

Prof. dr hab. inż. Mirosław Wiatkowski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
Instytut Inżynierii Środowiska

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. arch. kraj. Eweliny Pochodyły-Duckiej
pt. „Błękitno-zielona infrastruktura jako kluczowy element gospodarowania wodą
opadową na obszarach zurbanizowanych”**

1. Przedmiot i podstawa formalna recenzji

Niniejsza recenzja została wykonana w odpowiedzi na pismo z dnia 20.06.2024 roku (WG-IIIiOS.53.5.2024) sporządzone przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego Pana prof. dr hab. inż. Marcina Dębowskiego, o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. arch. kraj. Eweliny Pochodyły-Duckiej, zatytułowanej „Błękitno-zielona infrastruktura jako kluczowy element gospodarowania wodą opadową na obszarach zurbanizowanych”. Promotorami rozprawy są Pani prof. dr hab. Katarzyna Glińska-Lewczuk z Katedry Gospodarki Wodnej i Klimatologii i Pani dr hab. inż. Agnieszka Jaszczak, prof. UWM z Katedry Architektury Krajobrazu.

2. Ogólny opis rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy problematyki wykorzystania błękitno-zielonej infrastruktury na obszarach miejskich w kontekście gospodarowania wodami opadowymi, w celu ograniczania negatywnych konsekwencji urbanizacji.

Rozprawę doktorską Autorka przygotowała jako zbiór trzech opublikowanych i powiązanych tematycznie publikacji naukowych w języku angielskim oraz maszynopisu jednej pracy w trakcie procedury wydawniczej:

Publikacja 1. Pochodyła Ewelina, Glińska-Lewczuk Katarzyna, Jaszczak Agnieszka 2021. Blue-green infrastructure as a new trend and an effective tool for water management in urban areas. *Landscape Online*, 92:1-20, <https://doi.org/10.3097/LO.202192>.

Publikacja 2. Pochodyła Ewelina, Jaszczak Agnieszka, Illes Juraj, Kristianova Katarina, Joklova Viera 2022. Analysis of green infrastructure and nature-based solutions in Warsaw – selected aspects for planning urban space. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 25(1) 44-50, <https://doi.org/10.2478/ahr-2022-0006>.

Publikacja 3. Pochodyła-Ducka Ewelina, Glińska-Lewczuk Katarzyna, Jaszczak Agnieszka 2023. Changes in Stormwater Quality and Heavy Metals Content along the Rainfall-Runoff Process in an Urban Catchment. *Water*, 15(19): 3505, <https://doi.org/10.3390/w15193505>. IF: 3.4.

Publikacja 4. Pochodyła-Ducka Ewelina, Burandt Paweł, Glińska-Lewczuk Katarzyna 2024. GIS- Based Framework for Assessing Priority Locations for Blue-Green Infrastructure Implementation in Urban Areas. *Land Degradation and Development*, 000 (złożona do opublikowania w czasopiśmie). IF: 4.7.

Indywidualny wkład Autorki w powstanie tych publikacji jest wiodący. We wszystkich pracach jest ona pierwszym autorem. Autorka brała udział w opracowaniu koncepcji badań i koncepcji publikacji (Publikacja 1, 2, 3 i 4) oraz w opracowaniu metody analiz (Publikacja 4), wykonała przegląd literatury (Publikacja 1 i 2), przeprowadziła badania, w tym terenowe (Publikacja 1, 2, 3 i 4) i laboratoryjne oraz meteorologiczne (Publikacja 3), wyszukiwała (Publikacja 3 i 4) i analizowała materiały naukowe (Publikacja 1 i 4) a także przestrzenne (Publikacja 4), interpretowała wyniki badań (Publikacja 1, 2, 3 i 4), opracowała stronę graficzną publikacji (Publikacja 1, 2, 3 i 4), opracowała wnioski (Publikacja 1, 2, 3 i 4), współuczestniczyła w procesie zgłoszenia pracy i recenzji pracy (Publikacja 1, 3 i 4). Na podkreślenie zasługują starannie przygotowane oświadczenia Doktorantki i współautorów publikacji wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie. Prace przygotowała we współautorstwie: trzy prace z dwoma współautorami (Publikacja 1, 3 i 4), jedną pracę z czterema współautorami, w tym z dwoma zagranicznymi (Publikacja 2).

Doktorantka, poza przedstawieniem rozprawy doktorskiej złożonej z czterech prac w języku angielskim, przedstawiła także 46-stronicowy maszynopis wraz ze streszczeniem, spisem treści i wykazem skrótów. Opracowanie to zawiera informacje o celu (cel główny: określenie możliwości implementacji elementów BZI jako rozwiązań wspierających systemy zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych; pięć celów szczegółowych, które mają charakter naukowy a ostatni również implikacji praktycznych: charakterystyka wybranych elementów BZI, analiza ilościowa funkcjonujących systemów BZI, ocena jakości wody opadowej na drodze opad-odpływ, określenie wpływu powierzchni nieprzepuszczalnych w miastach na jakość wody w zbiornikach wodnych, opracowanie narzędzia wspierającego potencjalną lokalizację elementów BZI w oparciu o modelowanie oparte na GIS) i zakresie rozprawy wraz z czterema hipotezami badawczymi (BZI jest skutecznym narzędziem walki z negatywnymi skutkami urbanizacji w kontekście gospodarki wodą opadową równocześnie umożliwiającymi podniesienie walorów estetycznych krajobrazu miejskiego; spływ powierzchniowy jest medium transportu zanieczyszczeń i przyczynia się do degradacji ekosystemów; jakość wody opadowej zmienia się na trasie opad - odpływ i jest uzależniona od czynników hydrometeorologicznych i fizjograficznych zlewni oraz infrastruktury sieci kanalizacyjnej zapewniającej bezpośredni odpływ do odbiornika – rzeki; BZI pozwala na osiągnięcie znaczących korzyści środowiskowych dla obszarów zurbanizowanych. Uzyskanie optymalnych efektów warunkuje odpowiednio zaprojektowana i zlokalizowana sieć elementów BZI w przestrzeni miejskiej). Sformułowane hipotezy badawcze mają charakter eksplikatywny. Moim zdaniem druga hipoteza jest tezą popartą argumentami dobrze opisanymi już w literaturze naukowej. Natomiast czwarta hipoteza jest bardziej przypuszczeniem o charakterze ogólnym. Doktorantka nie przeprowadziła badań potwierdzających lub falsyfikujących hipotezę mówiącą, że odpowiednio zaprojektowana i zlokalizowana sieć elementów BZI zapewnia uzyskanie znaczących korzyści środowiskowych. Doktorantka sama również pisze w swoim autoreferacie (rozdz. 4. Metodyka), że „Dzięki analizie zebranej literatury naukowej i poznanej metodyce dokonano oceny korzyści wynikających z wdrożenia koncepcji BZI. Ponadto przedstawiono opis procesu badawczego wraz z osiągniętymi wynikami badań (metodyka badań, analiza wyników badań i ich dyskusja oraz podsumowanie i wnioski). Pewien niedosyt w rozprawie (Tabela 1 w Metodyce) budzi charakterystyka źródeł danych przestrzennych wykorzystanych w badaniach. Wykorzystane w pracach przez Doktorantkę produkty dostarczające informacji na temat pokrycia terenu i użytkowania gruntów (Corine

Land Cover, Urban Atlas, Imperviousness Density, BDOT10k) oraz sieci uzbrojenia terenu mają różne minimalne jednostki mapowania dla obiektów powierzchniowych i linowych (CLC-min. jednostka mapowania wynosząca 25 ha dla zjawisk powierzchniowych i min. szerokość 100 m dla zjawisk liniowych; UA-min. jednostka mapowania wynosi od 0,25-1 ha; natomiast ID - są dostępne w rozdzielczości przestrzennej 10 m (2018) i 20 m (2006-2015) i jako zagregowane zestawy danych 100 m). Natomiast oprócz zakresu, rodzaju i źródła danych nie odniesiono się do poziomu dokładności przestrzennej wykorzystanych danych, co jest niezbędne na etapie prowadzenia analiz przestrzennych.

Ponadto w tym opracowaniu przedstawiono spis literatury (bibliografia w maszynopisie obejmuje 66 pozycje autorów zarówno polskich, jak i zagranicznych. Ponadto Autorka w swojej rozprawie wykazała się dobrą znajomością literatury), spis tabel i rysunków. Zatem praca posiada układ charakterystyczny dla rozpraw doktorskich. Należy także stwierdzić, że układ pracy i jej struktura zostały przygotowane logicznie i bez zastrzeżeń, wynikają wprost z tematu rozprawy. Odpowiadają stawianemu celowi i zakresowi rozprawy.

3. Ocena merytoryczna pracy

Zagadnienia związane z błękitno-zieloną infrastrukturą stanowią obecnie ważne wyzwanie związane z określeniem potrzeb i możliwości wdrożenia odpowiednich jej elementów jako sposobu zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi w miastach. Jest to nader ważne w celu zminimalizowania negatywnych efektów nasilającego się zjawiska urbanizacji miast, w tym zmian powierzchni nieprzepuszczalnych, co jest powiązane ze zmianami cyklu hydrologicznego i zanieczyszczeniem wód. Ponadto w ramach adaptacji miast do zmian klimatu bardzo ważne jest ograniczenie odprowadzania wód opadowych bezpośrednio do kanalizacji czy cieków. Niezmiernie ważne więc są działania w zakresie minimalizowania negatywnych efektów urbanizacji, poprzez zastosowanie stosownych metod i narzędzi gospodarowania wodą w miastach, tak aby zwiększyć możliwość retencji wody, infiltracji i jej bezpiecznego odprowadzania. Do takich działań z pewnością można zaliczyć błękitno-zieloną infrastrukturę (BZI), obejmującą obszary zielone (lub niebieskie) oraz inne cechy fizyczne obszarów lądowych. Jak słusznie zauważa Doktorantka pewną niedoskonałością, w przypadku tych działań związanych z BZI, są kierunki działań wdrożeniowych dla rozwiązań BZI, które powinny być dopasowane do specyfiki danego obszaru. Powyższe zrealizowano na przykładzie Warszawy i Olsztyna. Problematykę poruszoną w rozprawie doktorskiej uważam zatem za ważną z punktu widzenia naukowego, jak i inżynierskiego. Autorka podjęła się zatem rozwiązania oryginalnego problemu badawczego mającego zarówno znaczenie poznawcze, ale i potencjał praktyczny wykorzystania uzyskanych wyników. Tytuł rozprawy i jej zakres oceniam jako interesujący i właściwy oraz odpowiadający treści rozprawy.

Rozprawę doktorską rozpoczyna publikacja nr 1, w której Autorka dokonała analizy przeglądu literatury na temat błękitno-zielonej infrastruktury i scharakteryzowała wybrane jej elementy (m.in. ogrody deszczowe, zielone dachy, zielone ściany oraz nawierzchnie przepuszczalne) w kontekście ich roli w gospodarowaniu wodą opadową na obszarach zurbanizowanych. Ciekawą część pierwszej publikacji stanowi analiza wyników badań opisanych w literaturze w aspekcie efektywności elementów BZI w poprawie obiegu wody i poprawie jakości wody opadowej. Jak wynika z literatury za najefektywniejsze uznaje się zielone dachy, które mogą zapewnić zmniejszenie spływu powierzchniowego o 2-100%,

przy czym ich efektywność jest zróżnicowana w zależności od zastosowanego typu. Ponadto w procesie ewapotranspiracji jest wykorzystywane od 30 do 86% wody opadowej a retencja wody opadowej wynosi 30-86%. Natomiast w ograniczaniu skutków gwałtownych i nadmiernych opadów zastosowanie także znajdują ogrody deszczowe, co pozwala na ograniczenie spływu powierzchniowego od 1,93 do 42%, natomiast w procesie ewapotranspiracji wykorzystywane jest 19-84% wody opadowej. Zielone ściany jako konstrukcje pionowe znajdujące się na ścianach obiektów mogą ograniczać spływ powierzchniowy o 4-87%. Ich efektywność jest zależna od rodzaju substratu. Natomiast w procesie ewapotranspiracji jest wykorzystywane ok. 23%. Ponadto dzięki odpowiedniej konstrukcji elementy te są w stanie zretencjonować 45-75% wody opadowej, którą można wykorzystać do ich nawadniania. Jeżeli zaś chodzi o nawierzchnie przepuszczalne to znajdują one zastosowanie na obszarach, których funkcja dotyczy zapewnienia ciągłości komunikacyjnej. Dzięki zastosowaniu otworów, przerw dylatacyjnych lub materiałów o wysokiej porowatości umożliwiają one zmniejszenie spływu powierzchniowego o 1-40% i redukcję odpływu powierzchniowego o 10-20%. Autorka na podstawie przeprowadzonych studiów literaturowych stwierdziła potrzebę uwzględniania powyższych rozwiązań w planach gospodarowania wodami opadowymi. Należy stwierdzić, że publikacja nr 1 wprowadza w tematykę rozprawy i uzasadnia potrzebę realizacji niniejszej pracy.

Kolejna publikacja nr 2 skupia się na analizie rozwiązań z zakresu BZI zlokalizowanych na terenie miasta Warszawy i dotyczy w szczególności analizy zielonej infrastruktury i rozwiązań „przyrodniczych”. Autorka uzasadniła konieczność przeprowadzenia tej analizy na obszarze miasta stołecznego Warszawa. Słusznie zauważyła, że implementacja BZI na obszarach zurbanizowanych stała się powszechną praktyką zazieleniania, zwłaszcza w ścisłych centrach miast a elementy te stanowią uzupełnienie miejskiej infrastruktury technicznej. Autorka stwierdza, że takie działania z pewnością przyniosą korzyści ekologiczne, ekonomiczne, krajobrazowe i społeczne a planowana koncepcja projektu BZI powinna stanowić część dokumentów strategicznych dotyczących rozwoju miasta. W publikacji nr 2 Doktorantka wykonała analizę materiałów kartograficznych, dokumentów planistycznych i analizy terenowe w celu identyfikacji wybranych elementów BZI. W interesujący sposób zaprezentowała wyniki analizy rozmieszczenia elementów BZI, takich jak zielone ściany, zielone dachy i ogrody deszczowe, z uwzględnieniem terenów leśnych i zieleni naturalnej, parków publicznych, skwerów oraz zieleni towarzyszącej ciągom komunikacyjnym. W publikacji nr 2 Doktorantka stwierdziła wysoki stopień pokrycia obszaru miasta zróżnicowanymi formami zieleni naturalnej (20,9%), z przeważającą częścią zlokalizowaną w południowej części Warszawy. Doktorantka zidentyfikowała zaburzenia ciągłości w bezpośrednim sąsiedztwie głównych dróg dojazdowych. Stwierdziła, że w centralnych częściach miasta ze względu na postępującą urbanizację tereny zieleni naturalnej zanikają a tam gdzie było to możliwe wprowadzono formy zieleni urządzonej takie jak: parki, skwery, zieleni towarzysząca ciągom komunikacyjnym. W dalszej części publikacji nr 2 Autorka zaprezentowała wyniki badań, które wykazały, że ze względu na gęstą zabudowę i duży udział powierzchni nieprzepuszczalnych w strukturze krajobrazu miejskiego powierzchnia przestrzeni zieleni nierównomiernie wypełnia przestrzeń miejską. Jednak pomimo takiej sytuacji z zielenią to w Warszawie zauważalne jest rozbudowywanie systemu BZI o formy takie jak: zielone dachy, zielone ściany czy ogrody deszczowe (m.in. obszar Centrum i Żoliborza).

W końcowej części drugiej publikacji Autorka przedstawiła podsumowanie, w którym zwraca uwagę, że sieć zielonej infrastruktury jest w wielu częściach Warszawy rozdrobniona, a liczba i wielkość terenów oraz wielkość terenów zielonych jest niewystarczająca w gęsto zabudowanych obszarach. Doktorantka przedstawiła również zalecenia dotyczące poprawy warunków istniejącej sieci, wskazując na konieczność wzmocnienia wzajemnych połączeń i wprowadzenie rozwiązań oraz konkretnych nowych elementów zielonej infrastruktury, takich jak zielone ściany, zielone dachy, ogrody deszczowe lub nasadzenia wzdłuż dróg i zielonych linii tramwajowych, w celu poprawy warunków środowiskowych na obszarach, na których nie jest możliwe stworzenie innych rodzajów terenów zielonych.

W kolejnym etapie badań (Publikacja 3) Doktorantka przeprowadziła analizę zmian jakości wód opadowych wraz z oceną zmian zanieczyszczenia metalami ciężkimi w układzie opad-odpływ w zlewni miejskiej Olsztyna. Doktorantka w sposób poprawny z zastosowaniem jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) zweryfikowała hipotezę zerową mówiącą o równości średnich w porównywanych dwóch lub większej liczbie grupach. Autorka ponadto w autoreferacie (rozdz. 4. Metodyka – analizy matematyczno-statystyczne) podaje, że „W celu oceny statystycznej istotności różnic wybrane parametry wody (zmiennie zależne) ze stanowisk pomiarowych (zmienna niezależna) na trasie opad-odpływ poddano jednoczynnikowej analizie wariancji (*one-way* ANOVA). Z uwagi na to, że celem analizy wariancji (ANOVA) jest testowanie istotności różnic pomiędzy średnimi należałoby doprecyzować, że „W celu oceny statystycznej istotności różnic pomiędzy średnimi wybranych parametrów wody...”.

Do badań wybrano miejską część zlewni miasta Olsztyna o powierzchni 30 ha, położoną nad rzeką Łyną (główny ciek – odbiornik wód odpływowych z terenu miasta). Charakteryzuje się ona zróżnicowanym użytkowaniem terenu, przewagą terenów zabudowanych (58%) i obszarów komunikacyjnych (13%). Powierzchnie nieprzepuszczalne zajmują około 76% obszaru badania. Powierzchnie przepuszczalne obejmowały trawniki, zielone szlaki, parki i tereny leśne. Drogi, chodniki, parkingi i budynki sklasyfikowano jako nieprzepuszczalne. Próbkę wody do analizy jakości wody pobrano z sześciu lokalizacji w południowo-zachodniej części Olsztyna. Miejsca poboru próbek wody przedstawiają się następująco: bezpośrednie pomiary opadów deszczu na stacji meteorologicznej na terenie kampusu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (100 m od obszaru badań); spływ z dachu (próbki spływu pobrano na krawędzi rynny); spływ powierzchniowy (na krawędzi odpływu burzowego osadzonego w drodze i na wylocie z kolektora burzowego, skąd spływ był odprowadzany bezpośrednio do kanału rzecznego - Łyna); punkt w górze rzeki Łyny, 30 m powyżej kolektora; punkt w dole rzeki Łyny, 30 m poniżej kolektora. Próbkę wody pobierano od marca 2021 r. do września 2022 r. Próbkę z 5 stanowisk (bez opadu bezpośredniego) były pobierane w 10 min interwale czasowym. Przy czym próbka wody opadowej z dachu (rynna spustowa) była pobierana 4- krotnie (w momencie wystąpienia spływu, po 10 min, 20 min i 30 min). Dzięki temu możliwe było wskazanie momentu, w którym stężenie zanieczyszczeń z powierzchni dachu jest najwyższe. Zanotowano 12 zdarzeń opadowych w całym okresie badań. Zajęcie się wodami opadowymi z powierzchni generujących spływ powierzchniowy w połączeniu z wodami przepływającymi infrastrukturą techniczną i wodami rzecznyymi należy uznać za wartościowe.

Analizy wybranych pięciu parametrów fizykochemicznych wód oraz stężeń metali ciężkich: Cu, Cr, Fe, Ni, Zn, Pb wykonano poprawnie. Badania wykazały istotną statystycznie zmienność między jakością wody opadowej i wodą rzeki Łyny, a próbkami wód pobranych ze stanowisk ukształtowanych w wyniku działalności człowieka (powierzchnia dachu oraz jezdni, kolektor burzowy). Ponadto uwzględniając wyniki uzyskane z powierzchni generujących spływ, najniższe wartości we wszystkich parametrach, z wyjątkiem Zn, oznaczono w spływie z dachu. Najwyższe natomiast w próbkach wody pobranych z kolektora burzowego. Natomiast porównując próbki wody rzecznej pobranej przed i za kolektorem burzowym widoczny jest wzrost zanieczyszczenia, jednak jak zauważyła Doktorantka, różnice te nie są istotne statystycznie.

Autorka potwierdziła, że powierzchnie nieprzepuszczalne gromadzą zanieczyszczenia metali ciężkich, które są następnie uruchamiane w trakcie zmywów opadowych oraz potwierdziła niekorzystny wpływ powierzchni nieprzepuszczalnych na jakość spływu powierzchniowego. Wyniki badań przedstawione w rozprawie doktorskiej (Publikacja 3) przeprowadzone na obszarze 30-hektarowej zlewni, potwierdziły, że wysokie stężenie metali ciężkich w spływach powierzchniowych i kolektorach burzowych może stanowić poważne zagrożenie dla odbiorców wód burzowych, szczególnie zimą i wiosną, ze względu na zwiększoną depozycję zanieczyszczeń i wymywanie soli z dróg. Badania Doktorantki wskazały na potrzebę monitoringu jakości wód burzowych i metali ciężkich w zlewniach miejskich w kierunku wpływu na ekosystem rzeki.

Doktorantka wykazała także, że stężenie metali w próbkach wody wzdłuż drogi opad-spływ wzrasta wraz ze zmniejszającą się częstotliwością opadów.

Doktorantka słusznie dowodzi, że skoro miasto Olsztyn jest stosunkowo niezanieczyszczonym miastem, to należy uzyskane wyniki zaliczyć do dolnych granic zakresów wskazanych w cytowanych przez nią pracach, zwłaszcza jeśli chodzi o wyniki kolektora wody deszczowej (Cu, Pb). Ponadto uzyskane wyniki badań w pracy nr 3 należy uznać za charakterystyczne dla zlewni miejskiej o względnie niskim stopniu przekształcenia i intensywności użytkowania.

Doktorantka w maszynopisie pracy nr 4 „GIS-Based Framework for Assessing Priority Locations for Blue-Green Infrastructure Implementation in Urban Areas” skoncentrowała się na wyznaczeniu obszarów predestynowanych do wdrożenia elementów BZI takich jak: zielone dachy, zielone ściany, ogrody deszczowe i nawierzchnie przepuszczalne, na terenie miasta Olsztyn.

W pracy nr 4 postawione zostały dwie hipotezy: (i) rozwój miast negatywnie wpływa na strukturę przepuszczalności miasta oraz (ii) BZI oferuje kompleksowy zestaw rozwiązań dla zwiększenia przepuszczalności powierzchni zurbanizowanych, co z kolei przyczynia się do zrównoważonego rozwoju miast. W mojej opinii są to raczej tezy poparte argumentami omówionymi już w dostępnej literaturze.

Na potrzeby realizacji założonych celów Doktorantka zaproponowała opracowaną na podstawie algorytmów matematycznych metodę LUSIA (Land Use Indicator Analysis), którą zaimplementowała w środowisku GIS. Analizę wskaźników użytkowania/zagospodarowania gruntów Doktorantka wykonała na podstawie opracowanych pięciu wskaźników: przeważający sposób użytkowania terenu (I_LU), uszczelnienie powierzchni (I_IMP), wysokości budynków (I_BH), gęstość powierzchni zabudowanej (I_BF) oraz wskaźnik obszarów wykluczonych (I_EX) z dalszych procedur badawczych, które ze względu na sposób użytkowania nie mogą zostać rozszczelnione w wyniku proponowanych rozwiązań

BZI (np. drogi główne, płyta lotniska, infrastruktura techniczna, itp.). Należy stwierdzić, że LUSIA to wielokryterialna analiza przestrzenna z wykorzystaniem technologii GIS, wykonana na podstawie odpowiednio dobranych i opracowanych kryteriów oraz ich zakresów. Analizy wielokryterialne w GIS powszechnie znane są w literaturze i szeroko stosowane w badaniach środowiskowych w celu wskazania np. potencjalnych terenów spełniających dane kryteria lokalizacyjne ze względu na prowadzony cel badań. Natomiast w tego typu analizach nowatorskość stanowią dobrane kryteria, uwzględniające pełne spektrum cech analizowanego zjawiska i opracowane na ich podstawie wskaźniki. Nowatorskość odnosi się w takich analizach również do sposobu pozyskania danych, w odniesieniu do których przeprowadzane są analizy oraz ich aktualność i dokładność przestrzenna (harmonizacja danych przestrzennych).

Doktorantka natomiast w pracy nr 4 (tab. 2) nie podała w jaki sposób określiła kryteria i specyfikę proponowanych rozwiązań BZI (ogrody deszczowe, zielone ściany, zielone dachy i nawierzchnia przepuszczalna), czy na podstawie zaleceń literaturowych, wiedzy eksperckiej, czy je zmodyfikowała na potrzeby realizacji swoich celów badawczych? Część zaproponowanych przez Doktorantkę wskaźników spotyka się także w literaturze naukowej, a także stosowane są w praktyce na etapie sporządzania dokumentacji planistycznej, np. wskaźnik średniej wysokości czy gęstości powierzchni zabudowanej, które Doktorantka odpowiednio zmodyfikowała na potrzeby realizacji swojej pracy doktorskiej.

Zakres czasowy przeprowadzonych badań/analiz dotyczył roku 2006, 2012, 2018 i podyktowany był, jak podaje Doktorantka głównie aktualnością dostępnych danych przestrzennych. Do budowy tych wskaźników Doktorantka wykorzystwała bowiem ogólnodostępne bazy danych opracowane na poziomie ogólnoeuropejskim, tj. Urban Atlas i Imperviousness Density, które pozyskano w ramach usług Copernicus Land Monitoring Service Europejskiej Agencji Środowiska oraz opracowaną na poziomie krajowym Bazę Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k), którą pozyskano z GUGiK. Należy jednak mieć na uwadze, że BDOT10k powstała w latach 2012-2013 (na podstawie wytycznych technicznych zawartych w nieobowiązującym już Rozporządzeniu MSWiA z dn. 17 listopada 2011 r. w *sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych*) i w związku z tym zastanawiającym pozostaje jakie wykorzystano źródła danych przestrzennych na potrzeby opracowania wskaźnika wysokości budynków (I_{BH}) oraz gęstość powierzchni zabudowanej (I_{BF}) dla 2006 roku?

Zakresem przestrzennym objęto miasto Olsztyn, natomiast badania, za co należy w tym miejscu pochwalić Doktorantkę, przeprowadzono na wyższej skali obserwacji, tj. w odniesieniu do odpowiednio opracowanego pola podstawowego sieci grid, pokrywającej obszar analizowanego miasta (1549 komórek o wymiarach terenowych 250x250 m), co umożliwiło wychwycenie zachodzących zmian w skali lokalnej. Takie podejście stanowi nowe rozwiązanie i może być praktycznym narzędziem na etapie opracowywania aktów planowania przestrzennego czy też planów gospodarowania wodami opadowymi, w których istotne jest wykazanie potencjalnych obszarów do realizacji rozwiązań BZI, nie tylko w odniesieniu do jednostek urbanistycznych, ale tak jak proponuje Doktorantka z większą szczegółowością, tj. w odniesieniu do odpowiednio dobranych jednostek odniesienia.

W toku przeprowadzonych badań Doktorantka wykazała, że na przestrzeni lat 2006-2018 nastąpiły zmiany w strukturze użytkowania analizowanego terenu oraz wzrost tkanki miejskiej. Doktorantka przedstawiała w sposób wizualny, poprawnie opracowane modele

rozkładu przestrzennego wartości poszczególnych wskaźników dla przyjętych lat badawczych. W mojej opinii ciekawa byłaby również analiza tempa tych zmian zarówno ilościowych i jakościowych jakie nastąpiły w poszczególnych kategoriach/klasach opracowanych wskaźników diagnostycznych pomiędzy okresami badawczymi (2006-2012, 2012-2018, 2006-2018).

Następnie Doktorantka wykonała wielokryterialne analizy przestrzenne automatyzując ten zaawansowany proces poprzez zastosowanie odpowiednich narzędzi pakietów Pythona. W tym celu opracowane zostały (tabela 1 i 2) kryteria optymalnych wartości wskaźników (dominujący typ użytkowania terenu (I_LU), stopień uszczelnienia powierzchni (I_IMP), średnia wysokość budynków (I_BH), gęstość powierzchni zabudowanej (I_BF) oraz obszary wykluczone (I_EX)), jakimi powinien charakteryzować się analizowany teren w aspekcie możliwości realizacji wybranych rozwiązań BZI. Zastosowana metodyka umożliwiła wskazanie potencjalnych obszarów (pól przyjętej sieci grid), gdzie możliwe są do wdrożenia proponowane rozwiązania BZI (rys. 7). Wyznaczono 11 pól, w których można wdrożyć ogrody deszczowe, zielone dachy w 76 polach i zielone ściany w 127. Dla 209 pól podstawowych zarekomendowanych zostało więcej niż jedno rozwiązanie BZI (zielone dachy i ściany oraz tereny przepuszczalne). Należy stwierdzić, że pomimo drobnych uwag wartościowym elementem rozprawy doktorskiej było opracowanie w publikacji nr 4 modelu LUSIA.

Zamknięcie całości rozważań badawczych w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej dotyczącej błękitno-zielonej infrastruktury w miastach stanowi rozdział „Podsumowanie i wnioski”. Autorka zaprezentowała łącznie dziewięć wniosków i rekomendacji.

4. Uwagi dyskusyjne i przemyślenia

- Ważnym uzupełnieniem badań byłyby badania objętości odpływającej wody zarówno z poszczególnych rodzajów infrastruktury, jak i z przekrojów rzeki Łyny (publikacja nr 3). To pozwoliłoby na obliczenie ładunków zanieczyszczeń ze zlewni zurbanizowanej, co dałoby pełniejszy obraz wnoszonych zanieczyszczeń do wód. Bowiem jak wynika z literatury i doświadczeń rosnące uszczelnianie powierzchni powoduje dwa rodzaje problemów: pierwszy z nich to przepełnienia systemu kanalizacji deszczowej, a drugi to zwiększony ładunek zanieczyszczeń transportowanych z wodami opadowymi.
- Ciekawe jest także to dlaczego Autorka nie wykonała pomiarów biogenów odpływających wraz z badanymi wodami? Takie badania z pewnością uzupełniłyby wnioskowanie.
- Doktorantka w publikacji nr 3 podaje, że dla Olsztyna, na podstawie BDOT10k oraz przebiegu sieci kanalizacji deszczowej, wytypowano obszar mikro-zlewni miejskiej. Czy na etapie wyznaczenia granic tej zlewni miejskiej uwzględniono deniwelacje analizowanego terenu i wykorzystano również numeryczny model terenu?
- Z uwagi na to, że stosowanie metody analizy wariancji wymaga aby analizowana zmienna miała rozkład normalny oraz aby wariancje były jednorodne nasuwa się pytanie jaki test wykorzystwała Doktorantka do sprawdzenia jednorodności wariancji w publikacji nr 3?
- Autorka w publikacji 3 podaje, że „Jakość wód opadowych w zlewni miejskiej zależy od wielu czynników ... i istotne jest poznanie tych zależności, bowiem we współczesnych miastach, w których ekspansja powierzchni nieprzepuszczalnych postępuje w szybkim tempie, woda opadowa spływająca po powierzchniach stanowi zagrożenie dla miejskich zbiorników wodnych”. Jest to pewna nieścisłość, gdyż Autorka z pewnością miała na myśli także obiekty hydrograficzne liniowe, które badała a nie tylko obszarowe.

- W publikacji nr 3 brakuje odniesienia uzyskanych wyników jakości wód i stężeń metali do klas jakości wód.
- Autorka w publikacji nr 3 podaje, że większość próbek wody wzdłuż trasy odpływu wód opadowych ma wysokie stężenia analizowanych metali, odpływ z badanych obszarów SR i SC można sklasyfikować jako silnie lub nawet ekstremalnie zanieczyszczony. Wg jakiej klasyfikacji można to stwierdzić?
- Jakie wykorzystano źródła danych przestrzennych w publikacji nr 4 na potrzeby opracowania wskaźnika wysokości budynków (I_BH) oraz gęstość powierzchni zabudowanej (I_BF) dla roku 2006? Czy była to funkcjonująca do czasu wejścia w życie rozporządzenia w zakresie BDOT10k, Topograficzna Baza Danych (TBD), której podstawowym zasobem była wektorowa baza danych (komponent TOPO)?
- W doborze jednostek odniesienia niezwykle ważny jest ich kształt i wielkość. Nasuwa się więc pytanie czym w publikacji nr 4 podyktowany był wybór pola podstawowego w formie GRID i czy Doktorantka rozważała zastosowanie pola podstawowego w formie heksagonów?
- Doktorantka podaje także w publikacji nr 4, że „... przyjęty wymiar siatki kwadratów (250x250 m) okazał się optymalny z punktu widzenia szczegółowości danych i wielkości analizowanego miasta”. Należy mieć jednak na uwadze, że dane w zakresie użytkowania terenu zastosowane do opracowania wskaźników są na różnym poziomie szczegółowości. Nasuwa się więc pytanie czy Doktorantka porównała uzyskane wyniki dla przyjętego wymiaru pola podstawowego z wynikami uzyskanymi dla innego, przyjętego porównawczego wymiaru pola podstawowego? Czy przy ustalaniu wielkości pola podstawowego wzięto też pod uwagę strukturę funkcjonalno-przestrzenną miasta?
- Jakie spośród krajowych baz danych widziałaby Doktorantka do zaimplementowania w opracowanym modelu LUSIA dla terenów miejskich, których obszar nie został uwzględniony w produkcie Urban Atlas, którym objęte zostały tylko europejskie miasta powyżej 100 tys. mieszkańców (edycja 2006) i 50 tys. (2012, 2018)? Od ostatniego roku analizy tj. 2018 minęło 6 lat. Jakie więc dane odniesione przestrzennie i jakimi technikami pozyskane, można byłoby zastosować do przeprowadzenia modelowania terenów predysponowanych do wdrażania BZI w ramach LUSIA?
- Z punktu widzenia techniki budowy niezwykle istotna w aspekcie realizacji BZI jest nie tylko średnia wysokość budynku, którą uwzględniła Doktorantka w publikacji nr 4, a także spadek dachu. Jakie są optymalne spadki dachów w opinii Doktorantki pod zielone dachy? Jakie są wymogi zazielenienia dachów wynikające z ich spadków biorąc pod uwagę możliwości spiętrzenia wody i niezbyt szybkiego odpływu w przypadku jej nadmiaru? Do jakich max. spadków dachów możliwe jest ich zazielenienie? Czy w kolejnych badaniach Doktorantka zamierza uwzględnić również ten atrybut w opracowanym modelu LUSIA?
- Czy w opinii Doktorantki ważne byłoby monitorowanie stanu wegetacji i kondycji roślinności w aspekcie suszy, po ewentualnym wdrożeniu proponowanych rozwiązań BZI (takich jak zielone dachy i zielone ściany) w ramach wyznaczonego modelu dla Olsztyna? Z zastosowaniem jakiej technologii mógłby być prowadzony taki monitoring? Jakie zdalne techniki pozyskiwania informacji na temat stanu i kondycji (rozkładu biomasy) tych form BZI zaproponowałaby Doktorantka?

Końcowa ocena rozprawy doktorskiej

Wykonana przez Doktorantkę rozprawa doktorska jest wieloaspektowa. Obejmuje zarówno badania terenowe, laboratoryjne i analityczne. Pozytywnie oceniam przygotowaną metodykę badawczą, dotyczącą zarówno badań terenowych, jak i laboratoryjnych jakości wody. Wyłania się z tego obraz przemyślanego procesu badawczego przez osobę aspirującą do stopnia naukowego doktora. Zamieszczone w recenzji uwagi dyskusyjne nie wpływają na wartość rozprawy.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Po analizie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. arch. kraj. Eweliny Pochodyły-Duckiej z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie stwierdzam, że pozytywnie oceniam podjęcie badań nad problematyką zastosowania błękitno-zielonej infrastruktury, która winna stanowić ważne narzędzie w zarządzaniu wodami opadowymi na obszarach miejskich, ograniczając negatywne konsekwencje urbanizacji, przeprowadzony przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie poruszanej tematyki, jak i zrealizowaną część analityczną wraz z wnioskami. Uważam, że niniejsza rozprawa doktorska spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich, tj. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zawarte w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.). W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.



Wrocław, 19.08.2024 r.

miejsowość i data