

Michał FEDORCZYK
Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
e-mail: m.fedorczyk3@uw.edu.pl

Prace i Studia Geograficzne
ISSN: 0208–4589; ISSN (*online*): 2543–7313
2025, t. 70.2, s. 25–54
DOI: 10.48128/pisg-2025-70.2-02

**WPŁYW KOMPOZYCJI I KONFIGURACJI KRAJOBRAZU
NA PARAMETRY FIZYCZNO-CHEMICZNE WÓD POWIERZCHNIOWYCH
– PRZEGLĄD NAJNOWSZYCH BADAŃ**

**The influence of landscape composition and configuration
on physicochemical parameters of surface water – a review of the latest research**

Abstract: The paper reviews research on the relationships between landscape composition and configuration – quantified using landscape metrics – and surface water quality. Using the Scopus database and keywords such as “water,” “quality,” “landscape,” and “metrics,” studies from 2017 to May 2022 were analyzed for their study areas, methodologies, and findings. Most studies focused on geomorphologically diverse watersheds, with over half conducted in China. Researchers typically examined 2–5 water quality parameters, with nitrogen and phosphorus compounds included in nearly all studies. High-resolution spatial data, primarily covering entire catchments and/or buffer zones, were used to calculate 6–10 landscape metrics. Findings indicate that forested catchments with less fragmented forests and significant areas of aggregated meadows are less prone to water quality degradation. Conversely, an increase in the proportion, density, and aggregation of arable land, as well as the expansion of built-up areas, contributes to water quality deterioration.

Key words: landscape metrics, land use, landscape composition, landscape configuration, water quality, review, landscape ecology

Wpłynęło: 15.11.2024

Zaakceptowano: 19.05.2025

Zalecany sposób cytowania / Cite as: Fedorczyk M., 2025, Wpływ kompozycji i konfiguracji krajobrazu na parametry fizyczno-chemiczne wód powierzchniowych – przegląd najnowszych badań, *Prace i Studia Geograficzne*, 70.2, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 25–54, DOI: 10.48128/pisg-2025-70.2-02.

© Copyright by Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego & Autorzy

Czasopismo otrzymało dofinansowanie w ramach programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza



Artykuł opublikowany przez SCIENDO i objęty licencją Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

WPROWADZENIE

W ekologii i geochemii krajobrazu szczególne miejsce zajmują krajobrazy superakwalne (np. doliny rzeczne) i subakwalne (koryta rzek i misy jezior) – odznaczają się bowiem dużą dynamiką i natężeniem procesów geochemicznych zachodzących w zlewni. W wodach powierzchniowych można zaobserwować skutki antropogenicznych modyfikacji cykli geochemicznych. Od kilku stuleci to właśnie działają

ność człowieka stanowi jeden z głównych czynników odpowiedzialnych za zmiany krajobrazu. Wprowadzanie zanieczyszczeń polega m.in. na nawożeniu pól uprawnych, a zmiany pokrycia terenu (wylesianie, uszczelnianie) ograniczają możliwości redukcji takich zanieczyszczeń obszarowych. Przekształcenia pokrycia terenu uważane są za istotny czynnik obserwowanego w skali globalnej zaburzenia cyklu hydrologicznego i cykli pierwiastków, takich jak azot (Scanlon i in. 2007). Zmiany hydromorfologiczne zachodzące w rzekach i jeziorach często prowadzą do degradacji ich naturalnych stref brzegowych, co sprzyja intensyfikacji procesów eutrofizacji (Kutyła i in. 2025), co w efekcie ogranicza dostępność zasobów wysokiej jakości wody dla ludzi. Dowiedziono, że zmiany w użytkowaniu terenu zlewni mają istotny wpływ na funkcjonowanie organizmów wodnych (np. makrofitów) (Akasaka i in. 2010; Grzybowski i in. 2023), które w świetle Ramowej Dyrektywy Wodnej¹ są wiodącymi wskaźnikami stanu ekologicznego wód. W Polsce jedynie 5,7% wód rzecznych i zbiornikowych oraz 12,5% wód jeziornych objętych monitoringiem wykazuje stan ekologiczny dobry lub bardzo dobry (*Stan środowiska...* 2022). Poza lokalnymi i regionalnymi skutkami przekształcenia zlewni i koryt rzek oraz stref nadbrzeżnych jezior (powodującymi większą podatność na degradację i powodzie błyskawiczne), ich efekty widoczne są w wodach morskich. Nadmiernie przeżyźnione (związkami azotu i fosforu) wody powierzchniowe, w których obserwuje się hipoksję bądź anoksję i krytyczny spadek bioróżnorodności, nazywane są martwymi strefami i należą do nich również fragmenty Morza Bałtyckiego (Canfield i in. 2010).

Postępująca degradacja jakości wody skłoniła badaczy do szukania jej przyczyn i dalej – określenia optymalnego zagospodarowania terenu, które miałyby służyć ograniczeniu negatywnego wpływu człowieka na krajobraz, a w konsekwencji na stan ekologiczny wód. Znaczna część tego typu badań wodno-krajobrazowych opiera się na mozaikowym modelu krajobrazu, w którym poszczególne wydzielienia odpowiadają formom pokrycia terenu. W ostatnich dziesięcioleciach, przy wsparciu technologii GIS (ang. *Geographic Information System*), model mozaikowy wykorzystuje się z powodzeniem jako materiał podstawowy w analizie struktury krajobrazu, charakteryzowanej przez dwie grupy wskaźników: kompozycji i konfiguracji (Richling, Solon 2011). Kompozycja krajobrazu to liczba i różnorodność typów pokrycia terenu, konfiguracja zaś określa układ przestrzenny płatów poszczególnych kategorii (Roo-Zielińska i in. 2007; Fahrig i in. 2011). Zobiektywizowaniu tych cech krajobrazu służą wskaźniki, zwane metrykami krajobrazowymi (Richling 2014) – wykorzystuje się je do kwantyfikacji wzorców przestrzennych i czasowych struktury krajobrazu oraz do wyjaśniania procesów ekologicznych, poprzez nadanie im interpretacji funkcjonalnej lub przyczynowo-skutkowej (Richling, Solon 2011; Turner i in. 2015). A. Richling i J. Solon (2011) zidentyfikowali pięć głównych grup zastosowania metryk; wśród nich wyróżnić można dwie, odnoszące się do badań wodno-krajobrazowych: 1) pośrednia ocena jakości zlewni, zanieczyszczenia wód i integralności biologicznej oraz 2) przemieszczanie się substancji i produktywność krajobrazu.

Pierwsza metryka krajobrazowa powstała już w latach 70. XX wieku (Patton 1975), jednak metryki jako narzędzia do „pomiaru” krajobrazu w pełni wyłoniły się w latach 80. XX wieku wraz z wyodrębnieniem się osobnej nauki, ekologii krajobrazu (Frazier, Kedron 2017). Pionierskie zastosowania metryk krajobrazowych do badań nad jakością wody pojawiły się w tej samej dekadzie, np. L.L. Osborne i M.J. Wiley (1988) wykazali, że ilość obszarów zabudowanych oraz ich odległość od cieku były istotnymi predyktorami stężeń azotu i fosforu. Przeglądu badań z tego zakresu z pierwszych dwóch dekad – wraz ze wzbogaceniem w prace starsze, np. L.B. Leopold (1968) – dokonali S.E. Gergel i in. (2002). Dotychczas jednym z najistotniejszych głosów w rozwoju badań nad wykorzystaniem metryk krajobrazowych był zespół estońskich badaczy, który opublikował m.in. artykuły przeglądowe dotyczące wykorzystania metryk w badaniach krajobrazowych (Uuemaa i in. 2009; Uuemaa i in. 2013), jak i prace z wykorzystaniem metryk w praktyce badawczej (Uuemaa i in. 2007), w tym badanie dotyczące zależności funkcji wyjaśniającej metryk od skali zastosowanych danych przestrzennych (Uuemaa i in. 2005).

¹ Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U.UE.L.2000.327.1).

Jak dotąd powstała znaczna liczba badań identyfikujących związki pokrycia terenu i jakości wody, a ostatnie prace naukowe z tego zakresu pokryły niemal wszystkie kontynenty (Giri, Qui 2016). W związku z tym literatura obfituje w zróżnicowane konteksty środowiskowe. Wśród polskich badaczy ten nurt ekologii krajobrazu nie jest popularny, a jeśli pojedyncze prace do niego nawiązują, to w zakresie podstawowym, np. z wykorzystaniem metryki PLAND (udział procentowy danej formy pokrycia terenu w zlewni) (Łaszewski i in. 2021). W literaturze międzynarodowej można obserwować zaś swego rodzaju „klęskę urodzaju” – mnogość artykułów o podobnym profilu, które jednocześnie powielają wcześniej opracowane schematy i prowadzą do tych samych wniosków, a nierzadko też wyprowadzają zupełnie przeciwne konkluzje. Istnieje więc silna potrzeba przeglądu przynajmniej wycinka omawianego pola badawczego i wstępnej syntezy najnowszych osiągnięć.

W związku z powyższym niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie najnowszych wyników badań nad wpływem kompozycji i konfiguracji krajobrazu na wybrane parametry jakości wód powierzchniowych z wykorzystaniem metryk krajobrazowych. Praca stanowi odpowiedź na brak przeglądu tego zagadnienia w polskiej literaturze.

METODY PRZEGLĄDU

Przeglądu literatury dotyczącej wpływu kompozycji i konfiguracji krajobrazu na jakość wód powierzchniowych, opisaną wskaźnikami fizyczno-chemicznymi, dokonano na podstawie bazy danych Scopus, prowadzonej przez wydawnictwo Elsevier. Przegląd został oparty na czterech słowach: *water*, *quality*, *landscape* i *metrics*, które miały być zawarte w tytule i/lub abstrakcie pracy i/lub słowach kluczowych. Ponadto wyszukiwania zawężono czasowo, wybrano prace z lat 2017–2022 (do końca maja 2022 r.). Zastosowanie powyższych filtrów skutkowało wyszukaniem 433 prac naukowych. Wszystkie prace w formie abstraktów lub manuskryptów zostały wstępnie przeanalizowane i ostatecznie wybrano 71 prac, które wpisały się w badania ekologiczno-krajobrazowe nad jakością wód z zastosowaniem metryk krajobrazowych. Spośród 71 prac uzyskano dostęp do 48 artykułów w postaci pełnych manuskryptów w języku angielskim, pozostałe prace przestudiowano na podstawie abstraktów. W kwerendzie pominięto badania, w których metryki służyły do ogólnej oceny struktury krajobrazu, migracji zwierząt itp. oraz takich, w których jakość wód powierzchniowych była aspektem wyraźnie pobocznym. W wybranych pracach jakość wody dotyczy zarówno rzek (np. Billmire, Koziol 2018; Mwaijengo i in. 2020; Zhang i in. 2022), jak i jezior (np. Dugan i in. 2017; Ding i in. 2019), w jednym zaś przypadku, w pracy A.T. Herlihy i in. (2019) – mokradeł.

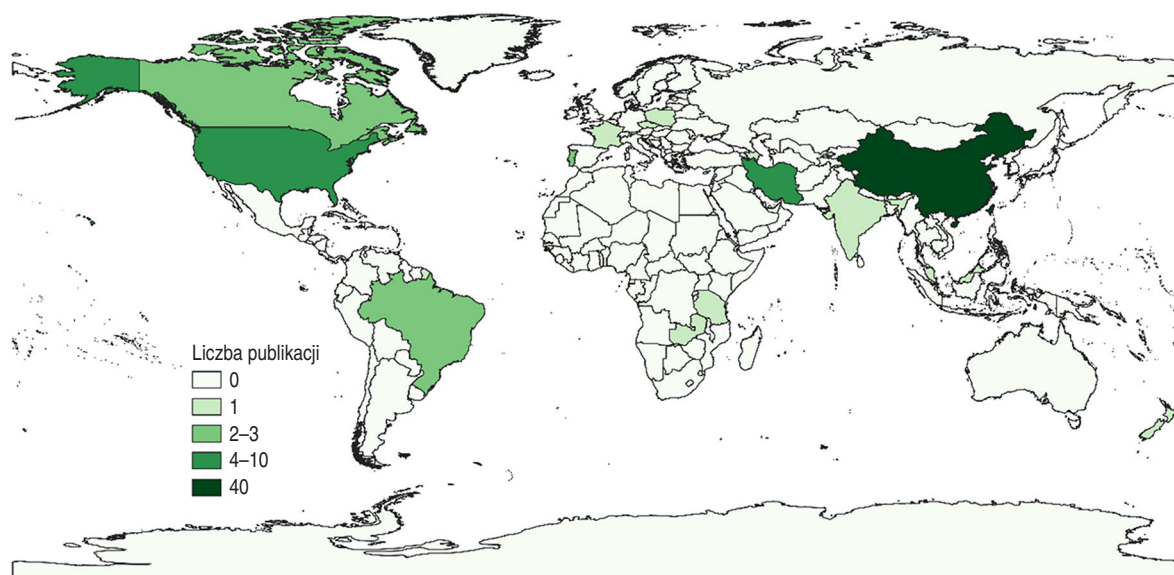
Należy nadmienić, że korzystanie z jednej bazy danych uniemożliwia zawarcie w przeglądzie wszystkich prac z tego zakresu powstałych w określonym czasie, chociażby artykułów napisanych w języku polskim i przez to nieindeksowanych w bazie Scopus. Wybrany okres przeglądu literatury pozwala na dostrzeżenie ostatnich tendencji w tego typu badaniach publikowanych w międzynarodowych czasopismach, omówienie wcześniejszych dokonań w tym zakresie znajduje się w pracach S.E. Gergel i in. (2002) oraz S. Giri i Z. Qui (2016).

WYNIKI PRZEGLĄDU

Geografia badań

Badania wodno-krajobrazowe z wykorzystaniem metryk krajobrazowych w ciągu ostatnich kilku lat zdają się być domeną autorów z Chin – ponad 50% artykułów powstało na podstawie badań

przeprowadzonych w Chinach (ryc. 1), przy czym są takie obszary, które wielokrotnie były reprezentowane w badaniach, np. zlewnia jeziora Taihu w pracach G.Y. Li i in. (2021), Y. Wang i in. (2022a) oraz Y. Wang i in. (2022b). W geografii badań wyraźnie zaznaczają się też Stany Zjednoczone Ameryki (m.in. Shi i in. 2017; Walters i in. 2018) oraz Iran (m.in. Mirzaei i in. 2020). W analizowanym okresie w bazie Scopus indeksowany był tylko jeden artykuł, który powstał na podstawie badań przeprowadzonych w Polsce (Łaszewski i in. 2021); jest to zarazem jedna z dwóch prac, w których badania były zlokalizowane wyłącznie na nizinach (Li i in. 2019; Łaszewski i in. 2021). Zwykle zlewnie wybierane do pomiarów charakteryzowała bardzo zróżnicowana rzeźba terenu (nieco ponad 70% wszystkich prac), co w niektórych przypadkach oznaczało, że w obrębie pojedynczych zlewni rozciągały się zarówno góry, wyżyny, jak i obszary równinne (np. Rajaei i in. 2017; Xue i in. 2022).



Ryc. 1. Liczba publikacji wykorzystanych w przeglądzie (71) w podziale na państwa

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 1. Number of publications used in the review (71) by country

Source: own elaboration.

Dane badawcze

Parametry opisujące jakość wody

Prace reprezentują szeroką gamę wykorzystanych parametrów jakości wody (tab. 1). Dobierano od jednego do ponad 20 parametrów, najczęściej jednak w badaniach wykorzystywano od dwóch do pięciu, przy czym w niemal wszystkich pracach pojawił się przynajmniej jeden parametr opierający się na wybranym związku azotu bądź fosforu. Wybór tych związków wiąże się z ich istotnym znaczeniem dla ekosystemów wodnych, gdyż limitują produkcję pierwotną, a ich nagromadzenie wzmacnia procesy eutrofizacyjne (Pokojska, Bednarek 2012). Są to też związki, które są nierozdzielnie związane z rozwojem szaty roślinnej i jej antropogenicznymi przekształceniami. Azot najczęściej reprezentowany był przez parametry takie jak azot całkowity i azotany; w pojedynczych opracowaniach wykorzystano izotopy azotu (tab. 2).

Dane o jakości wody wykorzystane w ponad 60% artykułów pozyskiwane były w trakcie prac terenowych i laboratoryjnych zaprojektowanych pod kątem prowadzonych badań (np. Schmidt i in. 2019; Hu i in. 2019), pozostałe zaś oparto na danych z monitoringu (np. Peng, Li 2021; Chiang i in. 2021).

Tabela 1. Zróżnicowanie parametrów jakości wody wykorzystanych w analizowanych pracach**Table 1.** Differentiation of the nitrogen's water quality parameters used in analysed papers

Parametr jakości wody <i>Water quality parameters</i>	Liczba publikacji <i>Number of papers</i>	Przykład publikacji <i>Example of a paper</i>
związki azotu	53	Jia i in. 2021
związki fosforu	46	Chang i in. 2021
chemiczne zapotrzebowanie tlenu (COD/ChZT)	22	Peng, Li 2021
rozpuszczony tlen (DO)	22	Staponites i in. 2019
pH	17	Winton i in. 2021
mineralizacja/przewodnictwo	15	Mirzaei i in. 2020
zawiesina (TSS)	13	de Mello i in. 2018
związki siarki	10	Mirhosseini i in. 2018
chlor	9	Dugan i in. 2017
biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BOD/BZT)	9	Zhang i in. 2022
wapń	8	Aalipour i in. 2022
magnez	7	Mirzaei i in. 2021
sód	7	Fernandes i in. 2019
rozpuszczone związki (TDS)	7	Bhat i in. 2021
potas	6	Xu i in. 2020
węgiel	6	Schmidt i in. 2019
bakterie coli	6	Wang R. i in. 2021
metale ciężkie	5	Mohammadi i in. 2022
chlorofil	5	Li G.Y. i in. 2020
pozostałe (np. antybiotyki)	23	Li M. i in. 2020

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Tabela 2. Zróżnicowanie form azotu w analizowanych pracach**Table 2.** Differentiation of the water quality parameters in analysed papers

Formy azotu <i>Nitrogen forms</i>	Liczba publikacji <i>Number of papers</i>	Przykłady publikacji <i>Example of a paper</i>
azot całkowity (TN)	23	Ma i in. 2021
NO ₃ ⁻	24	Wu i in. 2021
NH ₃	16	Zhang i in. 2018b
NH ₄ ⁺	11	Li i in. 2018
NO ₂ ⁻	6	Bhat i in. 2021
izotopy azotu	4	Liu i in. 2018
całkowity azot rozpuszczony (TDN)	1	Delesantro i in. 2021

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

W 1/3 prac pomiary zamknięte były w ciągu roku kalendarzowego, co nie zawsze oznacza regularne prowadzenie pomiarów – w siedmiu pracach próbki pobrano tylko raz (np. Yan i in. 2021). Najwięcej

badani trwało do czterech lat kalendarzowych (np. Wu, Lu, 2021; Aalipour i in. 2022), najmniej zaś było prac trwających ponad dekadę; najdłuższy okres badawczy to 30 lat w pracy A.C.P. Fernandes i in. (2021). W połowie artykułów liczba punktów pomiarowych/zlewni nie przekraczała 20 – wśród nich są również takie, które bazują na danych pozyskanych z dwóch zlewni/punktów pomiarowych (de Mello i in. 2022). Na tym tle wyróżniają się badania oparte na kilkudziesięciu (np. Zhang i in. 2018b; Bright, Mager 2020), a nawet kilkuset punktach pomiarowych (Herlihy i in. 2019).

Dane przestrzenne i metryki krajobrazowe

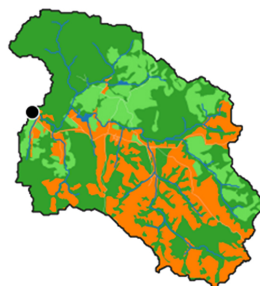
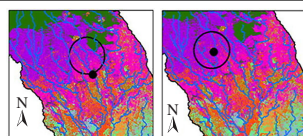
Dane o pokryciu terenu wykorzystane do obliczenia metryk krajobrazowych najczęściej charakteryzowała rozdzielczość 30 m (m.in. Walters i in. 2018; Zhang W. i in. 2018; Mwaijengo i in. 2020). Były to zarówno gotowe zestawy danych pozyskane z różnego rodzaju instytucji (np. Ding i in. 2019), jak i dane będące efektem klasyfikacji zdjęć satelitarnych dokonanej na potrzeby badań (np. Li i in. 2019). W jednej z analizowanych publikacji, M. Łaszewskiego i in. (2021), celem było porównanie możliwości wyjaśniających metryk w zależności od rozdzielczości danych przestrzennych – wykorzystano więc dwa powszechnie dostępne, jednak ograniczone zasięgiem do Europy, zestawy danych: CLC 2018 o rozdzielczości 100 m i S2GLC o rozdzielczości 10 m. Dwie prace – X. Hu i in. (2019) oraz W. Li i in. (2021) – oparto na danych przestrzennych, których rozdzielczość wynosiła 1 km.

Użytkowanie terenu może być rozpatrywane w odniesieniu do całej zlewni, a także do kilku innych zakresów przestrzennych (w literaturze anglojęzycznej określanych jako *spatial scales*) (tab. 3) opracowywanych w różnych wariantach wielkościowych. Najczęściej wykorzystywanym zakresem przestrzennym były zlewnie, a także strefy buforowe o szerokości od 30 m (np. de Mello i in. 2022) do 5 km (Li K. i in. 2020b). Najczęściej dobierano strefy 100, 500- i 1000-metrowe. W co trzeciej pracy zdecydowano się na wykorzystanie dwóch lub trzech zakresów przestrzennych – autorom tych prac przyświecał cel określenia zakresu przestrzennego, w którym zagospodarowanie odgrywa największą rolę w kształtowaniu cech fizyczno-chemicznych wód powierzchniowych (np. Peng, Li 2021; Bhat i in. 2021).

Spośród analizowanych prac jedynie w przypadku 48 była możliwość ustalenia pełnej listy wykorzystanych do analiz przestrzennych metryk krajobrazowych. Zwykle autorzy decydowali się na zastosowanie od 6 do 10 metryk krajobrazowych (łącznie 21 prac) (m.in. Nafi' Shehab i in. 2021; Mohammadi i in. 2022). Aż 7 prac bazowało na tylko jednej metryce krajobrazowej (np. Mwaijengo i in. 2020; Bright, Mager 2020). Istnieją też odosobnione przypadki prac badawczych, których autorzy wyselekcjonowali aż 18, 21, 23, a nawet 38 metryk (np. Mirzaei i in. 2020; Meng i in. 2021). Należy poddać pod wątpliwość sensowność takiego zabiegu, ponieważ tak duża liczba metryk w zestawie gwarantuje powtarzanie tej samej informacji o krajobrazie przez co najmniej kilka metryk (Pietrzak 2007). Ponadto ilość danych generowana w wyniku analiz przestrzennych oraz ewentualnych czynności statystycznych utrudnia interpretację wyników.

Różnorodność metryk wykorzystywanych w ciągu analizowanego okresu (2017–2022) jest imponująca. Autor niniejszego artykułu zebrał metryki w kategorii (zał. 1): metryki powierzchni i krańdździ, kształtu, agregacji (w tym dyspersji i interspersji, podziału i izolacji), metryki różnorodności, a ponadto – na potrzeby tego opracowania – wydzielono kategorie metryk: złożonych, obiektów liniowych oraz niekwalifikujących się do żadnej z grup. Metryki złożone to takie, w których integrowano pokrycie terenu z innymi aspektami struktury lub funkcjonowania krajobrazu. Zwykle tego typu metryki łączyły w sobie pokrycie terenu i cechy topograficzne zlewni. W załączniku 1. uwzględniono oryginalne, angielskie nazwy metryk, polskie nazwy oraz ich oznaczenia skrótowe. Ponadto przy każdej metryce zaznaczono, w jakich skalach przestrzennych mogą być zastosowane: płat (pojedyncze wydzielenie pokrycia terenu, np. zadrzewienie), klasa (wszystkie płaty należące do danej klasy, np. lasu) i krajobraz (wszystkie płaty i wszystkie klasy występujące na danym obszarze). Metryki krajobrazowe najpowszechniej reprezentowane były przez PLAND – metrykę określającą udział procentowy danej kategorii pokrycia terenu w określonym zakresie przestrzennym. Metryka ta pojawiła

Tabela 3. Zakresy przestrzenne wykorzystane w analizowanych pracach**Table 3.** Spatial scales used in analysed papers

Zakres przestrzenny <i>Spatial scale</i>			Liczba publikacji <i>Number of papers</i>	Przykład publikacji <i>Example of a paper</i>	Rycina <i>Figure</i>
zlewnia			34	Bright, Mager 2020	 da Silva Almeda i in. 2022
podzlewnia			20	Gu i in. 2019	
strefy buforowe, w tym strefy buforowe skrótowe (o zadanej długości mniejszej niż długość cieków)	ogółem		27		 da Silva Almeida i in. 2022
	liczba stref	1	6	Schmidt i in. 2019	
		2–5	11	Ding i in. 2019	
		6–8	4	Dugan i in. 2017	
okrąg ograniczony zlewnią (<i>reach buffer</i>)			1	Bhat i in. 2021	 da Silva Almeida i in. 2022
okrąg			5	Xu i in. 2019	 Mwajiengo i in. 2020

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

się w aż 33 pracach, a cztery prace oparto tylko na tej metryce. Jest to najczęściej wybierana metryka kompozycji krajobrazu, która jednak zwykle uzupełniana jest metrykami konfiguracji krajobrazu.

Statystyczne metody wiązania metryk krajobrazowych i jakości wody

Uzyskane wyniki dotyczące jakości wody oraz będące efektem analiz przestrzennych wiążano przy pomocy różnych metod statystycznych (identyfikacji metod dokonano w przypadku 65 prac). Ponad połowa prac bazowała na jednej metodzie, pozostałe reprezentowały podejście wielowymiarowe (*multivariate approach*), czyli wykorzystano dwie lub więcej metod. Najczęściej wybierano metodę redundancji (*redundancy analysis*, RDA), która pojawiła się w 22 artykułach (m.in.: Yan i in. 2021; Bhat i in. 2021; Shu i in. 2022). Metoda redundancji jest przekształconą formą analizy głównych składowych (PCA) i jej celem jest redukcja danych wielowymiarowych poprzez wprowadzenie mniejszej liczby zmiennych (Misztal 2018). Ta metoda bardzo często wykorzystywana jest w badaniach przyrodniczych. Nieco mniej popularna (15 prac) okazała się metoda zwana *stepwise multiple linear regression* (m.in.: Li K. i in. 2018; Xu i in. 2020), stosowana w przypadku zbioru danych składających się z jednej zmiennej zależnej i dwóch lub więcej zmiennych niezależnych. W tej metodzie regresja przeprowadzana jest wielokrotnie, za każdym razem skutkując usunięciem najslabiej skorelowanych zmiennych (Ghani, Ahmad 2010; www.geog.leeds.ac.uk). Nierzadko wykorzystywano też metody statystyczne, jak analiza korelacji Pearsona (m.in. Staponites i in. 2019) i analiza korelacji Spearmana (m.in. Fernandes i in. 2020) (8 i 9 prac). Tę drugą stosuje się w przypadku danych nieparametrycznych nieposiadających rozkładu normalnego (Jóźwiak, Podgórski 1995).

DYSKUSJA I WNIOSKI

Większość badań z tego nurtu ekologii krajobrazu i hydrologii skupiała się na czterech głównych formach/grupach form użytkowania terenu: terenach rolniczych, najczęściej rozumianych jako grunty orne, obszarach zabudowanych lub szerzej – przekształconych przez człowieka (ale zwykle nie w sposób rolniczy), lasach oraz łąkach. Spośród czterech wymienionych ostatnią kategorię brano pod uwagę najrzadziej. W nielicznych pracach wydzielano mokradła. Badania potwierdzają to, co dowiedziono i opisano jeszcze w czasach „przedgisowych”: obszary o dużej gęstości roślinności, takie jak lasy i łąki, funkcjonują w krajobrazie jako *sink landscapes*, pochłaniając głównie związki biogenne, jak azot i fosfor (Li i in. 2020b). Grunty orne i obszary zabudowane działają zaś na zasadzie *source landscapes*, uwalniając ładunki biogenów oraz metali ciężkich do krajobrazu (Winton i in. 2021; Shu i in. 2022). Należy podkreślić, że nie zawsze i nie w przypadku każdego parametru jakości wody jest to prawdziwe stwierdzenie, ponieważ z ekosystemów leśnych, łąkowych, a szczególnie z mokradłowych, uwalniane są związki organiczne. Krajobrazy te mogą przekształcić się w *source landscapes* przykładowo w okresach chłodnych, gdy procesy przekształcania substancji organicznych w mineralne i bioakumulacja są ograniczone (Górniak, Kajak 2020; Wang Y. i in. 2021).

Dzięki pracom bazującym na metrykach krajobrazowych możliwe jest określenie, jaki udział powyższych form użytkowania terenu oraz jakie ich ułożenie może być najkorzystniejsze w kontekście jakości wód powierzchniowych i optymalne dla realizacji zasad zrównoważonego rozwoju. Ta część wniosków z badań jest z kolei bardziej zróżnicowana. Wynika to z różnorodności i liczby wykorzystywanych metryk oraz konfiguracji pozostałych warunków środowiskowych (np. rzeźba, pokrywa glebowa).

Metryki gruntów ornych a jakość wód

Poza jednym przypadkiem (Li K. i in. 2020a) obecność gruntów ornych istotnie statystycznie wiązała się z pogorszeniem jakości wody, np. wzrostem stężeń związków azotu, fosforu czy metali ciężkich (m.in.: Meng i in. 2021; Łaszewski i in. 2021; Mohammadi i in. 2022; Wang i in. 2022b), w tym z większą zmiennością czasową parametrów jakości wody (np. de Mello i in. 2018). Z analizy wyników wybranych prac wynika, że mniej podatne na niekorzystne zmiany chemiczne wody są te

zlewnie, które nie są zdominowane przez duże płaty pól uprawnych (np. Hu i in., 2019; Li W. i in. 2021; Wang i in. 2022b), sumarycznie nie zajmują one dużych powierzchni (np. Fernandes i in. 2021) oraz nie są zagęszczone (m.in. Zhang i in. 2020; Nafi'Shehab i in. 2021; Li W. i in. 2021). Ponadto zaleca się, aby płaty pól charakteryzowały się niskim poziomem agregacji (wyrażonym np. przez wskaźnik kohezji i koherencji) (np. Meng i in. 2021; Aalipour i in. 2022) i niskim stopniem połączeń (np. Hu i in. 2019). W przypadku agregacji, X. Li i in. (2019) uznali, że korzystniejsze są pola zagregowane.

Brak jest jednoznacznych wniosków dotyczących kształtu płatów gruntów ornych – niekiedy zaleca się zwiększenie złożoności kształtów (Meng i in. 2021), a także odwrotnie – mniej złożone kształty (cecha opisana przy pomocy Landscape Shape Index i Fractal Dimension Index) pól uprawnych są korzystniejsze dla jakości wód (Mirzaei i in. 2020; Li W. i in. 2021). Może to wynikać z różnic w sąsiedztwie płatów gruntów ornych – te mogą być otoczone przez obszary zabudowane, które sprzyjają dalszemu rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń lub przez ekosystemy leśne bądź łąkowe, które mogą „wylapywać” zanieczyszczenia obszarowe. Taki związek zauważyli Fernandes i in. (2021) – im więcej granic obszarów rolnych pokrywa się z granicami obszarów sztucznych (tj. zabudowanych), tym jakość wody jest gorsza. R.S. Winton i in. (2021) zaznaczają, że istotne w zarządzaniu zlewnią jest również zmniejszenie intensywności rolnictwa na istniejących gruntach ornych.

Metryki obszarów zabudowanych a jakość wód

Obecność osiedli ludzkich również sprzyja wzrostowi stężeń związków azotu, fosforu, metali ciężkich, a także chloru (m.in.: Dugan i in. 2017; de Mello i in. 2018; Wang Y. i in. 2021; Mohammadi i in. 2022). W celu poprawy jakości wody obszary zabudowane powinny zajmować możliwie najmniejszą powierzchnię (np. Hu i in. 2019; Li W. i in. 2021). W odniesieniu do konfiguracji płatów zabudowy trudno wskazać jednoznaczny kierunek zagospodarowania, ponieważ wnioski z różnych badań są sprzeczne zarówno w kwestii poziomu fragmentacji, zagęszczenia, jak i kształtu. W większości prac zaznacza się jednak, że mniejsza gęstość płatów zabudowy (np. Li K. i in. 2020b; Nafi'Shehab i in. 2021; Li W. i in. 2021) i mniejsza złożoność kształtów (np. Li i in. 2019; Li W. i in. 2021; Winton i in. 2021) tych płatów sprzyjają poprawie jakości wody. Brak zgodności wniosków z analizowanych prac wynika prawdopodobnie z różnorodności kategorii obszarów zabudowanych (nazywanych *urban areas* lub *developed areas*) – mogą to być zarówno gęsto zaludnione centra miast, jak i obszary podmiejskie o mniejszej intensywności użytkowania czy obszary wiejskie. J. Liu i in. (2018) podkreślają, że istotne w kontekście tej kategorii są chociażby ścieki, czyli punktowe zanieczyszczenia. Mogą one w znacznym stopniu niwelować wpływ cech takich jak kształt oraz zwarcie obszarów zabudowanych oraz zmniejszać wpływ użytkowania terenu zlewni na jakość jej wód (Lewandowska-Robak i in. 2011).

Metryki lasów a jakość wód

W przypadku lasów, ekosystemów działających pozytywnie na jakość wód (m.in.: de Mello i in. 2018; Łaszewski i in. 2021), zauważalna jest większa zgodność wniosków płynących z badań. Najkorzystniejszymi warunkami fizyczno-chemicznymi wód powierzchniowych charakteryzują się zlewnie leśne (m.in.: Li K. i in. 2020a; Wu i in. 2021; Fernandes i in. 2021; Aalipour i in. 2022), z wysokim wskaźnikiem PLAND (np. Li W. i in. 2021) i LPI (np. Rajaei i in. 2017), w których powierzchnie lasów nie są pofragmentowane (np. Xu i in. 2019a; Nafi'Shehab i in. 2021; de Mello i in. 2022) oraz są dobrze połączone (np. Yan i in. 2021). Konfiguracja jest korzystna, gdy gęstość płatów lasów (np. Li K. i in. 2020a; Li K. i in. 2020b) i ich krawędzi (np. Clément i in. 2017; Rajaei i in. 2017; Wang i in. 2022b), szczególnie granic las-grunty orne (Fernandes i in. 2021), jest wysoka. W tym kontekście istotne jest spostrzeżenie Liu i in. (2018), według którego korzystne jest łączenie lasów z różnymi formami użytkowania terenu. Podobnie jak w przypadku innych form użytkowania terenu brak jest pełnej zgody co do odpowiedniego kształtu płatów leśnych – według F. Clément i in. (2017) oraz Li

i in. (2019) płaty leśne powinny mieć jak najbardziej złożone kształty, według C. Meng i in. (2021) powinny być jak najprostsze.

Autorzy niektórych prac poszli dalej, mianowicie w kierunku określenia konkretnych wartości wskaźników dotyczących lasów, które w sposób efektywny poprawiłyby jakość wód: J. Wu i J. Lu (2021) sugerują, aby w strefach buforowych utrzymać lasy w konfiguracji odpowiadającej mniej niż 5,5 wartości wskaźnika Landscape Shape Index (zmierzanie w kierunku prostszych kształtów), Clément i in. (2017) zaś wskazują, że zlewnie zalesione przynajmniej w 47% i takie, w których krawędzie lasów i mokradeł są zagęszczone na poziomie minimum 36 m/ha (szczególnie w pobliżu cieków wodnych), charakteryzują się dobrą jakością wód powierzchniowych. Są to wartości optymalne lub zbliżone do optymalnych dla konkretnych kontekstów środowiskowych, nie mają wymiaru uniwersalnego, ale mogą stanowić przykład dobrej praktyki zarządzania zlewnią.

Metryki łąk a jakość wód

Łąki mogą mieć istotny statystycznie wpływ na poprawę warunków chemicznych w wodach powierzchniowych (np. Yan i in. 2021; Shu i in. 2022) i działać jak lasy (Li K. i in. 2020b). Poprawie jakości wody służy zwiększenie powierzchni łąk (np. Hu i in. 2019; Aalipour i in. 2022) oraz zwiększenie agregacji ich płatów (np. Hu i in. 2019). Są również prace, w których wykazano znikome znaczenie tego typu pokrycia terenu (np. Łaszewski i in. 2021). Wynikać to może z różnic w zarządzaniu użytkami zielonymi: w niektórych regionach i w wybranych okresach w roku mogą być nawożone, co sprzyja pogorszeniu jakości wody (Ryden i in. 1984). Innym czynnikiem może być niedokładna klasyfikacja łąk w zestawie danych przestrzennych, jak w przypadku danych S2GLC (Łaszewski i in. 2021).

Metryki różnorodności a jakość wód

Niektóre z analiz odnosiły się do poziomu krajobrazu, a dokładnie różnorodności typów użytkowania terenu w danym zakresie przestrzennym. Wnioski z większości badań sugerują, że zlewnie o mniejszym zróżnicowaniu krajobrazowym charakteryzują się lepszą jakością wody (m.in.: Clément i in. 2017; Nafi'Shehab i in. 2021; Mohammadi i in. 2022). Jednym ze wskaźników różnorodności jest Shannon Diversity Index – wyższe wartości wskaźnika sugerują większą liczbę form użytkowania terenu o zbliżonych proporcjach. Taka sytuacja uniemożliwia zdominowanie zlewni przez duże płaty lasów i łąk, co rekomendują autorzy badań przedstawionych wyżej. W. Yan i in. (2021) sugerują, że krajobrazy niepofragmentowane promują poprawę jakości wód, Meng i in. (2021) zaś – że złożone kształty, mniejsza dyspersja i niejednorodność płatów służą temu celowi. L.S. Miranda i in. (2022) z kolei wyprowadzają przeciwne wnioskowanie – duża różnorodność płatów i duża ich gęstość to dobry kierunek zagospodarowania przestrzennego.

Skuteczność metryk krajobrazowych jako predyktorów jakości wody

Spośród dwóch głównych grup metryk krajobrazowych najbardziej użyteczne do badania powiązań między jakością wody a użytkowaniem terenu – i dzięki temu prognozowania przyszłych zmian – zdają się być metryki konfiguracji. Na tę grupę wskazano m.in. w pracach Wu i Lu (2019), Z.H. Jia i in. (2021) oraz R. Wang i in. (2021). Grupa tych metryk jest szeroka, spośród wielu jako skuteczne zaś wymieniano chociażby Cohesion Index (np. Xu i in. 2019; Wang R. i in. 2021), Patch Density (np. Yan i in. 2021; Wu i in. 2021) oraz Interspersion i Juxtaposition Index (np. Mirzaei i in. 2021; Chang i in. 2021). Pomimo wielu wniosków sugerujących, że fizyczne rozmieszczenie płatów użytkowania ma większe znaczenie niż ich sama obecność (bez uwzględniania konfiguracji), to PLAND i LPI (metryki kompozycji) były tymi, które wskazywano najczęściej jako przydatne w tego typu badaniach (m.in.: Fernandes i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Wu, Lu 2021; Liu J. i in. 2021a). Na pewno wynika to z częstego wykorzystania tych metryk, szczególnie PLAND, która jest jedną z najprostszych w obliczeniu, nie wymaga bowiem osobnych wtyczek czy programów dedykowanych metrykom krajobrazowym.

Niemożliwe jest wskazanie jednoznacznie jednej metryki lub konkretnego zestawu metryk pasującego do wszystkich konfiguracji środowiska przyrodniczego i założeń badawczych. W niektórych pracach sugerowano, że wybór odpowiedniej metryki jest uzależniony od parametru, np. Billmire i Koziol (2018) sugerują, że do predykcji stężeń P przydatny jest udział (PLAND) obszarów zabudowanych. Jak wspomniano wcześniej – w niektórych badaniach rozszerzano kontekst środowiskowy o dodatkowe cechy zlewni, jak np. rzeźba terenu (np. Clément i in. 2017), poziom wody (np. Xu i in. 2019b) i opady (np. Billmire, Koziol 2018). Jako istotne wskazywano także metryki złożone (np. Kuhn i in. 2018; Staponites i in. 2019) oraz wskaźniki hydrologiczne, jak Topographic Wetness Index (Wu i in. 2021).

Zakresy przestrzenne analiz a jakość wód

Strefy buforowe/nadbrzeżne (*buffer/riparian*) to zakresy przestrzenne, które według wielu badaczy są kluczowe dla kształtowania jakości wody (m.in.: Łaszewski i in. 2021; Wu, Lu 2021; Shu i in. 2022), przy czym najbardziej odpowiednie wydają się być węższe strefy buforowe, jak np. 300-metrowa (m.in: Li K. i in. 2018; Li K. i in. 2020a; Zhang i in. 2020). W niektórych pracach zauważono, że wraz z oddalaniem się od obiektu wodnego, zmniejsza się siła związków użytkowanie terenu–jakość wód. Przykładowo, w pracy S.U. Bhat i in. (2021) siła związków korelacyjnych układała się następująco: okręg ograniczony zlewnią (*reach*) > bufor > zlewnia, w przypadku buforów zaś: 50 m > 100 m > 150 m. Te wyniki podkreślają istotę idei strefy buforowej w ekohydrologii. Według dobrych praktyk gospodarowania terenami przywodnymi należy zachowywać roślinne strefy buforowe (ekotony) bądź wprowadzać nasadzenia roślinności. Ziołorośla, szuwary, wierzbowiska i zadrzewienia stanowią barierę biogeochemiczną między ekosystemami, w której nie tylko roślinność oczyszcza wodę, ale również drobnoustroje odpowiedzialne za proces denitryfikacji, które w takich miejscach znajdują optymalne warunki do życia (Izydorczyk i in. 2015; Zalewski 2020; Pasztaleniec i in. 2021). Pasy naturalnej roślinności, szczególnie zredukowane, mogą być wzbogacane w bariery denitryfikacyjne i bariery biogeochemiczne na bazie wapienia (Izydorczyk i in. 2015).

W wielu pracach zaznaczano, że wskazanie konkretnego zakresu przestrzennego jako najistotniejszego jest zależne od parametru jakości wody (np. Song i in. 2020a), rozpatrywanej formy pokrycia terenu (np. Li K. i in. 2018), długości bufora (np. Li K. i in. 2018) czy konkretnej metryki (np. Gu i in. 2019), a nawet pory roku (np. Shi i in. 2017). Przykładowo, według K. Li i in. (2018) jakość wód w największym stopniu jest zależna od obecności obszarów zabudowanych w węższych strefach buforowych i od lasów rozpatrywanych w szerszych strefach buforowych, przy czym obszary zabudowane były bardziej skorelowane z jakością wody w dłuższych buforach, lasy – odwrotnie.

Warunki klimatyczne a zależności metryki krajobrazowe–jakość wód

Do większej złożoności powyższych związków przyczynia się także klimat, który ma wpływ na rozwój szaty roślinnej oraz na dostępność wody odgrywającej kluczową rolę w obiegu materii w zlewni. G. Xu i in. (2019b) w swojej pracy potwierdzili związek między NDVI i jakością wody a porami roku. W kilku innych pracach na podstawie danych określono też, w której z pór roku (było to głównie rozróżnienie na porę suchą i mokrą lub okres powodziowy i okres bez powodzi) użytkowanie terenu miało największe znaczenie dla chemizmu wód. W pięciu pracach (Liu i in. 2018; Wu, Lu 2019; Xu i in. 2020; Jia i in. 2021; Shu i in. 2022) zaznaczono istotę okresu suchego dla kształtowania jakości wody przez użytkowanie terenu, w jednej zaś – przewagę okresu wilgotnego (Wu, Lu 2021). Nie zabrakło również wniosków, w których nie podano jednoznacznej odpowiedzi. J. Liu i in. (2021b) wykazali, że metryki mogą być przydatne w określonych okresach, np. metryka Interspersion and Juxtaposition obliczona dla łąk była negatywnie skorelowana z zawiesiną materii organicznej w okresie deszczowym, a metryka Landscape Division Index obliczona dla obszarów zabudowanych była negatywnie skorelowana z zawiesiną w okresie suchym. X. Zhang i in. (2021) zauważyli, że lasy

i łąki mogą zmieniać swoje funkcje (z *sink* na *source landscape*) w zależności od pory roku. Wraz ze zmianą pór roku zmienia się chemizm wód: w okresie wilgotnym obserwuje się wyższe stężenia związków azotu i fosforu w wodzie oraz zawiesiny (Shi i in. 2017; Shu i in. 2022), w suchym zaś wyższe wartości BZT5, ChZT i tlenu rozpuszczonego (Shi i in. 2017).

OGRANICZENIA BADAŃ WODNO-KRAJOBRAZOWYCH

Podstawowym ograniczeniem badań wodno-krajobrazowych z wykorzystaniem metryk krajobrazowych jest zawężenie czynników wpływających na jakość wód do jednego głównego – użytkowania terenu. W tego typu badaniach krajobraz najczęściej traktowany jest w wymiarach 2D, tj. jakby był płaski. Takie podejście wydaje się być szczególnie upraszczające w zlewniach o zróżnicowanej rzeźbie i wyżynnych czy górskich, które w analizowanym zbiorze prac są dominujące. Związki chemiczne są w różnym stopniu zależne od pokrycia terenu – duże nagromadzenie związków azotu i fosforu w krajobrazie wiąże się z rolnictwem i osadnictwem, ich redukcja zaś z rozwojem szaty roślinnej, metale ciężkie są najczęściej uruchamiane z obszarów zabudowanych i wykazują dużą odporność na bioakumulację, poza tym są istotnie zależne od budowy geologicznej obszaru. Odpowiedzią na te ograniczenia jest budowanie wskaźników złożonych, które obejmują cechy topograficzne zlewni, ścieżki migracji materii i odległości od krajobrazów podporządkowanych oraz inne aspekty środowiska zlewni, jak pokrywa glebowa, litologia czy klimat.

Mniejsze zainteresowanie polskich naukowców postrzeganiem krajobrazu według modelu mozaikowego jest uzasadnione rozpowszechnieniem w Europie, szczególnie w Europie Środkowej (tzw. szkoła europejska), modelu geokompleksu (Pietrzak 2011). W tym modelu, wykorzystywanym w „geograficznej” ekologii krajobrazu, krajobraz definiowany jest jako „relatywnie zamknięty wycinek przyrody stanowiący całość dzięki zachodzącym w nim procesom i współzależności budujących go komponentów” (Barsch 1979, s. 10). Model „płat-korytarz-tło” lub model mozaikowy (tzw. szkoła amerykańska), najpełniej opisany w podręczniku R.T.T. Formana i M. Godrona (1986) pt. *Landscape Ecology*, wykorzystywany jest z kolei w „ekologicznej” ekologii krajobrazu. R.T.T. Forman (1995; za: Pietrzak 2011, s. 82) podkreśla, że „kompozycja płatów, korytarzy i matrycy, tworzących krajobraz jest główną determinantą potoków funkcjonalnych i migracji poprzez krajobraz oraz zmian jego wzorca i procesów w czasie”. W ten sposób najwyższą rangę wśród komponentów krajobrazu nadaje się roślinności – według koncepcji jej badanie powinno być wystarczające do opisu struktury krajobrazu, jego funkcjonowania i przemian (Pietrzak 2011).

Model mozaikowy jest obecnie powszechnie akceptowany i szeroko wykorzystywany ze względu na dostępność danych o pokryciu terenu i łatwość wdrożenia efektów badań do praktyki planistycznej. Istotny w tym kontekście jest proces klasyfikacji form użytkowania terenu, tj. konkretne kryteria ich wydzielania. Przykładowo, w kategorii las można zawrzeć obszary o dużym zagęszczeniu starych drzew i jednocześnie obszary zadrzewione stosunkowo niedawno (Turner, Gardner 2015). Aby nadać interpretację wynikom potrzebna jest więc informacja o specyfice lasów na danym obszarze czy chociażby o sposobach zarządzania łąkami lub o dominujących uprawach w danym roku. Uproszczenia i brak informacji o kryteriach wyznaczania poszczególnych płatów mogą stanowić istotną barierę w analizach porównawczych prac bazujących na badaniach w różnych częściach świata, a nawet w tych samych biomach.

Ograniczenia mogą być spowodowane jakością samych danych przestrzennych, tj. dotyczących granic zlewni i użytkowania terenu. Przy pomocy oprogramowania GIS można wykonać automatyczną delimitację granic zlewni, jednak analizy terenów antropogenicznie zmienionych (z przekształconą siecią hydrograficzną i rzeźbą terenu) wymagają zaktualizowania i wprowadzenia informacji, np. o sieci drenażu i kanałach odwadniających. W terenach poddawanych dynamicznym zmianom (np.

z powstającymi obiektami takimi jak drogi, nasypy kolejowe) należy rozważyć weryfikację wygenerowanych granic oraz sieci hydrograficznej w terenie (Bielczyńska, Kutyla 2022). Podobnie należy śledzić i weryfikować zmiany zachodzące w użytkowaniu terenu, np. w gospodarowaniu rolniczym (identyfikacja porzuconych gruntów ornych).

Warto również podkreślić pewne trudności, na które można natknąć się w czasie planowania badania, doboru metryk oraz ich dalszej analizy. Nazewnictwo metryk, w tym skróty nazw, mogą wprowadzić w błąd. Bywa bowiem, że jedna metryka występuje w kilku opracowaniach pod różnymi nazwami i odwrotnie – dwie metryki noszą tę samą nazwę. Wzory jednej metryki mogą nieco różnić się w zależności od artykułu, co czasem wynika z błędu autorów w nazwie metryki lub w jej opisie. Wszelkie tego typu nieprawidłowości wynikają z dużej liczby dotychczas opracowanych metryk, podobieństwa wielu z nich i braku źródła, w którym nazwy byłyby ustandaryzowane.

LUKI POZNAWCZE I TENDENCJE

Rozważania dotyczące wpływu kompozycji i konfiguracji krajobrazu na jakość wód z uwzględnieniem wieloaspektowości krajobrazu, traktowanego jako trójwymiarowy wycinek epigeosfery, podejmowane były dotychczas relatywnie rzadko. W większości prac brak jest odniesień do litologii, klimatu, mającego wpływ na depozycję związków chemicznych i ich mobilizację oraz kompleksowo – do topografii. Jest to jedna z największych luk w tego typu badaniach. Jednym z przykładów częściowej próby jej zapalenia jest praca A. Casquina i in. (2021), w której badacze zaprojektowali i wykorzystali nowy złożony wskaźnik Landscape Configuration Index (LCI), który bierze pod uwagę tylko główną formę użytkowania terenu stanowiącą źródła zanieczyszczeń (tereny rolnicze) i określa ich stosunek (odległość) do obiektów wodnych i lokalnych stref wzmożonej migracji materii (*flow accumulation*). Należy zaznaczyć, że pominięcie innych cech zlewni zostało uzasadnione zbliżonymi warunkami klimatycznymi, glebowymi i podobnym sposobem rolniczego gospodarowania we wszystkich badanych zlewniach.

Jedną z cech szczególnych wspomnianego badania jest skupienie się na małych zlewniach elementarnych (od 1 do 14 km²). Nadal jest to rzadkie, ponieważ badania tego typu obiektów wymagają dość szczegółowych danych o pokryciu terenu i najczęściej prowadzenia osobnych pomiarów zorientowanych na konkretne cele. Jest to pole badawcze wciąż nie w pełni zagospodarowane, a zlewnie cieków pierwszego rzędu (w klasyfikacji Strahlera) – według R.B. Alexander'a i in. (2000) oraz B.J. Petersona i in. (2001) – odgrywają kluczową rolę w spirali nutrientów lub – według S.H. Ensigna i M.W. Doyle'a (2006) – mają podobne znaczenie jak rzeki wyższego rzędu.

Włączenie małych zlewni do tego nurtu badań, jak i stworzenie metaanalizy prac wymagają wykorzystania wysokorozdzielczych danych o użytkowaniu terenu, które byłyby darmowe i powszechnie dostępne oraz jednocześnie obejmowałyby cały świat. Obecnie jedynym zestawem, który odpowiada tym kryteriom, jest Esri Land Cover, w którym klasyfikacja pokrycia terenu o rozdzielczości 10 metrów bazuje na danych z Sentinel-2.

Niedostatecznie obecne w badaniach wodno-krajobrazowych są zlewnie nizinne, w których obieg wody i jednocześnie cykle poszczególnych pierwiastków są relatywnie wolniejsze niż w obszarach o zróżnicowanej rzeźbie. Niższy gradient hydrauliczny wpływa na mniejsze znaczenie bliskiego sąsiedztwa cieków – według C. Lei i in. (2021) w zlewniach nizinnych jakość wód zależy od użytkowania terenu rozpatrywanego w większych zakresach przestrzennych. W tego typu zlewniach, oprócz użytkowania terenu, istotne znaczenie mają wypłaszczenia i zagłębienia terenu – są to miejsca, w których woda przebywa dłużej tworząc warunki anaerobowe, co jest jednoznaczne chociażby z denitryfikacją. Taką zależność wykazali J.M. Duncan i in. (2013) – zidentyfikowane na podstawie DEM i monitoringu wilgotności gleby oraz poziomu tlenu obszary wzmożonej (tzw. *hot spots*) denitryfikacji odgrywają

kluczową rolę w budżecie azotowym zlewni leśnych. Pomijanie aspektu topograficznego w badaniach wodno-krajobrazowych, nawet w przypadku zlewni nizinnych, pozbawia badaczy holistycznego spojrzenia na czynniki migracji pierwiastków w zlewni.

WNIOSKI

Analiza porównawcza prac z tego zakresu dostarcza wielu istotnych uogólnień potrzebnych w praktykach zarządzania zlewniami. Mniej narażone na degradację jakości wody są zlewnie leśne, z mało pofragmentowanymi obszarami leśnymi, ze znacznym udziałem zagregowanych płatów łąk. Wzrost udziału płatów gruntów ornych, ich zagęszczenie i agregacja, a także rozrost obszarów zabudowanych sprawia, że presja na wody i ich degradacja jest większa. Wnioski płynące z prac skłaniają do zwrócenia szczególnej uwagi na bliskie sąsiedztwo obiektów wodnych, na strefy buforowe i ekotonowe, które w wielu przypadkach – przy odpowiednim zagospodarowaniu – odgrywają kluczową rolę w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych. Zachowanie tych obszarów w stanie najmniej zmienionym powinno być promowane przez instrumenty prawne. Monitoring takich stref wymaga jednak wysokorozdzielczych danych, do których pozyskiwania wykorzystywać można np. bezzałogowe statki powietrzne.

Nadal jednak pozostaje wiele niewiadomych, niespójności, rozbieżnych wnioskowań i niedopowiedzeń autorów prac. Badacze czasem ulegają pokusie redukcji zmiennych wpływających na jakość wody, a jednocześnie generują wiele danych wynikających z dużej liczby dobranych parametrów jakości wody, metryk krajobrazowych i wariantów zakresów przestrzennych. Kombinacje tych wszystkich parametrów dają potężny zasób informacji, który jednak rzadko bywa odpowiednio skomentowany. Niektóre wątki, pomimo pracy komputerów i ludzi, pozostają jedynie zarysowane i pozostawiają czytelnika bez odpowiedzi na pytania rodzące się w czasie lektury tych prac.

Pomimo pewnego zróżnicowania, prace tego nurtu badań wodno-krajobrazowych są dość homogeniczne i przy tym wtórne. Niewiele jest prac, które z dużego zbioru wyróżniają się jakimś elementem, np. nową metryką krajobrazową (choćby wydaje się, że jak dotąd powstało ich za dużo), rozpatrywanym wskaźnikiem jakości wody czy sposobem postrzegania krajobrazu. Symptomatyczną cechą podejścia części ekologów krajobrazu zajmujących się tym nurtem badań, jest patrzeć na krajobraz w kategoriach użytkowania terenu, z pominięciem innych aspektów jego funkcjonowania. W wyniku przekładania takiego postrzegania krajobrazu na język metod badawczych w niektórych przypadkach niemożliwe jest porównywanie wniosków z prac, gdy podobne kompozycje i konfiguracje krajobrazu nie dają zbliżonych rezultatów w postaci określonego chemizmu wód powierzchniowych. Odpowiedzią na te problemy powinny być ustandaryzowane metryki złożone, w których ważne miejsce zajmuje topografia – ma ona bowiem znaczenie w obiegu materii w zróżnicowanych geomorfologicznie obszarach, jak i na nizinach. Tworzenie i wykorzystanie takich metryk, wspomagane powszechnie dostępnymi, darmowymi i wysokorozdzielczymi danymi o pokryciu terenu, rzeźbie oraz innych cechach krajobrazu, to jeden z kierunków, w którym powinni podążać ekolodzy krajobrazu zainteresowani problematyką wody w krajobrazie.

Literatura

- Aalipour M., Antczak E., Dostál T., Jabbarian Amiri B., 2022, Influences of Landscape Configuration on River Water Quality, *Forests*, 13, 2, 222.
- Akasaka M., Takamura N., Mitsunashi H., Kadono Y., 2010, Effects of land use on aquatic macrophyte richness and water quality of ponds, *Freshwater Biology*, 55, 909–922.
- Alexander R.B., Smith R.A., Schwarz G., 2000, Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico, *Nature*, 403, 758–761.

- Barsch H., 1979, W sprawie pojęć dotyczących powłoki ziemskiej i jej przestrzennego rozczłonkowania w terminologii nauki o krajobrazie, *Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej*, 2, 9–15.
- Bhat S.U., Khanday S.A., Islam S.T., Sabha I., 2021, Understanding the spatiotemporal pollution dynamics of highly fragile montane watersheds of Kashmir Himalaya, India, *Environmental Pollution*, 286, 117335.
- Bielczyńska A., Kutyla S., 2022, Geographic Information Systems (GIS) as Supporting Tools in the Monitoring and Water Management of Lakes in Poland: A Review, *Environmental Protection and Natural Resources*, 33, 1, 1–16.
- Billmire M., Koziol B.W., 2018, Landscape and flow path-based nutrient loading metrics for evaluation of in-stream water quality in Saginaw Bay, Michigan, *Journal of Great Lakes Research*, 44, 5, 1068–1080.
- Bright C.E., Mager S.M., 2020, A national-scale study of spatial variability in the relationship between turbidity and suspended sediment concentration and sediment properties, *River Research and Applications*, 36, 8, 1449–1459.
- Canfield D.E., Glazer A.N., Falkowski P.G., 2010, The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science*, 330, 6001, 192–196.
- Casquin A., Dupas R., Gu S., Couic E., Gruau G., Durand P., 2021, The influence of landscape spatial configuration on nitrogen and phosphorus exports in agricultural catchments, *Landscape Ecology*, 36, 12, 3383–3399.
- Chang C.T., Song C.E., Lee L.C., Chan S.C., Liao C.S., Liou Y.S., Chiang J.M., Wang S.F., Huang J.C., Huang J.C., 2021, Influence of landscape mosaic structure on nitrate and phosphate discharges: An island-wide assessment in subtropical mountainous Taiwan, *Landscape and Urban Planning*, 207, 104017.
- Chiang L.C., Wang Y.C., Chen Y.K., Liao C.J., 2021, Quantification of land use/land cover impacts on stream water quality across Taiwan, *Journal of Cleaner Production*, 318, 128443.
- Clément F., Ruiz J., Rodríguez M.A., Blais D., Campeau S., 2017, Landscape diversity and forest edge density regulate stream water quality in agricultural catchments, *Ecological Indicators*, 72, 627–639.
- da Silva Almeida R., Valente R.D.O.A., Cetra M., 2022, The effect of hierarchical environmental structure and catchment-scale land cover on fish assemblage composition in streams from the Brazilian south-eastern rain forest, *Hydrobiologia*, 849, 20, 4485–4497.
- de Mello K., Valente R.A., Randhir T.O., Vettorazzi C.A., 2018, Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil, *Ecological Indicators*, 93, 1293–1301.
- de Mello K., Valente R.A., Ribeiro M. P., Randhir T., 2022, Effects of forest cover pattern on water quality of low-order streams in an agricultural landscape in the Pirapora river basin, Brazil, *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 3, 1–13.
- Delesantro J.M., Duncan J.M., Riveros-Iregui D., Blaszcak J.R., Bernhardt E.S., Urban D.L., Band L.E., 2021, Characterizing and classifying urban watersheds with compositional and structural attributes, *Hydrological Processes*, 35, 9, e14339.
- Ding L., Li Q., Tang J., Wang J., Chen X., 2019, Linking land use metrics measured in aquatic–terrestrial interfaces to water quality of reservoir-based water sources in Eastern China, *Sustainability*, 11, 18, 4860.
- Dugan H.A., Bartlett S.L., Burke S.M., Doubek J.P., Krivak-Tetley F.E., Skaff N.K., Summers J.C., Farrell K.J., McCullough I.M., Morales-Williams A.M., Roberts D.C., Ouyang Z., Scordo F., Hanson P.C., Wetters K.C., 2017, Salting our freshwater lakes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 17, 4453–4458.
- Duncan J.M., Groffman P.M., Band L.E., 2013, Towards closing the watershed nitrogen budget: Spatial and temporal scaling of denitrification, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118, 3, 1105–1119.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz.U.UE.L.2000.327.1.
- Ensign S.H., Doyle M.W., 2006, Nutrient spiraling in streams and river networks, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111, G04009.
- Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F.G., Crist T.O., Fuller R.J., Sirami C., Siriwardena G.M., Martin J.L., 2011, Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes, *Ecology Letters*, 14, 2, 101–112.

- Fernandes A.C.P., de Oliveira Martins L.M., Pacheco F.A.L., Fernandes L.F.S., 2021, The consequences for stream water quality of long-term changes in landscape patterns: Implications for land use management and policies, *Land Use Policy*, 109, 105679.
- Fernandes A.C.P., Martins L.M.D.O., Fernandes L.F.S., Cortes R.M.V., Pacheco F.A.L., 2020, Effect of landscape metrics on water quality over three decades: a case study of the Ave River basin, Portugal, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 242, 39–49.
- Fernandes A.C.P., Sanches Fernandes L.F., Terêncio D.P.S., Cortes R.M.V., Pacheco F.A.L., 2019, Seasonal and scale effects of anthropogenic pressures on water quality and ecological integrity: A study in the Sabor River Basin (NE Portugal) using partial least squares-path modelling, *Water*, 11, 1941.
- Forman R.T.T., 1995, *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press.
- Forman R.T.T., Godron M., 1986, *Landscape Ecology*, J. Wiley & Sons, New York.
- Frazier A.E., Kedron P., 2017, Landscape Metrics: Past Progress and Future Directions, *Current Landscape Ecology Reports*, 2, 63–72.
- Gergel S.E., Turner M.G., Miller J.R., Melack J.M., Stanley E.H., 2002, Landscape indicators of human impacts to riverine systems, *Aquatic Sciences*, 64, 118–128.
- Ghani I.M.M., Ahmad S., 2010, Stepwise Multiple Regression Method to Forecast Fish Landing, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 8, 549–554.
- Giri S., Qiu Z., 2016, Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review, *Journal of Environmental Management*, 173, 41–48.
- Górnaiak A., Kajak Z., 2020, *Hydrobiologia-limnologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Grzybowski M., Furgała-Selezniow G., Koszałka J., Kalinowska J., Jankun-Woźnicka M., 2023, Correlation between catchment land use/cover and macrophyte assessment of lake ecological status, *Ecological Indicators*, 146, 109857.
- Gu Q., Hu H., Ma L., Sheng L., Yang S., Zhang X., Zhang M., Zheng K., Chen L., 2019, Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach, *Ecological Indicators*, 102, 633–643.
- Herlihy A.T., Sifneos J.C., Lomnický G.A., Nahlik A.M., Kentula M.E., Magee T.K., Weber M.H., Trebitz A.S., 2019, The response of wetland quality indicators to human disturbance indicators across the United States, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 1, 1–21.
- Hu X., Wang H., Zhu Y., Xie G., Shi H., 2019, Landscape characteristics affecting spatial patterns of water quality variation in a highly disturbed region, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 12, 2149.
- Izydorczyk K., Hejduk-Michalska D., Frątczak W., Bednarek A., Łapińska M., Jarosiewicz P., Kosińska A., Zalewski M., 2015, *Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych*, Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii PAN, Łódź.
- Jia Z.H., Yin X., Luo W., Zou J.R., Chen C., 2021, Relating landscape characteristics to water quality dynamics in the ditches and ponds of the plain river network area in the lower reaches of the Yangtze River basin, China, *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 38, 4, 665–676.
- Jóźwiak J., Podgórski J., 1995, *Statystyka od podstaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Kuhn A., Leibowitz S.G., Johnson Z.C., Lin J., Massie J.A., Hollister J.W., Ebersole E.J., Lake J.L., Serbst J.R., James J., Bennett M.G., Brooks J.R., Nietch C.T., Smucker N.J., Flotemersh J.E., Alexander L.C., Compton J.E., 2018, Performance of national maps of watershed integrity at watershed scales, *Water*, 10, 5, 604.
- Kutyla S., Kolada A., Ławniczak-Malińska A., 2025, Hydromorphological pressure explains the status of macrophytes and phytoplankton less effectively than eutrophication but contributes to water quality deterioration, *Water Research*, 268, 122669.
- Lei C., Wagner P.D., Fohrer N., 2021, Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment, *Ecological Indicators*, 120, 106940.
- Leopold L.B., 1968, Hydrology for Urban Land Planning – A Guidebook on the Effects of Urban Land Use, *USGS Circular*, 554.

- Lewandowska-Robak M., Kowalkowski T., Dąbkowska-Naskręt H., Miesikowska I., 2011, Wpływ ścieków oczyszczonych odprowadzanych z Oczyszczalni Ścieków w Tucholi na jakość wody w strudze Kicz, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14, 3, 209–221.
- Li G.Y., Li L.Z., Kong M., 2021, Multiple-Scale Analysis of Water Quality Variations and Their Correlation with Land use in Highly Urbanized Taihu Basin, China, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 106, 1, 218–224.
- Li K., Chi G., Wang L., Xie Y., Wang X., Fan Z., 2018, Identifying the critical riparian buffer zone with the strongest linkage between landscape characteristics and surface water quality, *Ecological Indicators*, 93, 741–752.
- Li K., Wang L., Sun W., Wang X., Li Z., 2020a, Spatial effect of landscape pattern on river water quality under urbanization, *Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae*, 40, 1, 343–352.
- Li K., Xie Y.J., Sun W., Wang X.R., Li Z.H., Wang L., 2020b, Spatial response of lake water quality to multi-scale landscape pattern of lakeside zone in agricultural watershed, *Ying Yong Sheng tai xue bao = The Journal of Applied Ecology*, 31, 6, 2057–2066.
- Li M., Tang J.F., Chen L.D., Zhao F.K., Feng Q.Y., Yang L., 2020, Relationship between source-sink landscape pattern and antibiotics in surface water in peri-urban watershed, *Huan Jing ke Xue = Huanjing Kexue*, 41, 5, 2264–2271.
- Li S., Yang W., Wang L., Chen K., Xu S., Wang B., 2018, Influences of environmental factors on macroinvertebrate assemblages: differences between mountain and lowland ecoregions, Wei River, China, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 1–13.
- Li W., Cheng X., Zheng Y., Lai C., Sample D.J., Zhu D., Wang Z., 2021, Response of non-point source pollution to landscape pattern: case study in mountain-rural region, China, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 13, 16602–16615.
- Li X., Anderson B., Li C., Xie F., 2019, Landscape Pattern Recognition on Water Quality Protection in an Urbanizing Delta Using Remote Sensing and GIS Techniques, [w:] C.H. Wu, S. Patnaik, F. Popentiu Vlădescu, K. Nakamatsu (red.), *Recent Developments in Intelligent Computing, Communication and Devices*, Springer, Singapore, 899–905.
- Liu H., Meng C., Wang Y., Li Y., Li Y., Liu X., Wu J., 2021, Establishing the relationship between the integrated multidimensional landscape pattern and stream water quality in subtropical agricultural catchments, *Ecological Indicators*, 127, 107781.
- Liu J., Shen Z., Yan T., Yang Y., 2018, Source identification and impact of landscape pattern on riverine nitrogen pollution in a typical urbanized watershed, Beijing, China, *Science of the Total Environment*, 628, 1296–1307.
- Liu J., Xu J., Zhang X., Liang Z., Rao K., 2021a, Nonlinearity and threshold effects of landscape pattern on water quality in a rapidly urbanized headwater watershed in China, *Ecological Indicators*, 124, 107389.
- Liu J., Yan T., Shen Z., 2021b, Sources, transformations of suspended particulate organic matter and their linkage with landscape patterns in the urbanized Beiyun river Watershed of Beijing, China, *Science of The Total Environment*, 791, 148309.
- Łaszewski M., Fedorczyk M., Gołaszewska S., Kieliszek Z., Maciejewska P., Miksa J., Zacharkiewicz W., 2021, Land cover effects on selected nutrient compounds in small lowland agricultural catchments, *Land*, 10, 2, 182.
- Ma B., Wu C., Ding F., Zhou Z., 2021, Predicting basin water quality using source-sink landscape distribution metrics in the Danjiangkou Reservoir of China, *Ecological Indicators*, 127, 107697.
- Meng C., Liu H., Li Y., Wang Y., Li X., Shen J., Fan X., Li Y., Wu J., 2021, Influences of the landscape pattern on riverine nitrogen exports derived from legacy sources in subtropical agricultural catchments, *Biogeochemistry*, 152, 2, 161–177.
- Miranda L.S., Deilami K., Ayoko G.A., Egodawatta P., Goonetilleke A., 2022, Influence of land use class and configuration on water-sediment partitioning of heavy metals, *Science of The Total Environment*, 804, 150116.

- Mirhosseini M., Farshchi P., Noroozi A.A., Shariat M., Aalesheikh A.A., 2018, Changing land use a threat to surface water quality: A vulnerability assessment approach in Zanjanroud Watershed, Central Iran, *Water Resources*, 45, 2, 268–279.
- Mirzaei M., Jafari A., Gholamalifard M., Azadi H., Shooshtari S.J., Moghaddam S.M., Gebrehiwot K., Wiltlox F., 2020, Mitigating environmental risks: Modeling the interaction of water quality parameters and land use cover, *Land Use Policy*, 95, 103766.
- Mirzaei M., Jafari A., Riyahi Bakhtiari A., Mohebbi S., Joorabian Shooshtari S., Soureshjani H.K., 2021, Configurationally analysis of relationships between land-cover characteristics and river water quality in a real scenario, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 7, 1877–1892.
- Misztal M., 2018, O zastosowaniu analizy redundancji do badania poziomu przestępczości przeciwko mieniu w Polsce w latach 2002–2015, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 508, 157–169.
- Mohammadi M., Khaledi Darvishan A., Dinelli E., Bahramifar N., Alavi S.J., 2022, How does land use configuration influence on sediment heavy metal pollution? Comparison between riparian zone and sub-watersheds, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 3, 719–734.
- Mwajengo G.N., Msigwa A., Njau K.N., Brendonck L., Vanschoenwinkel B., 2020, Where does land use matter most? Contrasting land use effects on river quality at different spatial scales, *Science of the Total Environment*, 715, 134825.
- Nafi' Shehab Z., Jamil N.R., Aris A.Z., Shafie N.S., 2021, Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia, *Ecological Indicators*, 122, 107254.
- Osborne L.L., Wiley M.J., 1988, Empirical relationships between land use/land cover and stream water quality in an agricultural watershed, *Journal of Environmental Management*, 26, 9–27.
- Pasztaleniec A., Kolada A., Kutyla S., Bielczyńska A., Nowak B., Hobot A., Dziura A., 2021, *Obszary ochronne zbiorników wód śródlądowych – aspekty przyrodnicze i uwarunkowania formalno-prawne, dokumentacja jezior regionów wodnych Noteci i Warty: Niedzięgiel, Chłop i Szarcz*, IOŚ PIB, Warszawa.
- Patton D.R., 1975, A diversity index for quantifying habitat “edge”, *Wildlife Society Bulletin*, 3, 4, 171–173.
- Peng S., Li S., 2021, Scale relationship between landscape pattern and water quality in different pollution source areas: A case study of the Fuxian Lake watershed, China, *Ecological Indicators*, 121, 107136.
- Peterson B.J., Wollheim W.M., Mulholland P.J., Webster J.R., Meyer J.L., Tank J.L., Marti E., Bowden W.B., Valett H.M., Hershey A.E., McDowell W.H., Dodds W.K., Hamilton S.K., Gregory S., 2001, Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams, *Science*, 292, 86–90.
- Pietrzak M., 2007, Istota, teoria i znaczenie praktyczne pojęcia „struktura krajobrazu”, [w:] Ostaszewska K., Szumacher I., Kulczyk S., Malinowska E., *Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju: profesorowi Andrzejowi Richlingowi w 70. rocznicę urodzin i 45-lecie pracy naukowej*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa, 311–325.
- Pietrzak M., 2011, *Podstawy i zastosowania ekologii krajobrazu. Teoria i metodologia*, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Leszno.
- Pokojska U., Bednarek R., 2012, *Geochemia krajobrazu*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Rajaei F., Sari A.E., Salmanmahiny A., Delavar M., Bavani A.R.M., Srinivasan R., 2017, Surface drainage nitrate loading estimate from agriculture fields and its relationship with landscape metrics in Tajan watershed, *Paddy and Water Environment*, 15, 3, 541–552.
- Richling A., 2014, Główne kierunki badań nad krajobrazem, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 33, 33.
- Richling A., Solon J., 2011, *Ekologia krajobrazu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Roo-Zielińska E., Solon J., Degórski M., 2007, *Ocena stanu i przekształceń środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników geobotanicznych, krajobrazowych i glebowych (podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań) = Evaluation of natural environment based on geobotanical, landscape and soil indicator (Theoretical Foundations and Applications)*, Monografie, IGI PAN, Warszawa.
- Ryden J.C., Ball P.R., Garwood E.A., 1984, Nitrate leaching from grassland, *Nature*, 311, 5981, 50–53.

- Scanlon B.R., Jolly I., Sophocleous M., Zhang L., 2007, Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality, *Water Resources Research*, 43, 3.
- Schmidt T.S., Van Metre P.C., Carlisle D.M., 2019, Linking the agricultural landscape of the Midwest to stream health with structural equation modelling, *Environmental Science & Technology*, 53, 1, 452–462.
- Shi P., Zhang Y., Li Z., Li P., Xu G., 2017, Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales, *Catena*, 151, 182–190.
- Shu X., Wang W., Zhu M., Xu J., Tan X., Zhang Q., 2022, Impacts of land use and landscape pattern on water quality at multiple spatial scales in a subtropical large river, *Ecohydrology*, 15, 3, e2398.
- Song Y., Song X., Shao G., Hu T., 2020a, Effects of land use on stream water quality in the rapidly urbanized areas: A multiscale analysis, *Water*, 12, 4, 1123.
- Stan środowiska w Polsce. Raport 2022*, 2022, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Staponites L.R., Barták V., Bílý M., Simon O.P., 2019, Performance of landscape composition metrics for predicting water quality in headwater catchments, *Scientific Reports*, 9, 1, 1–10.
- Turner M.G., Gardner R.H. O'Neill R.V., O'Neill R.V., 2015, *Landscape Ecology in Theory and Practice*, Springer, New York.
- Uuemaa E., Antrop M., Roosaare J., Marja R., Mander Ü., 2009, Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research, *Living Reviews in Landscape Research*, 3, 1.
- Uuemaa E., Mander Ü., Marja R., 2013, Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review, *Ecological Indicators*, 28, 100–106.
- Uuemaa E., Roosaare J., Mander Ü., 2005, Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments, *Ecological Indicators*, 5, 4, 350–369.
- Uuemaa E., Roosaare J., Mander Ü., 2007, Landscape metrics as indicators of river water quality at catchment scale, *Hydrology Research*, 38, 2, 125–138.
- Walters H.M., Brody S., Highfield W., 2018, Examining the relationship between development patterns and total phosphorus in the Galveston Bay Estuary, *Environmental Science & Policy*, 88, 10–16.
- Wang R., Kim J.H., Li M.H., 2021, Predicting stream water quality under different urban development pattern scenarios with an interpretable machine learning approach, *Science of The Total Environment*, 761, 144057.
- Wang Y., Liu X., Wang T., Zhang X., Feng Y., Yang G., Zhen W., 2021, Relating land use/land-cover patterns to water quality in watersheds based on the structural equation modelling, *Catena*, 206, 105566.
- Wang Y., Yang G., Li B., 2022a, Exploring the pivotal response relationship between landscape composition–configuration–intensity metrics and water quality in Taihu basin, China, *Ecological Indicators*, 136, 108638.
- Wang Y., Yang G., Li B., Wang C., Su W., 2022b, Measuring the zonal responses of nitrogen output to landscape pattern in a flatland with river network: a case study in Taihu Lake Basin, China, *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 23, 34624–34636.
- Winton R.S., Teodoru C.R., Calamita E., Kleinschroth F., Banda K., Nyambe I., Wehrli B., 2021, Anthropogenic influences on Zambian water quality: hydropower and land-use change, *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23, 7, 981–994.
- Wu J., Lu J., 2021, Spatial scale effects of landscape metrics on stream water quality and their seasonal changes, *Water Research*, 191, 116811.
- Wu J., Jin Y., Hao Y., Lu J., 2021, Identification of the control factors affecting water quality variation at multi-spatial scales in a headwater watershed, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 9, 11129–11141.
- Wu J., Lu J., 2019, Landscape patterns regulate non-point source nutrient pollution in an agricultural watershed, *Science of the Total Environment*, 669, 377–388.
- Xu G., Ren X., Yang Z., Long H., Xiao J., 2019a, Influence of landscape structures on water quality at multiple temporal and spatial scales: a case study of Wujiang River Watershed in Guizhou, *Water*, 11, 1, 159.
- Xu G., Li P., Lu K., Tantai Z., Zhang J., Ren Z., Wang X., Yu K., Shi P., Cheng Y., 2019b, Seasonal changes in water quality and its main influencing factors in the Dan River basin, *Catena*, 173, 131–140.

- Xu S., Li S.L., Zhong J., Li C., 2020, Spatial scale effects of the variable relationships between landscape pattern and water quality: Example from an agricultural karst river basin, Southwestern China, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300, 106999.
- Xue B., Zhang H., Wang G., Sun W., 2022, Evaluating the risks of spatial and temporal changes in nonpoint source pollution in a Chinese river basin, *Science of the Total Environment*, 807, 151726.
- Yan W., Chen H., Wang Y., Chen C., 2021, The effect of landscape complexity on water quality in mountainous urbanized watersheds: a case study in Chongqing, China, *Landscape and Ecological Engineering*, 17, 2, 165–193.
- Zalewski M. (red.), 2002, *Ekohydrologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Zhang F., Chen Y., Wang W., Jim C.Y., Zhang Z., Tan M.L., Liu C., Chan N.W., Wang D., Wang Z., Rahman H.A., 2022, Impact of land-use/land-cover and landscape pattern on seasonal in-stream water quality in small watersheds, *Journal of Cleaner Production*, 357, 131907.
- Zhang W., Chen D., Li H., 2018, Spatio-temporal dynamics of water quality and their linkages with the watershed landscape in highly disturbed headwater watersheds in China, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35, 35287–35300.
- Zhang W.W., Li X.N., Wang C., Zhao C.Q., Shi R.S., 2020, Water Quality Response to Landscape Pattern at Different Spatial Scales in Baihe River in the Upper Reaches of the Miyun Reservoir, *Huan Jing ke Xue = Huanjing Kexue*, 41, 11, 4895–4904.
- Zhang X., Chen L., Yu Y., Shen Z., 2021, Water quality variability affected by landscape patterns and the associated temporal observation scales in the rapidly urbanizing watershed, *Journal of Environmental Management*, 298, 113523.
- Zhang X., Liu Y., Zhou L., 2018a, Correlation analysis between landscape metrics and water quality under multiple scales, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 8, 1606.
- Zhang X., Zheng Q., Zhou L., Wei J., 2018b, Nonpoint pollution source-sink landscape pattern change analysis in a coastal river basin in southeast China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 10, 2115.
- www.geog.leeds.ac.uk (dostęp: 22.08.2024).

Podziękowania

Autor pragnie podziękować za lekturę tekstu artykułu i cenne uwagi, które przyczyniły się do podniesienia jego jakości.

Załącznik 1. Metryki krajobrazowe wykorzystane w przeanalizowanych pracach
Attachment 1. Landscape metrics used in analysed papers

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
Metryki powierzchni i krawędzi	coefficient of variation of the patch size / współczynnik zmienności rozmiaru plata	AREA_CV		x	x	1	de Mello i in. 2022
	patch area distribution/mean of patch area / średni rozmiar plata	AREA_MN		x	x	4	Zhang X. i in. 2018b; Walters i in. 2018; Hu i in. 2019; Meng i in. 2021
	patch size standard deviation / odchylenie standardowe rozmiaru plata	AREA_SD/PSSD		x	x	1	Peng, Li 2021
	edge density / gęstość granic	ED		x	x	23	Clément i in. 2017; Rajaei i in. 2017; Xu i in. 2019; Hu i in. 2019; Fernandes i in. 2019; Fernandes i in. 2020; Song i in. 2020; Song i in. 2020a; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Li G.Y. i in. 2021; Jia i in. 2021; Peng, Li 2021; Meng i in. 2021; Chang i in. 2021; Nafi' Shehab i in. 2021; Liu J. i in. 2021a; Mirzaei i in. 2021; Fernandes i in. 2021; Liu J. i in. 2021b; Mohammadi i in. 2022; de Mello i in. 2022; Shu i in. 2022; Wang i in. 2022b
	largest patch index / wskaźnik (udział) największego plata	LPI		x	x	31	Rajaei i in. 2017; Zhang X. i in. 2018a; Walters i in. 2018; Zhang W. i in. 2018; Hu i in. 2019; Wu, Lu 2019; Ding i in. 2019; Song i in. 2020a; Mirzaei i in. 2020; Li i in. 2020b; Song i in. 2020b; Xu i in. 2020; Li G.Y. i in. 2021; Meng i in. 2021; Wu i in. 2021; Chang i in. 2021; Nafi' Shehab i in. 2021; Wu, Lu 2021; Wang R i in. 2021; Li W. i in. 2021; Liu J. i in. 2021a; Mirzaei i in. 2021; Liu H. i in. 2021; Bhat i in. 2021; Liu J. i in. 2021b; Zhang i in. 2021; Miranda i in. 2022; Mohammadi i in. 2022; de Mello i in. 2022; Shu i in. 2022; Wang i in. 2022b

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Originalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Plat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
Metryki powierzchni i krawędzi	percentage of landscape / udział procentowy	PLAND		x		34	Rajaei i in. 2017; Zhang X. i in. 2018a; Walters i in. 2018; Zhang W. i in. 2018; Hu i in. 2019; Wu, Lu 2019; Ding i in. 2019; Song i in. 2020a; Mirzaei i in. 2020; Li i in. 2020b; Song i in. 2020b; Xu i in. 2020; Li G.Y. i in. 2021; Meng i in. 2021; Wu i in. 2021; Chang i in. 2021; Nafi-Shehab i in. 2021; Wu, Lu 2021; Wang R. i in. 2021; Li W. i in. 2021; Liu J. i in. 2021a; Mirzaei i in. 2021; Liu H. i in. 2021; Bhat i in. 2021; Liu J. i in. 2021b; Zhang i in. 2021; Mirandai i in. 2022; Mohammadi i in. 2022; de Mello i in. 2022; Shu i in. 2022; Wang i in. 2022b
	radius of gyration / promień bezwładności	GYRATE	x			1	Rajaei i in. 2018
	mean radius of gyration / średni promień bezwładności	GYRATE_MN		x	x	1	Meng i in. 2021
	total area / powierzchnia	TA		x		9	Hu i in. 2019; Fernandes i in. 2019; Mirzaei i in. 2020; Li G.Y. i in. 2021; Meng i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Bhat i in. 2021; Fernandes i in. 2021; Shu i in. 2022
	edge length/total edge / długość granic	TE		x		6	Rajaei i in. 2017; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Meng i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Fernandes i in. 2021
Metryki kształtu	related circumscribing circle / wskaźnik okręgu opisanego	CIRCLE	x			2	Mirzaei i in. 2020; Mirzaei i in. 2021
	mean of related circumscribing circle / średni wskaźnik okręgu opisanego	CIRCLE_MN		x	x	1	Meng i in. 2021
	contiguity index / wskaźnik przyległości	CONTIG	x			4	Rajaei i in. 2017; Walters i in. 2018; Song i in. 2020a; Liu H. i in. 2021
	mean of contiguity index / średni wskaźnik przyległości	CONTIG_MN		x	x	2	Song i in. 2020b; Meng i in. 2021
	fractal dimension index / wskaźnik wymiaru fraktalnego	FRAC	x			4	Rajaei i in. 2017; Mirzaei i in. 2020; Mirzaei i in. 2021; Wang i in. 2022
	area-weighted mean fractal dimension index / średni ważony (powierzchniowo) wskaźnik wymiaru fraktalnego	FRAC_AM		x	x	4	Hu i in. 2019; Mirzaei i in. 2020; Peng, Li 2021; Mirzaei i in. 2021

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
Metryki kształtu	mean fractal dimension index / średni wskaźnik wymiaru fraktalnego	FRAC_MN		x	x	3	Song i in. 2020a; Song i in. 2020b; Meng i in. 2021
	perimeter-area fractal dimension / wymiar fraktalny obwodu do powierzchni	PAFRAC		x	x	4	Zhang W. i in. 2018; Xu i in. 2019a; Meng i in. 2021; Liu H. i in. 2021
	SHAPE as perimeter-area ratio / stosunek obwodu do powierzchni	PARA	x			3	Mirzaei i in. 2020; Mirzaei i in. 2021; Wang i in. 2022a
	Mean perimeter-area ratio / średni stosunek obwodu do powierzchni	PARA_MN		x	x	2	Song i in. 2020b; Meng i in. 2021
	shape index / wskaźnik kształtu	SHAPE	x			4	Rajaei i in. 2017; Mirzaei i in. 2020; Nafi' Shehab i in. 2021; Mirzaei i in. 2021
	area-weighted mean shape index / średni ważony (powierzchniowo) wskaźnik kształtu	SHAPE_AM/AWMSI		x	x	4	Zhang i in. 2018a; Hu i in. 2019; Mirzaei i in. 2020; Mirzaei i in. 2021
	mean shape index / średni wskaźnik kształtu	SHAPE_MN/MSI		x	x	7	Song i in. 2020a; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Peng, Li 2021; Meng i in. 2021; Liu J. i in. 2021a; Mirzaei i in. 2021
	clumpiness index / wskaźnik sąsiedztwa	CI		x		4	Mirzaei i in. 2020; Meng i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Aalipour i in. 2022
	contagion index / wskaźnik zarażenia (bazuje na sąsiedztwie pikseli)	CONTAG			x	11	Xu i in. 2019a; Ding i in. 2019; Song i in. 2020b; Li G.Y. i in. 2021; Meng i in. 2021; Wu i in. 2021; Chang i in. 2021; Nafi' Shehab i in. 2021; Bhat i in. 2021; Zhang i in. 2021; Mohammadi i in. 2022
Metryki agregacji dispersji i interspersji	interspersion and juxtaposition index / wskaźnik przeplatania i zestawienia (bazuje na sąsiedztwie płatów)	IJI		x	x	17	Liu i in. 2018; Zhang X. i in. 2018a; Xu i in. 2019a; Hu i in. 2019; Ding i in. 2019; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Meng i in. 2021; Wu i in. 2021; Chang i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Liu H. i in. 2021; Liu J. i in. 2021b; Zhang i in. 2021; Aalipour i in. 2022; Mohammadi i in. 2022; Zhang i in. 2022

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Originalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
Metryki agregacji	dyspersji i interspersji	LSI		x	x	20	Rajaei i in. 2017; Zhang X. i in. 2018a; Zhang W. i in. 2018; Xu i in. 2019a; Hu i in. 2019; Ding i in. 2019; Song i in. 2020a; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Xu i in. 2020; Meng i in. 2020; Wu i in. 2021; Chang i in. 2021; Wu, Lu 2021; Li W. i in. 2021; Yan i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Bhat i in. 2021; Zhang i in. 2021; de Mello i in. 2020
		NLSI		x		4	Mirzaei i in. 2020; Meng i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Aalipour i in. 2022
		PCI/COHESION		x	x	16	Zhang W. i in. 2018; Xu i in. 2019a; Hu i in. 2019; Ding i in. 2019; Song i in. 2020a; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Bhat i in. 2021
		PLADJ		x	x	4	Walters i in. 2018; Meng i in. 2021; Aalipour i in. 2022; Wang i in. 2022b
		DIVISION		x	x	11	Zhang W. i in. 2018; Mirzaei i in. 2020; Song i in. 2020b; Meng i in. 2021; Wang R. i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Bhat i in. 2021; Liu J. i in. 2021b; Zhang i in. 2021; Aalipour i in. 2022; Wang i in. 2022b
podziału	landscap division index / wskaźnik podziału krajobrazu						
	number of patches / liczba płatów	NP		x	x	15	Rajaei i in. 2017; Kuhn i in. 2018; Zhang X. i in. 2018a; Zhang X. i in. 2018b; Walters i in. 2018; Fernandes i in. 2019; Fernandes i in. 2020; Song i in. 2020b; Peng, Li 2021; Meng i in. 2021; Bhat i in. 2021; Fernandes i in. 2021; de Mello i in. 2022; Shu i in. 2022; Wang i in. 2022b
	effective meshsize / efektywny wskaźnik rozmiaru płyta	MESH		x	x	5	Rajaei i in. 2017; Zhang W. i in. 2018; Mirzaei i in. 2020; Meng i in. 2021; Mirzaei i in. 2021

Grupy metryk Groups of metrics	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska Original metric's name / polish name	Skrót Abbreviation	Skala analizy Scale			Liczba prac Number of papers	Referencje References
			Płat Patch	Klasa Class	Krajobraz Landscape		
Metryki agregacji izolacji	podziału	PD		x	x	30	Rajaei i in. 2017; Liu i in. 2018; Zhang X. i in. 2018a; Zhang X. i in. 2018b; Walters i in. 2018; Zhang W. i in. 2018; Xu i in. 2019a; Hu i in. 2019; Ding i in. 2019; Li K. i in. 2020a; Song i in. 2020a; Li K. i in. 2020b; Song i in. 2020b; Xu i in. 2020; Li G.Y. i in. 2021; Meng i in. 2021; Wu i in. 2021; Chang i in. 2021; Nafi'Shehab i in. 2021; Li W. i in. 2021; Yan i in. 2021; Liu J. i in. 2021a; Bhat i in. 2021; Zhang i in. 2021; Miranda i in. 2022; Mohammadi i in. 2022; Wang i in. 2022a; de Mello i in. 2022; Shu i in. 2022; Zhang i in. 2022
	splitting index / wskaźnik podziału	SPLIT		x	x	10	Zhang W. i in. 2018; Mirzaei i in. 2020; Meng i in. 2021; Wu i in. 2021; Wang R. i in. 2021; Yan i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Miranda i in. 2021; Aalipour i in. 2021; Wang i in. 2022b
	percentage of the edge length shared between the two selected land use classes / udział granic dzielonych przez dwa wybrane typy użytkowania terenu	cce		x		2	Fernandes i in. 2020; Fernandes i in. 2021
	area of the connection polygons between patches / obszar (połączeń) polygonów między płatami	ci_ca		x		1	Fernandes i in. 2021
	percentage of the area of the connection polygons between patches / udział powierzchni połączeń między płatami	ci_cp		x		2	Fernandes i in. 2019; Fernandes i in. 2021
	number of connected patches / liczba połączonych płatów	ci_np		x		1	Fernandes i in. 2021
	patch area within the range of connection / rozmiar płatu w obszarze połączenia	ci_pa		x		1	Fernandes i in. 2021
	percentage of patch area within the range of connection / udział płatu w obszarze połączenia	ci_pp		x		2	Fernandes i in. 2019; Fernandes i in. 2021

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	References
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
Metryki agregacji <i>Aggregation metrics</i>	connectance / połączenie	CONNE		x		2	Meng i in. 2021; Wang i in. 2022b
	connectivity index / wskaźnik połączenia	CONNECT				2	Mirzaei i in. 2020 Mirzaei i in. 2021
Metryki izolacji <i>Isolation metrics</i>	eulidean nearest-neighbour distance / euklidesowa odległość najbliższego sąsiada	ENN	x			2	Mirzaei i in. 2020; Wang i in. 2022a
	mean Euclidian nearest-neighbor distance / średnia euklidesowa odległość najbliższego sąsiada	ENNMN		x	x	7	Zhang X. i in. 2018a; Hu i in. 2019; Mirzaei i in. 2020; Meng i in. 2021; Nafi'Shehab i in. 2021; Mirzaei i in. 2021; Liu H. i in. 2021
Metryki różnorodności <i>Diversity metrics</i>	proximity index / wskaźnik bliskości	PROX_MN	x			1	Meng i in. 2021
	patch richness / różnorodność płatów (liczba typów płatów)	PR			x	2	Song i in. 2020b; Meng i in. 2021
	patch richness density / gęstość różnorodności płatów	PRD			x	2	Zhang W. i in. 2018; Meng i in. 2021
	relative patch richness / względna różnorodność płatów	RPD			x	1	Meng i in. 2021
	shannon's diversity index / wskaźnik różnorodności Shannona	SHDI			x	15	Mirhosseini i in. 2018; Zhang W. i in. 2018; Xu i in. 2019a; Ding i in. 2019; Song i in. 2020b; Li G.Y. i in. 2021; Chang i in. 2021; Nafi'Shehab i in. 2021; Bhat i in. 2021; Fernandes i in. 2021; Zhang i in. 2021; Miranda i in. 2022; Mohammadi i in. 2022; Wang i in. 2022a; Shu i in. 2022
	shannon's evenness index / wskaźnik równości Shannona	SHEI			x	1	Liu H. i in. 2021
	Simpson's diversity index / wskaźnik różnorodności Simpsona	SIDI			x	1	Meng i in. 2021
	modified simpson's diversity index / zmodyfikowany wskaźnik różnorodności Simpsona	MSIDI			x	1	Meng i in. 2021
	simpson's evenness index / wskaźnik równości Simpsona	SIEI			x	1	Meng i in. 2021

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Originalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
	modified simpson's evenness index / zmodyfikowany wskaźnik równości Simpsona	MSIEI			x	2	Meng i in. 2021; Liu H. i in. 2021
	percentage of the weighted land cover area of the total catchment area / udział ważonego obszaru klasy pokrycia terenu w powierzchni zlewni	–		x		1	Winton i in. 2021
	PLAND + euclidean distance weighted method / udział procentowy z wagą odległości euklidesowej	–		x		2	Staponites i in. 2019; Laszewski i in. 2021
	inverse euclidean distance from land use to tributary and slope degree of land use / udział procentowy ważony odwróconą euklidesową odległością formy użytkowania terenu od dopływu i spadkiem terenu	EuclidS		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse euclidean distance from land use to tributary and pathways of flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwróconą euklidesową odległością formy użytkowania terenu od dopływu i wartością skumulowanego przepływu	Euclid-A		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse euclidean distance from land use to tributary and logarithmically transformed pathways of flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwróconą euklidesową odległością od formy użytkowania terenu od dopływu i (logarytmicznie przekształconą) wartością skumulowanego przepływu	Euclid-LogA		x		1	Staponites i in. 2019

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
	inverse euclidean distance from land use to tributary, slope degree of land use and flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwróconą euklidesową odległością formy użytkowania terenu od dopływu i (zmodyfikowanych) wartością skumulowanego przepływu oraz spadkiem terenu	Euclid-SA		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse euclidean distance from land use to tributary, slope degree of land use and logarithmically transformed flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwróconą euklidesową odległością formy użytkowania terenu od dopływu i (logarytmicznie przekształconej) wartości skumulowanego przepływu oraz spadkiem terenu	Euclid-SlogA		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse flow length from land use to tributary / udział procentowy ważony odwróconą odległością ścieżki przepływu od formy użytkowania terenu do dopływu	Flow		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse flow length from land use to tributary and slope degree of land use / odwrócona odległość ścieżki przepływu od formy użytkowania terenu do dopływu i spadkiem terenu	Flow-S		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse flow length from land use to tributary and pathways of flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwróconą odległością ścieżki przepływu od formy użytkowania terenu do dopływu i wartością skumulowanego przepływu	Flow-A		x		1	Staponites i in. 2019

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
	inverse flow length from land use to tributary and logarithmically transformed pathways of flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwrotnością odległości przepływu od formy użytkowania terenu do dopływu i (logarytmicznie przekształconą) wartością skumulowanego przepływu	Flow-logA		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse flow length from land use to tributary, slope degree of land use and pathways of flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwrotnością odległości przepływu od formy użytkowania terenu do dopływu i wartością skumulowanego przepływu oraz spadkiem terenu	Flow-SA		x		1	Staponites i in. 2019
	inverse flow length from land use to tributary, slope degree of land use and logarithmically transformed flow accumulation within land use / udział procentowy ważony odwrotnością odległości przepływu od formy użytkowania terenu do dopływu, spadkiem terenu i logarytmicznie przekształconą wartością skumulowanego przepływu	Flow-SlogA		x		1	Staponites i in. 2019
	location-weighted landscape index / ważony wskaźnik krajobrazu	LWLI			x	2	Li M. i in. 2020; Ma i in. 2021
	Landscape Configuration Index / wskaźnik konfiguracji krajobrazu	LCI		x		1	Casquin i in. (2021)
	river length / długość rzek	RL	-			1	Herlihy i in. 2019
	river density / gęstość rzek	RiD				1	Wang i in. 2022a
Metr. ob. lin.							

Grupy metryk <i>Groups of metrics</i>	Oryginalna nazwa metryki / nazwa polska <i>Original metric's name / polish name</i>	Skrót <i>Abbreviation</i>	Skala analizy <i>Scale</i>			Liczba prac <i>Number of papers</i>	Referencje <i>References</i>
			Płat <i>Patch</i>	Klasa <i>Class</i>	Krajobraz <i>Landscape</i>		
Metr. ob. lin. ^a Poza grupami	river development coefficient / wskaźnik rozwinięcia dopływów rzeki	RDC		–		1	Wang i in. 2022a
	road length density / gęstość dróg	RoD		–		3	Dugan i in. 2017; Hertlihy i in. 2019; Delesantro i in. 2021
	proximity of stream to nearest patch / bliskość cieku do najbliższego płata	–		–		1	Walters i in. 2018
	area of class polygons intersecting stream channels in a catchment / powierzchnia płatów przecinających ciek w zlewni	–		x		1	Kuhn i in. 2017
	percentage of areal coverage for class polygons intersecting stream channel / udział pokrycia płatami przecinającymi ciek	–		x		1	Kuhn i in. 2017

^a Metr. ob. lin. – Metryki obiektów liniowych.

Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration.