

10.2478/bfpz-2013-0011

TOPOLOGICZNA ANALIZA PRZESTRZENNA STRUKTURY SIECI SZLAKÓW KAJAKOWYCH W POWIECIE BRODNICKIM

PAWEŁ MATULEWSKI

Zakład Geologii i Paleogeografii Czwartorzędu, Instytut Geoekologii i Geoinformacji,
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: The subject of this article is the topological arrangement of canoe paths based on the example of Brodnica District. The purpose of this study is a comprehensive topological analysis of the canoe tourist path system, taking into account the coherence and accessibility of junctions. The second purpose is the methodological dimension, associated with the need to extend tourist paths. The analysis has been the subject of research in transport geography. The article presents an application of methods used in tourism geography. The canoe path system is presented in the form of graphs. The number of indicators are calculated, among others, and central points designated. A great emphasis has been placed in the work on developing and testing methods of analysis.

Keywords: canoe tourism, canoe paths, topological analysis, Brodnica District

WPROWADZENIE

Opis i analiza struktury sieci od dawna jest tematem interesującym geografów. Świadczą o tym liczne modele sieci, na przykład komunikacyjnej (Taylor 1979). Związane są one głównie z siecią transportową. Do nich zalicza się między innymi modele określające strukturę sieci tramwajowej czy autobusowej oraz częstotliwości połączeń między ośrodkami. Rozwój teorii grafów poprzedza praktyczne zastosowanie technik grafowych. W badaniach przestrzennych zaczęto je stosować w latach 60. ubiegłego wieku. W Polsce wykorzystanie metod grafowych w badaniach przestrzennych postulują: Domański (1967), Chojnicki (1969, 1971), Taylor (1979, 1982) i Potrykowski (1982), a w ramach geografii turystyki przedstawił je Styperek (2000, 2002), analizując szlaki piesze w parkach narodowych i na obszarach chronionych w Wielkopolsce.

Zasadniczym wymogiem analizy topologicznej jest zaprezentowanie rzeczywistości istniejącej sieci szlaków kajakowych w postaci abstrakcyjnego układu zbioru punktów (węzłów lub wierzchołków) połączonych zbiorem linii (odcinków, krawędzi albo łuków). Ujęcie grafowe zwraca uwagę na układ połączeń między węzłami. W literaturze sugeruje się wiele wskaźników, które mierzą

różne struktury grafów. Szczególne znaczenie mają miary charakteryzujące spójność i dostępność, a także hierarchię węzłów i połączeń. Obliczenie niniejszych miar jest podstawą analizy statycznej struktury sieci i umożliwia porównanie różnych układów grafowych. Istnieje stosunkowo niewiele prac poświęconych zagadnieniu porównania sieci rzeczywistych z sieciami spekulowanymi. Niniejszy artykuł jest swoistą analizą porównawczą istniejącej sieci szlaków kajakowych z siecią zaproponowaną przez autora.

CEL PRACY I OBSZAR BADAŃ

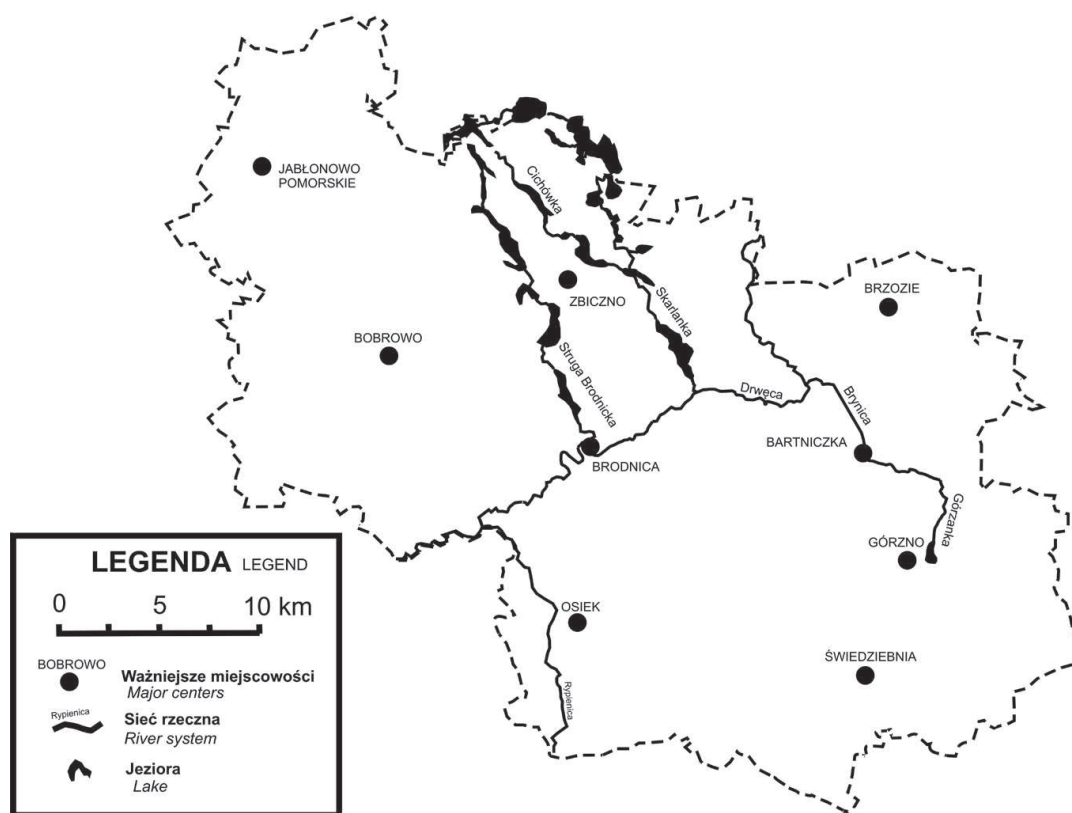
Cel niniejszej pracy jest podwójny. Z jednej strony ma charakter poznawczy, oparty na kompleksowej analizie topologicznej struktury przestrzennej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim, z drugiej zaś ma wymiar metodologiczny, związany z koniecznością rozszerzenia metod służących do analizy systemu sieci szlaków kajakowych, której metodyka badań jest słabo rozwinięta.

Zakres przestrzenny badań obejmuje powiat brodnicki, położony w północno-wschodniej części województwa kujawsko-pomorskiego. Według podziału na jednostki fizycznogeograficzne (Kondracki 2001) badany obszar znajduje się w zasięgu megaregionu Pozaalpejska Europa Środkowa (3) w prowincji: Niż Środkowoeuropejski (31), Podprowincji: Pojezierza Południowobałtyckie (314–316) w makroregionie Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie (315.1). W zasięgu tego makroregionu występuje sześć mezoregionów. Zachodni fragment (na zachód od rzeki Lutryny) to Pojezierze Chełmińskie (315.11), północna część to Pojezierze Brodnickie (315.12). Centralna część obszaru leży w granicach mezoregionu Dolina Drwęcy (315.13). Na południe i wschód od Doliny Drwęcy rozpościera się Pojezierze Dobrzyńskie (315.14). Północno-wschodnia część powiatu (na północ od rzeki Brynicy) leży w granicach Garbu Lubawskiego (315.15), a południowo-wschodnia (rejon Górzna) w granicach Równiny Urszulewskiej (315.16).

Badaniami objęto sieć szlaków kajakowych na terenie powiatu brodnickiego. Nie są to wytyczone i znakowane szlaki. Wystąpił więc problem, które z rzek i cieków badanego obszaru są przydatne do uprawiania kajakarstwa turystycznego. Wytyczenie szlaków kajakowych związane było z oceną uwarunkowań środowiska geograficznego badanego obszaru. W klasyfikacji przydatności rzek i cieków do uprawiania kajakarstwa turystycznego brano pod uwagę: szerokość koryta rzeki, głębokość tranzytowej, czystość wód, uwarunkowania prawne i ochronę środowiska, uciążliwość oraz malowniczość trasy. Efekt bezpośredniej analizy w terenie to szlaki wodne przydatne dla kajakarstwa turystycznego w powiecie brodnickim – rzeki: Drwęca, Skarlanka wraz z dopływami (Cichówka, kanał do jez. Strzemiuszczek, kanał do jez. Łąkorz, kanał do jez. Małe Partęczyny), Struga Brodnicka, Struga Górzanka, Brynica (od ujścia

Strugi Górzanki), Rypienica w granicach powiatu. Sieć szlaków kajakowych przedstawiono na rycinie 1.

Analizę wodnych szlaków turystycznych w powiecie brodnickim rozpoczęto od zaprezentowania proponowanego wyglądu sieci szlaków. Zasadniczy problem opisu właściwości szlaków leży właśnie w jego złożoności. Na rycinie 3 przedstawiono proponowany wygląd sieci szlaków kajakowych na badanym obszarze. Bariery zmian struktury sieci szlaków wynikają z własności środowiska przyrodniczego i nakładów inwestycyjnych. Jednak podczas analizy, przy projektowaniu, wzięto pod uwagę różne aspekty. Wyłączenie rzeki Rypienicy związane było z regulacjami prawnymi zabraniającymi ruchu turystycznego kajakowego, z kolei przedłużenie odcinka rzeki Brynicy łączył się z regulacją cieków, podobnie jak z kanałem łączącym jezioro Sopiń z Drwęcą. Połączenie Skarlanki i Strugi Brodnickiej w tak zwaną Pętlę Brodnicką stanowiłoby nawiązanie do tradycji kajakowych (pogłębione i oczyszczone kanały łączące jeziora). Nie jest możliwe bezpośrednie przepłynięcie z Jeziora Głowińskiego na jezioro Mielwo, jednakże w dawnych czasach często organizowano wyprawy kajakowe na tej trasie; obecnie wiele miejsc jest zarosniętych, nie widać dobrze przenoski, brak jakiegokolwiek infrastruktury służącej kajakarzom. W propozycji uwzględniono także izolowany odcinek szlaku kajakowego. Jest to fragment



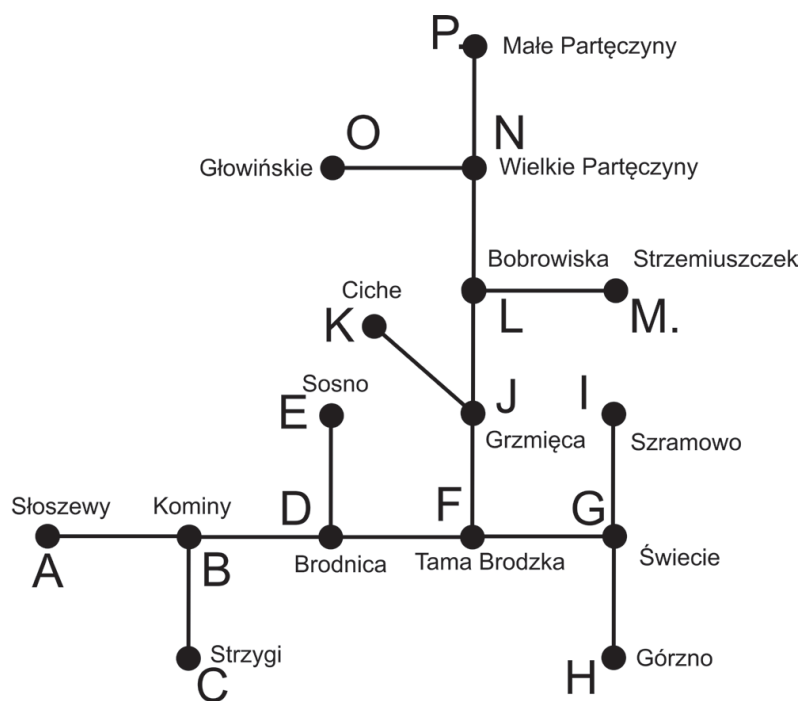
Ryc. 1. Szlaki kajakowe na tle granic powiatu brodnickiego
 Fig. 1. The canoe tourist path system in Brodnica District

rzeki Lutryny, łącej kilka jezior. Regulacja i oczyszczenie cieką spowodowałyby, że odcinek ten mógłby stać się ciekawym szlakiem kajakowym od jezior Grzywinek i Oleczno do długiego Jeziora Wądryńskiego (na zbiorniku obecnie odnotowuje się niewielki ruch kajakowy). Wymienione odcinki są jedynie potencjalnym obrazem sieci szlaków wodnych na terenie badanego obszaru zaproponowanym przez autora. Określenie ich jest jedynie pomocne w porównawczej analizie topologicznej szlaków wodnych i aplikacji niniejszej metody w badaniach nad szlakami wodnymi.

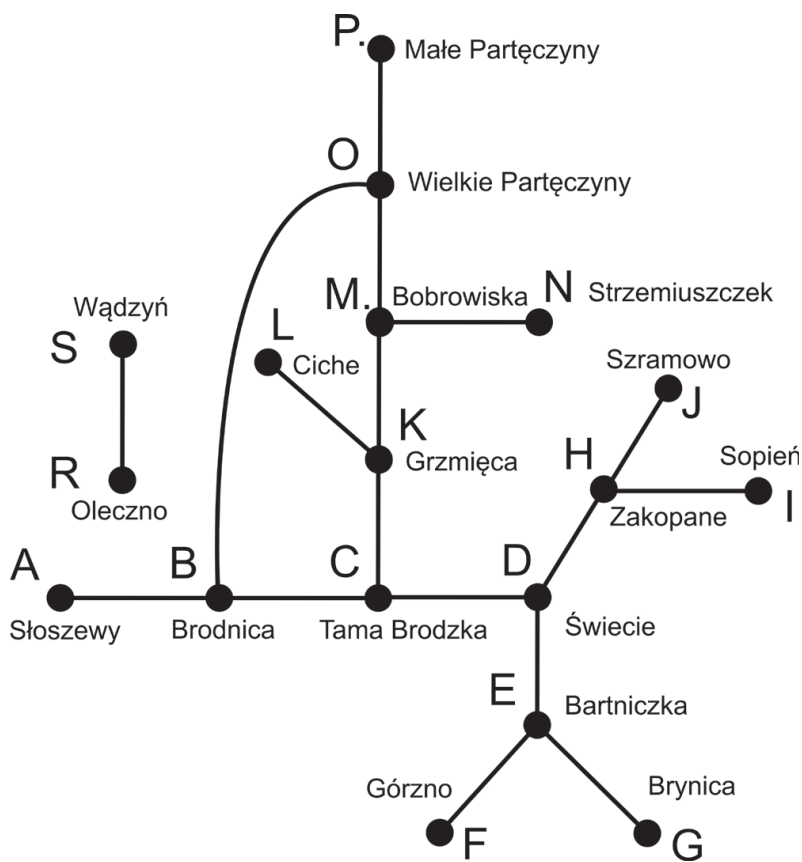
W pracy za podstawowy linearny system penetracji rekreacyjnej w ujęciu geometrycznym przyjmuje się pojedynczy ciąg przystosowany do penetracji rekreacyjnej, który określa się mianem segmentu, czyli linearnego połączenia dwóch punktów – początkowego i końcowego, nazywanych węzłami skrajnymi (Styperek 2002). Połączenia pomiędzy węzłami wewnętrznymi (punkty, w których trasy się przecinają), jak również pomiędzy węzłami skrajnymi z węzłami wewnętrznymi stanowią subsegmenty. Taki złożony system jest swoistego rodzaju układem geometrycznym, który tworzy sieć segmentów i subsegmentów połączonych węzłami wewnętrznymi, z kolei jego wierzchołki są węzłami skrajnymi. Cecha, jaką jest funkcjonalność penetracyjna systemu, łączy się przede wszystkim z lokalizacją węzłów i rozmieszczeniem segmentów, które jako element infrastruktury turystycznej określają dostępność penetracyjną terytorialnych systemów rekreacyjnych. Sieć szlaków kajakowych śmiało można nazwać zintegrowanym systemem ruchu turystycznego.

TOPOLOGICZNA ANALIZA STRUKTURY PRZESTRZENNEJ SIECI

Głównym wymogiem analizy topologicznej była prezentacja rzeczywistej sieci szlaków wodnych w postaci układu zbioru punktów (węzłów, wierzchołków) połączonych zbiorem linii (odcinków, krawędzi albo łuków). Jako wierzchołki przyjęto węzły szlaków, czyli punkty graniczne powiatu brodnickiego oraz miejsca, w których szlaki przecinają się, natomiast krawędzie potraktowano jako linearne połączenia między wierzchołkami (węzłami) (ryc. 2, 3). Wykorzystano wskaźniki, które mierzą różne aspekty struktury grafu. W badaniu zastosowano miary charakteryzujące spójność węzłów i połączeń, a także dostępność topologiczną i fizyczną. Podczas analizy wskaźników charakteryzujących spójność sieci oparto się na danych liczby wierzchołków (v), krawędzi (e) oraz podgrafów. Drugi rodzaj informacji dotyczy długości szlaku lub łańcucha w grafie; na tej podstawie wskaźniki pozwalają na scharakteryzowanie dostępności i ustalenie hierarchii węzłów w sieci.



Ryc. 2. Schemat grafu istniejącej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim
 Fig. 2. A schematic graph of the canoe tourist path system in Brodnica District



Ryc. 3. Schemat grafu proponowanej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim
 Fig. 3. A schematic graph of the proposed canoe tourist path system in Brodnica District

MIARY SPÓJNOŚCI SIECI

Sieć szlaków kajakowych potraktowano jak zbiór wierzchołków połączonych zbiorem krawędzi w postaci grafu płaskiego nieskierowanego (gdyż nie sprawdzamy kierunku przepływu lub przelotowości). W badaniu zmierzono stopień powiązań między wierzchołkami sieci, także w potencjalnym układzie sieci.

W sieci szlaków kajakowych regionu brodnickiego znajduje się 15 krawędzi, które łączy 16 węzłów, to znaczy że istnieje jeden i tylko jeden ciąg krawędzi (łańcuch) między wszystkimi parami węzłów. Sieć jest minimalnie spójna. W przypadku proponowanej sieci z obwodem, czyli skończonej drogi, w której początkowy wierzchołek pierwszego łuku jest końcowym wierzchołkiem ostatniego łuku drogi, znajduje się 18 wierzchołków i 17 krawędzi. W minimalnej spójnej sieci krawędzi E_{\min} będzie zawsze mniejsza od liczby wierzchołków v , co przedstawia poniższe stwierdzenie:

$$E_{\min} = v - 1.$$

Należy dodać, że usunięcie dowolnej krawędzi grafu istniejącej sieci szlaków spowoduje jej rozerwanie na dwie izolowane części. Wprowadzenie nowych połączeń między węzłami wpłynie dodatnio na wzrost spójności sieci.

Do analizy porównawczej złożoności struktury dwóch sieci zastosowano miary obrazujące stopień spójności sieci. Podstawowe miary wykorzystują topologiczne właściwości grafów.

W badaniach spójności sieci przyjęto następujące wskaźniki:

1. Wskaźnik β wprowadzony przez Kansky'ego. Określa stosunek liczby krawędzi (e) do liczby wierzchołków (v) w grafie:

$$\beta = e/v.$$

Im wyższa wartość wskaźnika β , tym większa spójność sieci. Dla obu grafów β przyjmuje wartość poniżej 1. Taka właściwość charakterystyczna jest dla drzew i grafów niespójnych. Z kolei, jeśli wartość wskaźnika β wynosi 1, wówczas sieć ma tylko jeden cykl (obwód). Jeśli dla sieci wartość β byłaby większa od 1, wówczas mówiono by, że ma złożony układ i dużą liczbę wierzchołków. Ponieważ wskaźnik β dla grafów płaskich przybiera wartości w przedziale od zera do trzech, można stwierdzić, iż badane sieci charakteryzują się słabą spójnością poniżej średniej. Można dodać, że kiedy niespójna sieć zmienia swą strukturę i spójność jej wzrasta, wówczas towarzyszy temu szybszy wzrost połączeń między istniejącymi węzłami niż przyrost liczby nowych węzłów.

2. Wskaźnik u , czyli liczba cyklomatyczna, zwana również *pierwszą liczbą Bettiego*. Kiedy nie występują podgrafy p (ryc. 2), wskaźnik u jest różnicą

istniejących w grafie krawędzi i wierzchołków, przy czym w obliczeniach wartość $p = 1$. Z kolei proponowana sieć szlaków ma dwa izolowane podgrafy (ryc. 3). Liczba cyklomatyczna przybiera postać:

$$u = e - v + p.$$

Dla analizowanych sieci wartość wskaźnika u dla pierwszego grafu wynosi zero, natomiast dla drugiego równa jest 1. Wiadomo, że wartość 1 przyjmują grafy z jednym cyklem.

3. Na podstawie wskaźnika u (liczba cyklomatyczna) obliczono wskaźnik α . Znając wartość jego i wskaźnika γ , badane sieci można zakwalifikować do układów o różnym stopniu spójności. Wskaźnik ten przybiera następującą postać dla grafów płaskich:

$$\alpha = u/(2v - 5).$$

Wartość zerową ma sieć pierwsza, gdzie liczba cyklomatyczna jest równa zero. Wartość ta charakterystyczna jest dla grafów niespójnych i drzew. Z kolei w drugiej sieci owa wartość wynosi 0,03.

4. Wskaźnik γ wyraża stosunek istniejącej liczby krawędzi do maksymalnie możliwej liczby krawędzi. Daje pojęcie o rozmiarach potrzebnych uzupełnień w sieci. Zaznaczyć należy, że wskaźnik γ nie zależy od liczby wierzchołków w sieci szlaków wodnych. Dla grafów płaskich wskaźnik γ przybiera postać:

$$\gamma = e/3(v - 2).$$

Wartość wskaźnika γ waha się od zera (brak spójności) do jedności (spójność maksymalna). Wartość wskaźnika γ dla pierwszego grafu wynosi 0,36, dla drugiego zaś 0,35. Pozwala to zakwalifikować sieci szlaków wodnych do układu rdzeniowego (według klasyfikacji sieci).

Klasyfikacja kształtów sieci w zależności od wartości wskaźników grafowych (Taaffe, Gauthier 1973, por. Styperek 2002) jest następująca.

A. Układy rdzeniowe

$$1/3 \leq \gamma \leq 1/2; v \geq 4 \\ \alpha = 0.$$

B. Układy kratowe

$$1/2 \leq \gamma \leq 2/3; v \geq 4 \\ 0 \leq \alpha \leq 1/2; v \geq 3.$$

C. Układy delta

$$2/3 \leq \gamma \leq 1; v \geq 3$$

$$1/2 \leq \alpha \leq 1; v \geq 3.$$

5. W pracy wykorzystano także, w celu uzupełnienia, inne wskaźniki spójności opracowane przez Kansky'ego, oznaczone jako η i τ . Wskaźnik η wyraża stosunek rzeczywistej długości sieci M , w tym przypadku w kilometrach, do liczby krawędzi e , natomiast τ reprezentuje stosunek całkowitej długości M sieci do liczby wierzchołków v , a więc:

$$\eta = M/e$$

$$\tau = M/v.$$

Dla pierwszego grafu wartość wskaźnika wynosi 8,38, natomiast dla drugiego 7,89.

6. Aby uzyskać informacje o liczbie krawędzi brakujących do grafu pełnego, przypadających na jeden wierzchołek, zastosowano wskaźnik G_p (Zagożdżon 1970, por. Styperek 2002) określany jako stopień rozwinięcia grafu:

$$G_p = \frac{\frac{v^2 - v}{2} - e}{v}.$$

Dla pierwszego grafu wartość G_p wynosi 6,56, dla drugiego zaś 7,56.

7. Z. Prihar (1956, por. Taylor 1979) przedstawia stopnie spójności sieci, które można wyrazić następująco:

$$C_{st} = v(v - 1)2e$$

$$1 \leq C_{st} \leq v/2.$$

Stopień spójności to stosunek maksymalnie możliwej liczby połączeń w sieci o v wierzchołkach do obserwowanej liczby krawędzi.

Tabela 1. Wskaźniki spójności sieci szlaków kajakowych w regionie brodnickim

Table 1. The cohesion indicators of canoe tourist path system in Brodnica District

Obszar badań	Liczba wierzchołków (v)	Liczba krawędzi (e)	Wskaźniki							
			β	γ	α	η	τ	G_p	C_{st}	
Istniejąca sieć szlaków kajakowych	16	15	0,93	0,36	0	8,93	8,38	6,56	8	
Proponowana sieć szlaków kajakowych	18	17	0,94	0,35	0,03	8,35	7,89	7,56	9	

DOSTĘPNOŚĆ TOPOLOGICZNA

Kolejnym etapem badań było obliczenie dostępności topologicznej węzłów sieci na podstawie trzech wskaźników: średnicy grafu, wskaźnika π oraz dostępności topologicznej. Uzupełnieniem jest wprowadzenie określenia dostępności fizycznej w celu lepszego scharakteryzowania badanej sieci. Jest ona sumą odległości w jednostkach długości z danego węzła do wszystkich pozostałych w sieci liczona wzdłuż najkrótszej trasy przejazdu. Z kolei dostępność czasowa będzie określana w ten sam sposób w jednostkach czasu.

W celu ustalenia średnicy grafu określono liczbę asocjacji wszystkich wierzchołków. Największe oddalenie z danego wierzchołka x do wszystkich pozostałych nazywamy właśnie liczbą asocjacji wierzchołka. Wierzchołek x_0 , dla którego liczba asocjacji jest skończona i najmniejsza ze wszystkich wierzchołków, nazywamy punktem centralnym grafu G . Maksymalna liczba asocjacji wierzchołka w całym grafie oznacza jego średnicę.

1.

$$\delta(G) = \max_{x, y \in X} d_{xy}$$

gdzie:

$\max d_{xy}$ – maksymalna liczba asocjacji wierzchołka w całym grafie.

Aby otrzymać wartość d , obliczono liczbę asocjacji dla wszystkich wierzchołków, a wierzchołki początkowy i końcowy nazwano punktami peryferyjnymi grafu. Obliczono oddalenia w sensie topologicznym, a nie w sensie fizycznym. Średnicę wykorzystano do obliczenia dwóch prostych wskaźników oznaczonych jako

2.

$$\pi = M/\delta(G)$$

oraz

$$\pi = M/e(G)$$

Pierwszy z nich oznacza stosunek rzeczywistej długości M sieci do jej średnicy $\delta(G)$, a drugi iloraz liczby e krawędzi i średnicy grafu.

3. Jedną z zalet ujęcia topologicznego jest możliwość korzystania z wygodnego zapisu macierzowego. Zapis macierzowy jest punktem odniesienia analizy spójności albo hierarchii węzłów sieci opartej na elementach algebry liniowej, mianowicie wartościach własnych i wektorach własnych.

Informacje o połączeniach między węzłami lub ich braku zapisuje się w kwadratowej macierzy połączeń (tab. 2, 4). Stosując zapis zero-jedynkowy w przypadku połączenia między dwoma węzłami zapisano 1, w przeciwnym razie 0. Wartości głównej przekątnej są równe zeru, czyli wykluczono istnienie pętli.

Tabela 2. Macierz połączeń dla grafu istniejącej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim

Table 2. The connection matrix of the canoe tourist path system in Brodnica District

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	1	2	1	3	1	3	3	1	1	3	1	3	1	3	1	1

Źródło: opracowanie własne

Jeśli w macierzy połączeń zera – z wyjątkiem leżących na głównej przekątnej – zastąpimy liczbą krawędzi liczonych wzdłuż najkrótszej drogi między każdą parą wierzchołków, wówczas otrzymamy macierz dostępności (tab. 3, 5, dostępność topologiczna). Stąd przez dostępność topologiczną rozumie się sumę oddaleń z danego węzła do wszystkich pozostałych w sieci. Najniższa wartość wskazuje węzeł najbardziej dostępny:

$$A_y = \sum_{x=1}^n d_{xy}$$

$$x, y \in X.$$

Shimbel (1953, por. Taylor 1979) proponuje dodatkowo inną miarę topologiczną – dyspersję sieci (grafu), czyli sumę wskaźników dostępności topologicznej:

$$D(G) = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n d_{xy}$$

$$x, y \in G,$$

Tabela 3. Macierz dostępności dla grafu istniejącej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim

Table 3. The availability matrix of canoe tourist path system in Brodnica District

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	0	1	2	2	3	3	4	5	5	4	5	5	6	6	7	7
B	1	0	1	1	2	2	3	4	4	3	4	4	5	5	6	6
C	2	1	0	2	3	3	4	5	5	4	5	5	6	6	7	7
D	2	1	2	0	1	1	2	3	3	2	3	3	4	4	5	5
E	3	2	3	1	0	2	3	4	4	3	4	4	5	5	6	6
F	3	2	3	1	2	0	1	2	2	1	2	2	3	3	4	4
G	4	3	4	2	3	1	0	1	1	2	3	3	4	4	5	5
H	5	4	5	3	4	2	1	0	2	3	4	4	5	5	6	6
I	5	4	5	3	4	2	1	2	0	3	4	4	5	5	6	6
J	4	3	4	2	3	1	2	3	3	0	1	1	2	2	3	3
K	5	4	5	3	4	2	3	4	4	1	0	2	3	3	4	4
L	5	4	5	3	4	2	3	4	4	1	2	0	1	1	2	2
M	6	5	6	4	5	3	4	5	5	2	3	1	0	2	3	3
N	6	5	6	4	5	3	4	5	5	2	3	1	2	0	1	1
O	7	6	7	5	6	4	5	6	6	3	4	2	3	1	0	2
P	7	6	7	5	6	4	5	6	6	3	4	2	3	1	2	0
	65	51	65	41	55	35	45	59	59	37	51	43	57	53	67	67

Źródło: opracowanie własne

gdzie:

D – dyspersja sieci G ,

d – oddalenie wierzchołków x od y .

Reed (1970, por. Taylor 1979) przedstawił wskaźnik przeciętnej długości drogi, który jest stosunkiem dostępności topologicznej do liczby wierzchołków w grafie (sieci):

$$P(G) = A_y/v$$

$$1 \leq P \leq v/2.$$

Minimalna liczba asocjacji wyznacza punkty centralne. W przypadku obu sieci występują po dwa punkty centralne o liczbie asocjacji równej 4: Tama Brodzka (punkt oznaczony jako F , C) oraz Grzmięca (J , K). Wyznaczone punkty centralne znajdują się w środkowej części Pojezierza Brodnickiego. Istnienie dwóch punktów jest, z jednej strony, niedogodne, gdyż nie wiadomo, względem którego prowadzić dalsze porównania. Do wyodrębnienia jednego z nich

Tabela 4. Macierz połączeń dla grafu proponowanej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim

Table 4. The connection matrix of proposed canoe tourist path system in Brodnica District

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S
A	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
C	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
O	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	1	3	3	3	3	1	1	3	1	1	3	1	3	1	3	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

wykorzystano macierz dostępności topologicznej, dzięki której wskazano, iż punktem centralnym w obu przypadkach jest Tama Brodzka (F , C) – miejsce, gdzie najchętniej uczęszczany szlak kajakowy Skarlanka wpływa do Drwęcy. Podobny wynik otrzymamy, posługując się wskaźnikiem względnej dostępności topologicznej węzłów podanym przez Stutza (1973, por. Taylor 1979) oraz ważonym wskaźnikiem Shimbela–Katza, opartym na założeniu, że zmniejsza się znaczenie połączeń między węzłami bardziej oddalonymi w sensie topologicznym.

Średnica grafu w obu sieciach wynosi $e/\sigma(G) = 7$. Wartości obu wskaźników π nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić, która sieć ma lepszy układ sieci pod względem asocjacji wierzchołków, ponieważ różnica jest niewielka.

Tabela 5. Macierz dostępności dla grafu proponowanej sieci szlaków kajakowych w powiecie brodnickim

Table 5. The availability matrix of proposed canoe tourist path system in Brodnica District

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	0	1	2	3	4	5	5	4	5	5	3	4	3	4	2	3
B	1	0	1	2	3	4	4	3	4	4	2	3	2	3	1	2
C	2	1	0	1	2	3	3	2	3	3	1	2	2	3	2	3
D	3	2	1	0	1	2	2	1	2	2	2	3	3	4	3	4
E	4	3	2	1	0	1	1	2	3	3	3	4	4	5	4	5
F	5	4	3	2	1	0	2	3	4	4	4	5	5	6	5	6
G	5	4	3	2	1	2	0	3	4	4	4	5	5	6	5	6
H	4	3	2	1	2	3	3	0	1	1	3	4	4	5	4	5
I	5	4	3	2	3	4	4	1	0	2	4	5	5	6	5	6
J	5	4	3	2	3	4	4	1	2	0	4	5	5	6	5	6
K	3	2	1	2	3	4	4	3	4	4	0	1	1	2	2	3
L	4	3	2	3	4	5	5	4	5	5	1	0	2	3	3	4
M	3	2	2	3	4	5	5	4	5	5	1	2	0	1	1	2
N	4	3	3	4	5	6	6	5	6	6	2	3	1	0	2	3
O	2	1	2	3	4	5	5	4	5	5	2	3	1	2	0	1
P	3	2	3	4	5	6	6	5	6	6	3	4	2	3	1	0
	53	39	33	35	45	59	59	45	59	59	39	53	45	59	45	59

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6. Wskaźniki dostępności topologicznej węzłów sieci szlaków kajakowych

Table 6. The accessibility topological indicators nodes of canoe tourist path system

Obszar badany	Długość szlaków kajakowych	Wskaźniki		
		$\sigma(G)$	$\Pi = M/\sigma(G)$	$\Pi = e/\sigma(G)$
Istniejąca sieć	142,4 km	7	20,34	2,14
Proponowana sieć	138,2 km	7	19,74	2,43

WNIOSKI

W badaniach położono duży nacisk na wypracowanie i sprawdzenie metod analizy. Nowym elementem metodycznym w pracach nad szlakami wodnymi jest aplikacja analizy topologicznej do badania struktury sieci szlaków wodnych.

Z analizy spójności sieci wynikało, iż rozpatrywane sieci sklasyfikowano do układu rdzeniowego oraz zaliczono do drzew i grafów niespójnych, które charakteryzują się słabą spójnością poniżej średniej. Zastosowana metoda pozwala także na wyróżnienie tych punktów w sieci szlaków kajakowych, które cechują się największą dostępnością. W obu przypadkach widoczne jest charakterystyczne skupienie węzłów najbardziej dostępnych w rejonach położonych w bliższym lub dalszym sąsiedztwie. Najmniejszą dostępnością topologiczną odznaczają się wierzchołki położone peryferyjnie, nazywane węzłami skrajnymi. W przypadku powiatu brodnickiego obszary wodne o największej dostępności penetracyjnej pokrywają się z rozmieszczeniem najatrakcyjniejszych walorów turystycznych. Tama Brodzka to miejsce wielu początków spływów kajakowych, gdzie obecnie widać zmiany w infrastrukturze turystycznej (miejsce na odpoczynek, tablice informacyjne, miejsce na postój kajaków, mały parking). Odznacza się ona dobrym położeniem nie tylko w sensie topologicznym, ale również fizycznym (przy głównych szlakach rowerowych, pieszych, a także przy drodze krajowej.) Grzmięca natomiast to centrum Pojezierza Brodnickiego. Tam krzyżuje się wiele szlaków turystycznych, a w pobliżu odnajdziemy liczne ośrodki wypoczynkowe, domy letniskowe, campingi czy kwatery prywatne.

Uzyskane wyniki pozwoliły na interpretację sieci szlaków kajakowych na terenie powiatu brodnickiego i pogląd zastosowanej metody. Otrzymano schematyczny obraz sieci szlaków kajakowych. W niniejszej pracy analizowano szlaki w tradycyjny sposób, co może też wpłynąć na ograniczone możliwości opisu otrzymanych współczynników. Nie ma dokładnych informacji, jak zmieniała się sieć szlaków. Jest to bardzo trudne do zweryfikowania, dlatego porównano istniejącą sieć szlaków kajakowych wyznaczonych na podstawie opracowanych kryteriów, z przypuszczalnym układem szlaków kajakowych w celach czysto praktycznych, sprawdzających analizowaną metodę.

Duża liczba krawędzi i węzłów, jak na szlaki kajakowe, daje szereg wielowariantowych możliwości penetracji rekreacyjnej. W analizowanym przypadku na większości szlaków możliwy jest dwukierunkowy spływ, jedynie na rzece Drwęcy jest to bardzo uciążliwe. W porównaniu do tras pieszych, które są projektowane i wytyczane w terenie, szlaki wodne przede wszystkim są efektem zachodzących procesów naturalnych. Trudno jest zmodyfikować układ szlaków wodnych z przyczyn ekonomicznych i ekologicznych. Można wyłączyć szlak wodny z użytkowania, wprowadzając zakazy. Jedynie procesy naturalne lub celowa działalność człowieka może spowodować zmiany w układzie sieci, jednak wiąże się to z dużymi kosztami i zmianami ekologicznymi. Spodziewać się można ciekawszej i zarazem efektywniejszej interpretacji wyników w ujęciu dynamicznym, obejmującym zmiany zachodzące w sieci szlaków w pewnych przedziałach czasowych lub w porównaniu do innych sieci szlaków kajakowych (np. system szlaków kajakowych Krutyni, Czarnej Hańczy czy Pojezierza Drawskiego).

Reasumując, należy także dodać, że główna zaleta charakterystyki dostępności systemu sieci szlaków kajakowych polega na badaniu dostępności każdego węzła względem wszystkich pozostałych. Wartością jest również zwrócenie uwagi na sieć jako całość, a nie tylko na połączenia obszarów peryferyjnych.

LITERATURA

- Bartkowski T., 1977: *Metody badań geografii fizycznej*. PWN, Warszawa–Poznań.
- Choiński A., 1991: *Katalog Jezior Polski – część 2: Pojezierze Mazurskie*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Chojnicki A., 1969: *Metody matematyczne w badaniach geograficznych*. Czas. Geogr., 40, 175–188.
- Chojnicki A., 1971: *Metody matematyczne w geografii fizycznej*. Przegl. Geogr., 43, 297–310.
- Cholewa J., 2004: *Wybrane elementy turystyki kajakowej*. Wyd. AWF w Katowicach, Katowice.
- Domański R., 1967: *Konstruowanie teorii w geografii ekonomicznej*. Przegl. Geogr., 39, 85–102.
- Drabik J., 1991: *Kajakarstwo – teoria i praktyka (sport, turystyka, rekreacja)*. Wyd. Uczelniane AWF w Gdańsku, Gdańsk, 86–93.
- Galiński Z., 2004: *Drwęca – przewodnik dla kajakarzy*. Wyd. Pascal, Bielsko-Biała.
- Jastrzębski B., 1960: *Turystyczne szlaki wodne Polski*. Wyd. Sport i Turystyka, Warszawa.
- Klimaszewski K., 1973: *Założenia rozwoju turystyki wodnej w Polsce w latach 1971–1985*. Inst. Turystyki, Warszawa.
- Klimaszewski M., 1994: *Geomorfologia*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kondracki J., 2000: *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kowalczyk A., 2000: *Geografia turystyki*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kożuchowski K., 2005: *Walory przyrodnicze w turystyce i rekreacji*. Wyd. Kurpisz, Poznań.
- Potrykowski M., Taylor Z., 1982: *Geografia transportu. Zarys problemów, modeli i metod badawczych*. PWN, Warszawa, 98–130.
- Ratajczak W., 1980: *Analiza i modele wpływu czynników społeczno-gospodarczych na kształtowanie się sieci transportowej*. PWN, Warszawa–Poznań.
- Ratajczak W., 1999: *Modelowanie sieci transportowych*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Styperek J., 2001: *Pieszne szlaki turystyczne w polskich parkach narodowych*. „Turystyka”, 11/1.
- Styperek J., 2002: *Linearne systemy penetracji rekreacyjnej*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Taylor Z., 1979: *Przestrzenna dostępność miejskiego systemu transportowego na przykładzie Poznania*, t. LXVII. PWN, Warszawa.

TOPOLOGICAL ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE OF CANOE PATHS IN BRODNICA DISTRICT

Summary

The study placed great emphasis on developing and testing methods of analysis. The new methodological elements in the development of waterways is the application of topological analysis to examine the structure of the network of trails. The canoe paths are presented in the form of graphs. This method allows to specify points in the network of canoe paths which are characterized by the

highest accessibility. Visible junctions are characteristically focused on the most accessible areas located in both the immediate and more distant vicinity. The lowest topologically available junctions are peripherally located trail ends. In the case of Brodnica District, water areas characterized by the highest accessibility coincide with the locations of the most attractive tourist sites

Compared to hiking trails that are designed and marked on the ground to, waterways, the latter are the result of natural processes and activities. It is difficult to modify the system of waterways due to economic and ecological reasons. There is no accurate information about the varied networks of trails in the past. It is very difficult to check. In the article author compares the network of routes with a proposed network of canoe routes. The analysis showed how such a network might look in the future.

An important aspect of the work is to study the accessibility of each junction to the others. Moreover it draws attention to the network as a whole, not just to the connection of peripheral areas.