



Granica państwa a spójność danych dla potrzeb analiz hydrologicznych. Studium przypadku dla zlewni Wiaru na pograniczu polsko-ukraińskim

A state border and the integrity of data for hydrological analysis. A case study of the River Wiar catchment on the Poland-Ukraine borderland

Rafał Krocza¹  Tomasz Brynda¹  Szymon Biały¹  Olga Pylypovych² 
Yurij Andreychuk²  Anna Rutar²

¹ Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Instytut Geografii
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków

² Ivan Franko National University of Lviv
Universytetska 1, 79000 Lviv

rafal.krocza@up.krakow.pl • tomasz.brynda@up.krakow.pl • szymon.bialy@up.krakow.pl
olha.pylypovych@gmail.com • yurij.andreychuk@gmail.com • anja-rutar11@ukr.net

Zarys treści. Badania hydrologiczne wymagają opracowania baz danych geograficznych (BDG) pozwalających na obliczanie np. parametrów fizjograficznych zlewni oraz ocenę zmian w wielkości zasobów wodnych. Budowa tego typu baz wymaga korzystania z różnych zbiorów danych hydrometeorologicznych i kartograficznych, które powinny być ze sobą spójne i porównywalne. Spełnienie tego warunku jest trudne zwłaszcza w zlewniach transgranicznych położonych na granicy Unii Europejskiej. W pracy dokonano przeglądowej analizy zasobów danych, które mogą być wykorzystane w budowie BDG dla potrzeb prowadzenia badań hydrologicznych w zlewniach na pograniczu polsko-ukraińskim (rzeka Wiar). Ustalono, że istnieją duże różnice w dostępności i możliwości pozyskania odpowiednich danych. Dotyczą one przede wszystkim danych kartograficznych, udostępnianych w formacie umożliwiającym prowadzenie analiz z użyciem narzędzi GIS. W związku z wymogami dyrektyw UE, zasoby danych o środowisku geograficznym dla polskiej części zlewni są dosyć obszerne i powszechnie dostępne, w przeciwieństwie do danych dla części ukraińskiej. Fakt ten implikuje wiele problemów natury metodologicznej już na etapie gromadzenia danych. Oprócz przeglądu zasobów zaproponowano rozwiązania mające na celu ujednolicenie danych dla obu części zlewni.

Słowa kluczowe: badania hydrologiczne, zlewnie transgraniczne, spójność danych, monitoring.

Wstęp

Granice naturalne, takie jak działy wodne, brzegi zbiorników czy też rzeki, są naturalnymi granicami administracyjnymi, które odegrały w przeszłości bardzo ważną rolę w kształtowaniu się podmiotowości państwa polskiego (Smoleński, 1926). Współczesna granica Polski przebiega w większości tymi naturalnymi przeszkodami, ale z różnych względów na wielu odcinkach wyznaczona jest bez związku z fizycznogeograficznymi cechami terenu. Fakt ten implikuje szereg problemów związanych z transgranicznym gospodarowaniem woda-

mi (np. Kowalczyk i inni, 2014; Lis, 2016; Wiatkowski i inni, 2016). Gospodarowanie wodą w zlewniach transgranicznych wymaga prowadzenia spójnego monitoringu zasobów i badań hydrologicznych, a zadanie to może być utrudnione, gdyż granica państwa często warunkuje różne sposoby zarządzania. Różnice te wpływają na tempo obiegu wody w zlewniach oraz na jej ilość i jakość. Położenie na obszarze różnych państw przekłada się na odmienny sposób prowadzenia monitoringu wód (np. gęstość sieci obserwacyjnej, zakres prowadzonych pomiarów) i udostępniania danych hydrometeorologicznych wykorzystywanych w analizach zasobów wodnych zlewni oraz na zróżnicowaną dostępność zasobów danych kartograficznych, używanych w obliczaniu parametrów fizjograficznych zlewni (Dynowska i Dobija, 1976), niezbędnych przy interpretacji zmian zachodzących w tychże zasobach.

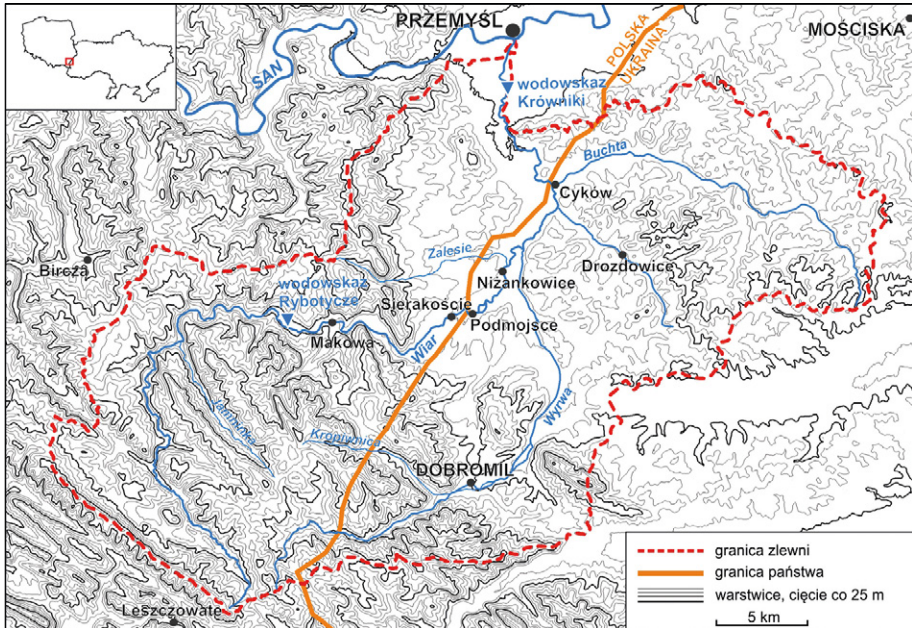
Poprawność prowadzenia badań oceniających funkcjonowanie środowiska naturalnego wymaga, aby analizowane dane były spójne i porównywalne ze sobą, co gwarantuje odpowiednią jakość uzyskanych wyników (Pyszny i Przybyła, 2016). W przypadku danych hydrometeorologicznych, które są pozyskiwane i gromadzone według standardów opracowanych przez organizacje międzynarodowe, to założenie jest z reguły spełnione. Natomiast dane kartograficzne, zwłaszcza opracowania wielkoskalowe, które są podstawą obliczeń parametrów fizjograficznych zlewni wpływających na proces transformacji opadu w odpływ (Dynowska i Dobija, 1976), mogą się znacząco różnić. Dlatego celem opracowania jest przeglądowa analiza i ocena zasobów danych, które mogą być wykorzystane w badaniach hydrologicznych prowadzonych w zlewniach transgranicznych położonych na pograniczu polsko-ukraińskim. Zaprezentowano również przykłady opracowania danych surowych. W przypadku braku spójnych zasobów danych zaproponowano działania mające na celu ich ujednolicenie.

Charakterystyka zlewni

Jako studium przypadku wybrano zlewnię rzeki Wiar (794 km²), przez którą przebiega granica państwowa i dzieli ją na dwie podobnej wielkości części. Po stronie polskiej znajduje się zachodnia część o powierzchni 395 km². Po stronie ukraińskiej położona jest część wschodnia o powierzchni 399 km². Wysokości bezwzględne mieszczą się w przedziale od 189 do 691 m n.p.m. W rzeźbie terenu przeważają stoki wypukłe i wypukło-wklęsłe, które pokryte są gliniastymi zwietrzelinami wykształconymi z fliszu karpackiego. Sterasowane dno doliny głównej jest wyścielone osadami aluwialnymi, wykształconymi jako żwiry i piaski rzeczne (Gucik i inni, 1989). Średnie nachylenie zlewni wynosi 5,5° i jest ono nieco większe po stronie polskiej. Pokrywą glebową stanowią gleby brunatne właściwe *Eutric Cambisols*, kwaśne *Dystric Cambisols* i oglejone *Gleic Cambisols*, czarnoziemy oglejone *Humic Gleisols* oraz gleby płowe opadowo-glejowe *Stagnic Luvisols* (Akca i inni, 2005). Sieć rzeczna po obu stronach granicy ma nieco inny układ, co jest konsekwencją budowy geologicznej i rzeźby terenu (ryc. 1). Jej gęstość wynosi 2,5 km km⁻² w części polskiej i 1,4 km km⁻² po stronie ukraińskiej (tab. 1).

Przebieg granicy państwowej znajduje swoje odzwierciedlenie przede wszystkim w pokryciu terenu. Górna część zlewni, która jest położona po stronie polskiej, jest w znacznej mierze zalesiona (powyżej 50%). Użytki rolne obejmują niżej położone fragmenty stoków oraz dna dolin. Po stronie ukraińskiej zlewnia jest silnie wylesiona (lasy zajmują około 25% powierzchni), a znaczną jej część stanowią użytki rolne (ryc. 4). Na badanym obszarze brak

jest dużych ośrodków miejskich i przemysłowych. Jedynym większym miastem jest Przemysł położony nad Sanem przy ujściu Wiaru. Na terenie zlewni znajduje się 89 wsi (z czego 40 po stronie polskiej) i 2 miasta: wspomniany Przemysł oraz Dobromil po stronie ukraińskiej.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań oraz wodowskazów w zlewni
Location of the study area and stream gauges in the catchment
 Opracowanie własne na podstawie modelu terenu SRTM oraz MPHP10.
Authors' own elaboration based on SRTM and MPHP10 data.

Tabela 1. Charakterystyka zlewni rzeki Wiar w podziale na część polską i ukraińską
Features of the Polish and Ukrainian parts of the Wiar catchment

Parametr	Część polska	Część ukraińska
Powierzchnia (km ²)	395,5	398,9
Wysokości (m n.p.m.)	189–691	199–618
Średnia wysokość (m n.p.m.)	399	294
Średnie nachylenie (°)	6,23	4,77

Opracowanie własne na podstawie modelu terenu SRTM oraz MPHP10.
Source: Authors' own elaboration, based on SRTM and MPHP10 data.

Charakterystyka głównych zasobów danych

Mapy topograficzne i tematyczne

Podstawowym źródłem danych kartograficznych są mapy topograficzne w skali 1: 10 000. Jest to zasób najłatwiej dostępny, powszechny i porównywalny. Dane pochodzące z map topograficznych były najważniejszym źródłem informacji o terenie do początku XXI w.

Na ich podstawie, dla potrzeb prowadzenia analiz hydrologicznych, obliczono parametry fizjograficzne zlewni, wykonując odpowiednie pomiary kartometryczne. Później mapy te wykorzystywano m.in. do budowy numerycznych modeli terenu (NMT), które służyły do obliczeń parametrów morfometrycznych zlewni.

Mapy w skali 1: 10 000 są w Polsce powszechnie dostępne w trzech układach: 1942, 1965 i 1992. Są one udostępniane np. w Geoportalu Krajowym (2019). Zakres pokrycia dla terenu Polski i zlewni Wiaru przedstawia tabela 2. Niestety tylko mapy wydane w układzie 1965 pokrywają 100% powierzchni Polski, przy czym aktualność treści prezentowanych w tym zasobie jest zróżnicowana. W zależności od daty wykonania arkusza mapy mamy do czynienia nawet z treścią prezentującą stan środowiska geograficznego z lat 50. XX w. Najnowsze mapy opracowane w tym układzie pochodzą z późnych lat 80. (od lat 70. prowadzono już głównie aktualizacje). Większą aktualnością treści charakteryzują się mapy w układzie 1992 wykonywane od wczesnych lat 90. XX w. do roku 2007. Jednakże zasób ten pokrywa jedynie 25% powierzchni Polski. Do lat 90. wydawano również mapy topograficzne w układzie 1942. Zasób ten pokrywa około 9% powierzchni kraju (głównie największe miasta). Na podstawie map w skali 1: 10 000 opracowywano mapy w mniejszych skalach, dlatego ich zasięg jest zbieżny z najpopularniejszymi „dziesiątkami”. Treści prezentowane na mapach topograficznych były również wykorzystywane przy opracowaniu map tematycznych. Jednakże dla zlewni Wiaru nie wykonano np. mapy hydrograficznej, która jest ważnym źródłem informacji o środowisku w kontekście analiz hydrologicznych. Dla polskiej części zlewni dostępna jest natomiast mapa sozologiczna w skali 1: 50 000 w układzie 1992, która została opracowana na podkładzie mapy wektorowej tzw. VMap Level 2, a której treść zawiera również informacje hydrologiczne.

W Ukrainie nie ma jeszcze ogólnokrajowego i publicznego geoportalu lub podobnej usługi, która zapewniłaby powszechny dostęp do informacji geoprzestrzennych. W roku 2019 mapy topograficzne dostępne były w formie wydruków papierowych i cyfrowych kopii udostępnianych przez instytucje publiczne (tab. 3). Głównym źródłem informacji na temat ukraińskiej części zlewni Wiaru pozostają mapy topograficzne w skali 1: 25 000 i 1: 50 000. Dostępność do nich nie ma charakteru powszechnego. Udostępniane są naukowcom w ramach statusu „tylko do użytku urzędowego”. Pokrycie mapami w skali 1: 10 000 wynosi 85% powierzchni ukraińskiej części zlewni Wiaru, ale dostęp do nich jest bardzo ograniczony, ponieważ mapy te mają status „tajne”. Istotną wadą tego zasobu jest też ich niewielka aktualność – zostały opracowane w latach 90. XX w. Jedyną możliwością uzyskania szybkiego dostępu do map topograficznych w skali 1: 50 000 jest ich pobieranie z zasobów internetowych, które nie mają jednak charakteru oficjalnego. Mapami topograficznymi dostępnymi powszechnie dla indywidualnych badaczy są elektroniczne mapy topograficzne w skalach 1: 100 000 i 1: 200 000, które można zamówić w instytucjach publicznych.

W Polsce od ponad dekady, zgodnie z dyrektywą UE o nazwie INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), wdrażana jest Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) – do roku 2011 znana jako Topograficzna Baza Danych (TBD). Zasób ten wychodzi naprzeciw obowiązującym w świecie standardom infrastruktury informacji przestrzennej. Jest to jednolite opracowanie zawierające dane w formacie rastrowym i wektorowym, którym przypisano szereg atrybutów. Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) nie zawiera części zasobu dostępnego w TBD, np. ortofotmap używanych przy analizach pokrycia terenu i numerycznego modelu terenu, który obecnie powszechnie wykorzystywany jest przy obliczeniach parametrów morfometrycznych zlewni (Gotlib, 2015). W BDOT

Tabela 2. Najważniejsze polskie kartograficzne źródła danych oraz pokrycie nimi zlewni Wiaru
The main Polish cartographic data sources and their coverage in the catchment of the Wiar

Rodzaj danych	Aktualność topograficzna	Dostępność	Pokrycie kraju	Pokrycie zlewni Wiaru	Dostępność na geo-portalu krajowym	Inne dostępne formaty danych
Mapy topograficzne 1: 10 000 (układ 1992)	1993–2007	pełna	25%	0%	tak	1) wersja rastrowa TIFF/GEOTIFF 2) warstwy wektorowe DGN (również w ramach BDOT) 3) wersja drukowana
Mapy topograficzne 1: 10 000 (układ 1965)	1956–1990	pełna	100%	100%	tak	1) wersja rastrowa TIFF/GEOTIFF 2) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 10 000 (układ 1942)	bd–1991	pełna	9%	0%	tak	1) wersja rastrowa TIFF/GEOTIFF 2) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 25 000 (układ 1965)	1962–1989	pełna	100%	100%	tak	1) wersja rastrowa TIFF/GEOTIFF 2) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 50 000 (układy 1942, 1992)	1988–2004	pełna	61%	0%	tak	1) wersja rastrowa TIFF/GEOTIFF 2) wersja drukowana 3) warstwy wektorowe SHP
Mapy topograficzne 1: 50 000 (układ 1965)	1956–1979	pełna	100%	100%	tak	1) wersja rastrowa TIFF/GEOTIFF 2) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 50 000 (układ WGS84)	2002–2006	pełna	31%	0%	tak	1) wersja rastrowa TIFF 2) warstwy wektorowe SHP/MDB 3) wersja drukowana
Mapy hydrograficzne 1: 50 000 (układy 1942, 1965, 1992)	1984–2010	pełna	64%	0%	tak	1) wersja rastrowa TIFF 2) wersja drukowana 3) warstwy wektorowe TAB/SHP
Mapy sozologiczne 1: 50 000 (układy 1942, 1965, 1992)	1993–2010	pełna	58%	100% (tylko w układzie 1992)	tak	1) wersja rastrowa TIFF 2) wersja drukowana 3) warstwy wektorowe TAB/SHP

Źródło: skorowidze map Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK).
Source: map index of Poland's Head Office of Geodesy and Cartography.

Tabela 3. Najważniejsze ukraińskie kartograficzne źródła danych oraz pokrycie nimi zlewni Wiaru
The main Ukrainian sources of cartographic data and their coverage in the catchment of the Wiar

Rodzaj danych	Aktualność topograficzna	Dostępność	Pokrycie kraju	Pokrycie zlewni Wiaru	Dostępność w wersji elektronicznej	Inne dostępne formaty danych
Mapy topograficzne 1: 10 000 (układ 1942)	1967–1974	Ograniczona (oznaczone jako „tajne”)	96%	85%	nie	1) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 10 000 (układ 1963)	1982–1986	Ograniczona (oznaczone jako „tajne”)	96%	85%	nie	1) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 25 000 (układ 1942)	1947–1976	Ograniczona (oznaczone jako „tylko do użytku urzędowego”)	100%	100%	nie	1) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 25 000 (układ 1963)	1966–1986	Ograniczona (oznaczone jako „tylko do użytku urzędowego”)	100%	100%	nie	1) wydruk/wyplot
Mapy topograficzne 1: 50 000 (układ 1942)	1967–1974 (zaktualizowano w roku 1981)	Ograniczona (oznaczone jako „tylko do użytku urzędowego”)	100%	100%	tak	1) wersja rastrowa TIFF 2) warstwy wektorowe SHP/TAB 3) wersja drukowana
Mapy topograficzne 1: 50 000 (układ WGS84)	1995– (stale aktualizowane)	Niedostępne	100%	100%	tak	1) wersja rastrowa TIFF 2) warstwy wektorowe SHP/TAB 3) wersja drukowana

Źródło: *Deržavna naukowo-tehnična programma rozvitku topografjo-geodezičnoj dił'nosti ta nacional'nogo kartografuванні na 2003–2010 roki*; Archiwum Map Topograficznych, Lwowski Uniwersytet Narodowy im. Iwana Franka.

Source: *National Scientific and Technical Program for the Development of Topography and Geodesy and Cartography for the years 2003–2010*; *Map Archives of the Ivan Franko National University, Lviv.*

dostępne są natomiast warstwy, w których zakres przechowywanych informacji jest dużo szerszy niż TBD. Do najważniejszych, z punktu widzenia opracowań hydrologicznych, należy zaliczyć warstwy pokrycia terenu, sieci wodnej (obiekty powierzchniowe i liniowe) oraz sieć komunikacyjną z towarzyszącą jej infrastrukturą (*Rozporządzenie...*, 2011), która w badaniach hydrologicznych jest o tyle istotna, że podczas zdarzeń hydrometeorologicznych uzupełnia naturalny system drenażu powierzchniowego (Krocak i Bryndał, 2017).

W Ukrainie dane wektorowe nie są udostępniane w formie zintegrowanej (koordynowanej centralnie), choć część z nich jest już opracowywana w formacie shp (tab. 3). W perspektywie najbliższych kilku lat planowane jest wdrożenie narodowego programu udostępniania danych przestrzennych zgodnego ze standardem INSPIRE. Znane są już założenia, na bazie których funkcjonować ma system udostępniania danych (*Nacionalna infrastruktura...*, 2018). Jeśli program zostanie zrealizowany, to zasoby ukraińskie będą kompatybilne z polską bazą BDOT.

Ponadto należy zwrócić uwagę na globalne serwisy udostępniające zasoby wektorowe. Są one istotne w przypadku obszarów, dla których dane są deficytowe. Najpopularniejszym takim serwisem jest *OpenStreetMap* (OSM), gdzie globalna mapa wektorowa edytowana (rysowana) jest przez użytkowników na podstawie archiwalnych map, zdjęć satelitarnych i danych własnych. Dane mają charakter otwarty, czyli każdy użytkownik Internetu może je pobrać i wykorzystać pod warunkiem wskazania ich źródła.

Numeryczne Modele Terenu

Numeryczne modele terenu wykorzystywane są powszechnie w badaniach hydrologicznych od lat 80. XX w. (O'Callaghan i Mark, 1984; Moore i inni, 1991). Najczęstsze w hydrologii kierunki badań z użyciem modeli terenu to obliczanie parametrów morfometrycznych zlewni oraz generowanie wododziałów, linii odpływu (np. rzek) czy mniej lub bardziej rozbudowanych indeksów terenowych, zależnych od ukształtowania powierzchni zlewni. Z czasem powstawały nowe algorytmy generowania i analizy NMT, ale samo założenie, według którego powierzchnia terenu odzwierciedlana jest przez trójwymiarowy model, pozostają uniwersalne. Założenie to bazuje na podziale terenu na komórki rastra, w opisie których występują co najmniej trzy zmienne x , y i z , a jedną ze zmiennych jest wysokość nad poziom morza. Prowadzi się również analizy oparte na modelach zbudowanych z sieci trójkątów (TIN), chociaż w badaniach hydrologicznych są one rzadsze ze względu na szereg problemów metodologicznych.

Współcześnie szczegółową informację o ukształtowaniu terenu i jego pokryciu uzyskuje się z tzw. chmury punktów zebranych techniką skaningu laserowego nazywanego akronimem LiDAR (*Light Detection And Ranging*). Dane pozyskiwane ze skanowania lotniczego mają skrót ALS (*Airborne Laser Scanning*). W 2014 r. został uruchomiony w Polsce ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami), którego komponentem są dane ALS LiDAR. Jednym z celów opracowania tego zasobu było wypełnienie zadań wynikających z implementacji tzw. Dyrektywy Powodziowej (*Dyrektywa 2007/60/WE...*, 2007), gdzie dokładny NMT był niezbędny do opracowania map zagrożenia i ryzyka powodziowego. W ramach systemu wykonano skanowanie lotnicze 92% powierzchni kraju. Dane LiDAR opracowane w ramach realizacji projektu ISOK są udostępniane są w formie sklasyfikowanej chmury punktów, a ich dokładność pionowa wynosi poniżej 0,15 m w standardzie I (dla obszarów pozamiejskich 4–6 pkt m⁻²) i poniżej 0,10 m w standardzie II (dla obszarów miejskich 12–14 pkt m⁻²). Dane te dają nowe, niedostępne do tej pory moż-

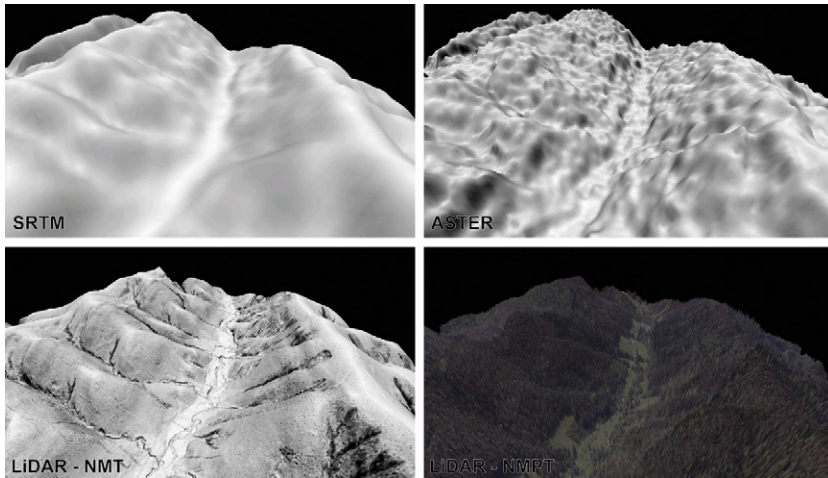
liwości pozyskania informacji o ukształtowaniu powierzchni terenu, co pozwala generować numeryczne modele terenu o rozdzielczości rzędu 0,5–1 m (np. Affek, 2014; Lanfranc i inni, 2017; Thomas i inni, 2017). Modele te dają nowe możliwości prowadzenia analiz hydrologicznych związanych np. z generowaniem sieci linii spływu powierzchniowego (Krocak i Bryndał, 2017), czy zwiększają możliwości w zakresie modelowania hydraulicznego przepływów w korytach cieków (Bakuła, 2014). Niestety brak danych ALS po stronie ukraińskiej ogranicza zastosowanie tego modelu dla całej zlewni.

Alternatywą dla bardzo dokładnego NMT może być model generowany z poziomic zdigitalizowanych z map. Niestety udostępnianie map w większych skalach (1: 25 000 i 1: 50 000) jest na Ukrainie bardzo restrykcyjne, a mapy w skali 1: 10 000 są praktycznie nieodstępne. Popularne „pięćdziesiątki” dostępne są jednak w Internecie w serwisach nieoficjalnych (nieuznawanych i niewspieranych przez instytucje państwowe). Dane z tych map można dowiązać do polskiego DTED 2 (*Digital Terrain Elevation Data Level 2*) opracowanego na podstawie digitalizacji poziomic z polskich topograficznych map wojskowych w tej samej skali. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że może wystąpić trudność w zachowaniu integralności danych, gdyż jakość polskiego modelu jest silnie zróżnicowana, a zgodnie z założeniami standaryzacyjnymi tego opracowania wielkość błędów pionowych może osiągać nawet 20 m przy dokładności poziomej do 30 m (Gotlib i Olszewski, 2006).

Innym modelem terenu, który można wykorzystać do prowadzenia badań w zlewni transgranicznej, jest NMT wykonany jako komponent Topograficznej Bazy Danych (TBD). Został on opracowany metodą fotogrametryczną na podstawie zdjęć lotniczych i udostępniany jest dla polskiej części zlewni w postaci TIN. Model taki dla ukraińskiej części zlewni należałoby opracować na podstawie dostępnych komercyjnie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych, co wymaga nakładu pracy i środków. Warto przy tym podkreślić, że model ten charakteryzuje się względnie małymi błędami wysokościowymi na terenach otwartych, natomiast na obszarach pokrytych gęstą roślinnością błędy te znacząco wzrastają (Olszewski i inni, 2008).

Produktem zbliżonym jakością do poprzedniego NMT jest model z bazy danych Systemu Identyfikacji Działek Rolnych LPIS (*Land Parcel Information System*), wykonany dla obszaru Polski na podstawie zdjęć lotniczych. Jego dokładność wysokościowa jest silnie zależna od danych źródłowych. Błąd średniokwadratowy RMSE (*Root Mean Squared Error*) dla województw podkarpackiego i lubelskiego wynosi odpowiednio 0,5 i 0,9 m (Karwel, 2007). Budowa jednolitego NMT dla całej zlewni wymagałaby pozyskania porównywalnych danych ze strony ukraińskiej. Wydaje się, że najlepszym istniejącym źródłem pozwalającym dowiązać się zarówno do NMT TBD, jak i do NMT LPIS są ukraińskie mapy topograficzne w skali 1: 10 000, do których niestety dostęp jest mocno utrudniony. Z powyższych powodów wykonanie wysokorozdzielczego NMT dla całej zlewni rzeki Wiar jest obecnie praktycznie niemożliwe.

Innym źródłem informacji o parametrach fizycznogeograficznych zlewni transgranicznej są mniej dokładne, ale ogólnodostępne modele terenu o zasięgu globalnym (ryc. 2). Do tej grupy modeli należy zaliczyć SRTM i ASTER. Model SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) wykonano, wykorzystując do zbierania danych dwa pasma spektralne: C (5,6 cm) i X (3 cm). Na podstawie danych zebranych w paśmie C wykonano interferometryczny model terenu obejmujący około 80% lądów. Wykonany został on z poziomu satelitarnego w 2000 r., a dostępny jest od 2001 r. pod nazwą SRTM. Dla Polski i Ukrainy udostępniane są dane zawierające rozdzielczość poziomą 3", czyli 60–65×90 m. Dane SRTM nadają się szczególnie do analiz średnioskalowych, tj. poniżej 1: 100 000 (Śleszyński, 2009). Ich wadą jest przedsta-



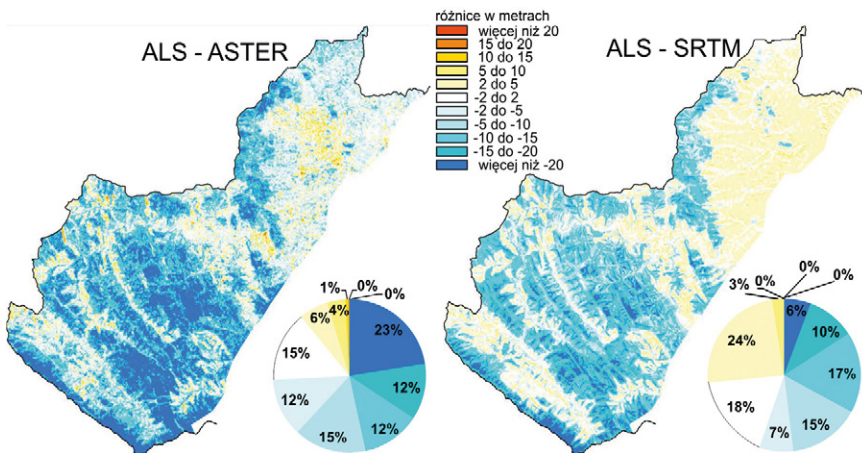
Ryc. 2. Porównanie widoku 3D różnych modeli: SRTM, ASTER, modelu z danych LiDAR dla warstwy grunt (NMT) oraz modelu z danych LiDAR dla wszystkich warstw (NMPT) z nałożoną ortofotomapą
Comparison of 3D views from different models, i.e. SRTM, ASTER, LiDAR data for the bare ground point class (NMT) and LiDAR data for all point classes (NMPT) and orthophotomap

wienie wartości pionowych wraz z pokryciem terenu (NMPT – Numeryczny Model Pokrycia Terenu) bez niwelacji do poziomu gruntu, a to ogranicza wykorzystanie w badaniach hydrologicznych w małych zlewniach. W Polsce model ten jest szeroko wykorzystywany w badaniach geomorfologicznych (Śleszyński, 2012). Model ten wykonany w paśmie X i znany pod nazwą SRTM X (w odróżnieniu od poprzedniego, znanego jako SRTM, bez dodatku litery oznaczającej pasmo) od 2011 r. udostępniony jest za darmo do celów naukowych. Rozdzielczość wynosi w tym przypadku 1", co przekłada się na rozmiar pojedynczej komórki rastra rzędu 30×30 m. Niestety model ten posiada luki (Karwel, 2012). Są to miejsca, w których nie pozyskano informacji ze względu na wąski pas obrazowania w tym paśmie (50 km względem 225 km w paśmie C). Model dostępny jest dla całej zlewni Wiaru. Dobrze sprawdza się on w analizach hydrologicznych prowadzonych w zlewniach o umiarkowanej dynamice rzeźby (tereny faliste i pagórkowate), a w terenach górskich ma znaczne błędy ze względu na występujący podczas zbierania danych efekt cienia (Ludwig i Schneider, 2006).

Model ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) został wykonany na podstawie zdjęć w bliskiej podczerwieni (VNIR) z danych zebranych przez skaner Aster umieszczony na satelicie Terra. Generowanie numerycznego modelu terenu odbyło się metodą stereoskopową w sposób automatyczny, w czym upatruje się źródła błędów. Dane dostępne są od 2009 r. Raster ma rozmiar 1", czyli 30×30 m. Dostępność i powszechność tego modelu sprawia, że jest on równie popularnym zasobem, jak SRTM. Niestety posiada te same niedoskonałości, czyli odzwierciedla powierzchnię pokrycia terenu (NMPT), a nie powierzchnię gruntu. Z powodzeniem stosowany jest natomiast w analizach obszarów bez roślinności (Błaszczyk i Drzewiecki, 2006) oraz może stanowić cenny materiał do analiz geomorfologicznych czy krajobrazowych (Karwel i inni, 2015). Większa rozdzielczość modelu ASTER nie poprawia jego efektywnego wykorzystania w analizach hydrologicznych. Błędy generowane przy wyznaczaniu sieci drenażu czy granic zlewni z modelu ASTER są większe niż w modelu SRTM (Przybyła i Pyszny, 2013).

Trzecim, najnowszym i – wydawać by się mogło – najlepszym modelem terenu o zasięgu globalnym jest TanDEM-X (*TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement*) realizowany przez Niemiecką Agencję Kosmiczną (DLR) we współpracy z firmami zewnętrznymi. W ramach tej radarowej misji dwa bliźniacze satelity pozyskały metodą interferometryczną skany całej kuli ziemskiej, które posłużyły do budowy globalnego modelu terenu (również NMPT). Efektem jest DEM o błędzie względnym wyznaczenia wysokości rzędu 2 m i rozdzielczości terenowej 12×12 m (Woroszkiewicz, 2015; Biały i inni, 2018). Ponadto dla wybranych obszarów generowany będzie NMT o błędzie 4 m, ale o rozdzielczości 6 m. Obecnie pozyskanie danych odbywa się poprzez wysłanie specjalnego zamówienia do DLR. Naliczane są również drobne opłaty zależne od powierzchni zamawianego obszaru. Niestety ze względu na konflikt zbrojny trwający na terenie wschodniej Ukrainy, kraj ten znalazł się na liście obszarów wrażliwych (Hajnsek i Busche, 2016), co bardzo utrudnia pozyskanie danych.

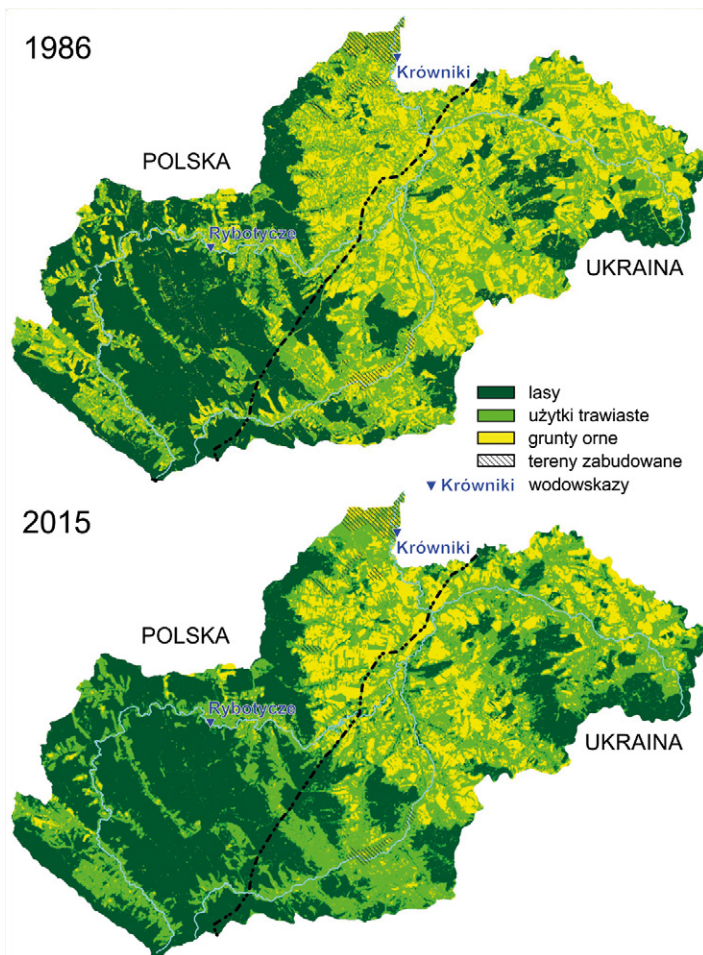
Pokrycie dokładnymi danymi ALS polskiej części zlewni umożliwia ocenę modeli obejmujących całą zlewnię Wiaru. W tym celu porównano składową pionową „z” (wysokość n.p.m.) modeli ASTER i SRTM (nie analizowano SRTM X ze względu na jego nieciągły charakter) z NMT wygenerowanym z warstwy „grunt” chmury punktów LiDAR. Modele ASTER i SRTM w pierwszej kolejności poddano operacji *resamplingu* przeliczając ich raster na raster NMT LiDAR, tj. 1 m. Kierunek *resamplingu* zdeterminowany został przez problem badawczy. Celem tej operacji nie było porównywanie między sobą modeli, lecz określenie skali różnic (błędów w określeniu wysokości n.p.m. obiektów), jakie mogą oczekiwać badacze w ukraińskiej części zlewni oraz rozpoznanie, czy owe różnice korespondują z innymi warstwami tematycznymi. Po *resamplingu* policzono różnice dla każdego rastra, odejmując od składowej „z” NMT LiDAR składową „z” NMT ASTER i SRTM. Różnice wysokości w modelach obrazuje rycina 3. Jeżeli różnica w wysokości położenia rastra wynosi -20 metrów oznacza to, że w tym miejscu model globalny (np. SRTM) pokazuje wartość składowej pionowej o 20 m wyżej aniżeli jest to na modelu LiDAR.



Ryc. 3. Różnice w wysokości terenu w m n.p.m. pomiędzy modelem terenu wygenerowanym z danych ALS LiDAR a modelem ASTER i SRTM

Differences in terrain elevation (in m a.s.l.) between models developed from ASTER and SRTM as opposed to the ALS LiDAR data model

Przedział pomiędzy -2 a 2 m przedstawia fragmenty zlewni, na których modele globalne najlepiej dopasowane są do modelu referencyjnego. Obszary, na których występują różnice mieszczące się w tym przedziale (ASTER – 15% i SRTM – 18%), to tereny otwarte o charakterze rolniczym i o relatywnie najmniejszych nachyleniach (dno doliny Wiaru i głównych dopływów). Większość analizowanego obszaru różni się znacznie w kierunku ujemnym, tj. wskazując składową „z” na modelach ASTER i SRTM znacznie wyżej aniżeli na NMT LiDAR (odpowiednio 74% i 55% powierzchni). Jest to konsekwencja metod generowania NMT, w których odzwierciedlany jest NMPT. Rozkład różnic jest dużo łatwiej interpretowalny w przypadku SRTM, gdzie różnice te są bardzo dobrze skorelowane z warstwą „lasy” (ryc. 4). Różnice dodatnie, tj. przypadki, gdzie składowa „z” jest wyżej na modelu ASTER i SRTM aniżeli na referencyjnym NMT, to odpowiednio 11% i 27% powierzchni. Również te przedziały dużo lepiej korelują z danymi morfometrycznymi w przypadku



Ryc. 4. Pokrycie terenu zlewni Wiaru w roku 1986 i 2015
Land cover in the the catchment of the Wiar in 1986 and 2015

Źródło: sceny satelitów Landsat 5 i 8 / *Source: imagery from Landsat 5 and 8 satellites.*

SRTM niż ASTER. Na SRTM są to w większości przypadków tereny rolnicze położone na stokach o niewielkim nachyleniu, częściej o ekspozycji N i NE. Na modelu ASTER również są to obszary rolnicze, ale bez wyraźnych powiązań z nachyleniem i ekspozycją terenu. Ponadto znaczny jest udział terenów gdzie różnica jest większa niż 10 m, co praktycznie nie występuje w przypadku modelu SRTM.

Żaden model terenu nie jest pozbawiony błędów, ale należy stwierdzić, że przy porównaniu dwóch najbardziej dostępnych modeli terenu o zasięgu globalnym (ASTER, SRTM) z modelem referencyjnym (ALS LiDAR), SRTM wypada lepiej, ze względu na możliwość jego optymalizacji dla potrzeb dalszych analiz. W przypadku modelu SRTM różnice są stosunkowo łatwo interpretowalne, a poligony pokazujące stopień rozbieżności są ciągłe i zgrupowane. Model ASTER cechuje natomiast duża dywergencja na niewielkich obszarach.

Sieć hydrograficzna i dane hydrologiczne

W roku 2008 udostępniono Rastrową Mapę Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP50, 2010). Oprócz sieci rzecznej mapa zawiera przebieg działów wodnych, a wszystkie dane są zhierarchizowane. Szczegółowość tego zasobu odpowiada mapom w skali 1: 50 000, na bazie których został on zbudowany. W 2013 r. w ramach programu ISOK udostępniono wektorową Mapę Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1: 10 000 (Barszczyńska i inni, 2013). Zasób ten jest rozwinięciem MPHP50 i został uszczegółowiony na podstawie Bazy Danych o Obiektach Topograficznych, Numerycznych Modeli Terenu oraz ortofotomap i map topograficznych w skali 1: 10 000. Podział ten zawiera jednolity system kodyfikacji cieków i zlewni (rozbudowany w stosunku do MPHP50) oraz jest spójny z innymi elementami krajowej infrastruktury informacji przestrzennej np. Państwowym Rejestrem Nazw Geograficznych (Barszczyńska i inni, 2013). Zasób MPHP10 obejmuje całą zlewnię Wiaru. Jest to jeden z niewielu przypadków opracowania w całości zlewni, która znajduje się częściowo poza granicami Polski.

W zlewni Wiaru funkcjonują dwa posterunki hydrologiczne. Posterunek Rybotycze (zlokalizowany na 38 km biegu rzeki) zamyka górną część zlewni o powierzchni 168 km², która jest w całości położona po polskiej stronie. Posterunek w Rybotyczach funkcjonował jako tzw. posterunek czasowy, dlatego w ciągu obserwacji hydrologicznych występują braki. Posterunek Krówniki zlokalizowany jest na 76 km biegu rzeki i zamyka zlewnię o powierzchni 793 km². Do analiz hydrologicznych dla obu posterunków można pozyskać codzienne stany i przepływy wody za lata 1971–2017, które można poddać analizom. Odptywy jednostkowe ($NNq-WWq - dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$) obliczone na podstawie danych udostępnionych przez IMGW-PIB prezentuje tabela 4. Dane te są bezpłatnie udostępniane przez IMGW-PIB dla celów prowadzenia badań naukowych. Na podobnej zasadzie udostępniane są dobowe dane meteorologiczne rejestrowane na stacjach w Przemyślu i Rybotyczach oraz na stacjach zlokalizowanych w sąsiedztwie zlewni (Bircza, Leszczowate). Dostęp do bieżących danych hydrologicznych i meteorologicznych można również uzyskać *online* poprzez geoportal IMGW-PIB (2018). Po stronie ukraińskiej brak jest posterunków hydrologicznych, a najbliższa stacja meteorologiczna znajduje się w Mościskach położonych około 20 km na wschód od Przemyśla. Pomiary prowadzone są tam od 1951 r. Dobowe dane o stanie atmosfery są udostępniane na stronie *Raspisanije Pogodi Ltd.* (2019). Dane do 2006 r. przechowywane są w archiwach Lwowskiego Regionalnego Centrum Hydrometeorologii.

Tabela 4. Średnie odpływy jednostkowe Wiaru w Rybotyczach i Krównikach w latach 1971–2014
Average unit discharges along the Wiar at Rybotycze and Krówniki, 1971–2014

Przepływ	Miesiące												XI-IV	V-X	Rok	
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X				
	Rybotycze ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)															
NNq	1,0	0,7	1,0	1,3	1,1	2,8	1,2	1,3	1,2	0,6	0,8	1,0	0,7	0,6	0,6	0,6
SNq	4,3	4,5	4,0	4,9	7,0	7,6	5,3	4,4	4,5	3,2	2,8	3,2	2,8	2,1	2,1	1,8
SSq	9,4	10,9	10,7	12,9	21,8	21,4	17,3	13,6	20,2	7,9	8,4	7,9	14,2	12,1	12,1	13,0
SWq	28,7	32,0	30,4	42,6	92,9	97,4	90,9	73,2	136,3	34,0	43,5	31,7	146	220,0	220,0	276,0
WWq	124,9	150,9	84,0	165,1	353,3	411,8	650,9	414,8	1065,1	133,7	199,4	261,5	411,8	1065,1	1065,1	1065,1
Krówniki ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)																
NNq	0,5	0,4	0,6	0,7	1,0	1,4	1,4	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
SNq	2,9	2,8	2,7	3,2	4,6	5,1	3,5	3,2	2,8	2,1	2,0	2,2	1,8	1,5	1,5	1,2
SSq	5,7	6,3	6,6	8,1	14,6	13,8	9,8	9,8	13,0	5,4	5,2	4,7	9,2	8,0	8,0	8,6
SWq	15,3	17,3	18,5	27,2	62,8	59,5	50,2	54,6	101,8	21,4	26,9	16,5	93,6	153,0	153,0	187,4
WWq	80,0	92,3	92,3	154,6	358,7	514,6	309,3	398,0	785,8	154,6	289,0	190,1	514,6	785,8	785,8	785,8

Opracowanie własne na podstawie danych z IMGW-PIB.
 Author's own elaboration on the basis of IMGW-PIB data.

Jakość wód powierzchniowych

W Polsce monitoring jakości wód powierzchniowych w zlewni Wiaru prowadzony jest w ramach monitoringu środowiska województwa podkarpackiego i koordynowany przez Inspekcję Ochrony Środowiska w Rzeszowie. Ocena stanu jednolitych części wód opiera się na analizie oceny potencjału ekologicznego zlewni i na ocenie stanu chemicznego wody. Obserwacje prowadzone są w trzech punktach monitorujących: w Makowej, Sie-rakoścach i w Przemysłu (*Ocena...*, 2008). Potencjał ekologiczny części wód powierzchniowych określa się na podstawie obserwacji wskaźników biologicznych, elementów hydromorfologicznych i fizykochemicznych oraz dla substancji z grupy zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych. Wyniki monitoringu są dostępne na stronach Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ, 2019) w postaci raportów rocznych dla Jednolitych Części Wód Powierzchniowych (JCWP). Ocena jakości wody w ukraińskiej części dorzecza przeprowadza Państwowa Inspekcja Ekologiczna Obwodu Lwowskiego. Punkty monitorowania znajdują się w Drozdowicach i Dobromilu. Proponowane jest wykonywanie cyklicznych pomiarów także w Podmojskach i Cykowie, tj. przy wptynięciu i wyptynięciu Wiaru na teren Ukrainy (Pylypovych i inni, 2019). W przeciwieństwie do strony polskiej, w Ukrainie analizowane są tylko wskaźniki hydrochemiczne, a parametry biologiczne nie są monitorowane. Nie są też publikowane raporty na stronach internetowych. Dostęp do tych informacji jest o tyle istotny, że wyniki monitoringu jakości wody w latach 1990–2006, w profilu Krówniki zamykającym całą zlewnię wykazały pogarszający się stan wód względem Sanu, który jest recipientem. W okolicy Przemysłu woda była nawet w IV klasie czystości. W analizowanym okresie w Wiarze zaobserwowano wzrost stężenia fosforanów, podczas gdy w Sanie tendencja była malejąca. Także stężenie azotanów w Wiarze wykazywało w okresie letnim trend rosnący (Kuźniar i inni, 2008). W 2017 r. stan JCWP w Wiarze był oceniany jako zły (*Stan środowiska...*, 2018). Monitoring prowadzony po stronie ukraińskiej w latach 2009–2013 wykazał, że w górnej części zlewni, w profilu Dobromil, woda utrzymywała się w II klasie czystości, podczas gdy w tym samym okresie w dolnej części zlewni (Drozdowice) spadła z II do III klasy czystości (Pylypovych i inni, 2019).

Użytkowanie terenu

W literaturze hydrologicznej powszechne jest stwierdzenie, że pokrycie terenu jest jednym z istotnych czynników, które wpływają na formowanie odpływu w zlewni (np. Soczyńska i inni, 2003; Jania i Zwoliński, 2011). Na podstawie map pokrycia terenu wyprowadza się szereg charakterystyk, które używane są np. w modelach hydrologicznych. Jedną z takich danych wejściowych jest bezwymiarowy parametr CN (*Curve Number*), który na podstawie użytkowania terenu, warunków glebowych i wilgotnościowych pozwala określić wielkość opadu efektywnego (np. Banach i Szczepanek, 2015). Jest to jedna z ważniejszych danych wejściowych w modelach hydrologicznych typu opad-odpływ (Wałęga i inni, 2011). Mapy pokrycia terenu są również podstawą do generowania tzw. map szorstkości, które są wykorzystywane między innymi w rekonstrukcji systemu drenażu powierzchniowego (np. Krocak i Bryndal, 2017) czy też przy szacowaniu wielkości erozji wodnej gleb (np. Wojtasik i Szatten, 2014).

Dla całej zlewni Wiaru dostępne są tylko małoskalowe mapy pokrycia terenu (np. warstwa *landuse* z zasobu OpenStreetMap), a brak jest jednolitych opracowań wielkoskalowych. Dla części polskiej dostępne są mapy wykonane w ramach programu Corine Land Cover (CLC) z edycji: 1990, 2000, 2006, 2012 i 2018. Warto zaznaczyć, że rok edycji nie jest równoznaczny z aktualnością danych, na podstawie których wykonano mapy, a w Polsce przesunięcia w czasie mogą wynosić nawet od 3 do 4 lat (Baranowski i Ciołkosz, 1997; Bielecka i Ciołkosz, 2004). Po stronie ukraińskiej pokrycie terenu może być analizowane na podstawie map topograficznych bądź zdjęć satelitarnych. Przykład wykorzystania zdjęć satelitarnych do opracowania mapy pokrycia terenu w roku 1986 i 2015 prezentuje rycina 4. Wykorzystanie tego zasobu pozwoliło na opracowanie mapy, która zapewnia porównywalność udziału poszczególnych klas pokrycia terenu w obu częściach zlewni, co jest istotne w różnego typu analizach hydrologicznych. Daty wykonania zdjęć dobrano tak, aby dane CLC (te dostępne tylko dla polskiej części zlewni) posłużyły jako źródło walidacji (tab. 5). Zgodnie z powszechnie przyjętą procedurą wykonano klasyfikację nadzorowaną na podstawie zdjęć rastrowych o rozdzielczości 30×30 m z satelitów Landsat 5 (1986) i Landsat 8 (2015). Dla zwiększenia porównywalności wykorzystano zdjęcia z 2 października, czyli okresu jesiennego, w którym większość gruntów ornych pozbawiona jest pokrywy roślinnej. Do klasyfikacji użyto kanałów spektralnych rejestrujących widmo w bliskiej podczerwieni, w zakresie czerwonym oraz zielonym – tzw. kompozycja *false color*.

W celu weryfikacji wyniku dane uzyskane metodą klasyfikacji zdjęć satelitarnych skonfrontowano z danymi o pokryciu terenu uzyskanymi w ramach programu CLC z edycji z roku 1990 i 2018. Zasoby te cechuje zupełnie różna metodyka wykonania, jednak CLC jest jedynym jednolitym źródłem danych, które mogą stanowić bazę referencyjną i punkt odniesienia w skali europejskiej (Feranec i inni, 2016).

Relatywnie mała rozdzielczość zdjęcia satelitarnego (30×30 m) sprawia, że odbicie spektralne jest jednoznaczne dla jednolitego typu użytkowania w obrębie komórki rastra. Problemy z interpretacją przy klasyfikacji nadzorowanej występują w komórkach rastrow, w obrębie których jest kilka typów pokrycia terenu, co w Karpatach nie jest rzeczą rzadką z powodu silnego rozdrobnienia pól. W programie CLC kryterium wyznaczenia jednolitego poligonu jest jego minimalna powierzchnia 25 ha i szerokość większa niż 100 m (Bossard

Tabela 5. Pokrycie terenu w zlewni Wiaru według klasyfikacji nadzorowanej zdjęć satelitów Landsat (część polska i ukraińska) i danych z programu Corine Land Cover (część polska)
Land cover in the catchment of the Wiar, in line with the supervised classification of Landsat images (Polish and Ukrainian part), as well as data from the Corine Land Cover programme (Polish part)

Pokrycie terenu	Część polska				Część ukraińska			
	1986	1990	2015	2018	1986	1990	2015	2018
	Landsat (%)	CLC (%)	Landsat (%)	CLC (%)	Landsat (%)	CLC (%)	Landsat (%)	CLC (%)
Lasy	54,6	54,0 ^a	58,2	58,1 ^a	25,7	-	32,4	-
Grunty orne	26,3	30,0 ^b	15,2	24,7 ^b	38,8	-	25,5	-
Użytki trawiaste	18,2	14,1 ^c	25,5	14,2 ^c	34,5	-	41,7	-
Zabudowa	0,9	1,9 ^d	1,0	2,8 ^d	1,0	-	0,4	-
Wody	0,0	0,0 ^e	0,1	0,2 ^e	0,0	-	0,0	-

^a klasy CLC: 311, 312, 313, 324; ^b klasy CLC: 211, 242; ^c klasy CLC: 142, 231, 243, 321; ^d klasy CLC: 111, 112, 121, 122; ^e klasy CLC: 511, 512

i inni, 2000; *Technical Guide...*, 1997–1999). Wartością poligonu jest dominujący typ pokrycia terenu. W obydwu ujęciach metodycznych na mapach finalnych formy pokrycia terenu o zwartej i jednolitej strukturze klasyfikowane są najlepiej. Dlatego dla map pokrycia terenu uzyskanych z tych dwóch źródeł najlepiej skorelowane są klasy lasów, które występują w zwartych płatach. Zakładając, że lesistość na mapie CLC jest wielkością referencyjną dla klasyfikacji nadzorowanej, można potwierdzić, że w analizowanym okresie w całej zlewni nastąpił wzrost lesistości kosztem użytków trawiastych i gruntów ornych. Jest to wynik zgodny z ogólną tendencją panującą w Karpatach (np. Munteanu i inni, 2014). Ważnym powodem zmniejszenia udziału gruntów ornych było wyłączenie z upraw dużych areatów należących do państwowych gospodarstw rolnych (PGR), położonych w polskiej górnej części zlewni Wiaru. Te duże poligony bardzo dobrze zaznaczyły się w obydwóch źródłach danych. Rozdrobnione indywidualne gospodarstwa rolne, które przeważają w dolnej części zlewni Wiaru zarówno po stronie polskiej jak i ukraińskiej, na zdjęciu satelitarnym stanowią mozaikę gruntów ornych i trawiastych. Przyjmując za wartość poligonu dominujący typ użytkowania, program CLC eliminuje klasy będące w mniejszości. W efekcie do poligonów gruntów ornych włączane są występujące pomiędzy nimi użytki trawiaste, w tym liczne miedze czy drogi polne. Z tego powodu, zdaniem autorów, dla roku 2015 bliższe rzeczywistości są dane z klasyfikacji niż z programu CLC. Analogiczne zmiany zaszły po stronie ukraińskiej, przy czym skala zmian była największa w zlewniach górskich dopływów Wiaru. Należy także zwrócić uwagę, że wykonując mapę użytkowania metodą klasyfikacji danych z kanałów spektralnych satelity, wynik będzie obciążony błędem w drugą stronę, tzn. część gruntów ornych pokrytych roślinnością w czasie wykonywania zdjęcia (uprawy wieloletnie, niezebrane zasiewy i grunty niezaorane, grunty odłogowane itp.) zostanie sklasyfikowana jako użytki trawiaste.

Podsumowując ten wątek należy stwierdzić, że przy braku innych jednolitych danych o pokryciu terenu, metoda klasyfikacji nadzorowanej, choć niepozbawiona błędów, daje wystarczająco zadawalające wyniki, aby użyć jej do przygotowania materiałów do analiz hydrologicznych. Efekt jest weryfikowalny dla polskiej części zlewni dzięki danym z programu CLC i ALS LiDAR. Relatywnie niewielkie i w pełni diagnozowalne różnice pomiędzy metodami po stronie polskiej, uwiarygadniają przydatność wygenerowanych danych dla całej zlewni.

Dyskusja

Badania w zlewniach transgranicznych wymagają zdecydowanie więcej pracy przy budowaniu BDG niż analizy w zlewniach posiadających jednolite zasoby danych. Szczególnie skomplikowana sytuacja jest w zlewniach transgranicznych, położonych na granicy Unii Europejskiej. Dyrektywy UE zobligowały kraje członkowskie do budowy kosztownego, ale spójnego systemu informacji przestrzennej. Kraje niebędące członkami UE bądź będące w innych strukturach międzynarodowych budują własne bazy danych o środowisku geograficznym (np. serwis mapowy ROSREESTR'u w Rosji). Mogą się one różnić nie tylko szczegółowością czy zasięgiem, ale przede wszystkim metodami pozyskiwania danych oraz sposobem ich udostępniania. Sytuacja ta szczególnie dobrze widoczna jest w zlewni Wiaru, nawet w odniesieniu do podstawowego zasobu, jakim są mapy topograficzne. Po polskiej stronie do dyspozycji są mapy topograficzne w skalach od 1: 10 000 do 1: 100 000,

które udostępniono na geoportalu krajowym. Obszar ukraińskiej część zlewni pokryty jest mapami w skali 1: 50 000 w formie skanów, wymagających ręcznego dowiązywania do układu współrzędnych (osobną kwestią są same parametry układów współrzędnych przyjęte po obu stronach granic i skala niedopasowania na granicy państwa). Paradoksalnie najbardziej spójne dane topograficzne dla zlewni Wiaru pochodzą z okresu przed II wojną światową, kiedy to cały ten obszar należał do jednego kraju. Wyczerpujący przegląd tych zasobów znajduje się w pracy A. Affeka (2016a). Należy tu także zwrócić uwagę, że mapy topograficzne jako główne źródło informacji o zlewni mają obecnie w Polsce wymiar historyczny, a ich aktualnym odpowiednikiem jest zasób BDOT. Tego zasobu brakuje po stronie ukraińskiej, co ogranicza prowadzenie różnego rodzaju analiz środowiskowych przy wykorzystaniu narzędzi GIS.

W Polsce realizacja systemu ISOK pozwoliła opracować zasoby danych (MPHP10, ALS LiDAR), których szczegółowość znacząco poszerza i poprawia możliwości prowadzenia analiz hydrologicznych w zlewni. Bazując na danych LiDAR można pozyskać bardzo szczegółowe informacje o ukształtowaniu i pokryciu terenu. Są one niewspółmiernie bardziej dokładne niż te możliwe do pozyskania wcześniej na podstawie map, aczkolwiek bezkrytyczne i bezrefleksyjne ich używanie może doprowadzić do błędnych interpretacji (Affek, 2014). W pracy wykazano, że polskie dane o terenie, tj. wysokorozdzielczy numeryczny model terenu czy dane z lotniczego skanowania LiDAR, które są niedostępne dla Ukrainy, mogą posłużyć do optymalizacji mniej szczegółowych, ale ogólnodostępnych zasobów o zasięgu globalnym, takich jak model SRTM czy ASTER. Optymalizację samej sieci rzecznej umożliwia komponent ISOK, czyli wektorowa baza sieci rzecznej (MPHP10).

Przeprowadzone porównanie globalnych NMPT wykazuje ich homogeniczność na tyle, że możliwa jest korekta składowej wysokościowej „z”, a w konsekwencji obliczenie bliższych rzeczywistości parametrów fizjograficznych zlewni, np. spadku podłużnego cieków, zwłaszcza tych mniejszych. Źródłem danych do optymalizacji składowej „z” może być warstwa „lasy” uzyskana w procesie klasyfikacji nadzorowanej. Warstwa „lasy” powinna być sklasyfikowana dla 2000 r. (roku skanowania na potrzeby SRTM), gdyż w ostatnich 20 latach trwa bardzo intensywna wycinka lasów, szczególnie w ukraińskiej części Karpat (Kummerle i inni, 2007, 2009; Potapov i inni, 2015), przy jednoczesnej naturalnej sukcesji roślinnej w innych częściach zlewni, opuszczanych przez rolnictwo.

Na zmiany stosunków wodnych w zlewni Wiaru pewien wpływ miały przemiany gospodarcze, jakie zaszły po II wojnie światowej. Przejawiały się one przesiedleniami miejscowej ludności i spontaniczną renaturyzacją terenów opuszczonych. Ślady przemian, jakie zaszły, są doskonale widoczne na modelu terenu wygenerowanym z chmury punktów LiDAR, z klasy „grunt”, gdzie widoczne są terasy rolne i głęboko wcięte drogi polne (Affek, 2016b), dziś położone nawet 150 m powyżej współczesnej dolnej granicy lasu (ryc. 2). Formy te mają ogromne znaczenie w kształtowaniu odpływu powierzchniowego w czasie intensywnych opadów, a dane LiDAR umożliwiają identyfikację i wychwycenie ich roli (Krocak i Bryndał, 2017, 2018).

Zmiany w pokryciu terenu mają wpływ na formowanie odpływu oraz działanie procesów geomorfologicznych zachodzących w zlewni (np. w pogłębianie koryt), co jest szczególnie dobrze widoczne w mniejszych zlewniach karpaccich (Figuła, 1966; Ortyl i inni, 2018). Należy przypuszczać, że zmiany pokrycia terenu mogły doprowadzić do zmian geomorfologicznych w zlewniach cząstkowych Wiaru. Jednak dane hydrologiczne dostępne dla posterunków zamykających zlewnie o stosunkowo dużej powierzchni (Rybotyczne

– 168 km² i Krówniki – 793 km²), nie pozwalają na uchwycenie tych zmian. Podobnie, analizując odpływy jednostkowe (miesięczne, półroczne i roczne) trudno wyodrębnić składową, która odpowiada różnicom, jakie występują w pokryciu terenu po stronie polskiej i ukraińskiej. Takich informacji mogłaby dostarczyć szczegółowa analiza hydrogramów z różnego typu zdarzeń hydrometeorologicznych.

Osobnym zagadnieniem jest budowa BDG dla potrzeb analiz jakości wód rzek transgranicznych na pograniczu Polski i Ukrainy. Tutaj również występują różnice w zakresie ilości pozyskiwanych i gromadzonych danych (Kuźniar i inni, 2008; *Ocena...*, 2008; Kowalczyk i inni, 2014).

Podsumowanie

Poprawność prowadzenia badań w zlewniach transgranicznych wymaga, aby analizowane dane były z sobą spójne i porównywalne. Przeprowadzona analiza porównawcza wskazuje, że obecnie występują duże różnice w zasobach danych oraz sposobach ich udostępniania. Dotyczy to danych:

1. pochodzących z monitoringu ilości wód (gromadzone tylko po stronie polskiej);
2. pochodzących z monitoringu jakości wód (po stronie ukraińskiej – tylko chemizm);
3. meteorologicznych (rzadka sieć pomiarowa po stronie ukraińskiej – 1 posterunek);
4. kartograficznych (brakuje szczególnie opracowań wielkoskalowych udostępnianych w formie danych wektorowych).

Każdorazowo dane po polskiej stronie są tematycznie zbieżne z wymogami różnych dyrektyw UE, co powoduje, że mamy do dyspozycji rozbudowane i łatwo dostępne zasoby danych, w przeciwieństwie do strony ukraińskiej. Sytuacja ta była główną przesłanką dokonania przeglądu podstawowych źródeł zasobów i wskazania alternatywy w przypadku braku danych po jednej ze stron granicy. Warto podkreślić, że w toku budowy BDG dla potrzeb prowadzenia analiz hydrologicznych w zlewniach transgranicznych, samo istnienie źródeł danych nie jest równoznaczne z możliwością ich zastosowania. W związku z tym budując BDG należy zbalansować nakład pracy ze szczegółowością i rozdzielczością oczekiwanego wyniku. Podsumowując, jako optymalny zestaw danych dla analiz w skali zlewni autorzy proponują wykorzystać:

- dane hydrologiczne z dwóch wodowskazów zlokalizowanych po stronie polskiej, z których jeden zamyka całą zlewnię;
- dane o jakości wody z punktów pomiarowych na terenie Polski, z których jeden również zlokalizowany jest przy zamknięciu całej zlewni;
- informacje o sieci hydrologicznej i zlewniach elementarnych z zasobu MPHP10;
- dane meteorologiczne ze stacji zlokalizowanych w samej zlewni oraz w jej sąsiedztwie – w tym z jednej stacji po stronie ukraińskiej;
- zdjęcia satelitarne, na podstawie których wykonana może być klasyfikacja nadzorowana typów pokrycia terenu;
- model terenu SRTM zoptymalizowany o składową pionową „z” według warstwy „lasy” mapy pokrycia terenu (w tym dane pochodne, jak wysokości n.p.m., nachylenia, ekspozycja, spadki cieków itp.).

Często zachodzi konieczność wykorzystania szeregu innych warstw tematycznych. Tutaj również są problemy z dostępnością, zwłaszcza opracowań wielkoskalowych (np. budowa

geologiczna, pokrywa glebowa). W tych przypadkach najlepszym rozwiązaniem jest skorzystanie ze specjalistycznych serwisów gromadzących dane w skali krajów np. w ramach programu *European Digital Archive on Soil Maps* (EuDASM) (Panagos i inni, 2011). W przypadku konieczności użycia danych wektorowych (drogi, granice administracyjne, ale też zgeneralizowane użytkowanie, np. tereny zamieszkałe) optymalne jest wykorzystanie otwartych danych z serwisu OSM (Schellekens i inni, 2014). Prowadzenie spójnych analiz w skali zlewni elementarnych po obu stronach granicy wymaga już dostępu do materiałów szczegółowych, np. wielkoskalowych map (pomijając dane hydrometeorologiczne), co jest praktycznie niewykonalne bez dedykowanego wsparcia, w tym również finansowego.

Sprawne zarządzanie gospodarką wodną po obu stronach granicy musi być wsparte działaniami mającymi na celu budowę infrastruktury ze spójnymi danymi przestrzennymi. Przejawem dostrzegania takiej potrzeby może być np. projekt „*GIS across the border – wspólna platforma zarządzania przestrzenią w Euroregionie Bug*” (2018). Wzmocnieniu takich działań powinna sprzyjać umowa dotycząca współpracy w dziedzinie gospodarki wodnej wód granicznych i przygranicznych podpisana pomiędzy Polską a Ukrainą (UNECE, 2009).

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródeł, są opracowaniami własnymi autorów artykułu.

Piśmiennictwo

- Affek A., 2014, *Lotnicze skanowanie laserowe (ALS) w modelowaniu rzeźby terenu – nowe możliwości i pułapki*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 38, s. 217–236.
- Affek A., 2016a, *Dynamika krajobrazu: uwarunkowania i prawidłowości na przykładzie dorzecza Wiary w Karpatach (XVIII-XXI wiek)*, Prace Geograficzne, 251, IGIiPZ PAN, Warszawa.
- Affek A., 2016b, *Past Carpathian landscape recorded in the microtopography*, Geographia Polonica, 89, 3, s. 415–424.
- Akça E., Álvarez A.G., Bialousz S., Berger B., Bielek P., Blum W., Breuning-Madsen H., Buivydaite V.V., Cangir C., Daroussin J., De Alba S., Dinç U., Dudal R., Düwel O., Eckelmann W., Freudenschuß A., Fritz S., Hartley A., Hartwich R., Hiederer R., Hollis J., Houskova B., Huber S., Jamagne M., Jansinkas J., Kapur S., Karklins A., Kibblewhite M., King D., Kolev N., Kozak J., Bas C. Le, Magaldi C., Marti J.J.I., Micheli E., Nachtergaele F., Nemecek J., Nyborg Å., Olazabal C., Presler J., Reintam L., Ritz K., Ruiz J.M.G., Spaargaren O., Stolbovoi V., Thompson D., van den Akker J.J.H., van Ranst E., Várallyay G., Wösten H., Zdruli P., 2005, *Soil atlas of Europe*, European Soil Bureau Network, Luxembourg.
- Bakała K., 2014, *Efektywne wykorzystanie danych Lidar w dwuwymiarowym modelowaniu hydraulicznym*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 26, s. 23–37.
- Banach W., Szczepanek R., 2015, *Zmiany parametru CN metody SCS w dorzeczu górnej Wisły, na podstawie danych rastrowych Corine Land Cover z lat 1990–2012*, Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, 62, 3, 1, s. 7–17.
- Baranowski M., Ciołkosz A., 1997, *Opracowanie bazy danych „pokrycie terenu Polski”*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 44, 95, s. 7–25.
- Barszczyńska M., Borzuchowski J., Kubacka D., Piórkowski P., Rataj C., Walczykiewicz T., Woźniak Ł., 2013, *Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1: 10 000 – nowe hydrograficzne dane referencyjne*, Roczniki Geomatyki, 11, s. 15–29.

- Biały S., Chrobak A., Struś P., Zarychta R., 2019, *Geodiversity maps in the light of the new terrain model Tandem-X*, [w:] *Kartografiâ ta viša škola: Sučasnij stan i strategijâ rozvitku*, Kiiivskij nacionalnij universitet imeni Tarasa Ševčenko, Geografičnij fakul'tet, Kiiiv, s. 27–28.
- Bielecka E., Ciołkosz A., 2004, *Metodyczne i realizacyjne aspekty aktualizacji bazy Corine Land Cover*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 50, 108, s. 73–92.
- Błaszczyk M., Drzewiecki W., 2006, *Wstępna ocena możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych ASTER w monitorowaniu lodowców Svalbardu*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 16, s. 23–29.
- Bossard M., Feranec J., Otahel J., 2000, *CORINE land cover technical guide: Addendum 2000*, European Environment Agency.
- Deržavna nauково-tehnična programa rozvitku topografo-geodezičnoj diâlnosti ta nacional'nogo kartografuvannâ na 2003–2010 roki, 2018, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2003-%D0%BF> (13.12.2018).
- Dynowska I., Dobija A., 1975, *Znaczenie parametrów fizjograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzecznoego*, Folia Geographica. Series Geographica-Physica, 9, s.77–129.
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, L 288/27, 2007.
- Feranec J., Soukup T., Hazeu G., Jaffrain G. (red.), 2016, *European landscape dynamics: CORINE land cover data*, CRC Press.
- Figuła K., 1966, *Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich zalesionych i niezalesionych. Kształtowanie się odpływów w zlewniach potoków Biała Woda i Czarna Woda*, Roczniki Nauk Rolniczych, 118-D, s. 51–87.
- Geoportal Krajowy, 2019, geoportal.gov.pl (02.02.2019).
- GIOŚ, 2019, <http://www.gios.gov.pl> (15.04.2019).
- GIS across the border – wspólna platforma zarządzania przestrzenią w Euroregionie Bug, 2018, <http://euroregionbug.maps.arcgis.com> (25.04.2018).
- Gotlib D., 2015, *Analiza różnic pomiędzy modelem danych BDTOT10k a TBD*, Biuletyn Stowarzyszenia Kartografów Polskich, 26, Stowarzyszenie Kartografów Polskich, Wrocław, s. 11–12.
- Gotlib D., Olszewski R., 2006, *Co z trzecim wymiarem? O modelowaniu rzeźby terenu w referencyjnych bazach danych*, Geodeta, 131, 4, s. 31–34.
- Gucik S., Jankowski L., Rączkowski W., Żytko K., 1989, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1: 50 000. 1043 – Rybotycze, 1044 – Dobromil*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Hajnssek I., Busche T., 2016, *TanDEM-X Digital Elevation Models. Announcement of Opportunity*, German Aerospace Center (DLR), Microwaves and Radar Institute, s. 1–22, https://tandemx-science.dlr.de/pdfs/TD-PD-AO-0033_DEM_Announcement_of_Opportunity.pdf (12.12.2017).
- IMiGW-PIB, 2018, <http://monitor.pogodynka.pl> (02.02.2018).
- Jania J.A., Zwoliński Z., 2011, *Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne w Polsce*, Landform Analysis, 15, s. 51–64.
- Karwel A.K., 2007, *Ocena dokładności NMT na obszarze Polski na podstawie danych wysokościowych projektu LPIS*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 17a, s. 357–362.
- Karwel A.K., Kraszewski B., Kurczyński Z., Ziółkowski D., 2015, *Integracja satelitarnych modeli wysokościowych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, 64, 2, s. 123–133.
- Karwel A., 2012, *Ocena dokładności modelu SRTM-X na obszarze Polski*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 23, s. 139–144.
- Kowalczyk A., Kuźniar A., Kostuch M., 2014, *Zmiany jakości wód transgranicznej rzeki Wisznia w latach 1990–2012*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 14, 3, s. 75–88.

- Krocza R., Bryndał T., 2017, *Wykorzystanie numerycznych modeli terenu do generowania systemu drenażu powierzchniowego, funkcjonującego podczas opadów nawalnych. Podstawy metodyczne na podstawie studium przypadku zlewni Zalasówki (Pogórze Ciężkowieckie)*, Przegląd Geograficzny, 89, 1, s. 67–85.
- Krocza R., Bryndał T., 2018, *Sieć drenażu powierzchniowego funkcjonująca w czasie ekstremalnych zjawisk pluwialnych w zlewniach karpaccich – próby rekonstrukcji*, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska-Strugała (red.), *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Ocena funkcjonowania i kierunków zmian środowiska przyrodniczego Polski na podstawie wieloletnich badań stacjonarnych*, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN – Stacja Badawcza w Szymbarku, Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, s. 165–174.
- Kuemmerle T., Chaskovskyy O., Knorn J., Radeloff V.C., Kruhlov I., Keeton W.S., Hostert P., 2009, *Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007*, Remote Sensing of Environment, 113, 6, s. 1194–1207.
- Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V.C., Perzanowski K., Kruhlov I., 2007, *Post-socialist forest disturbance in the Carpathian border region of Poland, Slovakia, and Ukraine*, Ecological Applications, 17, 5, s. 1279–1295.
- Kuźniar A., Twardy S., Kowalczyk A., 2008, *Przyczyny zmian stężenia azotu i fosforu w wodach powierzchniowych górnej zlewni Sanu (po przekrój w Przemyślu) w latach 1990–2005*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 8, s. 185–196.
- Lanfranc M., Van Dijk P., Jetten V., Schwob M., Payraudeau S., 2017, *Improving runoff prediction using agronomical information in a cropped, loess covered catchment*, Hydrological Processes, 31, 6, s. 1408–1423.
- Lis E., 2016, *Ochrona wód zlewni Bugu – poprawa czystości rzeki międzynarodowym wyzwaniem*, Kontrola Państwowa, 61, 4, s. 65–74.
- Ludwig R., Schneider P., 2006, *Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 60, 5, s. 339–358.
- Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R., 1991, *Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications*, Hydrological Processes, 5, 1, s. 3–30.
- MPHP50, 2010, *Rastrowa Mapa Podziału Hydrograficznego Polski 1: 50 000*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, <http://www.kzgw.gov.pl/pl/rastrowa-mapa-podzialu-hydrografi-cznego-polski.html> (10.10.2017).
- Munteanu C., Kuemmerle T., Boltiziar M., Butsic V., Gimmi U., Halada L., Kaim D., Kiraly G., Konkoly-Gyuro E., Kozak J., Lieskovsky J., Moyses M., Muller D., Ostafin K., Ostapowicz K., Shandra O., Stych P., Walker S., Radeloff V.C., 2014, *Forest and agricultural land change in the Carpathian region. A meta-analysis of long-term patterns and drivers of change*, Land Use Policy, 38, s. 685–697.
- Nacionalna infrastruktura geoprostorovih danih Ukraini*, 2018, Naukovo-Doslidnij Institut Geodezii i Kartografii, <http://gki.com.ua/ua/nacionalna-infrastruktura-geoprostorovih-danih-ukraini> (13.12.2018).
- O’Callaghan J.F., Mark D.M., 1984, *The extraction of drainage networks from digital elevation data*, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 28, 3, s. 323–344.
- Olszewski R., Berezowski T., Świtaj K., 2008, *System zarządzania danymi wysokościowymi LPIS, TBD i SMOK zgromadzonymi w PZGiK*, Roczniki Geomatyki, 6, 4, s. 83–88.

- Ortyl B., Ćwik A., Kasprzyk I., 2018, *What happens in a Carpathian catchment after the sudden abandonment of cultivation?* *Catena*, 166, s. 158–170.
- Panagos P., Jones A., Bosco C., Senthil Kumar P.S., 2011, *European digital archive on soil maps (Eu-DASM): preserving important soil data for public free access*, *International Journal of Digital Earth*, 4, 5, s. 434–443.
- Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C., 2015, *Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive*, *Remote Sensing of Environment*, 159, s. 28–43.
- Przybyła C., Pyszny K., 2013, *Porównanie numerycznych modeli terenu SRTM i ASTER GDEM oraz ocena możliwości ich wykorzystania w modelowaniu hydrologicznym w obszarach o małych deniwelacjach*, *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, s. 1489–1510.
- Pylypovych O., Andreychuk Y., Rutar A., Petrovska M., 2019, *Ocinka âkosti poverhnevih vod transkordonnoi rički V'âr*, *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia*, 52, 1, s. 75–88.
- Pyszny K., Przybyła C., 2016, *Systemy informacji przestrzennej w strategicznych ocenach oddziaływania na środowisko*, Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Poznaniu, Poznań.
- Raspisanije Pogodi Ltd., 2019, <http://rp5.ua> (02.02.2019).
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych*, 2011, *Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej* nr 279 poz. 1642.
- Schellekens J., Broolsma R.J., Dahm R.J., Donchyts G.V., Winsemius H.C., 2014, *Rapid setup of hydrological and hydraulic models using OpenStreetMap and the SRTM derived digital elevation model*, *Environmental Modelling & Software*, 61, s. 98–105.
- Smoleński J., 1926, *Przyrodzony obszar Polski i jego granice w świetle nowoczesnych poglądów*, *Przegląd Geograficzny*, 6, s. 33–44.
- Soczyńska U., Gutry-Korycka M., Buza J., 2003, *Ocena zdolności retencyjnej zlewni* [w:] M. Gutry-Korycka, B. Nowicka, U. Soczyńska (red.), *Rola retencji zlewni w kształtowaniu wezbrań opadowych*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s. 77–104.
- Stan środowiska województwa podkarpackiego na obszarze przygranicznym z Ukrainą w 2017 roku*, 2018, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Przemyśl.
- Śleszyński P., 2009, *Wykorzystanie danych georadarowych SRTM-3 w analizie zróżnicowania ukształtowania terenu Polski*, *Przegląd Kartograficzny*, 41, 3, s. 237–252.
- Śleszyński P., 2012, *A geomorphometric analysis of Poland based on the SRTM-3 data*, *Geographia Polonica*, 85, 4, s. 45–59.
- Technical Guide. CORINE Land Cover, 1997–1999*, European Environment Agency, European Commission, Joint Research Centre, Space Applications Institute, Agriculture and Regional Information Systems Unit, http://image2000.jrc.ec.europa.eu/reports/technical_guide.pdf (13.12.2017).
- Thomas I.A., Jordan P., Shine O., Fenton O., Mellander P.E., Dunlop P., Murphy P.N.C., 2017, *Defining optimal DEM resolutions and point densities for modelling hydrologically sensitive areas in agricultural catchments dominated by microtopography*, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 54, s. 38–52.
- UNECE, 2009, *River basin commissions and other institutions for transboundary water cooperation. Capacity for water cooperation in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia*, New York, Geneva, United Nations.

- Wałęga A., Cupak A., Miernik W., 2011, *Wpływ parametrów wejściowych na wielkość przepływów maksymalnych uzyskanych z modelu NRCS-UH*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN o/Kraków, 7, s. 85–95.
- Wiatkowski M., Kózka K., Wiatkowska B., 2016, *Analiza stanu świadomości zagrożenia zjawiskiem powodzi na obszarze zlewni rzeki Biała Głuchołaska*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 461, s. 201–220.
- Wojtasik M., Szatten D., 2014, *Bilans dostawy rumowiska w wyniku erozji wodnej dla zlewni rzeki Brdy określony za pomocą modelu USLE*, <https://repozytorium.ukw.edu.pl/handle/item/1176> (06.01.2019).
- Woroszkievicz M., 2015, *Numeryczne dane wysokościowe misji TanDEM-X*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, 64, 1, s. 33–46.

Summary

Hydrological investigations require the development of a geodatabase allowing for the calculation of physiographic catchment parameters, as well as the analysis of amounts of water resources and changes therein. Such a geodatabase usually consists of meteorological, hydrological and cartographic data. The datasets should be consistent, as results of analyses may otherwise prove non-comparable. For trans-boundary catchments located on the border of the EU, the development of such a database may be problematical.

The present study therefore offers a review of datasets that may be used for geodatabase development in the interests of hydrological research, in catchments located in the Polish-Ukrainian borderland. The catchment of the Wiar River – selected to serve as a case study – is in fact divided by the state border into two equal sub-catchments (395.5 km² in Poland and 398.9 km² in Ukraine).

The results reveal disparities in the spatial distribution of stream and meteorological gauges. Hydrological and meteorological data are mostly available for the Polish part of the catchment. Hydrological data (on daily water stage and discharges) are available for two stream gauges which enclose the upper part of the catchment (Rybotycze – 168 km²) and the lower (Krówniki – 793 km²) (Table 4 presents unit discharges in 1971–2014). There is only one Ukrainian rain-gauge station (Mostyśka, located 20 km east of Przemysł), whereas there are several in the Polish part. These differences ensure the limited comparability of hydrological and meteorological analyses of water resources in relation to the sub-catchments located on either side of the border. The quality of water is monitored in both the Ukrainian and Polish parts of the catchment. For the Polish part of the catchment datasets include many parameters (in accordance with EU Directive and Regulations) and the results from monitoring are available online as yearly reports. For the Ukrainian part, only chemical components are monitored, and these data are not made available publicly.

Significant methodological problems relate to cartographic datasets used in calculating physiographical parameters. There is no free access to large-scale topographic maps for the Ukrainian part of the study area. Moreover, the topographic maps are rarely available in formats allowing GIS-supported analyses to be carried out. This inconvenience ensures that the development of consistent datasets is a time-consuming process. Consistent datasets such as Digital Elevation Models (DEM) can be obtained from globally

available ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) and SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) models. Datasets, such as LiDAR, which are important for medium and large-scale analyses allowing for the development of high-resolution DEMs, do not exist. Use of TanDEM-X data is restricted for the Ukrainian territory. However, comparison between the SRTM and LiDAR models (for the Polish part) revealed that the SRTM model may be optimised to serve the whole area. Land-use and land-cover data (LULC) are important in many hydrological analyses. The availability of comparable LULC data is also limited. The Corine Land Cover (CLC) data available to EU countries, is missing for the Ukrainian part of the catchment. However, the authors propose using satellite images in the development of a comparable layer describing land cover of the whole catchment.

