

## **Załącznik 2a**

### **AUTOREFERAT PRZEDSTAWIAJĄCY CYKL PUBLIKACJI POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE ORAZ POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE, ORGANIZACYJNE I DYDAKTYCZNE**

**dr inż. Anna Maria Baryła**

Katedra Kształtowania Środowiska  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Warszawa, 2019 r.

## Spis treści

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | Imię i nazwisko .....  | 3  |
| 2.   | Posiadane dyplomy i stopnie naukowe .....  | 3  |
| 3.   | Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych .....   | 3  |
| 4.   | Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) ..... | 3  |
| a)   | Tytuł osiągnięcia naukowego .....  | 3  |
| b)   | Wykaz prac składających się na jednotematyczny cykl publikacji.....  | 4  |
| c)   | Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....   | 5  |
| 4.1. | Wprowadzenie .....   | 5  |
| 4.2. | Główne cele osiągnięcia naukowego.....   | 8  |
| 4.3. | Osiągnięte wyniki cyklu publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego  | 9  |
| 4.4. | Wskazanie najważniejszych osiągnięć cyklu publikacji .....   | 18 |
| 4.5. | Możliwości zastosowania osiągniętych wyników .....   | 19 |
| 4.6. | Dalsze plany badawcze .....  | 20 |
| 4.7. | Piśmiennictwo .....  | 20 |
| 5.   | Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....   | 24 |
| 5.1. | Główne kierunki działalności naukowej .....  | 24 |
| 5.2. | Współpraca naukowa krajowa i międzynarodowa .....  | 27 |
| 5.3. | Dydaktyczna, popularyzatorska i organizacyjna.....   | 28 |
| 6.   | Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego.....   | 29 |

**1. Imię i nazwisko**

Anna Maria Baryła

**2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

- dyplom magistra inżyniera inżynierii środowiska z dnia 20.06.1997r. wydany przez Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Tytuł pracy magisterskiej: „*Wartość paszowa roślinności oraz produktów spożywczych z obszarów zanieczyszczonych ściekami*”, promotor: prof. dr hab. inż. Elżbieta Biernacka.
- stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie *kształtowanie środowiska* z dnia 13.07.2004r. nadany przez Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Obliczanie rozstawy tarasów grzbietowych za pomocą modelu spływu powierzchniowego*”, promotor: prof. dr hab. Edward Pierzgałski, recenzenci: prof. dr hab. Czesław Szafrąński, prof. dr hab. Kazimierz Banasik. Praca doktorska była wykonywana w ramach dziennych studiów doktoranckich odbywanych od dnia 1 listopada 1998 r. na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w dyscyplinie naukowej *kształtowanie środowiska* i w specjalności *kształtowanie środowiska obszarów niezurbanizowanych*.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- Od 18 października 2004 r. do 17 października 2005 r. mianowanie na **stanowisko asystenta** w Katedrze Kształtowania Środowiska, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie.
- Od 18 października 2005 r. do chwili obecnej mianowanie na **stanowisko adiunkta** w Katedrze Kształtowania Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska (obecna nazwa) Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie.

**4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)**

**a) Tytuł osiągnięcia naukowego**

Jako osiągnięcie będące podstawą do złożenia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego wskazuję jednotematyczny cykl publikacji, zatytułowany:

**Rola zielonych dachów w adaptacji miast do zmian klimatu**

**b) Wykaz prac składających się na jednotematyczny cykl publikacji**

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego udokumentowane jest cyklem 7 jednotematycznych publikacji naukowych o łącznej sumie punktów MNiSW - 116 oraz sumarycznym IF wg bazy Journal Citation Reports (JCR) - 4,519 (zgodnie z rokiem opublikowania):

[I.B.1] BARYŁA A., KARCZMARCZYK A., BRANDYK A., BUS A. 2018. The influence of a green roof drainage layer on retention capacity and leakage quality. *Water Science & Technology*, 77(12), 2886-2895. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.283>.

**Impact Factor<sub>(2016)</sub>: 1,247; IF<sub>(5 letni)</sub>: 1,312**

**Liczba punktów MNiSW: 20**

[I.B.2] BARYŁA A., KARCZMARCZYK A., BUS A., HEWELKE E., WRÓBEL M. 2019. Comparing the retention of the extensive green roofs with the conventional roof. *Infraeco2018*, 048. Infrastructure and Environment. ISBN 978-3-030-16541-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16542-0>.

**Liczba punktów WoS: 15**

[I.B.3] BARYŁA A., KARCZMARCZYK A., BUS A., HEWELKE E. 2019. Influence of environmental factors on retention of extensive green roofs with different substrate composition. *E3S Web of Conference* 86, 00026, Ecological and Environmental Engineering 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201986000>.

**Liczba punktów WoS: 15**

[I.B.4] BARYŁA A., KARCZMARCZYK A., BUS A. 2018. Role of Substrates Used for Green Roofs in Limiting Rainwater Runoff, *Journal of Ecological Engineering*, 19(5): 86-92. <https://doi.org/10.12911/22998993/91268>.

**Liczba punktów MNiSW: 12**

[I.B.5] BUS A., KARCZMARCZYK A., BARYŁA A. 2016. The use of reactive material for limiting P-leaching from green roof substrate, *Water Science & Technology*, 73.12, 3027-3032. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.173>.

**Impact Factor<sub>(2015)</sub>: 1,197; IF<sub>(5 letni)</sub>: 1,491**

**Liczba punktów MNiSW: 20**

[I.B.6] BARYŁA A. 2019. Role of Drainage Layer on Green Roofs in Limiting the Runoff of Rainwater from Urbanized Areas, *Journal of Water and Land Development*, No. 41 (IV–VI) p. 12–18. doi: 10.2478/jwld-2019-0022.

**Liczba punktów MNiSW: 14**

[I.B.7] BARYŁA A., GNATOWSKI T., KARCZMARCZYK A., SZATYŁOWICZ J. 2019. Changes in Temperature and Moisture Content of an Extensive-type Green Roof, *Sustainability* 11(9), 2498. <https://doi.org/10.3390/su11092498>.

**Impact Factor<sub>(2017)</sub>: 2,075; IF<sub>(5 letni)</sub>: 2,177**

**Liczba punktów MNiSW: 20**

Mój indywidualny wkład w powstanie przedstawionych powyżej prac naukowych jest wiodący, co wykazano w załączniku nr 3. Oświadczenia współautorów prac wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie zestawiono w załączniku 4. Kopie prac zostały zebrane w załączniku 5. Ponadto, żadna z ww. prac nie była częścią monotematycznego cyklu prac w innym postępowaniu habilitacyjnym.

**c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

**4.1. Wprowadzenie**

Liczba mieszkańców miast na świecie systematycznie się zwiększa. Według prognozy ONZ (2018) w 2050 r. około 70% ludności świata będzie mieszkać w miastach. W Europie już obecnie wskaźnik urbanizacji wynosi 73%, a w Polsce 60%. Zwiększanie liczby ludności w miastach wywołuje szereg problemów i zagrożeń wzmocnionych przez obserwowane i prognozowane zmiany klimatu. Szczególnie groźne są pojawiające się coraz częściej ekstremalne zjawiska meteorologiczne i hydrologiczne, a wśród nich wysokie temperatury powietrza, opady nawalne oraz okresy bezopadowe powodujące susze, powódzie i podtopienia (PODRĘCZNIK ADAPTACJI, 2015). W raporcie „Global Risks” (2016) zmiany środowiskowe i klimatyczne uznano za największe zagrożenia dla ludności już w najbliższej przyszłości. Konsekwencjami tych zmian będzie m.in. zagęszczenie ludności, kurczenie się terenów zieleni, zaburzony bilans wodny wskutek zwiększania powierzchni nieprzepuszczalnych, hałas oraz wzrastający poziom zanieczyszczenia powietrza. W efekcie pojawiać się będzie coraz więcej czynników wywołujących liczne choroby cywilizacyjne: alergie, nowotwory i inne. Zmiany klimatu są również przyczyną deficytu wody i rozwoju gatunków inwazyjnych, stanowiących zagrożenie dla zdrowia ludzi. Ponieważ istnieje wysokie prawdopodobieństwo pogłębiania ww. zjawisk, konieczne jest przygotowanie się do tych zjawisk zgodnie z zasadą przezorności. Unia Europejska, dostrzegając wagę problemu, podjęła działania przygotowawcze opracowując dokument dotyczący adaptacji do zmian

klimatycznych (ADAPTACJA, 2007). Według ONZ adaptacja obejmuje przystosowanie systemów ekologicznych, społecznych i ekonomicznych do zmian klimatu i skutków przez nie powodowanych. Dotyczy to przekształceń w procesach, praktykach i strukturach prowadzących do ograniczenia ewentualnych szkód, a także do wykorzystania możliwości związanych ze zmianami klimatu. Kierując się zaleceniami ONZ oraz wypełniając unijne zobowiązania Polski, Rada Ministrów przyjęła 29 października 2013 roku dokument pt. „Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030” (tzw. SPA 2020). Celem głównym SPA 2020 jest „... zapewnienie zrównoważonego rozwoju oraz efektywnego funkcjonowania gospodarki i społeczeństwa w warunkach zmian klimatu”. Zgodnie z tym opracowaniem obszary miejskie z uwagi na duże zagęszczenie ludności są rejonami, gdzie negatywne skutki zmian klimatu mogą być najbardziej odczuwalne (STRATEGIA ADAPTACJI, 2017).

W strategii Komisji Europejskiej z roku 2013 (KE 2013, COM 2013) wśród celów wymienia się m.in. konieczność tworzenia i umacniania zielonej infrastruktury oraz przywrócenie naturalnego cyklu hydrologicznego w miastach. Zielone dachy i zielone ściany będące elementami zielonej infrastruktury zostały w Polsce zarekomendowane do przedsięwzięć związanych z adaptacją do zmian klimatu (PODRĘCZNIK ADAPTACJI, 2015). Za pomocą zielonych dachów można uzyskać zmniejszenie o około 40-50 % nieprzepuszczalnych powierzchni w obszarach miejskich (DUNNET I KINGSBURY 2004). W zależności od zagospodarowania i wymagań dotyczących nawadniania istnieją dwa rodzaje zielonych dachów: ekstensywny i intensywny. Ekstensywne zielone dachy, nazywane również dachami ekologicznymi lub lekkimi, mają warstwę podłoża o miąższości od 2 do 20 cm. Wymagają minimalnego lub nie wymagają nawadniania i zazwyczaj są sadzone z mchu, sukulentów, trawy i niektórych roślin zielnych (DUNNETT I KINGSBURY 2004, OBERNDORFER I IN. 2007). Ten typ zielonych dachów jest najszerzej stosowany i mogą być one zakładane na większości dachów. Wadą dachów ekstensywnych są ich mniejsze zdolności retencyjne i szybsze przesychanie w porównaniu do dachów intensywnych (STOVIN I IN. 2012). W zazielenieniu intensywnym o większej miąższości substratu (powyżej 20 cm) można wyróżnić zagospodarowanie niskie i wysokie. W zazielenieniu niskim wykorzystuje się niskie rośliny np. byliny, krzewy, trawy i w ograniczonym zakresie karłowate odmiany drzew. Natomiast w zazielenianiu intensywnym wysokim stosuje się wszystkie rodzaje roślin, m.in. byliny, krzewy, trawy i sporadycznie drzewa iglaste i liściaste. Oba typy ogrodów intensywnych wymagają pracochłonnej pielęgnacji, regularnego nawożenia, a także

systemów nawadniania i odprowadzania nadmiaru wody (OBERNDORFER I IN. 2007). Zarówno w dachach ekstensywnych, jak i intensywnych, ważną rolę w retencjonowaniu wód opadowych odgrywa rodzaj i miąższość substratu (THURING I IN. 2010). Substrat jest specyficzną mieszanką, która jest zazwyczaj nieorganiczna, porowata, lżejsza od gleby i zdolna do podtrzymywania wzrostu roślin (MORGAN I IN. 2012, FLL 2008). Dlatego powinna charakteryzować się określonymi fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi właściwościami (KARCZMARCZYK I IN. 2017). Substraty wykonuje się z materiałów nasiąkliwych takich, jak lawa wulkaniczna, perlit, pumeks, wermikulit, zeolit. Stosuje się także keramzyt, popiołyryty, kruszoną czerwoną cegłę i żużel. Oprócz składników mineralnych substraty dachowe zawierają substancje organiczne w postaci torfu lub kompostu (KÖHLER I POLL 2010, BOGACZ I IN. 2013). W praktyce właściwości fizyczne substratów ulegają ciągłej zmianie wraz z upływem okresu ich eksploatacji (CARTER I KEELER 2008, NAGASE I DUNNETT 2011). Ważnym elementem dachów zielonych jest warstwa drenażowa pełniąca rolę magazynowania i odprowadzania wody. Do jej wykonania stosuje się kruszywa mineralne, lekkie kruszywa sztuczne (np. keramzyt) oraz geosyntetyki i profilowane tworzywa sztuczne (FLL 2008).

Funkcjonalność i efekty zielonych dachów mogących wpływać między innymi na obieg wody w zlewni zurbanizowanej (zmniejszenie zagrożenia tzw. powodziąmi błyskawicznymi) (WONG I JIM 2015, CIPOLLA I IN. 2016, SZOTA I IN. 2017, LADANI I IN. 2019) obniżenie temperatury w mieście (SANTAMOURIS 2014, SOLCEROVA I IN. 2017, BEVILACQUA I IN. 2018), oszczędność energii wskutek zmniejszenia lub zwiększenia temperatury wewnątrz budynków w istotnym stopniu zależą od lokalnych warunków środowiskowych, rozwiązań konstrukcyjnych oraz prawidłowej eksploatacji. Dlatego pomimo wielu prac badawczych dotyczących zielonych dachów wiele zagadnień pozostaje ciągle do wyjaśnienia. Prace wchodzące w skład prezentowanego osiągnięcia poszerzają stan wiedzy o roli zielonych dachów w ograniczeniu odpływu wód opadowych z terenów zurbanizowanych oraz ich wpływie na poprawę warunków termicznych miast i budynków w aspekcie przystosowania do adaptacji zmian klimatu.

Podstawą oceny roli zielonych dachów w adaptacji miast do zmian klimatu były zarówno badania polowe jak i laboratoryjne. Przeprowadzono monitoring odpływów, wilgotności substratów w okresie 2013-2015 na trzech modelach zielonych dachów intensywnych o różnej konstrukcji warstwy drenażowej (żwir płukany, keramzyt, mata polipropylenowa). W dalszej części tekstu zastosowano oznaczenie DŻ w odniesieniu do dachu z warstwą drenażową ze żwiru płukanego, DK do dachu z warstwą drenażową z

keramzytu, DM do opisu dachu zielonego z warstwą drenażową z maty polipropylenowej. Szczegółową metodykę badań przedstawiono w artykule **I.B.1**. W kolejnym etapie w latach 2015-2018 prowadzono monitoring odpływów, wilgotności i temperatury w profilu dwóch modeli zielonych dachów ekstensywnych o różnym składzie substratu oraz badano wielkość odpływu z modelu dachu konwencjonalnego (pokrytego papą). W dalszej części tekstu zastosowano oznaczenie ZD1 w odniesieniu do dachu z warstwą substratu mineralno-organicznego, ZD2 do dachu z warstwą substratu mineralnego oraz RD do opisu dachu referencyjnego (pokrytego papą). Szczegółową metodykę badań przedstawiono w artykułach **I.B.2**, **I.B.3**, **I.B.7**. W roku 2018 przeprowadzono badania polowe na pięciu kolumnach wypełnionych 4 cm. warstwą substratu intensywnego, dwie z nich podścielono 5 i 10 cm. warstwą drenażową z keramzytu oraz dwie podścielono 5 i 10 cm warstwą z grysem kwarcytowym. Prowadzono pomiary ilości odcieków, wilgotności i temperatury substratu. W dalszej części tekstu zastosowano oznaczenia - kolumna z substratem S0, kolumny z 5 i 10 cm warstwą drenażową z keramzytem SL1 i SL2, kolumny z 5 i 10 cm warstwą drenażową z grysu kwarcytowego SG1 i SG2. Szczegółową metodykę badań przedstawiono w artykule **I.B.6**. Badania laboratoryjne przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie przez okres 82 dni mierzono wielkość odpływu z sześciu kolumn wypełnionych 10 cm ekstensywnym substratem, trzy z nich podścielono 2 cm warstwą drenażową wykonaną z Polonite®. W dalszej części tekstu zastosowano oznaczenie S w odniesieniu do kolumn wypełnionych substratem ekstensywnym, SP w odniesieniu do kolumn podścielonych warstwą drenażową wykonaną z Polonite®. Szczegółową metodykę badań przedstawiono w artykule **I.B.5**. W drugim etapie badań laboratoryjnych przez okres 200 dni mierzono odpływ i wilgotności substratów w siedmiu kolumnach wypełnionych 4 centymetrową warstwą substratów zebranych z lokalnego rynku. W dalszej części tekstu zastosowano oznaczenie substratów S1 do S4 dla substratów intensywnych oraz S5 do S7 w odniesieniu do substratów ekstensywnych. Szczegółową metodykę badań przedstawiono w artykule **I.B.4**.

#### **4.2. Główne cele osiągnięcia naukowego**

Prezentowane w dziele habilitacyjnym prace z zielonych dachów stanowią powiązany tematycznie zakres i wpisują się w aktualne trendy badań naukowych dotyczących wykorzystania zielonej infrastruktury w procesie adaptacji miast do zmian klimatu w Polsce i na świecie.

Celem prac badawczych, których wyniki przedstawiłam w cyklu publikacji



prezentujących osiągnięcie naukowe, będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, było określenie roli zielonych dachów w procesie adaptacji miast do zmian klimatu, a w szczególności: (1) określenie zdolności retencyjnej zielonych dachów w zależności od czynników środowiskowych, (2) ustalenie skuteczności wybranych materiałów konstrukcyjnych zielonych dachów w ograniczaniu odpływu wód opadowych, (3) ocena wpływu zielonego dachu typu ekstensywnego na redukcję temperatury powierzchni dachowej w różnych warunkach środowiskowych.

### **4.3 Osiągnięte wyniki cyklu publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego**

#### *4.3.1. Określenie zdolności retencyjnej zielonych dachów w zależności od czynników środowiskowych.*

Jednym z najważniejszych problemów miast związanych z adaptacją do zmian klimatu jest poprawa zagospodarowania wód opadowych. Wprowadzenie na szerszą skalę dachów zielonych wpisuje się w potrzebę przeciwdziałania negatywnym skutkom zmian klimatu, przeciwdziałania podtopieniom poburзовym w miastach, pogorszenia jakości powietrza i jakości życia mieszkańców miast.

Retencja wód opadowych jest jedną z głównych funkcji jakie spełniają zielone dachy na terenach zurbanizowanych. Szacuje się, że roczna retencja opadów na zielonych dachach może wynosić od około 5 do 85% (BERNDTSSON 2010, STOVIN I IN. 2015, ELLIOTT I IN. 2016, PĘCZKOWSKI I IN. 2018, TALEBI I IN. 2019). Badania prowadzone przez wielu Autorów (BENGTSSON I IN. 2005, DUNNETT I IN. 2008, GREGOIRE I CLAUSEN 2011, LIUA I IN. 2019) wykazały, że konstrukcja zielonego dachu wydaje się nie być jedynym czynnikiem wpływającym na warunki hydrologiczne. Może to być akumulacja i intensywność opadów (CARTER I RASMUSSEN 2006, SIMMONS I IN. 2008, ZUBELZU I IN. 2019), warunki klimatyczne, sezonowość (MENTENS I IN. 2006), warunki poprzedzające wystąpienie opadu (BENGTSSON I IN. 2005, DENARDO I IN. 2005), oraz w mniejszym stopniu nachylenie dachu (VILLARREAL I BENGTSSON 2005, GETTER I IN. 2007). Można oczekiwać, że jednakowe konstrukcje zielonych dachów nie będą wykazywały tych samych zdolności retencyjnych w różnych warunkach klimatycznych (VANWOERT I IN. 2005, HILTEN I IN. 2008, VOYDE I IN. 2010, FARRELL I IN. 2013, DE VILLE I IN. 2017).

Badania nad określeniem zdolności retencyjnych zielonych dachów w zależności od czynników środowiskowych prowadzono w kilku etapach. Celem pierwszego etapu badań

było wykazanie, że zielone dachy typu intensywnego (publikacja **I.B.1**) i ekstensywnego pokrytego roślinnością z gatunku *Sedum* (publikacja **I.B.2**) redukują odpływ wód opadowych z terenów zurbanizowanych i mogą stanowić narzędzie ograniczające podtopienia i powódzie w miastach. W kolejnym etapie określono czynniki środowiskowe wpływające na proces retencjonowania wód opadowych na zielonych dachach (publikacja **I.B.1, I.B.3, I.B.6**).

W pierwszym etapie określono zdolności retencjonowania opadu przez zielone dachy typu intensywnego. Badania wykazały, że zielone dachy retencjonowały od 8.9 do 100% dla modelu DŻ, 27.5-100% dla modelu DM oraz 13.6-100% dla modelu DK (publikacja **I.B.1**). W roku 2013 w okresie IV-IX w którym suma opadu wyniosła 490,6 mm (+42.8% średniego z wielolecia), retencja wyniosła 54% dla modelu DŻ, 71%, dla modelu DM, 66% dla modelu DK. Dla tego samego okresu badań (IV-IX) w roku 2014 suma opadu wyniosła 386,2 mm (+12.5% średniego z wielolecia (średni opad z wielolecia dla stacji meteorologicznej Ursynów SGGW dla IV-IX wyniósł 343,5 mm (MAJEWSKI I IN. 2010)), retencja wyniosła 68% dla DŻ, 88% dla DM, 72% dla DK. W roku 2015 w okresie VI-IX suma opadów była znacznie niższa niż średnia z wielolecia i wyniosła 188,1mm (-80,7% średniego opadu z wielolecia). W okresie od czerwca do września 2015 roku dla żadnej z kuwet nie wystąpił odciek. W okresie badań 2013-2015 wszystkie modele retencjonowały 94-96% wód opadowych dla małych zdarzeń (<10.0 mm), 66-81% dla średnich zdarzeń opadowych (10-24.9 mm), 40-75% dla zdarzeń opadowych (25.0-49.9 mm) i 22-28% dla zdarzeń burzowych (>50 mm).

W roku 2015 podjęto badania dotyczące retencjonowania wód opadowych wykorzystując modele zielonych dachów typu ekstensywnego pokryte matą rozchodnikową o różnych warstwach substratu (publikacja **I.B.2**). W badaniach skupiłam się na ilości odcieku z modelu dachu ekstensywnego z substratem mineralno-organicznym (ZD1) w porównaniu z substratem mineralnym (ZD2) oraz dachem referencyjnym (RD) (publikacja **I.B.2**). W tym etapie badań wykorzystano substrat o składzie mineralnym, który został przygotowany krok po kroku jako podłoże z zielonego dachu o niskiej emisji fosforanów (KARCZMARCZYK I IN. 2017). Rozwiązanie to okazało się bardzo skuteczne zarówno w aspekcie jakości odpływu, jak i jego ilości. Potwierdziły to prowadzone w okresie 2015-2017 badania. W roku 2015 w okresie IV-IX suma opadu wyniosła 277,2 mm (-19% średniego z wielolecia), a retencja wyniosła 90% dla ZD1, 84% dla ZD2. Dla tego samego okresu badań w roku 2016 suma opadu wyniosła 317,9 mm (-7% średniego z wielolecia), retencja wyniosła 68% dla ZD1 i 64% dla ZD2. W roku 2017 w okresie IV-IX suma opadów znacznie przekroczyła opady z

wielolecia i wyniosła 563,3mm (+64% średniego opadu z wielolecia), retencja wyniosła 56% dla ZD1 a 50% dla ZD2. Oba modele zielonych dachów ekstensywnych retencjonowały 84-88% wody deszczowej z małych opadów (<10,0 mm), 58-68% z średnich opadów (10-24,9 mm), 31-36 % z dużych opadów deszczu (25,0 - 49,9 mm) i 9-13% ze zdarzeń burzowych (>50 mm). Średnia retencja wyniosła odpowiednio 71% i 66% dla ZD1 i ZD2. Podczas trzech lat prowadzenia pomiarów w okresie wegetacyjnym (IV-IX) na modelu ZD1 zaobserwowano ok. 5% wyższą retencję niż na modelu ZD2. Analiza dwóch zielonych dachów i dachu referencyjnego wykazała, że współczynniki spływu wyniosły 0.33 i 0.38 odpowiednio dla ZD1 i ZD2, oraz 0.83 dla RD.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że substrat wykonany z powszechnie dostępnych i tanich materiałów nie tylko zmniejsza ilość fosforanów w odpływie ale również skutecznie retencjonuje wody opadowe z terenów zurbanizowanych, pozwala także na prawidłowy rozwój roślin gatunku *Sedum* i może być z powodzeniem stosowany w ekstensywnych dachach zielonych. Analiza relacji opad-odpływ dla wykonanych doświadczeń na modelach dachów ekstensywnych wykazała, że ustalona retencja wodna zielonych dachów była większa w porównaniu z dachem referencyjnym. Stwierdzono, że dla deszczy o dobowej warstwie nie przekraczającej 10 mm, dla warunków klimatycznych Warszawy zarówno w przypadku modeli intensywnych jak i ekstensywnych retencja wyniosła powyżej 80%, natomiast dla dachu referencyjnego o konstrukcji tradycyjnej wynosiła około 20%. Należy jednak zauważyć, że systemy zielonych dachów muszą być połączone z innymi formami retencyjnymi, aby zapewnić bardziej holistyczne rozwiązania SuDS, które mogą zmniejszyć ryzyko powodzi nawet w przypadku największych opadów.

W kolejnym etapie badań określono wpływ parametrów środowiskowych takich jak wielkość opadu, radiacja, temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, prędkość wiatru, czas pomiędzy opadami (ADWP) oraz wilgotność substratu przed rozpoczęciem opadu (AVMC) na wielkość retencji wód opadowych na zielonych dachach (publikacja **I.B.1**, **I.B.2**, **I.B.3**, **I.B.6**). W badaniach dachów intensywnych i ekstensywnych badano zależność między wielkością opadów a retencyjnością zielonych dachów. Badania zarówno na modelach intensywnych jak i ekstensywnych wykazały, że wraz ze wzrostem wielkości opadów zmniejsza się zdolność retencjonowania wód opadowych. W doświadczeniu z modelami intensywnymi uzyskano ujemną korelację dla wszystkich analizowanych modeli z różnymi warstwami warstwy drenażowej (publikacja **I.B.1**). Podobną zależność uzyskano w badaniach na modelach dachów intensywnych ze zróżnicowaną miąższością warstwy

drenażowej. Otrzymane ujemne wartości korelacji wykazały umiarkowany do silnego związek pomiędzy wielkością opadu (mm) a retencyjnością modeli (publikacja **I.B.6**). Badania na modelach zielonych dachów ekstensywnych wykazały, ujemną umiarkowaną korelację dla obu modeli (publikacja **I.B.3**). Zarówno analiza korelacji, jak i regresji liniowych wskazuje, że głębokość opadów wiąże się silnie z retencją opadów.

Parametrem który może wpływać na wielkość retencji na zielonych dachach są warunki początkowe przed wystąpieniem opadu ADWP (czas pomiędzy opadami) i AVMC (wilgotność substratu przed rozpoczęciem opadu) (ZHANG I GUO, 2013). Można stwierdzić, że jeśli ADWP jest względnie długie między zdarzeniami opadów, substrat ma czas aby przeschnąć co powoduje wzrost zdolności retencyjnych (FASSMAN-BECK I IN. 2013). Odwrotnie, jeśli ADWP jest krótki, substrat będzie miał krótszy czas do wyschnięcia pomiędzy kolejnymi zdarzeniami opadu, co spowoduje mniejsze zdolności retencyjne (HATHAWAY I IN. 2008, BERNDTSSON 2010). Charakterystyki ADWP mają wpływ na sezonowe różnice retencji dachów zielonych co spowodowane jest ewapotranspiracją (VANSETERS I IN. 2009, PALLA I IN. 2011, GRACESON I IN. 2013). Wyższa ewapotranspiracja w cieplejszych porach roku powoduje szybsze przesychnanie i wzrost retencji niż w chłodniejszych porach roku (MENTENS I IN. 2006, KASMIN I IN. 2010, STOVIN I IN. 2013, ZHANG I GUO 2013).

Badania dotyczące zależności pomiędzy retencją a AVMC i ADWP zbadano na modelach dachów intensywnych z różną miąższością warstw drenażowych (publikacja **I.B.6**), oraz na modelach dachów ekstensywnych (publikacja **I.B.3**). W badaniach, z wykorzystaniem substratu intensywnego wykazano, że retencyjność wzrasta wraz ze wzrostem ADWP. Otrzymane wartości korelacji wskazały umiarkowany związek pomiędzy ADWP a retencyjnością modeli. Natomiast wraz ze wzrostem parametru AVMC zmniejszała się zdolność retencyjna modeli. Obliczone współczynniki korelacji w zależności liniowej między retencją i AVMC wykazały umiarkowany do silnego związek. Uzyskane ujemne współczynniki korelacji w zależności liniowej między retencją a wielkością opadu i AVMC były wyższe niż w zależności między retencją a ADWP (publikacja **I.B.6**). W badaniach na modelach dachów ekstensywnych współczynniki korelacji były niższe niż w modelach dachów intensywnych, uzyskano słabą korelację pomiędzy retencją a ADWP zarówno dla ZD1 jak i dla ZD2. Natomiast dla związku pomiędzy retencją a AVMC korelacja była słaba zarówno dla ZD1 jak i ZD2 (publikacja **I.B.3**). W przeprowadzonych badaniach na modelach intensywnych jak i ekstensywnych uzyskano podobne zależności jeśli chodzi o wpływ

czynników ADWP i AVMC na retencjonowanie wód opadowych na zielonych dachach. Uzyskane wyniki badań wykazały, że wielkość opadów i AVMC wydaje się być kluczowym czynnikiem w redukcji odpływu wód opadowych z dachu zielonego. W warunkach klimatu Warszawy wykazano, że wilgotność w podłożu, czyli AVMC, jest bardziej istotna niż czas pomiędzy opadami ADWP w opisie retencji i może służyć jako bardziej bezpośredni i niezawodny parametr. Dane AVMC można uzyskać za pomocą powszechnie dostępnych wolumetrycznych czujników wilgotności gleby.

Wyniki badań odpływów na modelach zielonych dachów ekstensywnych pozwoliły na określenie zależności pomiędzy retencją zielonych dachów a średnią wartością czterech parametrów meteorologicznych uzyskanych 24 godziny przed wystąpieniem opadu dla każdego zdarzenia (publikacja **I.B.2**). Wyniki wykazały, że dla warunków Warszawy wielkość opadów, wilgotność względna powietrza, promieniowanie i temperatura powietrza mają znaczący wpływ na retencję w zielonym dachu. Uzyskane dane pokazują, że wartość retencji zmniejsza się wraz ze wzrostem opadów deszczu i wilgotności względnej powietrza, podczas gdy wzrost promieniowania i temperatury powietrza zwiększa zdolność zatrzymywania zielonych dachów. W przeprowadzonych badaniach prędkość wiatru nie miała istotnego wpływu na wielkość retencji na zielonych dachach typu ekstensywnego.

#### *4.3.2 Ustalenie skuteczności wybranych materiałów konstrukcyjnych zielonych dachów w ograniczaniu odpływu wód opadowych.*

Ustalenie skuteczności wybranych materiałów konstrukcyjnych zielonych dachów w ograniczaniu odpływu wód opadowych zrealizowano w specjalnie zaprojektowanych 3 doświadczeniach, których wyniki opublikowano w trzech pracach (publikacje **I.B.4**, **I.B.5**, **I.B.6**). Celem pierwszego doświadczenia było, wykazanie różnic pomiędzy wielkością retencji w substratach stosowanych w konstrukcjach dachów zielonych (publikacja **I.B.4**). W kolejnym etapie oceniono skuteczność retencjonowania wód opadowych dwóch powszechnie stosowanych materiałów drenażowych (grys kwarcytowy i keramzyt) wykorzystywanych w konstrukcjach zielonych dachów (publikacja **I.B.5**). W ostatnim etapie oceniono wpływ reaktywnej warstwy drenażowej (Polonite®) na wielkość odpływu w porównaniu z odpływem z substratu ekstensywnego stosowanego na zielonych dachach (publikacja **I.B.6**).

Retencyjność substratów o różnych właściwościach fizycznych przeprowadzono w badaniach kolumnowych (publikacja **I.B.4**), wykorzystano siedem dostępnych na rynku substratów, cztery typu intensywnego i trzy typu ekstensywnego. Uzyskane wyniki wykazały,

że współczynniki odpływu wyniosły od 0,59 do 0,71. Wykazano większe zdolności zatrzymywania wody w substratach mineralno-organicznych w porównaniu z substratem mineralnym. W kolejnym etapie badań analizowano różnicę pomiędzy kolumną wypełnioną substratem intensywnym a czterema kolumnami wypełnionymi taką samą miąższością substratu i materiałami wykorzystywanymi jako warstwa drenażowa na zielonych dachach (publikacja **I.B.6**). Wykazano, że średnia zdolność retencjonowania wody opadowej we wszystkich kolumnach kształtowała się na poziomie 50-60%. Średnia retencja w kolumnie S wyniosła 48%, natomiast dla SL1 wyniosła 57%, dla SL2 61%. Dla SG1 średnia retencja wyniosła 50% a dla SG2 53%. Największą retencję uzyskano w kolumnie S i SL2. Wykazano, że keramzyt jest lepszym materiałem retencyjnym niż grys kwarcytowy. Zaobserwowano także szybsze przesychnianie substratu z warstwą drenażową w porównaniu z kuletą bez warstwy drenażowej. W kolejnym etapie jako warstwę drenażową wykorzystano materiał reaktywny Polonite®. Badania prowadzone przez KARCZMARCZYK I IN. (2014) wykazały, że stosowanie 2 cm warstwy materiału reaktywnego można uznać za optymalne rozwiązanie dla dachów zielonych pod kątem redukcji P-PO<sub>4</sub>. Uzyskane przez KARCZMARCZYK I IN. (2014) wyniki skłoniły mnie do analizy, której celem było ustalenie czy 2 cm miąższość reaktywnej warstwy drenażowej podścielającej substrat dachu zielonego wpływa na ilość odpływających wód opadowych (publikacja **I.B.5**). Doświadczenie przeprowadzono z wykorzystaniem substratu ekstensywnego oraz materiału reaktywnego Polonite®. Podobnie jak w **I.B.6** wykazano, że substrat jest materiałem, który charakteryzuje się największą retencyjnością (65%), natomiast 2 cm warstwa materiału reaktywnego zwiększyła wartość retencji o 4%. Uzyskane wyniki badań wykazały, że główną rolę w retencjonowaniu wód opadowych odgrywa substrat, natomiast jako warstwa drenażowa powinno wykorzystywać się materiały o większej nasiąkliwości.

#### *4.3.3 Ocena wpływu zielonego dachu typu ekstensywnego na redukcję temperatury powierzchni dachowej*

Oprócz zagrożeń spowodowanych podtopieniami i powodzią, równie niebezpieczne mogą być ekstremalne temperatury. Upały i mrozy oraz gwałtowne skoki temperatur szkodzą zdrowiu ludzi. Dla osób starszych, chorych (w szczególności na choroby układów krążenia i oddechowego) oraz dla małych dzieci stanowią zagrożenie życia. Skrajne warunki termiczne, do których organizm nie potrafi się przystosować, skutkują wzrostem liczby zgonów, obniżoną jakością snu, spadkiem wydajności pracy oraz znacznym wzrostem zużycia energii

w klimatyzacji (SOLCEROVA I IN. 2017). Takie negatywne skutki ekstremalnego ciepła występują szczególnie na obszarach miejskich, ponieważ temperatury w miastach są wyższe niż na otaczających obszarach wiejskich (PERKINS I IN. 2012). Jednym ze skutecznych sposobów na obniżenie temperatury w mieście jest wzrost obszarów terenów zielonych (tzw. infrastruktura zielona) (TAKEBAYASHI I MORIYAMA 2007, SANTAMOURIS I IN. 2014). W związku z tym podjęto badania dotyczące zmian temperatury i wilgotności na zielonych dachach typu ekstensywnego, które przeprowadzono w dwóch etapach (publikacja **I.B.7**). W pierwszym etapie pomierzono zmiany powierzchniowej temperatury na 4 modelach zielonych dachów typu ekstensywnego i dachu konwencjonalnym (pokrym papą) w warunkach klimatu kontynentalnego wilgotnego. Celem uzupełniającym (drugi etap badań) było określenie wpływu ekstremalnych warunków meteorologicznych na kształtowanie się temperatury warstw konstrukcyjnych zielonego dachu. Na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w drugim etapie badań analizowano wpływ parametrów środowiskowych (klimatyczny bilans wodny (P-E), temperatura powietrza, wilgotność względna, prędkość wiatru, wilgotność warstw konstrukcyjnych) na zmiany temperatury w profilu zielonego dachu typu ekstensywnego pokrytego gatunkiem Sedum.

Uzyskane wyniki wykazały, że w miesiącach czerwiec i lipiec zarówno średnia, jak i maksymalna temperatura powierzchni zielonych dachów były znacznie niższe niż temperatura dachu konwencjonalnego. W analizowanym najcieplejszym dniu podczas prowadzenia badań średnia chwilowa temperatura nagrzania zielonego dachu wyniosła 27.0°C (max. 33°C), dachu konwencjonalnego 57.6°C, przy temperaturze powietrza 30°C. Uzyskana różnica pomiędzy nagrzaniem powierzchni dachowych wykazała, że zielone dachy w okresie letnim znacznie redukują temperaturę nagrzania co może mieć istotny wpływ również na trwałość i żywotność membrany dachowej. W miesiącach sierpień-listopad różnice pomiędzy nagrzaniem zielonych dachów a dachem referencyjnym były niższe niż w miesiącach czerwiec-lipiec. W miesiącach sierpień-listopad średnio dach konwencjonalny nagrzewał się o 2.3°C bardziej niż zielone dachy typu ekstensywnego. Analiza najzimniejszego dnia w roku wykazała, że średnia chwilowa temperatura zielonego dachu wyniosła -3.8°C a dachu referencyjnego -5.3°C, przy temperaturze powietrza -3.0°C.

Ocenę wpływu ekstremalnych warunków pogodowych na kształtowanie się temperatury warstw konstrukcyjnych zielonego dachu przeprowadzono w drugim etapie badań na modelu ZD1. Badania prowadzono w okresie 1.04.2017 – 30.03.2018 roku. Roczny

przebieg temperatury w profilu zielonego dachu wykazał dużą zbieżność z przebiegiem temperatury powietrza. Średnia roczna temperatura powietrza wyniosła  $9.8^{\circ}\text{C}$ , temperatura powierzchni czynnej  $10.2^{\circ}\text{C}$ , maty wegetacyjnej  $10.9^{\circ}\text{C}$ , substratu  $11.1^{\circ}\text{C}$ . W okresie wiosennym (1.04-30.06) pomiary wykazały, że najwyższa średnia temperatura występowała w macie wegetacyjnej ( $16.7^{\circ}\text{C}$ ) i obniżała się z głębokością ( $16.1^{\circ}\text{C}$ ). Średnie temperatury w profilu zielonego dachu były wyższe od temperatury powietrza ( $13.9^{\circ}\text{C}$ ) o  $2.8^{\circ}\text{C}$  w macie wegetacyjnej i o  $2.2^{\circ}\text{C}$  w substracie. W okresie letnim (1.07-30.09) rozkład średnich temperatur był podobny do okresu wiosennego. Najwyższe temperatury występowały w macie wegetacyjnej ( $19.2^{\circ}\text{C}$ ) i obniżały się wraz z głębokością, a średnia temperatura substratu wyniosła ( $19.0^{\circ}\text{C}$ ). Powierzchnia czynna średnio w okresie letnim nagrzewała się do  $18.5^{\circ}\text{C}$ , przy średniej temperaturze powietrza  $17.9^{\circ}\text{C}$ . W okresie letnim i wiosennym w ciągu dnia temperatura powierzchni czynnej była najwyższa co spowodowane było najintensywniejszym dopływem promieniowania słonecznego do tej warstwy. Wraz z głębokością wielkość temperatury malała co objawiało się spadkiem temperatury profilu. W chłodnej połowie roku od października do grudnia i od stycznia do marca obserwowany był wzrost temperatury wraz z głębokością. W okresie jesiennym temperatura powierzchni biologicznie czynnej wyniosła  $6.9^{\circ}\text{C}$  i była wyższa o  $0.3^{\circ}\text{C}$  od temperatury powietrza. Natomiast temperatura maty wegetacyjnej i substratu była o  $0.7^{\circ}\text{C}$  i  $0.8^{\circ}\text{C}$  wyższa od temperatury powietrza. W miesiącach zimowych najwyższa temperatura występowała w substracie na głębokości 15 cm. Średnia miesięczna temperatura dla zimy na tej głębokości wyniosła  $0.96^{\circ}\text{C}$  i była wyższa o  $1.1^{\circ}\text{C}$  od temperatury powietrza. Najniższą temperaturą charakteryzowała się powierzchnia czynna ( $-1.3^{\circ}\text{C}$ ) oraz mata wegetacyjna ( $-0.07^{\circ}\text{C}$ ).

Przeanalizowano zmiany dobowych temperatur w dzień letni, zimowy oraz podczas dwóch dni deszczowych. W przypadku dnia letniego w godzinach nocnych i porannych temperatura powierzchni czynnej była niższa od temperatury powietrza natomiast temperatura maty wegetacyjnej była zbliżona do temperatury powietrza. Największą zmienność temperatury odnotowano dla powierzchni czynnej ( $\text{SD}=7.6^{\circ}\text{C}$ ), najmniejszą dla substratu ( $\text{SD}=2.8^{\circ}\text{C}$ ). Wraz ze wzrostem promieniowania aktywnego, temperatury powietrza wzrastała temperatura powierzchni czynnej i maty wegetacyjnej. Analizując deszczowe dni zaobserwowano, że w przypadku wystąpienia opadu podczas letniego dnia, przy wilgotności substratu poniżej pF4.2 temperatura powierzchni czynnej i maty wegetacyjnej w ciągu 4 godzin spadła o  $20^{\circ}\text{C}$  i  $15^{\circ}\text{C}$ , przy spadku temperatury powietrza o  $10^{\circ}\text{C}$ . Podczas wystąpienia opadu wielkość promieniowania zmniejszyła się co spowodowało mniejszy



przychód energii wpływający na fluktuacje temperatury powietrza. Kolejny opad który wystąpił w godzinach nocnych i porannych nie spowodował dużych zmian temperatury w powierzchni czynnej i macie wegetacyjnej, było to spowodowane niewielkimi przyrostami temperatury powietrza oraz wzrostem wilgotności w profilu. Najmniejsze zróżnicowanie temperatury w ciągu dwóch dni z opadem zaobserwowano w substracie ( $SD=3.15^{\circ}C$ ), największe w powierzchni czynnej ( $SD=5.71^{\circ}C$ ) i macie wegetacyjnej ( $SD=4.9^{\circ}C$ ), odchylenie standardowe temperatury powietrza wyniosło  $4.82^{\circ}C$ . Podczas zimowego dnia najmniejsze różnice temperatur odnotowano w substracie ( $-2.3^{\circ}C$ ), warstwa ta charakteryzowała się najmniejszym odchyleniem standardowym ( $1.14^{\circ}C$ ). Różnica pomiędzy temperaturą powietrza a temperaturą w substracie wyniosła  $-7.9^{\circ}C$ . Największe zróżnicowanie temperatur odnotowano dla powierzchni czynnej ( $SD=-5.3^{\circ}C$ ), różnica pomiędzy temperaturą powietrza a powierzchnią czynną wyniosła  $-3.2^{\circ}C$ . Podczas, gdy temperatura powietrza, powierzchni czynnej, maty obniżyła się poniżej  $-10^{\circ}C$ , temperatura substratu nie obniżyła się do  $-5^{\circ}C$ .

Na podstawie uzyskanych wyników temperatury w profilu zielonego dachu typu ekstensywnego z okresu pomiarów przeprowadzonych w drugim etapie badań przeanalizowano wpływ parametrów środowiskowych (klimatyczny bilans wodny (KBW), temperatura powietrza, wilgotność względna, prędkość wiatru, wilgotność warstw konstrukcyjnych) na zmiany temperatury w profilu modelu ZD1. W celu określenia relacji między temperaturą w profilu a parametrami meteorologicznymi i wilgotnością obliczono współczynniki korelacji na wszystkich analizowanych poziomach w miesiącach kwiecień-wrzesień 2017 roku (okres wegetacyjny). W całym okresie wegetacyjnym stwierdzono silną korelację temperatury w profilu zielonego dachu typu ekstensywnego z temperaturą powietrza mierzoną na wysokości 200 cm. Największe dodatnie wartości korelacji pomiędzy promieniowaniem słonecznym a temperaturą w profilu uzyskano w miesiącach maj i czerwiec. Były to miesiące o najwyższych średnich wartościach promieniowania słonecznego, w maju wyniosło  $414 \text{ Wm}^{-2}$ , w czerwcu  $444 \text{ Wm}^{-2}$ . W lipcu i sierpniu korelacja była istotna dla powierzchni czynnej i maty wegetacyjnej, natomiast nie wpływała na zmiany temperatury w substracie. Nie stwierdzono istotnych korelacji na żadnym poziomie pomiaru temperatury w miesiącach kwiecień i wrzesień, które były miesiącami o najmniejszych wartościach promieniowania słonecznego w okresie wegetacyjnym 2017 roku (kwiecień  $237 \text{ Wm}^{-2}$ , wrzesień  $147 \text{ Wm}^{-2}$ ). Największa ujemną wartość korelacji uzyskano dla KBW (P-E) i temperatury w profilu w miesiącu maju, który był miesiącem o największym niedoborze (P-

E) wynoszącym -40.9 mm. W kwietniu KBW istotnie wpływało na wielkość temperatury powierzchni czynnej, natomiast w czerwcu na wielkość temperatury maty wegetacyjnej. Podczas badań współczynniki korelacji były statystycznie istotne dla prędkości wiatru i temperatury w profilu w miesiącach czerwiec i lipiec, natomiast dla wilgotności względnej współczynniki korelacji były statystycznie istotne dla maja, czerwca i sierpnia (miesiące o niskich wartościach wilgotności względnej powietrza maj 60.5%, czerwiec 56.8%, sierpień 64.3%). Największe wartości współczynników korelacji temperatury w profilu z wilgotnością w profilu uzyskano dla maja, który był miesiącem o największym niedoborze. W miesiącach kwiecień, lipiec i sierpień korelacja była istotna, natomiast w czerwcu przy najdłużej utrzymującej się wilgotności poniżej wartości granicznej dla wody trudno dostępnej korelacja nie była istotna. Podczas deszczowego września (KBW wyniósł +101,65 mm) współczynniki korelacji były statystycznie nie istotne.

Ważnym punktem przeprowadzonych badań był aspekt związany z roślinnością jaka została wykorzystana na modelach dachów ekstensywnych (publikacje **I.B.2**, **I.B.3**). Niektórzy Autorzy zwracają uwagę na fakt iż, użycie tylko gatunku Sedum jest odradzane w umiarkowanym klimacie z temperaturami zimowymi poniżej zera, ponieważ rośliny te są wrażliwe na mróz (LUNDHOLM I IN. 2010). Ponadto rośliny jednego gatunku nie są interesujące pod względem różnorodności biologicznej i funkcji zielonego dachu. W związku z tym zaleca się wybór kombinacji roślinności typu Sedum z trawami i ziołami (ANDERSON I IN. 2010). W przeprowadzonych badaniach rośliny obecne w mieszance mat (trawy i zioła) nie przetrwały pierwszego roku ze względu na warunki klimatyczne. Prowadzone w okresie 2015-2018 badania wykazały, że rośliny typu Sedum są w stanie przeżyć warunki klimatyczne jakie występują na terenie miasta Warszawa bez nawadniania i dachy tego typu mogą odegrać znaczącą rolę w ograniczaniu odpływu wód opadowych oraz redukcji temperatury na terenach zurbanizowanych.

#### **4.4. Wskazanie najważniejszych osiągnięć cyklu publikacji**

Wyniki cyklu publikacji przedstawionych do oceny, które uważam za znaczące z punktu widzenia ochrony i kształtowania środowiska, są następujące:

1. określenie zależności pomiędzy parametrami środowiskowymi wpływającymi na wielkość retencji zielonych dachów oraz wykazanie, że najbardziej istotnym parametrem jest wielkość opadu, natomiast wilgotność substratu, jest bardziej istotna

- niż czas pomiędzy opadami i może służyć jako miarodajny parametr w opisie procesu retencji,
2. stwierdzenie, że oprócz parametrów charakteryzujących opady, temperatura, wilgotność względna powietrza i promieniowanie mają znaczący wpływ na retencję zielonego dachu typu ekstensywnego. Natomiast w przeprowadzonych badaniach prędkość wiatru nie miała istotnego wpływu na wielkość retencji,
  3. wykazanie większych zdolności zatrzymywania wody w substratach mineralno-organicznych w porównaniu z substratami mineralnymi,
  4. wykazanie, że opracowany autorski substrat z powszechnie dostępnych i tanich materiałów nie tylko zmniejsza fosforany w odpływie, ale również skutecznie retencjonuje wody opadowe z terenów zurbanizowanych, pozwala także na prawidłowy rozwój roślin gatunku *Sedum* i może być z powodzeniem stosowany w ekstensywnych dachach zielonych,
  5. wykazanie, że w miesiącach letnich zarówno średnia, jak i maksymalna temperatura powierzchni zielonych dachów były znacznie niższe niż powierzchnia dachu konwencjonalnego. Uzyskana różnica pomiędzy nagraniem powierzchni dachowych dowodzi, że zielone dachy znacznie redukują temperaturę nagrzania, co może mieć istotny wpływ również na trwałość i żywotność membrany dachowej,
  6. wykazanie, że w wilgotność substratu jest istotnym czynnikiem regulującym zmiany temperatury na zielonych dachach typu ekstensywnego,
  7. wykazanie, że bez nawadniania rośliny z gatunku *Sedum* są w stanie przeżyć warunki klimatyczne jakie występują na terenie Warszawy, czego nie zaobserwowano w przypadku ziół i traw.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zielone dachy ograniczające odpływ wód opadowych oraz redukujące temperatury powierzchni dachowych mogą stanowić ważne narzędzie wdrażania planów adaptacyjnych miast do zmian klimatu oraz pozytywnie wpływać na ochronę i kształtowanie środowiska terenów zurbanizowanych.

#### **4.5. Możliwości zastosowania osiągniętych wyników**

Doświadczenia zgromadzone przez mnie w ciągu wielu lat prowadzenia badań nad oceną skuteczności zielonych dachów w retencjonowaniu wód opadowych i ograniczaniu temperatury nagrzania powierzchni dachowych w terenach zurbanizowanych wskazują, że

zaproponowane przeze mnie rozwiązania mogą być bezpośrednio zastosowane w praktyce oraz mogą stanowić podstawę do dalszych badań w tym obszarze. Zbadane przeze mnie materiały, rozwiązania konstrukcyjne, gatunki roślin występują zarówno w Polsce jak i na świecie, dlatego zaprezentowane wyniki mogą znaleźć przełożenie aplikacyjne na terenach zurbanizowanych oraz mogą być wykorzystane w planach adaptacyjnych miast.

O potencjale aplikacyjnym badań najlepiej świadczy prowadzona przeze mnie współpraca z podmiotem gospodarczym. Szczególnie duży potencjał aplikacyjny ma opracowana koncepcja redukcji fosforanów odpływających z dachów zielonych w aspekcie zagospodarowania wody opadowej w skali osiedli mieszkaniowych. Pomysł ten został dostrzeżony przez jedną warszawską firmę **III.R.4.1 (zał. 3)**. W ramach umowy o współpracy z firmą **III.R.4.1 (zał. 3)** zrealizowany został wspólny projekt badawczy którego wyniki zostały wykorzystane przy realizacji inwestycji 4000 m<sup>2</sup> dachu zielonego na osiedlu mieszkaniowym w Warszawie. Obecnie realizowany jest wspólny projekt badawczy „Badanie odcieku z dachów zielonych ekstensywnych pod kątem ilości wody oraz zawartości fosforanów” (**III.F.1 zał. 3**).

#### **4.6. Dalsze plany badawcze**

Podjęty kierunek badań ma duże znaczenie z punktu widzenia gospodarowania wodą w miastach, gdyż zielone dachy skutecznie mogą wpływać na kształtowanie się wzebrań powodziowych i na poprawę warunków termicznych w budynkach. W dalszych badaniach chciałabym kontynuować prace nad doбором warstw konstrukcyjnych i roślinności na zielonych dachach, a także prowadzić prace wdrożeniowe w tym zakresie.

#### **4.7. Piśmiennictwo**

Adaptacja do zmian klimatycznych w Europie – warianty działań na szczeblu UE, Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela 2007.

ANDERSON M., LAMBRINOS J., SCHROLL E. 2010: The potential value of mosses for stormwater management in urban environments. *Urban Ecosystems*, 13, pp. 319-332.

BEVILACQUA P., MAZZEO D., ARCURI N. 2018: Thermal inertia assessment of an experimental extensive green roof in summer conditions. *Building and Environment*, 131, p.264-276.

BENGTSSON L., GRAHN L., OLSSON J. 2005: Hydrological Function of a Thin Extensive Green Roof in Southern Sweden. *Nordic Hydrol.* 36 (3), 259–268.

BERNDTSSON J.C. 2010: Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecol. Eng.*, 36, pp. 351-360.

BOGACZ, A., WOŹNICZKA, P., BURSZTA-ADAMIAK, E., KOLASIŃSKA, K. 2013: Methods of Enhancing Water Retention in Urban Areas. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 22 (1), pp. 27-35 (in Polish).

CARTER T.L. I RASMUSSEN T.C. 2006: Hydrologic behavior of vegetated roofs. *Journal of the American Water Resources Association* 42 (5), pp. 1261-1274.

CARTER T., KEELER A. 2008: Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management* 87, pp.350-363.

CIPOLLA S.S., MAGLIONICO M., STOJKOV I. 2016: A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM *Ecol. Eng.*, 95, pp. 876-887.

COM (2013) - Strategia adaptacji do zmian klimatu Unii Europejskiej - Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions: "An EU Strategy on Adaptation to Climate Change», 216 final.

DEVILLE S., MENON M., JIA X., REED G., STOVIN V. 2017: The impact of green roof ageing on substrate characteristics and hydrological performance *J. Hydrol.*, 547, pp. 332-344.

DUNNET N., KINGSBURY N. 2004: *Planting green roofs and living walls*. Portland, Oregon: Timber Press. 254 p.

ELLIOT R.M., GIBSON R.A., CARSON T.B., MARASCO D.E., CULLIGAN P.J., MCGILLIS W.R. 2016: Green roof seasonal variation: comparison of the hydrologic behavior of a thick and a thin extensive system in New York City. *Environ. Res. Lett.* 11, 074020.

FARRELL C., ANG X.Q., RAYNER J.P. 2013: Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates *Ecol. Eng.*, 52, pp. 112-118.

FASSMAN-BECK, E., VOYDE, E., SIMCOCK, R., HONG, Y. S. 2013: 4 Living roofs in 3 locations: Does configuration affect runoff mitigation?. *Journal of Hydrology*. 490, pp.11-20.

FLL 2008. *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL). Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing—Green Roofing Guideline*; FLL: Bonn, Germany.

GETTER K. L., ROWE D. B., ANDRESEN J. A. 2007: Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31, pp. 225-231.

GRACESON A., HARE M., MONAGHAN J., HALL N. 2013: The water retention capabilities of growing media for green roofs. *Ecological Engineering*, 61, pp. 328-334.

GREGOIRE B., CLAUSEN J. 2011: Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*. 37, p. 963-969.

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

HILTEN, R.N., LAWRENCE, T.M., AND TOLLNER, E.W. 2008: Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. *Journal of Hydrology*, 358 (3–4), 288–293.

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.

KASMIN, H.; STOVIN, V.R.; HATHWAY, E.A. 2010: Towards a generic rainfall-runoff model for green roofs. *Water Sci. Technol.* 62, pp. 898–905.

KE, 2013. Zielona infrastruktura — zwiększanie kapitału naturalnego Europy (COM (2013) 249), Bruksela: Komisja Europejska.

KÖHLER M., POLL P.H. 2010: Long-Term Performance of Selected Old Berlin Green Roofs in Comparison to Younger Extensive Green Roofs in Berlin. *Ecol. Engineering* 36: pp. 722–729.

LADANI H., J. PARK J., JANG Y., SHIN H. 2019: Hydrological Performance Assessment for Green Roof with various substrate depths and compositions. *Journal of Civil Engineering*. 23(4), pp. 1860-1871.

LIUA W., FENGA Q., CHENB W., WEIB W., DEOA R. 2019: The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scale-based models and real experiments. *Journal of Hydrology* 569, pp. 230–238.

LUNDHOLM J., MACIVOR J., MACDOUGALL Z., RANALLI M. 2010: Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions *PLoS One*, 5, p. 9677.

MAJEWSKI G., PRZEWOŹNICZUK W., KLENIEWSKA M. 2010: Warunki opadowe na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW w latach 1960–2009. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2 (48): 3–22.

MENTENS J., RAES D., HERMY M. 2006: Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77, pp. 217–226.

MORGAN, S.; CELIK, S.; RETZLAFF, W. 2012: Green roof storm-water runoff quantity and quality *J. Environ. Eng.* 139, pp. 471–478.

NAGASE, A., N. DUNNETT. 2012: Amount of Water Runoff from Different Vegetation Types on Extensive Green Roofs: Effects of Plant Species, Diversity, and Plant Structure. *Landscape Urban Plann.* 104, p.356-363.

OBERNDORFER, E., LUNDHOLM, J., BASS, B., COFFMAN, R., DOSHI, H., DUNNETT, N., GAFFIN, S., KÖHLER, M., LUI, K., ROWE, B. 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological

Structures, Functions, and Services. *Bioscience*, 57(10), 823-833.

PALLA A., SANSALONE J.J., GNECCO I., LANZA L.G. 2011: Storm water infiltration in a monitored green roof for hydrologic restoration. *Water Sci. Technol.* 64, pp. 766–773.

PERKINS S.E., ALEXANDER L.V. NARIN J.R. 2012: Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophys. Res. Lett.*, 39 (20).

PEŃKOWSKI G., KOWALCZYK T., SZAWERNOGA K., ORZEPOWSKI W., ŻMUDA R., POKLADEK R. 2018: Hydrological performance and runoff water quality of experimental green roofs. *Water*. 10, 1185.

PODRĘCZNIK ADAPTACJI DLA MIAST. 2015: Ministerstwo Środowiska. Wytyczne do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu.

SANTAMOURIS M. 2014: Cooling the cities e a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Sol. Energy*, 103, pp. 682-703.

SIMMONS M.T., GARDINER B., WINDHAGER S., TINSLEY J. 2008: Green Roofs are Not Created Equal: the Hydrologic and Thermal Performance of Six Different Extensive Green Roofs and Reflective and Non-reflective Roofs in a Sub-tropical Climate. *Urban Ecosyst.* 11 (4), pp. 339–348.

SOLCEROVA A., VAN DE VEN F., WANG M., RIJSDIJK M., VAN DE GIESEN N. 2017: Do green roofs cool the air?. *Building and Environment*, 111, 249-255.

SPA 2020 – Strategiczny Plan Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030.

STOVIN V., VESUVIANO G., KASMIN H. 2012: The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414–415, pp. 148–161.

STOVIN, V., POË, S., BERRETTA, C. 2013: A modelling study of long term green roof retention performance. *Journal of Environmental Management*, 131, 206–215.

STOVIN V., VESUVIANO G., DE-VILLE S. 2015: Defining green roof detention performance. *Urban Water Journal*,

STRATEGIA ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU DLA M.ST. WARSZAWY DO ROKU 2030 Z PERSPEKTYWĄ DO ROKU 2050. 2017. NFOŚ.

SZOTA C., FARRELL C., WILLIAMS N., ARNDT S., FLETCHER T. 2017: Drought-avoiding plants with low water use can achieve high rainfall retention without jeopardising survival on green roofs. *Science of the Total Environment* 603–604, pp. 340–351.

TAKEBAYASHI H., MORIYAMA M. 2007: Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island, *Build. Environ.*, 42 (8), pp. 2971-2979.

TALEBI A., BAGG S., SLEEP B., O'CARROLL D. 2019: Water retention performance of green roof technology: A comparison of canadian climate. *Ecological Engineering* 126, pp. 1–15.

THE GLOBAL RISKS REPORT. 11th Edition published by the World Economic Forum <http://wef.ch/risks2016>.

THURING C. E., BERGHAGE R. D., BEATTIE D. J. 2010: Green Roof Plant Responses to Different Substrate Types and Depths under Various Drought Conditions. *Hort Tech.* 20(2), pp. 395-401.

WONG G., JIM W. 2015: Identifying keystone meteorological factors of green-roof storm water retention to inform design and planning. *Ecological Engineering* 85, pp. 159–172.

VAN SETERS T., ROCHA L., SMITH D., MACMILLAN G. 2009: Evaluation of green roofs for runoff retention, runoff quality, and leachability. *Water Qual. Res. J. Can.*, 44(1), pp. 33–47.

VANWOERT N. D., ROWE D. B., ANDRESEN J. A., RUGH C. L., FERNANDEZ R. T., XIAO L. 2005: Green roofs stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*, 34, pp. 1036–1044.

VILLARREAL, E.L., BENGTTSSON, L. 2005: Response of a Sedum Green-Roof to Individual Rain Events. *Ecol. Eng.* 25 (1), pp. 1–7.

VOYDE E., FASSMAN E., SIMCOCK R. 2010: Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 394, pp. 384–395.

ZHANG S., GUO Y. 2013: Analytical Probabilistic Model for Evaluating the Hydrologic Performance of Green Roofs. *Journal of Hydrologic Engineering*. 18, pp.19-28.

ZUBELZU S., RODRÍGUEZ-SINOBAS L., ANDRÉS-DOMENECH I., CASTILLO-RODRÍGUEZ J.T., PERALES-MOMPARLER S. 2019: Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. *Science of the Total Environment* 663, pp. 133–143.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

### **5.1. Główne kierunki działalności naukowej**

Moje zainteresowania naukowe i badawcze koncentrują się na zagadnieniach z zakresu szeroko pojętej ochrony środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów wpisujących się w dziedzinę kształtowania środowiska. Od początku mojej działalności naukowej skupiałam się na tematyce dotyczącej **wymiarowania urządzeń przeciwozryjnych na terenach rolniczych**. Na wybór tej tematyki badawczej niewątpliwie wpływ miały doświadczenia zdobyte podczas studiów doktoranckich, w ramach których



realizowałam powyższe zagadnienia. Jednym z pierwszych tematów badawczych, który był przedmiotem moich zainteresowań było określenie wielkości rozstawy tarasów grzbietowych za pomocą modelu spływu powierzchniowego. Tarasy stanowią jedno z narzędzi do sterowania obiegiem wody w zlewni umożliwiając zamianę spływu powierzchniowego na odpływ gruntowy sprzyjają również retencjonowaniu wód w zbiornikach. Realizują w ten sposób ideę spowalniania obiegu wody, przyczyniając się do minimalizowania tzw. szybkich sposobów odpływu wody z geomorfologicznego środowiska stokowego, bądź zamykania tego obiegu w części zlewni rzecznej. W Polsce tarasy grzbietowe na gruntach rolniczych praktycznie nie są stosowane. Za jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy można uznać brak teoretycznych i praktycznych podstaw ich projektowania. Włączenie w Polsce tarasów grzbietowych do arsenału środków ochrony przeciwoerozyjnej na gruntach ornych jest celowe, gdyż w warunkach klimatycznych naszego kraju właśnie w okresach roztopów oraz letnich opadów nawalnych, wskutek braku należytego pokrycia roślinnością, grunty orne są szczególnie narażone na erozję wodną gleb. Obliczenia rozstawy tarasów grzbietowych wykonano na podstawie własnych wyników badań przeprowadzonych na terenie Puczniewa (woj. łódzkie). Badania były realizowane w ramach projektu badawczego (6 P06S 04821) finansowanego przez KBN. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w formie rozprawy doktorskiej na temat „Obliczanie rozstawy tarasów grzbietowych za pomocą modelu spływu powierzchniowego”, oraz w publikacjach, których jestem autorką lub współautorką wymienionych w załączniku 3, w pkt.: II.A.14, II.D.1, II.D.27. Kontynuację badań realizowano w ramach projektu badawczego (2 P06S 02229) finansowanego przez MNiSW. Ponadto, dzięki zdobytej wiedzy i doświadczeniu w zakresie wymiarowania rozstawy tarasów grzbietowych we współpracy z UP we Wrocławiu zwymiarowano tarasy dla południowo-zachodniej części Polski przy różnych prawdopodobieństwach występowania deszczy (zał. 3, praca: II.D.22).

Uczestnictwo w kilku bardzo ważnych z punktu widzenia zakresu badań konferencjach międzynarodowych m.in. 5th International Congress of the European Society for Soil Conservation w Palermo, Conference “Soil and Hillslope Management using scenario analysis and runoff-erosion models: a critical evaluation of current techniques we Florencji oraz International Conference “Environmental Engineering” w Wilnie oprócz poszerzenia mojej wiedzy z wymiarowania urządzeń przeciwoerozyjnych oraz skali zagrożenia terenów rolniczych zjawiskiem erozji, uświadomił mi skalę tego problemu i utwierdził w celowości podjętej tematyki badawczej.

W całym okresie mojej pracy naukowej część czasu poświęcałam zagadnieniom dotyczącym **wpływu czynników środowiskowych na proces erozji gleb**. Zajmowałam się m.in. określaniem wpływu spadku terenu, natężeń opadu, początkowej wilgotności gleby na wielkości spływu powierzchniowego. Określiłam zależność pomiędzy spływem powierzchniowym a wskaźnikiem opadów uprzednich. Kolejne prace z tego zakresu dotyczyły wyznaczania strat gleby na podstawie różnych prawdopodobieństw występowania deszczy, określania relacji pomiędzy długością stoku, spadkiem terenu, użytkowaniem a wielkością erozji gleb. Prowadzone na stokach pomiary splukiwania powierzchniowego pozwoliły na określenie ilości wyniesionej gleby ze stoku poza jego podstawę, jak i natężenia procesu w obrębie stoku i wyznaczenie stref z przewagą erozji lub akumulacji materiału. Wyliczyłam wskaźnik erozyjności deszczy dla warunków Puczniewa. Wyniki badań zostały opublikowane w pracach: II.A.12, II.A.15-16, II.D.16, II.D.22-26, II.D.28-31 (zał. 3), oraz były prezentowane na konferencjach naukowych, prace: III.B.2, III.B.4 (zał. 3).

Kolejny aspekt mojej pracy naukowej związany był z rozwiązaniem zagadnień dotyczących **doskonalenia metod pomiarowych w badaniach erozji gleb**. Podejmowanie wielokierunkowych badań eksperymentalnych zmusza do poszukiwania nowoczesnych rozwiązań pomiarowych wybranych procesów w środowisku. W tym celu konstruuje się różnego typu nowoczesne urządzenia, pozwalające aktualnie już na ciągłe i bardzo precyzyjne pomiary związane z procesem erozji gleb. Przeprowadzone eksperymenty laboratoryjne były realizowane poprzez wykorzystanie najnowocześniejszej aparatury pomiarowej do monitorowania takich elementów jak zmiany mikrotekstury gleby, ocena natężenia erozji wodnej. Obecnie do określania zmian mikrotekstury gleby wykorzystuje się techniki bezdotykowe, takie jak skanowanie laserowe oraz metody fotogrametryczne. Narzędzia te okazały się skuteczne ze względu na oszczędność czasu i precyzję pomiaru, są coraz powszechniej używane w naukach przyrodniczych i naukach o ziemi. Pozwalają one szybko pozyskać precyzyjne i wysokorozdzielcze dane Digital Elevation Model (DEM) stanowiące podstawę różnorodnych analiz przestrzennych wykonywanych zazwyczaj w Geographic Information Systems (GIS), wśród których dominują analizy geomorfologiczne i hydrologiczne. W badaniach zmian mikrotekstury gleb oraz określaniu objętości strat gleby wykorzystywałam nową bardzo dokładną technikę pomiaru-światła białego. W technice tej wykorzystuje się efekt zniekształcenia linii w postaci promienia światła oświetlającego powierzchnię przedmiotu (tzw. efekt prążków Moire'a). Przeprowadzone badania wykazały, że wykorzystanie optycznego skanera 3D opartego na metodzie światła białego pozwala nie

tylko określić ryzyko erozji, ale także określić przestrzenny rozkład efektów procesów erozji i sedymentacji oraz śledzić jej zmiany w czasie. Dokładność wykorzystanego skanera 3D okazała się wystarczająca w wykrywaniu spadku wysokości w zakresie poniżej milimetra. Wyniki pokazały, że proponowane podejście może szybko i precyzyjnie dostarczyć dane odpowiednie do ilościowego określenia zmian mikrotopografii gleby. Wyniki badań zostały opublikowane w pracach: II.D.7-8 (zał. 3), oraz były prezentowane na konferencjach naukowych, prace: III.B.16, III.B.20 (zał. 3).

Ważnym kierunkiem moich prac badawczych są zagadnienia związane z **określaniami właściwości fizycznych materiałów reaktywnych**. Zajmowałam się m.in. określaniami właściwości fizycznych materiałów używanych do budowy warstw drenażowych i substratów wykorzystywanych na zielonych dachach. Określono właściwości fizyczne materiałów takich jak żwir płukany, Pollytag®, LECA (kruszywo lekkiej gliny ekspandowanej), chalcedon, serpentynit i AAC (autoklawizowany beton komórkowy). Przeprowadziłam także szereg badań laboratoryjnych właściwości fizycznych kruszyw na podstawie których dokonano selekcji pod kątem przygotowania substratu pod względem redukcji fosforanów w odpływie. Przeprowadziłam badania właściwości fizycznych materiału sorpcyjnego halloysitu, który m.in. dzięki dużej porowatości może być stosowany jako dodatek do gleby wspomagający procesy unieruchamiania zanieczyszczeń gleby. Wyniki badań zostały opublikowane w pracach: II.A.4-5, II.A.13, II.D.9, II.D.13, II.D.19 (zał. 3), oraz były prezentowane na konferencjach naukowych, prace: III.B.8, III.B.12, III.B.14 (zał. 3).

## **5.2 Współpraca naukowa krajowa i międzynarodowa**

Chciałabym podkreślić szeroki zakres mojej współpracy naukowej, dzięki której powstały interdyscyplinarne prace opublikowane w wysokiej rangi czasopiśmie. Dzięki wspólnym badaniom prowadzonym we współpracy z pracownikami Instytutu Kształtowania Środowiska we Wrocławiu powstały prace naukowe wykazane w załączniku nr 3 poz.: II.D.4 i II.D.17. Od roku 2010 w ramach III.R.4.2 (zał. 3) prowadzimy badania dotyczące wpływu czynników środowiskowych na plonowanie nawadnianych roślin. W ramach projektu realizowanego na terenie parku Laboratorium Centrum Wodne SGGW od roku 2016 wspólnie z III.R.4.1 (zał. 3) prowadzę badania modelowe w celu optymalizacji składu substratów dachów ekstensywnych z uwzględnieniem ich retencyjności i minimalizacji odpływu fosforu.

W ramach projektu II.I.2 (zał.3) w roku 2010 (20.08-20.09) odbyłam staż w LITI Tengeru w Tanzanii. W roku 2014 (7-13.04) odbyłam staż naukowy w Neubrandeburgu i Berlinie w Niemczech. Staż zrealizowałam w ramach projektu III.A.2 (zał. 3).

Za działalność naukową zostałam czterokrotnie wyróżniona Nagrodą Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie Zespołową II st. w latach 2015 i 2016, oraz III st. w latach 2014 i 2017.

### **5.3. Dydaktyczna, popularyzatorska i organizacyjna**

Moja działalność dydaktyczna jest ściśle związana z działalnością naukowo-badawczą, jaką prowadzę na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Prowadzę ćwiczenia, seminaria i wykłady dla studentów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunkach: Budownictwo, Ochrona Środowiska, Inżynieria Środowiska, Inżynieria i Gospodarka Wodna, na Wydziale Leśnym na kierunku Gospodarka Przestrzenna, na Wydziale Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu na kierunku Ogrodnictwo, na Wydziale Rolnictwa i Biologii na kierunku Inżynieria Ekologiczna. Zakres tematyczny zajęć obejmuje zagadnienia związane z zieloną infrastrukturą na terenach zurbanizowanych, ochroną gleb, zarządzaniem środowiskiem i infrastrukturą techniczną.

W roku 2008 w ramach programu Erasmus odbyłam dwie tygodniowe wizyty dydaktyczne w ośrodkach: KTH Royal Institute of Technology, Sweden i VGTU, Faculty of Engineering Environmental Sciences, Litwa, gdzie przeprowadziłam zajęcia dla studentów z zakresu ochrony gleb. Brałam udział w realizacji 2 międzynarodowych projektów dydaktycznych w ramach programu Leonardo da Vinci.

Jestem promotorem 49 prac dyplomowych w tym: 15 prac magisterskich i 34 prac inżynierskich, które prowadziłam na wyżej wymienionych kierunkach studiów (zał. 3, poz. III.J.1). Recenzowałam 23 prace magisterskie i 34 prace inżynierskie. W roku akad. 2007/08 byłam opiekunem III roku studiów stacjonarnych na kierunku Budownictwo.

Na zaproszenie Warszawskiego Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Techników Ogrodnictwa (SITO) wygłosiłam referat „Korzyści środowiskowe dachów zielonych dla systemu miasta” w ramach Seminarium "Ogrody na ścianach i dachach jako element systemu przyrodniczego miasta" BUW Warszawa 12 marca 2015. W ramach

popularyzacji nauki, na zlecenie AGROEXPERT Ośrodek Badań i Doradztwa dla Rolnictwa w Warszawie przeprowadziłam cykl szkoleń dla rolników w ramach II edycji projektów szkoleniowych Sektorowego Programu Operacyjnego „Restrukturyzacja i modernizacja sektora żywnościowego oraz rozwój obszarów wiejskich 2004-2006”.

Od wielu lat aktywnie uczestniczę w programach i inicjatywach mających na celu popularyzację nauki i promocję Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie na „Dniach SGGW” i „Pikniku Naukowym”. Ponadto, w ramach działalności organizacyjnej brałam udział w organizacji dwóch konferencji. W kadencji 2008-2012 byłam członkiem Wydziałowej Komisji ds. Dydaktyki oraz Wydziałowej Komisji ds. Promocji i Rozwoju Wydziału. W latach 2005-2016 byłam członkiem Wydziałowej Komisji Wyborczej (od 2012 roku pełniłam funkcję sekretarza). W roku 2013 zostałam powołana do Wydziałowego zespołu ds. Zapewnienia i Doskonalenia Systemu Jakości Kształcenia. Zostałam również powołana do Komisji ds. hospitacji w kadencji 2016-2020. Za działalność organizacyjną zostałam czterokrotnie wyróżniona Nagrodą Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie Zespołową I st. w 2007, 2010, 2011, 2012r. Szczegółowy wykaz osiągnięć naukowo-dydaktycznych i organizacyjnych przedstawiłam w załączniku nr 3.

## 5. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego

Efektom mojej działalności naukowej jest dorobek publikacyjny obejmujący **57** pozycje, w tym **57** opublikowane oryginalne prace naukowe, **28** komunikaty i doniesienia naukowe, oraz **3** ekspertyzy. Spośród oryginalnych prac naukowych, **33** zostało opublikowanych w języku angielskim.

Przed uzyskaniem stopnia doktora na mój dorobek składały się łącznie **2** prace. Wyniki badań prezentowałam na 31 konferencjach, kongresach i sympozjach naukowych, w tym 17 międzynarodowych: Austria (1), Izrael (1), Litwa (3), Niemcy (1), Polska (6), Słowacja (1), Węgry (2), Włochy (2).

Prace naukowe, których jestem autorką lub współautorką, były cytowane zarówno w czasopiśmie z bazy Web of Science, jak i w czasopiśmie o zasięgu krajowym. **Liczba cytowań** moich prac naukowych wg bazy *Web of Science* wynosi **57** (bez autocytowań **35**), **indeks Hirscha** (h-index) wynosi **5**. Łączna **liczba punktów** zgodnie z listą MNiSW obowiązującą w roku wydania artykułów wynosi **636**. Sumaryczny Impact Factor według listy JCR, zgodny z rokiem ukazania się publikacji wynosi **22,071**.

Zbiorcze zestawienie dorobku naukowego znajduje się w tabeli 1. Szczegółowe informacje o wskaźnikach bibliometrycznych publikacji znajdują się w tabeli 2.

Łącznie, uczestniczyłam w realizacji 5 projektów badawczych, w tym w 2 projektach finansowanych przez MNiSW. Wykonałam 13 recenzji publikacji naukowych, w tym 7 recenzji dla czasopism z listy JCR.

**Tabela 1:** Zestawienie zbiorcze osiągnięć pracy naukowej.

| Wyszczególnienie                             | Ogółem | Przed doktoratem | Po doktoracie |
|--|--------|------------------|---------------|
| Prace publikowane                            | 57     | 2                | 55            |
| W tym prace:                                 |        |                  |               |
| w czasopismach z listy JCR                   | 12     |                  | 12            |
| w innych czasopismach                        | 41     | 1                | 40            |
| w materiałach konferencyjnych i monografiach | 4      | 1                | 3             |

**Tabela 2:** Zestawienie dorobku naukowego według wskaźnika Impact Factor (IF) oraz według oceny punktowej wykazu czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW).

| Osiągnięcie   | Język publikacji | IF <sup>(1)</sup> | Punkty wg MNiSW <sup>(1)</sup> | Liczba publikacji |
|---|------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| <b>Czasopisma wyróżnione w Journal Citation Report (lista A)</b>                                  |                  |                   |                                |                   |
| Ecological Engineering (2016)   | A                | 2,914             | 30                             | 1                 |
| Ecological Engineering (2019)   | A                | 3,023             | 35                             | 1                 |
| Fresenius Environmental Bulletin (2013)   | A                | 0,527             | 15                             | 1                 |
| International Journal of Environmental Research and Public Health (2017)                          | A                | 2,101             | 30                             | 1                 |
| Water (2014)  | A                | 1,291             | 25                             | 1                 |
| Water (2018, 2019)  | A                | 2,069             | 30                             | 2                 |
| Water, Air, & Soil Pollution (2019)   | A                | 1,769             | 25                             | 1                 |
| Water Science and Technology(2016*)   | A                | 1,197             | 20                             | 1                 |
| Water Science and Technology(2018*)   | A                | 1,247             | 20                             | 1                 |
| Sustainability (2017)   | A                | 1,789             | 20                             | 1                 |
| Sustainability (2019*)  | A                | 2,075             | 20                             | 1                 |
| <b>Suma:</b>  |                  | 22,071            | 300                            | 12                |
| <b>- w tym wykorzystane w rozprawie habilitacyjnej*:</b>  |                  | 4,519             | 60                             | 3                 |
| <b>Czasopisma naukowe nieposiadające współczynnika IF, ale indeksowane w bazie Web of Science</b> |                  |                   |                                |                   |
| Acta Scientiarum Polonorum – Formatio Circumiectus (2017)   | P                | -                 | 10                             | 1                 |
| Assessing of soil and water conditions in forest (2006)   | A                | -                 | 10                             | 1                 |

|  |     |   |     |    |
|--|-----|---|-----|----|
| E3S Web of Conference (2019*)  | A   | - | 15  | 1  |
| Infrastructure and Environment (2019*)   | A   | - | 15  | 1  |
| Journal of Ecological Engineering (2016, 2017, 2018*)                                    | A   | - | 12  | 3  |
| Journal of Environmental Engineering and Landscape Management (Proceedings) (2004)       | A   | - | 10  | 1  |
| Journal of Environmental Engineering and Landscape Management (2008)                     | A   | - | 2   | 1  |
| SHS Web of Conference (2019)   | A   | - | 15  | 1  |
| <b>Czasopisma naukowe w recenzowanych czasopiśmie krajowych (lista B)</b>                |     |   |     |    |
| Acta Agrophisica (2005)  | P   | - | 5   | 1  |
| Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation (2006, 2010, 2012) | A   | - | 6   | 3  |
| Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation (2016, 2017)       | A   | - | 14  | 2  |
| Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich (2012, 2013)                                 | A/P | - | 5   | 3  |
| Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich (2015, 2016, 2017)                           | A/P | - | 10  | 7  |
| Inżynieria Ekologiczna (2011, 2012)  | P   | - | 5   | 2  |
| Journal of Water and Land Development (2009)   | A   | - | 4   | 1  |
| Journal of Water and Land Development (2019*)  | A   | - | 14  | 1  |
| Przegląd Naukowy: Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2001, 2004)                     | P   | - | 4   | 2  |
| Przegląd Naukowy: Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016)                           | P   | - | 10  | 1  |
| Roczniki Naukowe Akademii Rolniczej w Poznaniu (2005)                                    | P   | - | 5   | 1  |
| Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie (2016)   | P   | - | 8   | 1  |
| Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie (2012)  | P   | - | 5   | 2  |
| Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (2006)                                       | P   | - | 4   | 2  |
| Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (2010)                                       | P   | - | 6   | 1  |
| <b>Suma:</b>   |     |   | 332 | 40 |
| <b>- w tym wykorzystane w rozprawie habilitacyjnej*:</b>                                 |     |   | 56  | 4  |
| <b>Pozostałe czasopisma</b>  |     |   |     |    |
| Przyjazne Miasta (2014)  | P   | - | 0   | 1  |
| <b>Suma:</b>   |     |   | 0   | 1  |
| <b>Recenzowane rozdziały w monografii i materiałach konferencyjnych</b>                  |     |   |     |    |
| Rozdział w monografii (2009)   | P   | - | 4   | 1  |
| Artykuł w materiałach konferencyjnych (2001, 2004, 2006)                                 | A   | - | 0   | 3  |

---

|              |              |               |            |
|--------------|--------------|---------------|------------|
| <b>Suma:</b> |              | 4             | 4          |
|              | <b>Suma:</b> | <b>22,071</b> | <b>636</b> |
|              |              |               | <b>57</b>  |

---

<sup>(1)</sup> IF oraz punktacja MNiSW zgodna z rokiem opublikowania  
A-angielski, P-polski



.....  
Anna Baryła