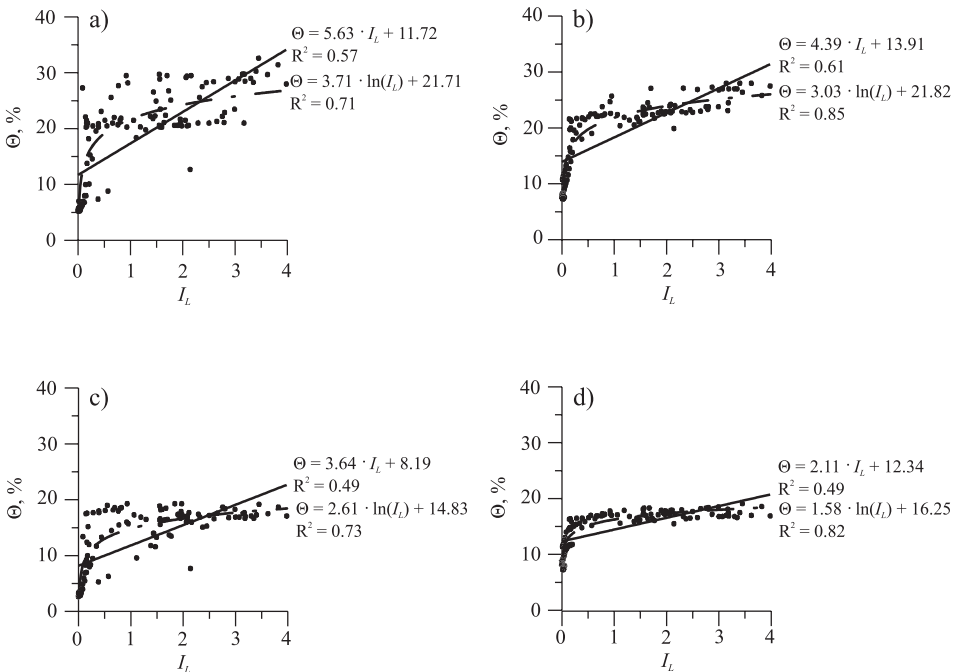
Fig. 5. Changes in soil moisture Substrate SPG E-E and SPG E-M, extensive vegetation Θ (%) and soil moisture index I_L analyzed in time limits.

Analiza związków pomiędzy dobowymi wilgotnościami mat roślinnych i substratów a wskaźnikiem opadów uprzednich wskazała, że model liniowy objaśnia od 49 do 61% zmienności wilgotności w funkcji wskaźnika opadów uprzednich (ryc. 6 a, b). Wyższe wartości współczynników determinacji R^2 , mieszczące się w zakresie od 0,57 w macie roślinnej do 0,61 w substracie, otrzymano w modelu z substratem SPG E-E (mineralno-organiczny). Natomiast w modelu z substratem SPG E-M (mineralny) wartości R^2 były takie same dla maty roślinnej i dla substratu wyniosły odpowiednio 0,49.

We wszystkich rozpatrywanych przypadkach funkcje regresji bardziej złożone od modelu liniowego – logarytmiczne, dały poprawę współczynnika determinacji (ryc. 6 c,d). Większe wartości R^2 oznaczały, że modele te lepiej wyjaśniały zmienność dobowych wilgotności mat i substratów.

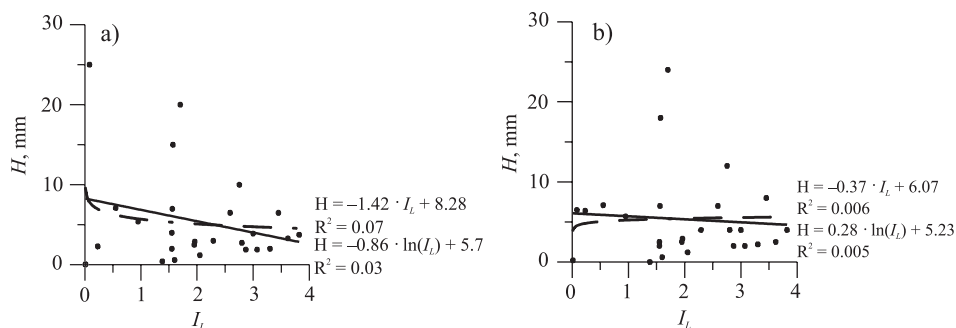
We wszystkich rozpatrywanych przypadkach funkcje regresji bardziej złożone (logarytmiczne) dają poprawę współczynnika determinacji, natomiast należy zwrócić uwagę, że są to modele bardziej skomplikowane od modelu liniowego.

Kolejnym etapem pracy było sprawdzenie, czy wskaźnik opadów uprzednich, poza wilgotnością, może służyć do opisu oddziaływań z modeli zielonych dachów ekstensywnych. Współczynniki R^2 otrzymanych równań liniowych (ryc. 7), jak i ich przekształceń logarytmicznych (modele liniowe względem parametrów, a nieliniowe względem zmiennych) nie przekraczały 7% ($R^2 = 0,07$). Niewielkie wartości współczynników R^2 otrzymanych równań mogą świadczyć o nieliniowym charakterze związku badanych zmiennych.



Ryc. 6. Zmienność współczynników determinacji R^2 dla związków pomiędzy wilgotnością: a) maty roślinnej na podłożu SPG E-E, b) podłoża SPG E-E, c) maty roślinnej na podłożu SPG E-M, d) podłoża SPG E-M a wskaźnikami opadów uprzednich od sierpnia do listopada w roku 2016

Fig. 6. Determination coefficients R^2 for the relation between moisture: a) extensive vegetation on substrate SPG E-E, b) substrate SPG E-E, c) extensive vegetation on substrate SPG E-M, d) substrate SPG E-M and soil moisture index from August to November during year 2016



Ryc. 7. Zmienne współczynników determinacji R^2 dla związków pomiędzy uzyskanymi odpływami: a) model zielonego dachu ekstensywny z substratem SPG E-E, b) model zielonego dachu ekstensywny z substratem SPG E-M a wskaźnikiem opadów uprzednich od sierpnia do listopada w roku 2016.

Fig. 7. Determination coefficients R^2 for the relation between runoff: a) extensive green roof model with substrate SPG E-E, b) extensive green roof model with substrate SPG E-M and soil moisture index from August to November during year 2016.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki weryfikacji istotności równań regresji przeprowadzonych za pomocą rozkładu t-Studenta. W przypadku równań regresji 1–4 (tab. 2) nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że wskaźnik opadów uprzednich zależy istotnie od wilgotności. W Równaniach tych, empiryczne wartości statystyk t-Studenta są większe od wartości krytycznej, również poziomy krytycznego poziomu istotności (wartość p) są mniejsze od przyjętego poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Natomiast w równaniach 5–6 wyznaczona wartość empiryczna statystyki t_{emp} jest mniejsza od wartości krytycznej. Oznacza to, że wskaźnik opadów uprzednich nie wpływa istotnie na odpływy z obu modeli.

Tabela 2. Równania regresji opisujące zmiany wskaźnika opadów uprzednich w substratach i matkach wegetacyjnych dwóch modeli zielonych dachów ekstensywnych od sierpnia do listopada 2016 roku oraz wartości parametrów testu t-Studenta.

Table 2. Regression equations for soil moisture index changes in analyzed layers from August to November 2016 year and parameters t-Students test.

Lp.	Warstwa Layer	Równania regresji Regression equations	t_{emp} .	Wartość p p-value
1	Mata wegetacyjna SPG E-E	$\theta = 5,36 \cdot I_L + 11.72$	12,51	0,0000
2	Substrat SPG E-E	$\theta = 4,39 \cdot I_L + 13.91$	13,80	0,0000
3	Mata wegetacyjna SPG E-M	$\theta = 3,64 \cdot I_L + 8.19$	10,71	0,0000
4	Substrat SPG E-M	$\theta = 2,11 \cdot I_L + 12.34$	10,80	0,0000
5	Substrat SPG E-E	$H = -1,42 \cdot I_L + 8.28$	1,30	0,2057
6	Substrat SPG E-M	$H = -0,37 \cdot I_L + 6.07$	0,37	0,7173

R^2 – współczynnik determinacji – coefficient of determination, θ – wilgotność – moisture, I_L – wskaźnik opadów uprzednich – soil moisture index, t_{kr} = 1,9799.

Przeprowadzone w pracy analizy na przykładzie modeli zielonych dachów ekstensywnych mają charakter wstępnych badań. Należy kontynuować badania zależności zarówno wilgotności jak i wielkości odpływów z uwzględnieniem różnych lat pod kątem występowania opadów oraz z dodatkowymi czynnikami np. temperaturą powietrza.

WNIOSKI

Analizy prowadzone na podstawie materiałów źródłowych uzyskanych z bezpośrednich pomiarów terenowych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Dobowe wilgotności mat roślinnych i substratów podczas okresu badań zmieniały się w szerokim zakresie. Minimalną wilgotność odnotowano w macie roślinnej na substracie SPG E-M (2,7%), maksymalną w macie roślinnej na substracie SPG E-E (32,6%). Średnie wartości wilgotności zarówno maty roślinnej, jak i substratu były wyższe w modelu z substratem mineralno-organicznym (SPG E-E).
2. Modele zielonych dachów typu ekstensywnego charakteryzowały się zbliżoną budową, jednak model z dodatkiem torfu niskiego i kompostu wykazywał wyższą wilgotność w stosunku do modelu z mieszanką mineralną (piasek, żwir, grys wapienny, cegła żwir), co wskazuje na jego lepsze warunki retencyjne.
3. Wskaźnik opadów uprzednich dobrze charakteryzował zmiany wilgotności zarówno mat roślinnych, jak i substratów w obu modelach zielonych dachów. Natomiast wartości współczynników determinacji otrzymane dla zależności pomiędzy opadami uprzednimi a wielkościami odpływów były bardzo niskie, co wskazuje na znikomą wartość prognostyczną otrzymanych modeli empirycznych lub może sugerować nieliniowy charakter związku badanych zmiennych.

LITERATURA

- Baryła, A. (2006). The relationship between surface runoff and anterior precipitation index. *Assessing of Soil and Water Conditions in Forests*. Red. A. Boczoń. Warszawa, 67–74.
- Biniak-Pieróg, M. (2008). Wpływ elementów agrometeorologicznych na zmienność zasobów wodnych gleby w półroczu zimowym. Monografia. Współczesne problemy inżynierii środowiska, VII. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław, ss. 129.
- Bus, A., Karczmarczyk, A., Baryła, A. (2016). The use of reactive material for limiting P-leaching from green roof substrate. *Wat. Sci. Tech.*, 73(12), 3027–3032.
- Carpenter, C., Todorov, D., Driscoll, C., Montesdeoca, M. (2016). Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations. *Environm. Pollution*, 218, 664–672.
- DAFA (2015). Dachy Zielone. Wytyczne do projektowania, wykonywania i pielęgnacji dachów zielonych – wytyczne dla dachów zielonych. Stowarzyszenie Wykonawców Dachów Płaskich i fasad (DAFA), Opole, Poland DZ.1.01.
- FLL (2008). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL). Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing. Green Roofing Guideline. FLL: Bonn, Germany.
- Karczmarczyk, A., Baryła, A., Bus, A. (2014). Effect of P-reactive drainage aggregates on green roof runoff quality. *Water*, 6, 2575–2589.

- Karczmarczyk, A., Baryła, A., Kozuchowski, P. (2017). Design and Development of Low P-Emission Substrate for the Protection of Urban Water Bodies Collecting Green Roof Runoff. *Sustainability*, 9(10), 1795.
- Kowalik, P. (2010). *Agrohydrologia obliczeniowa*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Warszawa, 32–34.
- Lambor, J. (1951). *Hydrologia inżynierska*. Arkady, Warszawa.
- Lambor, J. (1962). *Metody prognoz hydrologicznych*. WKiŁ, Warszawa.
- Liu, K. (2003). Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. [W:] *Proceedings of The 18th International Convention of the Roof Consultants Institute*, 93–103.
- Malicki, M.A., Skierucha, W. (2002). Elektryczny pomiar wilgotności gleby metodą TDR. *Acta Agrophys.*, 72, 89–98.
- Małuszyńska, I., Caballero-Frączkowski, W., Małuszyński, M. (2014). Zielone dachy i zielone ściany jako rozwiązania poprawiające zdrowie środowiskowe terenów miejskich. *Inżyn. Ekol.*, 36, s. 40–52.
- Monterusso, M.A., Rowe, D.B., Rugh, C.L. (2005). Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience*, 40, 391–396.
- Moran, A., Hunt, B., Jennings, G. (2003). A Nord Carolina field study to evaluate greenroof runoff quantity, runoff quality and plant growth. *World Water and Environmental Resources Congress*, 1–10.
- Nidzgorska-Lencewicz, J. (2006). Elementy meteorologiczne kształtujące wilgotność gleby w okresach rozwojowych żyta i ziemniaka. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 5(2), 57 – 64.
- Niemczyk, H., Kowalska, B., Majewski, G. (2005). Analiza zależności między aktualną wilgotnością warstwy ornej gleby lekkiej i wskaźnikami opadów uprzednich. *Przeł. Nauk. Inżyn. Kształt. Środ.*, 2(32), 111–125.
- Niemczyk, H., Kowalska, B., Majewski, G. (2010). Analiza zależności między aktualną wilgotnością gleby a wskaźnikiem opadów uprzednich i temperaturą powietrza. *Przeł. Nauk. Inżyn. Kształt. Środ.*, 1(47), 13–19.
- Oleszczuk, R., Gnatowski, T., Brandyk, T., Szatyłowicz, J. (2007). Calibration of TDR for moisture content monitoring in moorsh layers. *Wetlands: Monitoring, Modelling and Management*. Taylor & Francis, London, 121–124.
- Pęczkowski, G., Orzepowski, W., Pokładek, R., Kowalczyk, T., Żmuda, R. (2016). Właściwości retencyjne zielonych dachów typu ekstensywnego na przykładzie badań modelowych. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(3), 113–120.
- Rozbicki, T. (1995). Próba oceny przydatności wskaźnika gruntu. *Przeł. Nauk. Wydz. Melior. Inż. Środ.*, 8: 77–82.
- Rozbicki, T. (1997). Związek między wskaźnikami opadów uprzednich i wilgotnością gruntu na wybranych typach gleb lekkich i ciężkich. *Rocz. AR w Poznaniu*, 291, *Melior. Inż. Środ.*, 17, 105–115.
- Sims, A., Robinson, C., Smart, C., Voogt, J., Hay, G., Lundholm, J., Powers, B., O'Carroll, D. (2016). Retention performance of green roofs in three different climate regions. *J. Hydrology*, 542, 115–124
- Stovin, V., Vesuviano, G., Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *J. Hydrology*, 148–161.
- Stovin, V., Poëa, S., De-Villea, S., Berretta, Ch. (2015). The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance. *Ecol. Engin.*, 85, 159–172.
- Szajda, E., Plywaczyk, A., Pęczkowski, G. (2008). Wykorzystanie zielonych dachów do ograniczenia odpływu wód opadowych w aglomeracjach miejskich. [W:] *Problemy zagospodarowania wód opadowych*. Monografia. Red. J. Łomotowski. Seidel-Przywiecki, Warszawa, 49–57.
- Wąsek A. (1980). Zasoby wodne w górnej warstwie strefy aeracji a wskaźnik wilgotności gruntu. *Przeł. Geofiz.* 25(1), 71–78.

ASSESSMENTS OF ANTERIOR PRECIPITATION INDEX FOR THE DESCRIPTION MOISTURE LAYERS ON EXTENSIVE GREEN ROOF

Abstract. The aim of the study was to evaluate the possibility of using the precipitation index to estimate the outflows and moisture in two green roofs of extensive type with different composition of the vegetation layer (substrate). The research was carried out at the Water Center of Warsaw University of Life Sciences in Warsaw in the period of VIII–XI 2016. The analyzes used daily moisture changes measured by the TDR method. Statistically significant correlations were found between the changes of moisture content of vegetative mats and substrates and the index of precipitation. Such relationships were not observed for outflows from both green roof models and the precipitation indicator. Lower moisture values were recorded during the entire observation period of vegetation mat on SPG E-M substrate (mineral composition). The observed moisture differences in both substrates and vegetative mat may be due to the different substrate compositions. The SPG E-E substrate is a mineral-organic compound, while the SPG E-M substrate is a mineral materials.

Keywords: green roofs, moisture, outflow, anterior precipitation index

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.12.2017

Do cytowań – For citation: Baryła, A., Karczmarczyk, A., Bus, A., Kożuchowski, P. (2017). Ocena przydatności wskaźnika opadów uprzednich do opisu uwilgotnienia podłoża na zielonych dachach typu ekstensywnego. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(4), 23–34.