

## WYKORZYSTANIE GIS W BADANIACH ZMIAN KRAJOBRAZU

### GIS ANALYSIS IN EVALUATING LANDSCAPE CHANGES

**Paweł Terefenko, Kazimierz Furmańczyk**

Zakład Teledetekcji i Kartografii Morskiej, Instytut Nauk o Morzu, Uniwersytet Szczeciński

**Słowa kluczowe: GIS, krajobraz, teledetekcja**

Keywords: GIS, landscape, remote sensing

### Wstęp

Krajobraz to pojęcie, które już od długiego czasu stanowi przedmiot dyskusji naukowej. Słowo to funkcjonuje zarówno w znaczeniu potocznym jak i w wielu różnych dziedzinach naukowych, gdzie nie ogranicza się to tylko do geografii czy biologii. Krajobraz wraz z zachodzącymi w jego obrębie procesami nadal wnikliwie obserwuje się i bada. Wraz z upływem czasu zmieniały się natomiast sposoby oraz zakres obserwacji. Nowe możliwości pozyskiwania, gromadzenia oraz obróbki informacji pozwalają na poddawanie krajobrazu coraz nowszym, bardziej kompleksowym badaniom.

Jednym z powszechnie stosowanych do takich badań w ostatnim dziesięcioleciu narzędzi są systemy informacji geograficznej (GIS). Zdolności przeliczeniowe narzędzi do przetwarzania informacji stają na bardzo wysokim poziomie. Pozwalają one efektywnie manipulować danymi, zorientowanymi w trójwymiarowej przestrzeni, z uwzględnieniem czwartego elementu, jakim jest czas. Systemy informacji geograficznej umożliwiają natychmiastowy dostęp do bazy danych, ułatwiają podejmowanie decyzji oraz przeprowadzenie symulacji stanów przyszłych. Umożliwia to wybór optymalnych, w zmieniających się warunkach, wariantów rozwiązań.

Celem powyższej pracy jest prezentacja analizy zmian krajobrazu na przestrzeni wielolecia z wykorzystaniem narzędzi geoinformatycznych oraz przedstawienie metody wykorzystanej do jej przeprowadzenia.

Dobrym przykładem wykorzystania GIS w tej dziedzinie badań jest analiza przeprowadzona dla wyspy Terschelling z archipelagu Wysp Fryzyjskich. Analiza obejmuje obserwację zmian krajobrazu, w aspekcie zarówno ilościowym jak i jakościowym, na przestrzeni 50 lat.

## Charakterystyka obszaru badań

Wyspa Terschelling to jedno z ogniw w archipelagu wysp sięgającym od duńskiego miasta Esbjerg do Den Helder w Holandii. Należy do łańcucha Wysp Zachodniofryzyjskich. Leży w prowincji Friesland w Holandii. Powstanie wyspy Terschelling nierozdzielnie łączy się z powstaniem całego łańcucha Wysp Zachodniofryzyjskich. W okresie wczesnego średniowiecza holenderskie wybrzeże było obszarem prawie całkowicie zamkniętym przez serię piaszczystych barier brzegowych ciągnących się od ujścia Renu na południu przez łuk Wysp Zachodniofryzyjskich na północy. Wewnątrz za piaszczystą barierą znajdował się rozległy obszar wysokich oligotroficznych torfowisk drenowanych przez wiele małych rzek odprowadzających wodę bezpośrednio do Morza Północnego lub do dużego jeziora Flevo (Pons, 1963).

Krajobraz wybrzeża oraz wyspy Terschelling przez cały czas ulegał ciągłym zmianom. Dominujący wpływ na jego kształtowanie miało Morze Północne. Uważa się jednak, że podnoszenie się poziomu morza nie miało decydującego wpływu na przekształcanie się tych terenów i doprowadzenie do obecnej sytuacji. Dużo bardziej prawdopodobna jest teoria opisująca jako główny czynnik zmian erozję. Silny proces erozyjny spowodował szereg przerw w piaszczystej barierze brzegowej. Zniszczenie ciągłości bariery ułatwiło i zwiększyło częstotliwość zalewania wewnętrznego obszaru słonymi wodami morskimi. Doprowadziło to do obumierania słodkolubnego torfowca, co równoważyło się z zatrzymaniem procesu wzrostu torfowisk (Wolff, 1983).

Duża intensywność eksploatacji rolniczej, prowadzonej przez napływającą ludność w przeciągu kilku wieków, spowodowały redukcję wypiętrzonych obszarów torfowisk do poziomu wody gruntowej, i zbliżył się on do poziomu morza. Nawalne deszcze i spiętrzenia sztormowe powodowały długotrwałe zalewanie centralnych obszarów torfowisk, a w rezultacie przyspieszały proces obumierania roślinności torfowej. Obszar był coraz bardziej narażony na działalność prądów i falowania, w wyniku czego torfowiska coraz szybciej erodowały, a przerwania w piaszczystej barierze pogłębiały się i poszerzały. Ostatecznie wody Morza Północnego połączyły się z wodami jeziora Flevo, a z piaszczystej bariery brzegowej powstał ciąg wysp barierowych – Wysp Zachodniofryzyjskich, a wśród nich wyspa Terschelling (Wolff, 1983).

Dziś wyspa Terschelling wraz z Morzem Waddów stanowi jeden z większych naturalnych krajobrazów Europy Zachodniej. Ze względu na zróżnicowany charakter krajobrazu naturalnego: wydmy, rozległe plaże – równie pływowe, obszary podmokłe, łąki oraz małą gęstość zaludnienia wyspa ta stała się ucieczką dla wielu gatunków zwierząt, zwłaszcza ptaków, rzadkich w Europie.

Wyspa Terschelling zajmuje powierzchnię 11 575 ha, z czego około 80% terenu (9435 ha) zarządzane jest od roku 1910 przez Państwową Służbę Leśną – Staatsbosbeheer (*National Forest Service*) (tab. 1) (Zumkehr, Zwart, 1991). Od tego czasu nastąpiła całkowita zmiana kierunku rozwoju i zagospodarowania wyspy. Intensywne rolnictwo, które doprowadziło do powstania bardzo dynamicznych wydm poruszanych przez wiatr zostało ograniczone, a dynamika wydm szybko została zatrzymana w wyniku obsadzania ich roślinnością amfifilną. Zdecydowano się również na politykę nieingerowania w procesy naturalne zachodzące na wyspie. Dziś polityka taka okazuje się być nie do końca skuteczna. Zanieczyszczenia i duże ilości azotu zawarte w deszczach spowodowały szybki wzrost wysokich traw prowadzący do zaniku pierwotnej roślinności wydmowej (Zumkehr, Zwart, 1991).

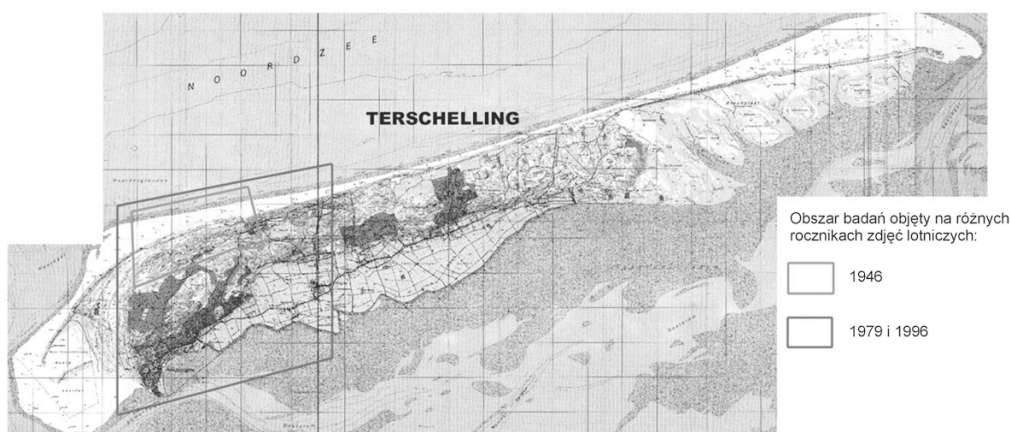
**Tabela 1. Obszary wyspy Terschelling zarządzane przez Staatsbosbeheer (Zumkehr, Zwart, 1991)**

National Forest Service	Ha	Procent powierzchni wyspy
Lasy	616	5,3
Obszary krajobrazu naturalnego	8641	74,7
Inne obszary	178	1,5
Razem	9435	81,5

Wielokrotne zmiany w polityce zarządzania środowiskiem naturalnym wyspy w bardzo wyraźny sposób powinny zapisać się w obrazie zmian krajobrazu. Dziś dzięki nowym metodom takim jak złożone analizy GIS można prześledzić proces tych zmian, a nawet podjąć się zadania oceny prawidłowości podejmowanych działań.

## Materiały i analiza

Podstawowym materiałem badawczym wykorzystanym do analizy zmian krajobrazu na wyspie Terschelling były zdjęcia lotnicze udostępnione przez lokalny oddział Staatsbosbeheer na wyspie Terschelling. Ogółem przeanalizowano 79 zdjęć o formacie 23 x 23 cm, wykonanych w skalach od 1:6000 do 1:18 000, w trzech seriach w latach 1946–1996 (rys. 1). Wszystkie dostępne negatywy zostały zeskanowane, a następnie poddane procesowi rektyfikacji w programie ERDAS IMAGINE 8.3.1. Każde zdjęcie zostało podczas tego procesu przetransformowane do układu współrzędnych UTM (*Universal Transverse Mercator*). Przeciętnie na każdym zdjęciu zidentyfikowano 40 punktów geodezyjnej osnowy terenowej. Błąd RMS wpasowania poszczególnych GCP wynosił 0,5–1,0 piksela, maksymalny wynosił 7 pikseli i wystąpił na zdjęciach, na których możliwość identyfikacji punktów była najniższa (brak dróg, skrzyżowań, budynków oraz obszarów zurbanizowanych).



**Rys. 1.** Lokalizacja pokrycia obszaru badań przez poszczególne serie zdjęć lotniczych

Wykorzystano również mapę topograficzną wyspy Terschelling w skali 1 : 25 000. Mapa ta została wykonana w roku 1984 przez Topografische Dienst Nederland na podstawie pomiarów geodezyjnych z roku 1959 oraz zdjęć lotniczych z roku 1980.

Głównym celem projektu była identyfikacja i analiza przestrzenna stopnia zmian powierzchni poszczególnych typów krajobrazu. Krajobraz rozumiany jest jako rzeczywisty, aktualnie istniejący obiekt materialny, o własnościach wynikających z powiązań funkcjonalnych geokomponentów abiotycznych i biotycznych, jak również procesów wprowadzonych bądź uruchomionych przez człowieka, charakteryzujący się ciągłością horyzontalną (Richling, Solon, 1996). Takie podejście pozwoliło stworzyć klasyfikację krajobrazu odpowiednio dobraną do cech charakterystycznych badanego obszaru, którą oparto na dwóch podstawowych, znanych z literatury, klasyfikacjach: funkcjonalnej i morfologicznej.

### Klasyfikacja funkcjonalna

Biorąc pod uwagę sposób funkcjonowania krajobrazu wynikający z jego charakteru oraz stopnia antropopresji wyróżniono następujące klasy (Gacki, Szukalski, 1984):

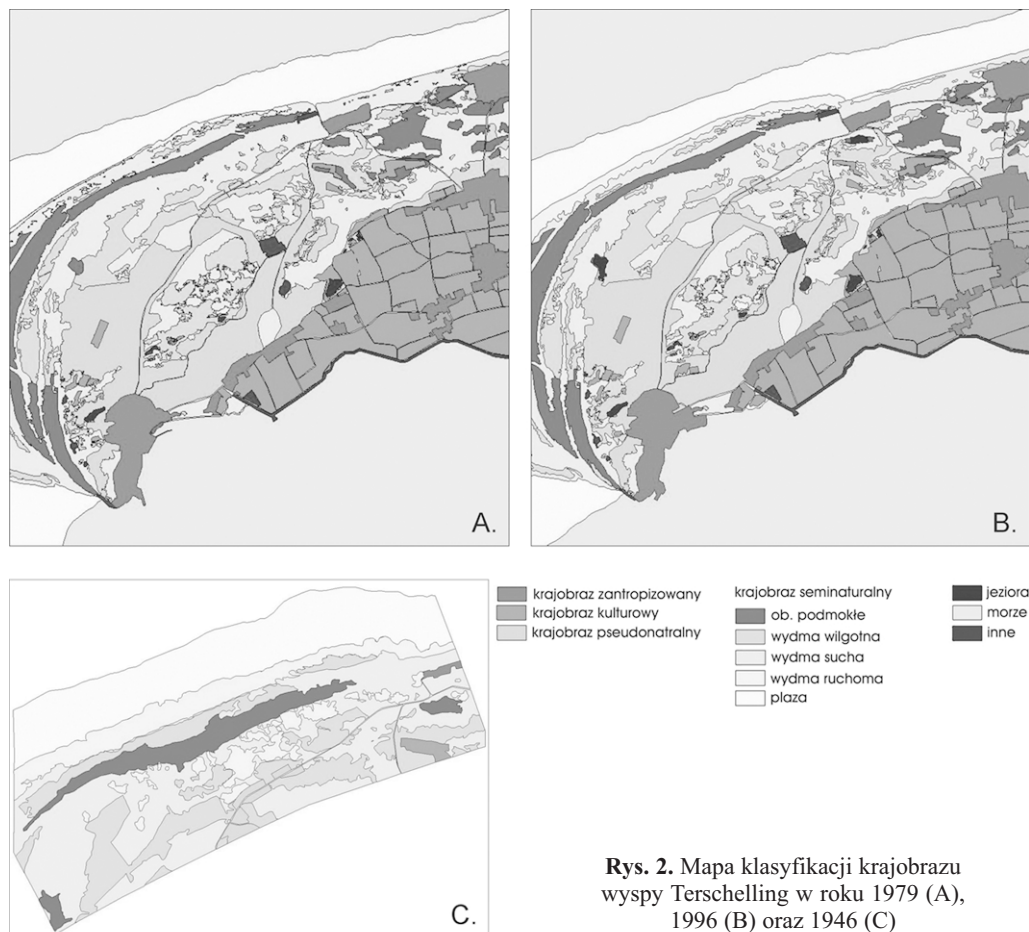
- *krajobraz zantropizowany* – obszary miejsko-rolnicze obejmujące swoim zasięgiem małe i średnie miasta wraz z terenami otaczającymi o postępującym zagęszczeniu zabudowy,
- *krajobraz kulturowy* – absolutna powierzchniowa dominacja roślinności pól uprawnych nad innymi zbiorowiskami roślinności,
- *krajobraz pseudonaturalny* – lasy i użytki zielone,
- *krajobraz seminaturalny* – prawie naturalne zbiorowiska roślinne, ruchome wydmy, kompleksy wód powierzchniowych.

### Klasyfikacja morfologiczna

Biorąc pod uwagę fakt, że przy kształtowaniu właściwości geokompleksów najważniejszą rolę odgrywają naturalne własności krajobrazu, w ramach krajobrazu seminaturalnego wyróżniono następujące klasy (Kondracki, 1965):

- *pole wydmowe*:
  - *wydma ruchoma* – obszary pola wydmowego pozbawione wegetacji,
  - *wydma sucha* – obszary pola wydmowego porośnięte suchymi kompleksami roślinności trawiastej,
  - *wydma wilgotna* – obszary pola wydmowego porośnięte polami borówki, wilgotnymi wrzosowiskami, wilgotnymi kompleksami trawiastymi, oraz krzewami,
- *obszary podmokłe* – obszary o dużej wilgotności podłoża, bagna,
- *plaża*.

Wydzielenie klas krajobrazu pozwoliło na przystąpienie do szczegółowej interpretacji, czyli ich identyfikacji na poszczególnych seriach zdjęć lotniczych. Interpretację wizualną przeprowadzono na cyfrowej postaci zdjęcia wyświetlając je na monitorze przy użyciu programu ArcView 3.3. Wyniki interpretacji przedstawiono w postaci wektorowej. W ten sposób stworzono trzy różne mapy typów krajobrazu dla poszczególnych roczników zdjęć (1946, 1979, 1996) na wyspie Terschelling (rys. 2). Ze względu na brak wystarczających materiałów, mapa przygotowana dla roku 1946 pokrywa mniejszy obszar i stanowić będzie uzupełnienie analizy większego obszaru jaki pokrywają roczniki 1979 i 1996.



**Rys. 2.** Mapa klasyfikacji krajobrazu wyspy Terschelling w roku 1979 (A), 1996 (B) oraz 1946 (C)

Pierwszym etapem analizy było wykonanie podstawowych obliczeń charakteryzujących wielkość zajmowanej powierzchni przez poszczególne klasy krajobrazu. Stworzono tabelę 2 obejmującą wartości powierzchni poszczególnych typów krajobrazu wyspy Terschelling w roku 1979 oraz 1996. Pozwoliło to na określenie charakteru zmian, czyli przyrostu lub ubytku powierzchni w poszczególnych klasach oraz wielkości ilościowych zmian każdego ze sklasyfikowanych typów krajobrazu.

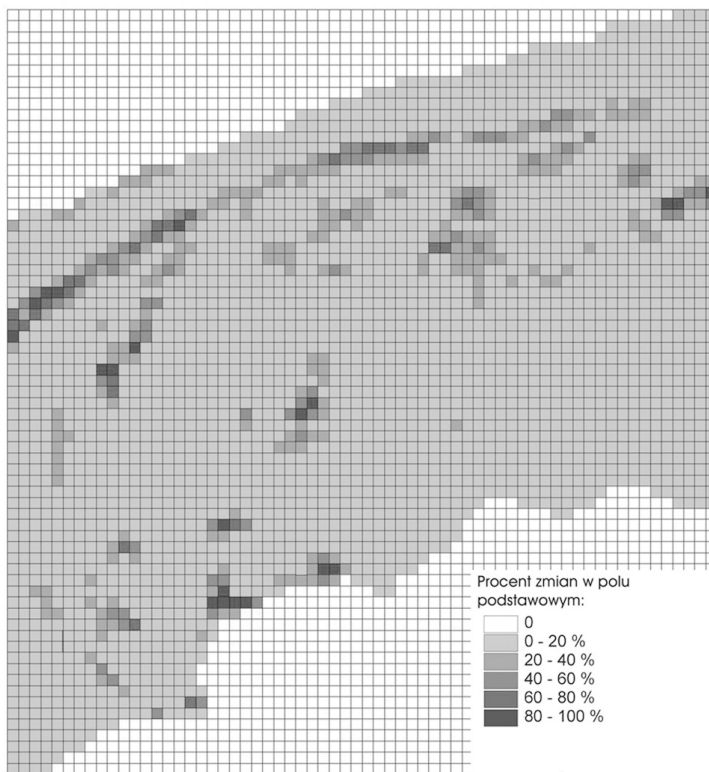
Wyniki pierwszej części analizy potwierdziły wysoki stopień zmian w krajobrazie wyspy Terschelling. Przeprowadzono więc drugi etap, czyli identyfikację obszarów o największym stopniu przekształcenia. Możliwa ona była dzięki wykorzystaniu metody obliczania procentowego udziału zmian poszczególnych typów krajobrazu. Za pomocą dodatkowej aplikacji Edit Tools stworzono siatkę zbudowaną z pól podstawowych o wymiarach 100 x 100 m, a następnie przeprowadzono obliczenia procentowego udziału poszczególnych klas krajobrazu w każdym pojedynczym polu. Proces powtórzono dla trzech badanych roczników. Porównując wyniki odpowiadających sobie pól podstawowych otrzymano wartości procentowe zachodzących w nich zmian. Wyróżniono pięć podstawowych klas charakteryzujących stopień



**Tabela 2. Powierzchnia poszczególnych typów krajobrazu wyspy Terschelling w latach 1979 i 1996**

Typy krajobrazu	Pow. w roku 1979 [ha]	Pow. w roku 1996 [ha]	Stopień zmian [ha]
Zantropizowany	200,6	207,1	6,5
Kulturowy	444,4	449,1	4,7
Pseudonaturalny	401,4	403,5	2,1
Seminaturalny:	1719,5	1712,8	- 6,7
wydma ruchoma	24,80	65,1	40,3
wydma sucha	708,8	679,4	- 29,4
wydma wilgotna	323,2	336,9	13,7
obszary podmokłe	205,9	192,8	- 13,1
jeziora	5,2	10,3	5,1
plaża	451,6	428,3	- 23,3
Razem	2765,90	2772,5	6,6

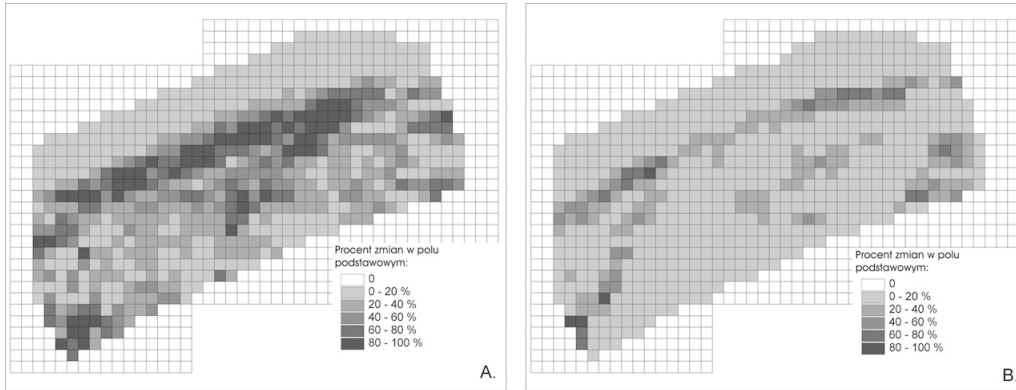
przekształceń, zaczynając od klasy, która świadczyła o prawie całkowitym braku zmian, aż do klasy reprezentującej czasem nawet stuprocentową zmianę. Na tej podstawie wykonano mapy wynikowe przedstawiające stopień oraz przestrzenne rozmieszczenie zmian krajobrazu dla całego obszaru badań w okresie 1979–1996 (rys. 3) i szczegółowo dla mniejszego fragmentu w okresie

**Rys. 3. Mapa zmian krajobrazu wyspy Terschelling w latach 1979–1996**

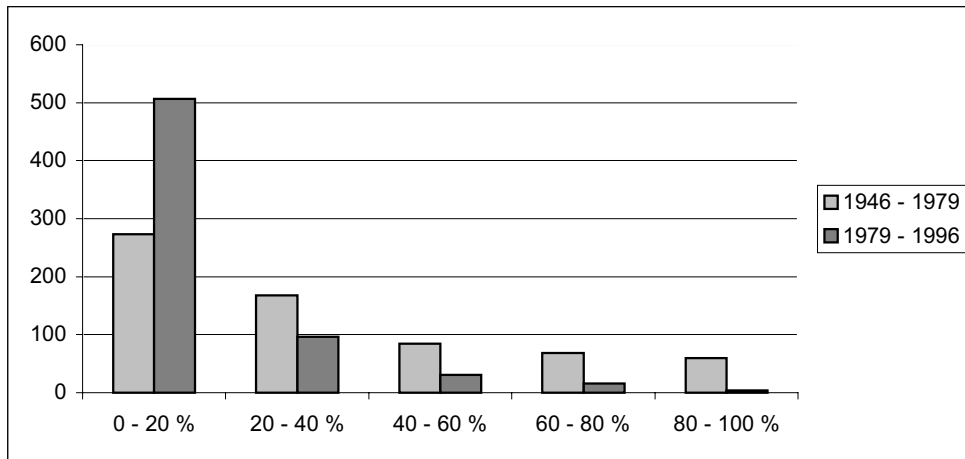
od 1946 do 1996 (rys. 4).

W ten sposób otrzymano podstawę, dzięki której wykorzystując podstawowe pytania SQL stosowane w bazach danych GIS określono lokalizację obszarów o największych przekształceniach.

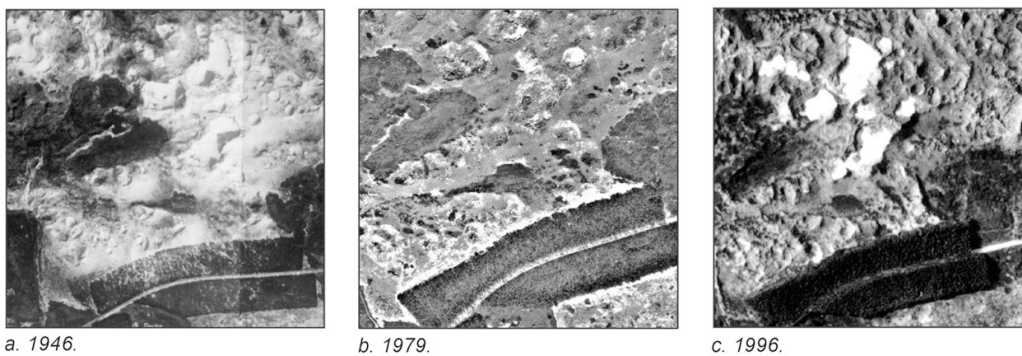
Korzystając z dostępnych analiz przestrzennych możliwe było określenie w jakim typie krajobrazu zmiany były najczęściej oraz w którym z typów miały one największe natężenie. Analiza wyników wyraźnie pokazuje, że największa dynamika zmian miała miejsce w latach 1946–1979 (rys. 5). W okresie tym największe przekształcenia zachodziły na obszarze pola wydmowego (krajobraz seminaturalny) (rys. 6).



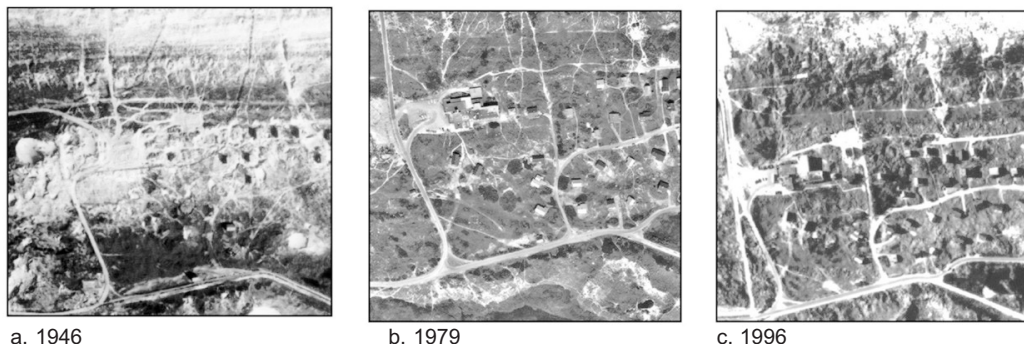
Rys. 4. Szczegółowa mapa zmian krajobrazu wyspy Terschelling w latach 1946–1979 (A) i 1979–1996 (B)



Rys. 5. Zestawienie liczby pól podstawowych poszczególnych przedziałów w latach 1946–1979 i 1979–1996



Rys. 6. Fragmenty zdjęć lotniczych z lat 1946 (a), 1979 (b) i 1996 (c)



Rys. 7. Fragmenty zdjęć lotniczych z roku 1946 (a), 1979 (b) i 1996 (c)

Wyraźny jest również intensywny wzrost zabudowy, zwłaszcza terenów miejscowości wypoczynkowych (rys. 7). Zmiany w latach 1979–1996 charakteryzują się dużo mniejszą dynamiką. W okresie tym najsilniejsze przekształcenia obserwuje się na obszarze pól wydmyowych, terenach krajobrazu kulturowego oraz zantropizowanego (miejscowość West Terschelling).

## Wnioski

Na podstawie wyników wyraźnie widoczna jest koncentracja zmian na obszarach krajobrazu seminaturalnego. Przekształcenia te nie są, jak można by wnioskować, efektem działania procesów naturalnych, lecz wynikiem działalności człowieka. Przyczyny tych zmian zostały dokładniej opisane w literaturze – stwierdzono, że potrzebna jest równowaga pomiędzy zabezpieczeniem interesów ludzkich, ochrona obszarów krajobrazu zantropizowanego, a dbałością o podtrzymanie zachodzących na wyspie procesów naturalnych. Obsadzenie obszarów wydmy ruchomą roślinnością ammfilną oraz pozwolenie na jej szybką sukcesję na całym obszarze wydmy doprowadziło do zachwiania tej równowagi. Zdrowe i ekologiczne podejście zarówno lokalnych jak i państwowych władz oraz aktywne działanie pracowników Państwowej Służby Leśnej i wielu wolontariuszy pozwoliło na częściową rekonstrukcję pierwotnego krajobrazu wyspy.

Przeprowadzone analizy mogą stanowić punkt wyjścia do dyskusji na temat poprawności używanych na wyspie metod rekonstrukcji krajobrazu seminaturalnego. Opracowanie metody analizy zmian krajobrazu w czasie z użyciem siatki pól elementarnych może stanowić dobry początek w rozwoju kompleksowej metody porównawczej dla dowolnych obszarów charakteryzujących się różnorodnymi cechami zarówno wynikającymi ze zmian naturalnych, jak również z pozytywnej i negatywnej ingerencji człowieka.

## Literatura

- Gacki T., Szukalski J., 1984: Klasyfikacja typologiczna krajobrazu Pobrzeży Południowobałtyckich, PWN, Warszawa.
- Kondracki J., 1960: Typy krajobrazu naturalnego (środowiska geograficznego) w Polsce, *Przegląd Geograficzny* 32, 1-2.



- Pons L.J., Jelgersma S., Wiggers & J.D. de Jong, 1963: Evolution of the Netherlands coastal area during the Holocene, Verh. Kon. Geol. Mijnbouw.
- Richling A., Solon J., 1996: Ekologia krajobrazu, PWN, Warszawa.
- Wolff W.J., 1983: Ecology of the Wadden Sea, Rotterdam.
- Zumkehr P., Zwart F., 1991: Terschellings nature in figures, National Forest Service, EUROSITE conference, Terschelling.

### **Summary**

*The objective of this paper is to present a methodology of using surface analysis in evaluating the degree of landscape changes. Landscape defined as a comprehensive system consisting of forms of relief, waters, vegetation and atmosphere enriched by the effects and impact of man management was analyzed in GIS applications.*

*Maps of landscape classes forming different timelines created on the basis of aerial photographs were divided into elementary fields which allowed to calculate attributes connected with particular landscape classes. This helped to distinguish and calculate the scale of landscape changes.*

*The methodology of elementary fields analysis was tested on the pilot area in western part of the Terschelling Island. It helped to recognize both natural and anthropological landscape changes and evaluate landscape reconstruction methods used on the island.*

mgr Paweł Terefenko  
teref@sus.univ.szczecin.pl

dr hab. Kazimierz Furmańczyk, prof. US  
kaz@sus.univ.szczecin.pl

tel. (091) 444 15 99,