

**ZMIENNOŚĆ WZORCA PRZESTRZENNEGO KRAJOBRAZU
W ŚWIETLE INTERPRETACJI DOSTĘPNYCH MATERIAŁÓW
KARTOGRAFICZNYCH I TELEDETEKCYJNYCH**

**THE VARIATION OF SPATIAL LANDSCAPE PATTERN
BASED ON CARTOGRAPHIC AND REMOTE SENSING DATA**

Mieczysław Kunz

Zakład Teledetekcji i Kartografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika

SŁOWA KLUCZOWE: GIS, miary krajobrazu, pokrycie/użytkowanie terenu, integracja danych, ekologia krajobrazu

STRESZCZENIE: Analizowano zmienność wzorca przestrzennego krajobrazu trzech poligonów badawczych zlokalizowanych w Zaborskim Parku Krajobrazowym. Na każdym z wybranych poligonów w ciągu ostatnich 210 lat gospodarka leśna realizowana była z odmienną intensywnością. Zmienność struktury krajobrazu, wynikająca ze zmian technologicznych w leśnictwie oraz z różnego użytkowania poszczególnych powierzchni, określona została na podstawie dostępnych materiałów kartograficznych, topograficznych i teledetekcyjnych z lat 1796-2000. Przeanalizowano 6 stanów czasowych na podstawie interpretacji map topograficznych, 6 stanów na podstawie interpretacji map przeglądowych drzewostanów i zdjęć lotniczych oraz 7 stanów na bazie interpretacji zobrażeń satelitarnych. Dla przeprowadzenia porównań powierzchni badawczych obliczono wybrane miary i wskaźniki wzorca przestrzennego krajobrazu. Obliczeń dokonano zarówno na poziomie krajobrazu, jak i poszczególnych kategorii użytkowania terenu. Większość etapów postępowania badawczego zrealizowano z zastosowaniem technologii Systemów Informacji Geograficznej.

1. WPROWADZENIE

Strukturę krajobrazu i jej zmienność w czasie i w przestrzeni można analizować na kilka sposobów wykorzystując przy tym różne metody i narzędzia badawcze. Jedną z podstawowych technik badawczych stosowanych w ekologii krajobrazu są Systemy Informacji Geograficznej (GIS). Ta nowoczesna technologia umożliwia dokonywanie oceny struktury krajobrazu za pomocą szeregu miar i wskaźników ekologicznych, dokonywanych w oparciu o wiele różnorodnych źródeł informacji. Umożliwia ona tworzenie map i wykonywanie analiz porównawczych nie tylko w poszczególnych obszarach badanej przestrzeni, ale również z uwzględnieniem upływającego czasu. Ekologia krajobrazu z powodzeniem wykorzystuje narzędzia i procedury geoinformacyjne w połączeniu z metodami standardowymi stosowanymi od wielu lat.

Współczesny obraz wzorca przestrzennego krajobrazu jest wynikiem wszelkich działań i procesów zachodzących na analizowanym obszarze w przeszłości. Niemal każda

działalność człowieka dotycząca przestrzeni znajduje odzwierciedlenie w mozaice krajobrazowej utworzonej przez różne formy użytkowania terenu.

Na obszarach leśnych strukturę przestrzenną krajobrazu silnie modyfikują zmiany użytkowania śródleśnych obszarów rolniczych, zachodzące głównie wskutek celowego zalesiania lub naturalnego procesu sukcesji lasu po zaprzestaniu uprawy rolnej. Przeprowadzone w XIX wieku z przyczyn politycznych i ekonomicznych zalesienia w północnej części Zaborskiego Parku Krajobrazowego znacznie zmieniły wskaźniki określające strukturę krajobrazu. Celem pracy było określenie różnic w przebiegu zmian wskaźników i miar struktury krajobrazu na trzech powierzchniach badawczych w przeszłości w różnym stopniu odlesionych i powtórnie zalesionych. W ostatnich latach jedna z tych powierzchni stała się obszarem o wysokim statusie ochrony, zaś na pozostałych produkcja i pozyskanie drewna prowadzone jest z różną intensywnością.

2. TEREN BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone na obszarze Zaborskiego Parku Krajobrazowego (ZPK) zlokalizowanego w dzielnicy przyrodniczo-leśnej Bory-Tucholskie obejmującej jeden z największych kompleksów leśnych w Polsce (Trampler *et al.*, 1990). Teren badań położony jest w Polsce północnej na terenie województwa pomorskiego. Pod względem administracyjnym jest to teren gmin Chojnice i Brusy, położony na północ i zachód od tych miast (rys. 1). Na obszarze parku dominują dziś lasy (71 %) oraz ekosystemy wodne, głównie rzeki i jeziora (13 %). Teren został ostatecznie ukształtowany przez najmłodsze zlodowacenie bałtyckie i dlatego występują tu bardzo zróżnicowane polodowcowe formy rzeźby terenu w postaci dolin, rynien, i oczek wodnych, które w połączeniu z pagórkami wydmy tworzą mocno zróżnicowany krajobraz (Kondracki, 1988). Na zmienność przestrzenną krajobrazu wywołaną czynnikami naturalnymi nakłada się heterogeniczność spowodowana prowadzoną w rejonie dzisiejszego ZPK od ponad 130 lat intensywną gospodarką leśną.

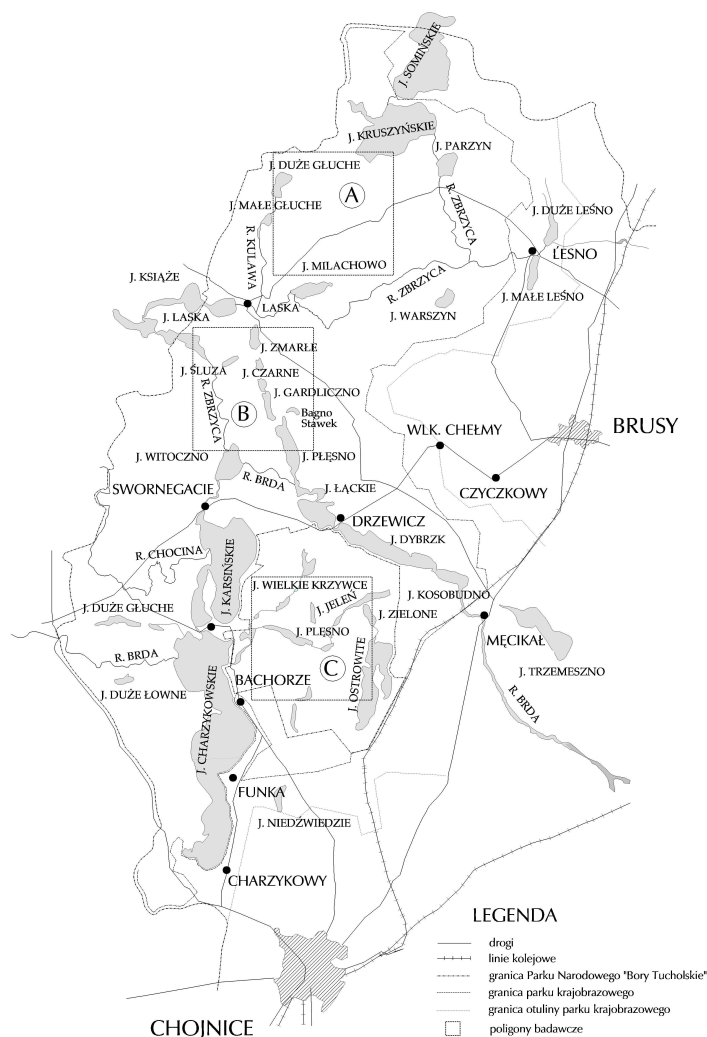
Przedmiotem analizy są wybrane fragmenty Zaborskiego Parku Krajobrazowego, w których gospodarka leśna w przeszłości realizowana była z różną intensywnością (rys. 1). Zmienność przestrzenna krajobrazu analizowana była w gradiencie zmniejszającego się oddziaływania człowieka. Dla potrzeb analiz wyznaczono trzy duże poligony badawcze:

- obszar na północ od rzeki Zbrzycy w rejonie jeziora Kruszyńskiego, gdzie w jeszcze w końcu XIX wieku dominowały ubogie pastwiska owcze; tereny te zostały zalesione po utworzeniu pruskiego *Oberforstereich Zwangshoff* i w następnych latach był to obszar najintensywniejszej gospodarki leśnej na całym rozważanym terenie (poligon badawczy Kruszyn);
- obszar na północ od linii jezior Witoczno - Łąckie - Dybrzk, gdzie, według danych zamieszczonych na dawnych mapach topograficznych, nieprzerwanie występowały kompleksy leśne; na tym terenie znaczne powierzchnie zajmują dziś rezerwy przyrody oraz najstarsze drzewostany na całym obszarze ZPK (poligon badawczy Laska);

Zmienność wzorca przestrzennego krajobrazu w świetle interpretacji dostępnych materiałów kartograficznych i teledetekcyjnych

- obszar leżący w obrębie Parku Narodowego „Bory Tucholskie”, gdzie od 1996 roku pozyskiwanie drewna i innych produktów leśnych odbywa się w bardzo ograniczonym zakresie (poligon badawczy PNBT).

Każdy poligon badawczy ma wymiar kwadratu o boku 5 040 m. Tak wyznaczone powierzchnie są podstawą do analizowania wskaźników wzorca przestrzennego krajobrazu.



Rys. 1. Położenie obszaru badań – poligony badawcze:
A - Kruszyn, B - Laska, C - PNBT

3. METODY

Głównym źródłem informacji o czasowych i przestrzennych zmianach struktury krajobrazu były mapy topograficzne z lat 1796-1999, mapy przeglądowe drzewostanów wykonane w latach 1911-2001 (tabela 1 i 2) oraz zobrazowania satelitarne (tabela 3). Ponadto jako materiały uzupełniające do określenia pokrycia terenu dla lasów i gruntów prywatnych wykorzystano zdjęcia lotnicze wykonane w latach 1951-1997 (tabela 4). Obróbkę materiałów kartograficznych i zdjęć lotniczych oraz wykonanie map przeprowadzono w technologii GIS z wykorzystaniem posiadanych licencjonowanych programów MicroStation z konfiguracjami oraz ArcView wraz z rozszerzeniami niezbędnymi do przeprowadzenia analizy struktury krajobrazu.

W opracowaniu zwracano uwagę na dokładność kartograficzną materiałów źródłowych oraz na standaryzację danych pochodzących z różnych źródeł i wykonanych różną techniką kartograficzną i fotograficzną. Dzięki temu wypracowano algorytm postępowania w przypadku korzystania z serii wieloczasowych danych źródłowych.

Zmienność przestrzenną struktury krajobrazu badano w oparciu o kwadratowe poligony badawcze. Przy dokładnym określaniu położeniu poligonów badawczych zastosowano posiadane urządzenie GPS wraz z odbiornikiem poprawek różnicowych. Sposób wykorzystania takiego lokalizatora w powiązaniu z bazą danych przedstawił, m.in. K. Rutchey, L. Vilcheck (Rutchey, Vilcheck, 1994).

W niniejszej pracy dla scharakteryzowania zmian struktury krajobrazu na obszarze Zaborskiego Parku Krajobrazowego pod wpływem oddziaływania gospodarki leśnej zastosowano wybrane miary wydzielen, tj. płatów wyodrębnionych na seriach map topograficznych i mapach przeglądowych drzewostanów. Obliczenia wykonano głównie o oparciu o wektorową bazę danych. Dynamikę zmian pokrycia/użytkowania terenu obliczono z wykorzystaniem niejednorodnych łańcuchów Markowa (Childress *et al.*, 1998; Weiner, 1999).

Tabela 1. Wykaz wprowadzonych do systemu GIS i wykorzystanych map topograficznych

Lp.	Rodzaj mapy	Skala	Rok wydania	Liczba arkuszy
1	mapy topograficzne w układzie 1965	1:25 000	1985	8
2	mapy topograficzne w układzie 1942	1:25 000	1954	6
3	mapy topograficzne WIG	1:25 000	1936	6
4	pruskie mapy topograficzne - Messtischblätter	1:25 000	1874	6
5	mapy Schröttera-Engelhardta	1:50 000	1796-1802	2

Tabela 2. Wykaz wprowadzonych do systemu GIS i wykorzystanych map przeglądowych drzewostanów z operatami urządzania lasu

Lp.	Rodzaj mapy	Skala	Rok wydania	Liczba arkuszy
1	mapy przeglądowe drzewostanów	1:20 000	1999-2001	6
2	mapy przeglądowe drzewostanów	1:25 000	1987-88	4
3	mapy przeglądowe drzewostanów	1:20 000	1976	4
4	mapy przeglądowe drzewostanów	1:20 000	1966	4
5	mapy przeglądowe drzewostanów	1:20 000	1952-54	4
6	mapy przeglądowe drzewostanów	1:20 000	1945	3
7	mapy przeglądowe drzewostanów	1:20 000	1911-1926	4

Tabela 3. Wykaz wykorzystanych zobrazowań satelitarnych

Lp.	Satelita	Data
1	Landsat ETM+	30.05.2003
2	Landsat ETM+	05.05.2000
3	Landsat TM	28.07.1990
4	Landsat MSS	05.04.1981
5	Landsat MSS	12.10.1979
6	Landsat MSS	26.05.1978
7	Landsat MSS	09.09.1975

Tabela 4. Wykaz wprowadzonych do systemu GIS i wykorzystanych zdjęć lotniczych

Lp.	Rodzaj mapy	Skala	Rok wydania	Liczba zdjęć
1	barwne	1:26 000	1997	17
2	panchromatyczne	1:12 000	1986	23
3	panchromatyczne	1:16 500	1975	45
4	panchromatyczne	1:13 000	1964	44
5	panchromatyczne	1:25 000	1951	41

Zastosowano wiele wskaźników i miar wzorca przestrzennego krajobrazu, z których najważniejsze to:

- miary powierzchni płątów - powierzchnia kategorii (CA), największy powierzchniowo płąt (LPA),
- miary gęstości i rozmiaru płątów - liczba płątów (NUMP), średnia wielkość płątu (MPS),
- miary krawędzi - łączna długość granic (TE), gęstość granic (ED), średnia długość granic (MPE),
- miary kształtu - średni wskaźnik kształtu (MSI), wymiar fraktalny (FD), liczba punktów charakteryzujących kształt płąta (NSCP), wg Mosera (Moser *et al.*, 2002)
- miary różnorodności - wskaźnik różnorodności Shannon'a (SDI).

Dodatkowo dla wybranych poligonów badawczych sporządzono mapy zmienności przestrzennej NDVI. Z wcześniejszych badań wynika, że wartość NDVI dobrze wyraża intensywność oddziaływań człowieka na roślinność i krajobraz (Kunz *et al.*, 2000). Ponadto, zgodnie z koncepcją krajobrazu jako systemu płątów-korytarzy zaproponowaną przez Formana i Godrona (Forman, Godron, 1986), obliczono na wszystkich stanach map topograficznych długość barier i korytarzy ekologicznych (a więc długości dróg lokalnych i wiejskich oraz cieków).

4. WYNIKI

Zmiany wartości wskaźników i miar wzorca przestrzennego krajobrazu na podstawie interpretacji map topograficznych z lat 1796-1999 zawarte zostały w tabeli 5. Tabela 6 zawiera natomiast wartości tych wskaźników uzyskanych na podstawie interpretacji map przeglądowych drzewostanów i zdjęć lotniczych. Najistotniejsze zmiany miar krajobrazowych interpretowane na podstawie map topograficznych wystąpiły w latach 1796-1937. Nastąpiło wtedy przekształcenie krajobrazu z nieleśnego w krajobraz leśny.

Tabela 5. Zmiany wybranych wskaźników wzorca przestrzennego krajobrazu w latach 1796-1999 otrzymanych na podstawie interpretacji map topograficznych

PNBT						LASKA						KRUSZYN						poligon badawczy		
1796	1874	1937	1954	1985	1999	1796	1874	1937	1954	1985	1999	1796	1874	1937	1954	1985	1999	rok		
1707.8	2004.7	2169.0	2215.9	2236.7	2218.8	1433.6	1580.0	2067.7	2136.1	2174.4	2181.5	1105.9	437.7	2192.4	2280.1	2313.5	2346.7	CA [ha]	A	I
91	102	85	119	142	96	104	77	115	181	180	176	112	128	111	207	135	204	NUMP	A	II
27.91	24.90	29.88	21.35	17.89	26.46	24.42	32.99	22.09	14.03	14.11	14.45	22.68	19.85	22.89	12.29	18.82	12.45	MPS	B	II
10	13	23	75	88	48	20	5	32	121	99	89	34	62	29	133	85	123	NUMP	B	II
170.8	154.2	94.3	29.5	25.4	46.2	71.68	316	64.62	17.65	21.96	24.51	32.53	7.06	75.60	17.14	27.22	19.08	MPS	B	III
200.6	201.9	178.8	277.8	273.0	191.1	252.4	184.7	221.2	335.4	291.6	241.5	338.5	207.9	214.4	344.6	270.3	307.1	TE [km]	A	III
78.9	79.4	70.4	109.3	107.5	75.2	99.4	72.2	87.1	132.0	114.6	94.9	133.3	81.6	84.4	135.4	106.4	120.9	ED [m/ha]	A	III
2.20	1.98	2.10	2.33	1.92	1.99	2.43	2.39	1.92	1.85	1.62	1.37	3.02	1.62	1.93	1.67	2.00	1.50	MPE [km]	B	III
85.7	94.4	109.4	223.9	217.7	136.0	105.9	59.3	128.3	260.4	209.2	163.1	153.3	61.9	123.4	277.4	220.2	253.1	TE [km]	B	III
33.7	37.2	43.1	88.1	85.7	53.6	41.7	23.3	50.5	102.5	82.3	64.1	60.4	24.4	48.5	109.0	86.7	99.7	ED [m/ha]	B	III
8.56	7.26	4.76	2.99	2.47	2.83	5.29	11.85	4.01	2.15	2.11	1.83	4.51	0.99	4.25	2.09	2.59	2.06	MPE [km]	B	III
1.59	1.63	1.58	1.66	1.72	1.64	1.64	1.61	1.61	1.62	1.68	1.54	1.73	1.49	1.68	1.60	1.80	1.67	MSI	A	IV
1.32	1.32	1.33	1.34	1.35	1.35	1.33	1.32	1.35	1.34	1.36	1.30	1.34	1.20	1.35	1.31	1.33	1.28	FD	A	IV
19.3	16.4	14.8	14.6	15.1	15.6	19.9	17.3	16.1	12.9	15.1	13.4	28.4	11.8	14.5	13.4	13.5	13.2	NSCP	B	IV
2.26	1.84	1.64	1.75	1.82	1.65	1.71	1.95	1.71	1.65	1.67	1.54	2.06	1.40	1.71	1.65	1.66	1.69	MSI	B	IV
1.34	1.19	1.30	1.34	1.35	1.34	1.33	1.28	1.33	1.34	1.35	1.25	1.35	1.04	1.32	1.30	1.32	1.48	FD	B	IV
56.0	33.2	21.2	14.6	15.3	17.4	33.1	53.8	20.0	11.9	14.8	12.8	43.9	7.3	20.1	13.8	14.4	15.2	NSCP	A	V
1.33	1.65	1.45	1.18	1.19	1.32	1.29	1.63	1.56	1.44	1.33	1.50	1.05	1.25	1.46	1.30	1.21	1.42	SDI	A	V

Oznaczenia w tabeli: I – miary powierzchni, II – miary gęstości i rozmiaru, III – miary krańdź, IV – miary kształtu, V – miary różnorodności; A – poziom krajobrazu, B – poziom kategorii

Tabela 6. Zmiany wybranych wskaźników wzorca przestrzennego krajobrazu w latach 1911-2000 otrzymanych na podstawie interpretacji map przeglądowych drzewostanów i zdjęć lotniczych

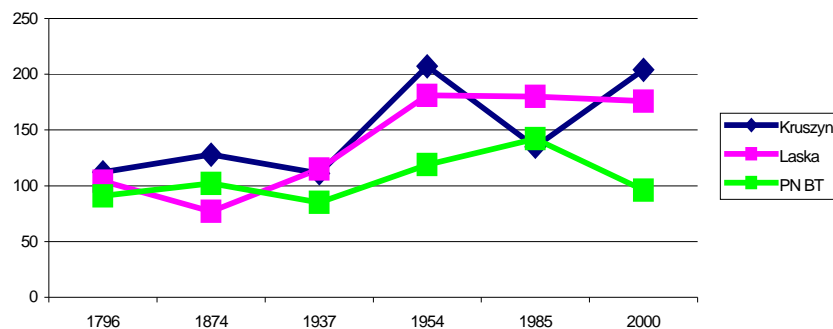
PNBT						LASKA						KRUSZYN						poligon badawczy	
1911	1952	1966	1976	1987	2000	1945	1953	1966	1976	1988	1999	1945	1954	1966	1976	1988	1999	rok	
2183	2106	2156	2201	2215	2213	2047	2031	2096	2139	2169	2172	2090	2197	2250	2286	2318	2313	CA [ha]	I
259	509	765	517	511	549	452	650	884	611	618	703	436	800	926	605	621	673	NUMP	A
9.87	5.03	3.36	5.08	5.06	4.67	5.47	3.74	2.73	4.10	4.17	3.72	5.97	3.14	2.74	4.36	4.14	3.77	MPS	A
216	392	660	450	456	497	351	507	739	514	533	595	316	610	742	490	524	568	NUMP	B
10.15	5.40	3.28	4.95	4.92	4.48	5.79	3.93	2.81	4.14	4.21	3.69	6.72	3.57	3.01	4.80	4.47	4.06	MPS	B
358728	548096	698200	577614	579603	602062	493827	596295	718335	599790	596505	634710	484453	669973	749472	606024	626035	645761	TE [km]	A
140	215	274	225	226	235	195	238	290	236	236	247	186	263	295	235	245	255	ED [m/ha]	A
1388	1082	920	1144	1146	1102	1070	891	795	970	985	923	1113	825	807	1026	1017	963	MPE [km]	A
302707	421257	595518	513133	521760	544413	394008	473147	605693	516214	519890	552967	374912	548034	639245	529112	559628	578876	TE [km]	B
118	165	235	202	204	213	165	199	255	215	216	230	151	222	259	211	224	233	ED [m/ha]	B
1402	1078	905	1151	1152	1097	1120	922	822	1002	1015	941	1195	891	858	1101	1078	1021	MPE [km]	B
1.46	1.67	1.65	1.66	1.63	1.66	1.49	1.52	1.54	1.53	1.53	1.52	1.49	1.51	1.55	1.55	1.58	1.57	MSI	A
1.30	1.35	1.36	1.34	1.33	1.34	1.33	1.34	1.36	1.33	1.33	1.34	1.32	1.35	1.35	1.33	1.34	1.34	FD	A
9.07	8.29	7.56	8.75	8.55	9.06	9.45	9.06	8.49	9.41	9.43	9.28	9.99	9.49	8.67	9.74	9.56	9.35	NSCP	A
1.44	1.50	1.58	1.66	1.64	1.67	1.48	1.51	1.53	1.54	1.54	1.54	1.48	1.51	1.54	1.56	1.59	1.58	MSI	B
1.30	1.32	1.35	1.34	1.33	1.34	1.32	1.34	1.36	1.33	1.33	1.34	1.32	1.34	1.34	1.33	1.34	1.34	FD	B
8.32	8.18	7.43	8.50	8.20	8.55	8.88	8.77	8.14	8.87	8.87	8.87	10.27	9.76	8.89	9.92	9.56	9.35	NSCP	B
0.60	0.88	0.61	0.48	0.43	0.43	0.70	0.76	0.59	0.44	0.43	0.35	0.82	0.77	0.60	0.52	0.46	0.44	SDI	A
																			Y

Oznaczenia w tabeli: I – miary powierzchni, II – miary gęstości i rozmiaru, III - miary krawędzi, IV – miary kształtu, V – miary różnorodności; A – poziom krajobrazu, B – poziom kategorii

Najistotniejsze zmiany miar krajobrazowych interpretowane na podstawie map przeglądowych drzewostanów wystąpiły w latach 1953-1966, kiedy to trwał okres największego pozyskania drewna.

Otrzymane zmiany jakościowe (prawdopodobieństwo wystąpienia danej kategorii) otrzymane na podstawie analizy niejednorodnych łańcuchów Markowa prezentują inne opracowania (Kunz, 2005).

W latach 1796-1985 na wszystkich poligonach badawczych wzrastała liczba płatów krajobrazowych interpretowana na podstawie map topograficznych (rys. 2). W ostatnim analizowanym okresie XX wieku (lata 1985-2000) liczba płatów zmniejszyła się lub utrzymała na podobnym poziomie. Tylko w przypadku poligonu badawczego zlokalizowanego na terenie parku narodowego liczba wydzielonych płatów zmalała po ustanowieniu tej formy ochrony prawnej. Przejawia się to wyraźnym spadkiem liczby wydzieleni w 2000 roku w stosunku do stanu z 1985 roku, tj. z okresu przed utworzeniem parku narodowego.

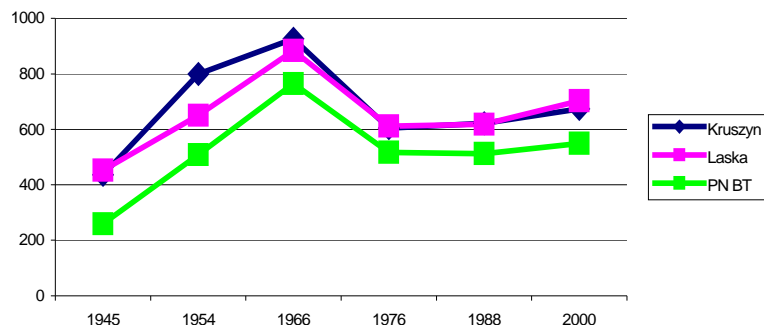


Rys. 2. Zmiana liczby płatów krajobrazowych w latach 1796-2000 na poligonach badawczych na podstawie interpretacji map topograficznych

Interpretacja leśnych map gospodarczych wykonana pod podobnym kątem oceny liczebności płatów (pododdziałów) wykazuje, że maksimum przypada na 1966 rok, czyli okres następujący bezpośrednio po dekadzie największego pozyskania drewna (rys. 3). W następnej fazie (1976 rok) zaznacza się wyraźny spadek liczby wydzieleni.

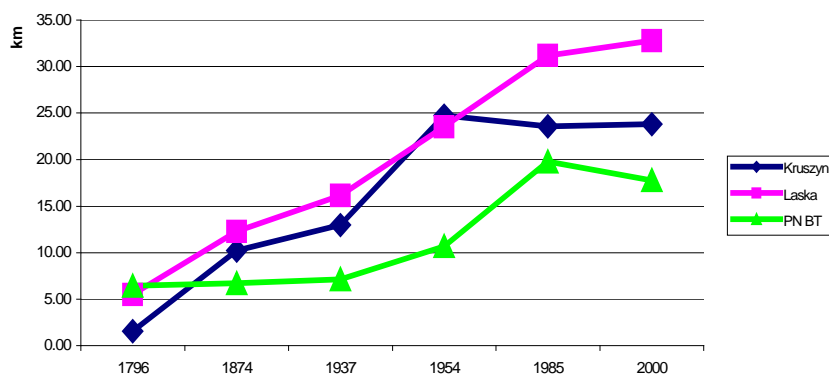
Analizując łączną długość granic można zauważyć, że we wszystkich trzech przypadkach maksimum wartości tego wskaźnika przypada na lata 60-te. Poza tym w ostatnim analizowanym okresie najniższe wartości tego parametru uzyskuje poligon badawczy PNBT. Miary krawędzi dla poligonu badawczego Kruszyn i Laska pozostają wysokie, ponieważ prowadzi się tam nadal intensywne pozyskanie drewna.

Wskaźnik różnorodności najwyższy jest dla poligonu badawczego Kruszyn, a najniższy dla poligonu badawczego PNBT. Na poligonie badawczym Laska, gdzie istnieją rezerваты przyrody, jak Nawionek, Bagno Stawek i Piecki, a więc struktury przestrzenne o kształtach nieregularnych, ale stosowanie zrębów nie jest wyeliminowane, wskaźnik różnorodności osiąga wartości wyższe od poligonu badawczego PNBT.



Rys. 3. Zmiana liczby płatów krajobrazowych w latach 1945-2000 na poligonach badawczych na podstawie interpretacji map przeglądowych drzewostanów i zdjęć lotniczych

Rozwój sieci komunikacyjnej wpłynął znacząco na strukturę przestrzenną krajobrazu powodując jej mozaikowość. Największe zmiany zaszły w latach 1937-1985 (rys. 4). Na obszarze chronionym zaznacza się spadek łącznej długości elementów liniowych mogących stanowić bariery ekologiczne w krajobrazie. Spadek długości dróg na obszarze parku narodowego związany jest ze znaczącym ograniczeniem wyrębów. Nie występuje tu konieczność tworzenia szlaków zrywkowych, miejsc składowania surowca drzewnego i tworzenia dróg dla jego wywozu.



Rys. 4. Zmiana długości barier ekologicznych w latach 1796-2000 na poligonach badawczych

Istotne różnice w strukturze krajobrazu uwidoczniają się także podczas analizy zobrazowań satelitarnych. Ze względu na różnice w rozdzielczości przestrzennej wykorzystywanych obrazów satelitarnych (80 i 30 metrów) analiza wyników została podzielona na dwa okresy czasowe: 1975-1981 i 1990-2003. Otrzymane wyniki wielkości NDVI dla wszystkich poligonów badawczych zawiera tabela 7. W analizach obejmujących pierwszy przedział czasowy (1975-1981) najwyższe wartości NDVI uzyskano dla poligonu

badawczego Kruszyn a najniższe dla poligonu badawczego PNBT. Największe różnice pomiędzy tymi powierzchniami dotyczyły okresu 1976-1981.

Poligon badawczy PNBT, który w pierwszych latach uzyskiwał najniższe wartości NDVI w drugim przedziale czasowym, obejmującym lata 1990-2003 i analizowanym w oparciu o zdjęcia Landsat TM i ETM+ osiągał najwyższe wartości tego parametru. Zdecydowanie najniższymi wartościami w tym porównaniu, dotyczącymi okresu od 1990 roku, odznaczał się poligon badawczy Kruszyn. Inaczej kształtowała się zależność dla 2000 roku, kiedy to dla poligonu badawczego Laska osiągnięto wartości wyższe niż dla poligonu badawczego PNBT. Dotyczy to zarówno analiz wykonanych dla całych poligonów badawczych, jak i cyklu obliczeń przeprowadzonych bez uwzględnienia ekosystemów wodnych i bagiennych w badanych krajobrazach.

Tabela 7. Wartości NDVI poligonów badawczych w latach 1975-2003

Poligon badawczy	Wskaźnik	MSS 1975	MSS 1978	MSS 1979	MSS 1981	TM 1990	ETM+ 2000	ETM+ 2003
Kruszyn	NDVI	0.3733	0.1413	0.1779	0.0657	0.6885	0.2949	0.6905
	max NDVI	0.6667	0.4805	0.4237	0.2394	1.0000	0.8667	0.9629
	NDVI *	0.3895	0.1477	0.1858	0.0733	0.6926	0.3252	0.7007
Laska	NDVI	0.3562	0.1221	0.1484	0.0442	0.6982	0.3533	0.7496
	max NDVI	0.6744	0.5189	0.4545	0.2527	0.9375	0.8730	1.0000
	NDVI *	0.4097	0.1497	0.1836	0.0649	0.7343	0.4437	0.7593
PNBT	NDVI	0.3625	0.0960	0.1440	0.0162	0.7180	0.3097	0.7490
	max NDVI	0.6962	0.4130	0.3898	0.1733	0.9420	1.0000	1.0000
	NDVI *	0.4109	0.1308	0.1861	0.0443	0.7419	0.3996	0.7637

* średni wskaźnik NDVI obliczony bez uwzględnienia ekosystemów wodnych

5. DYSKUSJA I WNIOSKI

Przeprowadzone w oparciu o archiwalne i współczesne mapy topograficzne, mapy przeglądowe drzewostanów i zdjęcia lotnicze oraz zobrazowania satelitarne, analizy porównawcze poligonów badawczych wykazały różnice w strukturze przestrzennej krajobrazu tych obszarów. Wybrane poligony badawcze, mimo, iż dzisiaj prawie w całości pokryte są przez lasy i reprezentują jeden dominujący typ krajobrazu – krajobraz leśny, to w przeszłości reprezentowały różne typy fitocenoz z dominacją odmiennych kategorii pokrycia/użytkowania terenu. Oprócz różnicy wynikającej ze sposobu użytkowania i zagospodarowania krajobrazu w przeszłości, współcześnie analizowane poligony badawcze podlegają wyraźnej różnicy w formie i zakresie ochrony ich walorów przyrodniczych, która determinuje intensywność prowadzenia gospodarki leśnej na poszczególnych obszarach.

Różnice strukturalne pomiędzy wybranymi poligonami badawczymi zostały uwidocznione przy zastosowaniu wszystkich miar wskaźników mozaikowości krajobrazu, w tym miar gęstości i rozmiarów płatów, długości krawędzi, kształtu i różnorodności, ocenionych w świetle interpretacji materiałów kartograficznych i teledetekcyjnych.

Przyczyną najsilniejszych przeobrażeń struktury krajobrazu, jakie dokonały się na terenie poligonów badawczych w XIX wieku były zmiany w sposobie użytkowania terenu związane z wprowadzeniem gospodarki leśnej. Szczególnie na dwóch poligonach

badawczych zlokalizowanych w północnej części Zaborskiego Parku Krajobrazowego zaznaczyło się przejście od krajobrazu nieleśnego w leśny. Dokonało się ono w ostatniej dekadzie XIX wieku. W późniejszych latach powierzchnia leśna wzrastała, ale zakres i tempo jej przyrostu były znacznie mniejsze. Rozwój sieci komunikacyjnej wpłynął znacząco na strukturę przestrzenną krajobrazu powodując jej mozaikowość.

Wyrazem działalności człowieka na obszarze lasów gospodarczych jest przede wszystkim ilość, struktura użytkowania i wielkość pododdziałów (czy też płatów leśnych na mapach topograficznych), a następnie ich wzajemne powiązanie przestrzenne (długość granic, stopień złożoności granicy, ilość odcinków prostych, etc.).

Wyraźne różnice pomiędzy poligonami badawczymi zachodzą także na podstawie interpretacji danych satelitarnych. Z porównań zakresów i średnich wartości znormalizowanego wskaźnika wegetacji na poszczególnych powierzchniach oraz historycznych materiałów kartograficznych wynika, że wartości NDVI utrwalone na aktualnych zdjęciach satelitarnych, zdeterminowane są sposobem użytkowania terenu w przeszłości. Na obszarach leśnych zlokalizowanych w północnej części Zaborskiego Parku Krajobrazowego, gdzie wyznaczono poligon badawczy Kruszyn, przeważają bory sosnowe odtworzone na gruntach porolnych.

6. LITERATURA

- Childress W. M., Crisafulli C. M., Rykiel E. J., 1998. Comparison of Markovian matrix models of primary successional plant community. *Ecological Modelling* 107, s. 93-102.
- Forman R. T. T., Godron M., 1986. *Landscape Ecology*. J. Wiley and Sons, New York.
- Kondracki J., 1988. *Geografia fizyczna Polski*. Wyd. IV. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Kunz M., 2005. Wpływ zmian sposobu użytkowania terenu i zasad hodowli lasu na heterogeniczność krajobrazu leśnego (ocena w technologii Systemów Informacji Geograficznej). Praca doktorska. UMK, Wydział BiNoZ, Toruń.
- Kunz M., Nienartowicz A., Deptuła M., 2000. The use of satellite remote sensing imagery for detection of secondary forests on post-agricultural soils: A case study of Tuchola Forest, northern Poland, W: Casanova L. (ed.), *Remote Sensing in the 21st Century: Economic and Environmental Applications*. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, s. 61-66.
- Moser D., Zechmeister H.G., Plutzer Ch., Sauberer N., Wrška T., Grabherr G., 2002. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology*, 17, s. 657-669.
- Rutchev K., Vilcheck L., 1994. Development of an Everglades vegetation map using a SPOT image and the Global Positioning System. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing* 60, s. 767-775.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A., 1990. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych*. PWRiL, Warszawa.
- Weiner J., 1999. *Życie i ewolucja biosfery*. PWN, Warszawa.

THE VARIATION OF SPATIAL LANDSCAPE PATTERN BASED ON CARTOGRAPHIC AND REMOTE SENSING DATA

KEY WORDS: GIS, landscape indices, landuse, landcover, data integration, landscape ecology

Summary

The contemporary structure of the spatial landscape is the result of all activities and processes which took place in the analysed area in the past. Almost every activity of man is reflected in the landscape pattern in the creation of various forms of land use. In this paper, the variation of the landscape pattern of the Zabory Landscape Park is analyzed on three sample plots. The forest economy has been taking place with different activity on each of these sample plots for the previous 210 years. The landscape pattern changes as a result of technological changes were analyzed on the basis of cartographical, topographical maps and remote sensing data from 1796-2000. Six time states were analyzed on the basis of the interpretation of topographical maps, six states on the basis of interpretation of forest review maps of tree stands and aerial photographs, and seven states on the basis of interpretation of satellite imageries. The following source materials are used in the paper: Schrötter-Engelhardt maps (1796-1802), Prussian topographic maps – Messtischblätter (1874), WIG topographic maps (1936), topographic maps in scheme 1942 (1954) and topographic maps in scheme 1965 (1985) and maps revising treestands from: 1911, 1945, 1952-54, 1966, 1976, 1987-88, 1999-2000. To complement revising the maps of treestands panchromatic and colour aerial photographs from 1951, 1964, 1975, 1986 and 1997 were also used.

To characterize changes in the landscape structure, the chosen indices of landscape spatial pattern were calculated. The following landscape indices were used: patch density and size metrics, edge metrics, shape metrics (within a fractal dimension and NSCP index), diversity metrics and fragmentation of basic subsections. Calculations were made on the level of a landscape as well as separate categories of land-use. Most of the research goals were achieved with the use of Geographical Information Systems technology.

Comparative analysis of the studied sample plots show differences in the landscape structure of these places. Structural differences between the chosen sample plots are shown by using all measurements of indices for landscape mosaic, among others: density and sizes of patches, length of edges, shapes and variations estimated according to cartographic and spatial imagery interpretations. The cause of the strongest transformations in the landscape structure which took place in the sample plots in the 19th century were changes in land use connected with the introduction of the forestry industry. In two sample plots situated in the northern part of Zabory Landscape Park, there was an especially important change from a non-forest to a forest landscape. It took place in the last decade of 19th century. Later, the forest area expanded, but its range and rate of growth was much lower.

Clear differences between sample plots also took place based on satellite data interpretation. From a comparison of ranges and average values of standardized vegetation index in each area and historical cartographic data, it was concluded that NDVI values in the present satellite images are determined by the way the area was used in the past.

Dr Mieczysław Kunz
e-mail: met@umk.pl
tel. +56 6112566