

**OPRACOWANIE SCENARIUSZY EROZJI BRZEGU
I JEJ SKUTKÓW
W OKOLICACH TRZĘSACZA W LATACH 2005–2105
PRZY UŻYCIU NARZĘDZI GEOINFORMACYJNYCH**

**DEVELOPING COASTAL EROSION EFFECTS SCENARIOS
NEAR TRZĘSACZ VILLAGE IN NEXT 100 YEARS
WITH THE USE OF GEOINFORMATICS**

Igor Szakowski, Rafał Benedyczak

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

Słowa kluczowe: GIS, erozja brzegu, scenariusze zmian
Keywords: GIS, coastal erosion, change scenarios

Wstęp

Dotychczasowe doświadczenia w zarządzaniu strefą brzegową w Europie pokazują, że geoinformacja odgrywa ogromną rolę w tym procesie. Jednym z celów projektu MESSINA „Managing European Shoreline and Sharing Information on Near-Shore Areas” realizowanego pod agendą INTERREG III C było praktyczne wdrożenie rekomendacji powstałych w ramach ogólnoeuropejskiego projektu EUROSION. Szczególny nacisk został położony na możliwość przewidywania i kartograficznej prezentacji zagrożenia infrastruktury brzegu morskiego procesem erozji. Za odpowiednie narzędzie do wykonania takich analiz uznano oprogramowanie GIS. Na polski odcinek testowy wybrano fragment gminy Rewal w miejscowości Trzęsacz. Odcinek ten został wybrany ze względu na reprezentatywność procesów erozji oraz jako interesujący przykład niszczącej działalności erozji morskiej i konieczność ochrony resztek kościoła gotyckiego z XIII wieku..

Materiały i metody

W celu sporządzenia systemu geoinformacyjnego wspierającego zarządzanie erozją przeprowadzono konsultacje z władzami lokalnymi gminy Rewal. Decydenci lokalni uznali, że dla celów wspierania podejmowania przez nich decyzji narzędzie takie powinno ilustrować za-

groźenie erozją dla działek i budynków położonych w bezpośrednim sąsiedztwie pasa nadmorskiego. Jednocześnie wskazali, że prognoza rozwoju erozji powinna być wykonana w powiązaniu z planem zagospodarowania na lata 2005–2015. Dodatkowo postanowiono, że narzędzie GIS powinno integrować wszystkie rodzaje danych: kartograficzne, teledetekcyjne i atrybutowe dla tego fragmentu wybrzeża. Jako podstawę do wykonania systemu geoinformacyjnego wybrano oprogramowanie ArcView GIS 3.3 oraz ArcGIS 9.1. wraz z rozszerzeniami. Do stworzenia systemu geoinformacyjnego użyto następujących danych:

- mapa zasadnicza w skali 1:500 z roku 1997
- mapa pasa technicznego w skali 1:200 z roku 1986
- mapa topograficzna w skali 1:10 000 z roku 1987
- mapa zagospodarowania przestrzennego w skali 1:10 000
- cyfrowa mapa podziału przestrzennego wraz z budynkami w skali 1:500
- historyczna mapa topograficzna z roku 1930 w skali 1: 25 000
- historyczna fotomapa z roku 1938
- zdjęcia lotnicze z roku 1996 w skali 1: 10 000
- ortofotomapa z roku 2004 opracowana na podstawie zdjęcia satelitarnego IKONOS
- dane opisowe pochodzące z zasobów Gminy Rewal
- dane opisowe z Regionalnego Banku Danych
- dane z badań naukowych erozji morskiej w tym obszarze
- dane ze Strategii Rozwoju Gminy z roku 2005

Pierwszym problemem podczas integracji tych danych w jeden system była różnorodność układów odwzorowań kartograficznych, w których zostały wykonane mapy. Podjęte próby przeliczania układów kartograficznych dla poszczególnych warstw danych nie dały satysfakcjonujących rezultatów. Rozbieżności w położeniu poszczególnych obiektów na różnych warstwach były zbyt duże. Zdecydowano się na alternatywne rozwiązanie. Dowiązano przestrzenie wszystkie dane do jednej z warstw. Jako warstwę źródłową odwzorowania wybrano, pochodzącą ze zbiorów Referatu Nieruchomości Gminy Rewal, mapę zasadniczą w skali 1: 500 w układzie współrzędnych „1965”. Dowiązanie przestrzenne wykonano za pomocą dodatkowych aplikacji oprogramowania ArcView GIS 3.3: ImageWarp 2.2, ShapeWarp 2.0 oraz Image Analysis. W wyniku takiego przetworzenia danych uzyskano spójny i jednorodny pod względem odwzorowania system geoinformacyjny. Nie udało się jednak wyeliminować wszystkich błędów położenia obiektów – te zostały skorygowane ręcznie.

Jednocześnie okazało się, że w materiale kartograficznym występują luki. Mapy zasadnicze w skali 1:500 nie pokrywały w całości obszaru badań. Niewielkie fragmenty, głównie strefy brzegowej, trzeba było uzupełniać mapami pasa technicznego Urzędu Morskiego.

Kolejnym problemem był format danych wektorowych. Dane te otrzymano z Referatu Nieruchomości w formie .dxf, w którym obiekty były reprezentowane tylko przez linie bez informacji atrybutowych. Niezbędne było przekształcenie tej warstwy na warstwy punktów, linii i poligonów. Dodatkowo ręcznie uzupełniano bazę danych atrybutowych do każdej z warstw.

W efekcie wszystkich wymienionych wyżej działań powstał system geoinformacyjny integrujący dane kartograficzne, teledetekcyjne i opisowe dotyczące trzęsackiego odcinka brzegu (rys. 1). System geoinformacyjny w swojej podstawowej postaci, bez uwzględnienia aspektu erozji, znalazł zastosowanie dla gminy Rewal w następujących analizach (rys. 2):

- I. Inwentaryzacja obecnych działek i budynków
- II. Użytkowanie obecnego podziału działek i budynków w świetle planu zagospodarowania przestrzennego

- III. Możliwość detekcji nielegalnej zabudowy
- IV. Analiza historycznych zmian zagospodarowania
- V. Obrazowa baza danych budynków

Przewidywanie erozji brzegu z użyciem systemu GIS

Aby system geoinformacyjny w rzeczywisty sposób wspierał proces zarządzania gminą w aspekcie erozji należało wprowadzić w odpowiedni sposób informacje dotyczące tego zjawiska. Badaniami współczynników erozji brzegu na tym odcinku wybrzeża zajmowali się J. Dudzińska-Nowak i K. Furmańczyk (2005, 2006). Według ich wyliczeń średni współczynnik erozji na tym odcinku wynosi 0,2 m/rok. Od roku 1984 fragment brzegu (długości około 115 m) w okolicach ruin kościoła w Trzęsaczu jest chroniony. W chwili obecnej ochrona tego fragmentu realizowana jest za pomocą systemu zabezpieczeń dokładnie opisanym przez J. Dudzińską-Nowak i K. Furmańczyk (2006). Dla celów analizy przewidywanego wpływu erozji na infrastrukturę brzegu przyjęto dwa scenariusze:

1. Przy istniejącym systemie ochrony
2. Bez ochrony, czyli naturalnych zmian brzegu (w przypadku rezygnacji z ochrony)

W tym celu brzeg podzielony został na sektory o różnym stopniu współczynnika erozji w zależności od przyjętego scenariusza (tab. 1 i 2)

Scenariusz 1 – przy istniejącym systemie ochrony

Tabela 1. Prędkość i wielkość erozji przy scenariuszu 1.
Optymistyczne i pesymistyczne wielkości określone dla okresów 20, 50 i 100 lat

300 m Sektor 3	100 m Sektor 2	115 m Opaska	405 m Sektor 1
-------------------	-------------------	-----------------	-------------------

Schemat podziału badanego odcinka na sektory w opcji pierwszej

Sektor	Sektor 3	Sektor 2	Opaska	Sektor 1
Wersja optymistyczna	0,25 m/r	0,2 m/r	0	0,3 m/r
Optymistyczna – po 20 latach	5 m	4 m	0	6 m
Optymistyczna – po 50 latach	12,5 m	10 m	0	15 m
Optymistyczna – po 100 latach	25 m	20 m	0	30 m
Wersja pesymistyczna	0,40 m/r	0,3 m/r	0	0,6 m/r
Pesymistyczna – po 20 latach	8 m	6 m	0	12 m
Pesymistyczna – po 50 latach	20 m	15 m	0	30 m
Pesymistyczna – po 100 latach	40 m	30 m	0	60 m

Scenariusz 2 – bez ochrony

Tabela 2. Prędkość i wielkość erozji przy scenariuszu 2.
Optymistyczne i pesymistyczne wielkości określone dla okresów 20, 50 i 100 lat

300 m Sektor 3	340 m Sektor 2	280 m Sektor 1
-------------------	-------------------	-------------------

Schemat podziału badanego odcinka na sektory w opcji drugiej

Sektor	Sektor 3	Sektor 2	Sektor 1
Wersja optymalna	0,15 m/r	0,10 m/r	0,2 m/r
Optymalna – po 20 latach	3 m	2 m	4 m
Optymalna – po 50 latach.	7,5 m	5 m	10 m
Optymalna – po 100 latach	15 m	10 m	20 m
Wersja pesymistyczna	0,20 m/r	0,2 m/r	0,35 m/r
Pesymistyczna – po 20 latach	4 m	4 m	7 m
Pesymistyczna – po 50 latach	10 m	10 m	17,5 m
Pesymistyczna – po 100 latach	20 m	20 m	35 m

Sektory dla dwóch scenariuszy wprowadzono do systemu geoinformacyjnego w formie warstw liniowych i poligonowych. Jednocześnie dla każdego z sektorów wprowadzono informację atrybutową odnoszącą się do wielkości współczynnika erozji. W celu uzyskania informacji jakie obszary zostaną dotknięte erozją w przeciągu kolejnych 20, 50 i 100 lat od warstwy liniowych zostały wyznaczone buforory zgodne z przyjętymi współczynnikami erozji. Ponieważ czynność wyznaczania buforów dla każdego sektora przy różnych scenariuszach była czynnością powtarzalną zdecydowano się na użycie w tym celu modułu Model Builder dla ArcGIS 9.1. Moduł ten pozwala na wprowadzenie zapisów o poszczególnych etapach procesu, automatyzację tworzenia buforów przy jednoczesnej kontroli z jakich współczynników erozji moduł ma korzystać. Wynikiem tego procesu jest „surowa” mapa zasięgów erozji w poszczególnych latach (rys. 3A i 3B). W celu uzyskania informacji o zagrożeniu dla poszczególnych działek i oceny ilościowej tego zagrożenia warstwę obejmującą podział tego fragmentu gminy Rewal na działki „przecięto” warstwami z utworzonymi buforami erozji (rys. 3C i 3D). Otrzymane wyniki nałożono na warstwę z informacjami o działkach i budynkach. Następnie operacjami na danych atrybutowych i przestrzennych wydobyto informację o przewidywanej powierzchni działek, która uległaby erozji, procentowym udziale tej powierzchni w areale całej działki oraz wartości utraconej powierzchni. Wyselekcjonowano też budynki zagrożone w zależności od przyjętego scenariusza rozwoju brzegu. (rys. 3E i 3F).

Wyniki

W rezultacie wprowadzenia do systemu geoinformacyjnego informacji dotyczących współczynników erozji i wyznaczenia obszarów zagrożonych erozją otrzymano dwa rodzaje informacji. Są to: 1) informacja opisowa w postaci tabel atrybutowych (tab. 3) z rezultatami ilościowymi 2) powiązana z nią informacja graficzna w postaci map zagrożenia erozją (rys. 4).

Informacje ilościowe zawierają:

- współczynnik erozji,
- powierzchnię działek utraconą w wyniku działania erozji,
- procentowy udział powierzchni zagrożonej w stosunku do niezagrażonej,
- wartość wyrażoną w złotych polskich powierzchni działek utraconej w wyniku działania erozji odniesioną do roku 2005 (bez analizy wzrostu lub spadku wartości działek wraz z czasem).

Opracowanie graficzne zawiera zestaw map w podziale na scenariusze 1 i 2. Dla każdego rozpatrywanego okresu 20, 50 oraz 100 lat przygotowano mapę z wersją optymistyczną i pesymistyczną zależną od wielkości współczynnika erozji. Skala kolorowa oznacza procentowy udział powierzchni działki utraconej w wyniku erozji w stosunku do powierzchni całej działki. Na mapie zaznaczono także budynki. Przykładowe zestawienie map wygenerowanych przez system geoinformacyjny przedstawiono na rysunku 4.

Tabela 3. Przykład otrzymanych wyników w postaci tabeli atrybutowej

Scenariusz 1 Ochrona brzegu									
Sektor 1 wariant pesym. 20 lat	Nr działki	Powierzchnia	Wartość [PLN]	Cena za 1 m ² [PLN]	% utraconej pow.	Utracona powierzchnia	Utracona wartość [PLN]	ID_	Współczynnik erozji
Las	D	16 440,661	3 271 692	199	4	617,230	122 829	1	12,0000
Pola up.	E	11 708,487	2 329 989	199	26	3048,320	606 616	4	12,0000
Łąki	F	894,494	178 004	199	93	835,076	166 180	3	12,0000
Łąki	G	1 764,689	351 173	199	24	431,009	85 771	3	12,0000
Las	H	1 989,004	500 000	199	1	19,310	3 843	1	12,0000
Suma		32 797,335	6 630 858			4950,945	985 238		
Sektor 1 wariant optym. 20 lat	Nr działki	Powierzchnia	Wartość [PLN]	Cena za 1 m ² [PLN]	% utraconej pow.	Utracona powierzchnia	Utracona wartość [PLN]	ID_	Współczynnik erozji
Las	D	16 440,661	3 271 692	199	2	301,401	59 979	1	6,0000
Pola up.	E	11 708,487	2 329 989	199	12	1439,386	286 438	4	6,0000
Łąki	F	894,494	178 004	199	58	518,278	103 137	3	6,0000
Łąki	G	1 764,689	351 173	199	12	216,109	43 006	3	6,0000
Suma		30 808,331	6 130 858			2475,174	492 560		

Podsumowanie

Celowość wykorzystania geoinformacji w zarządzaniu obszarami nadmorskimi jest bezsporna. Uzyskuje się nie tylko możliwość integracji wszystkich danych w jednym systemie, ale co więcej w jednym odwzorowaniu kartograficznym. Dysponuje się szerokim wachlarzem funkcji analitycznych pozwalających na wspomaganie procesu podejmowania decyzji o przyszłości tego obszaru. Otwartość systemów geoinformacyjnych na możliwość wprowadzenia danych z innych źródeł świadczy o ich uniwersalności. Ogromnym atutem narzędzi GIS jest możliwość tworzenia scenariuszy zmian środowiska pod wpływem różnych czynników.

Przykład użycia systemu geoinformacyjnego do kartograficznego zilustrowania oraz ilościowej oceny zmian strefy brzegowej w aspekcie erozji jest dobitnym przykładem potrzeby szerokiego wdrażania tego typu rozwiązań w proces Zintegrowanego Zarządzania Obszarami Przybrzeżnymi. System geoinformacyjny potrafi wygenerować scenariusze przewidywanej erozji brzegu. Scenariusze te można nanosić wielokrotnie i bezstratnie na dane dotyczące infrastruktury. Wykorzystując zapytania atrybutowe i funkcje analiz przestrzennych można wydobyć informacje o zagrożonych działkach, powierzchniach jakie zostaną zerodowane i sposobie ich użytkowania. Daje to władzom możliwość podjęcia dzisiaj decyzji, gdzie inwestycja jest niezagrażona, a gdzie należy liczyć się z zagrożeniem erozją w przyszłości. Istnieje także możliwość korekty już podjętych decyzji. W tym wypadku wystarczy porównać mapę obszarów przewidywanej erozji z planem zagospodarowania przestrzennego gminy. Do dobrej praktyki powinno należeć informowanie o potencjalnym, przyszłym zagrożeniu erozją inwestorów zainteresowanych tym obszarem. System geoinformacyjny, a w zasadzie wyniki badań otrzymane za jego pośrednictwem, są także efektywnym i efektownym argumentem w dyskusjach nad przyszłością tego terenu ze społecznością lokalną. Wyświetlenie mapy z przewidywaną erozją z budynkami mieszkańców w tle zastąpi nie jeden argument słowny.

Tworzenie i utrzymanie systemu geoinformacyjnego jest procesem ciągłym. W przykładzie opisanym w tym artykule generalnym zadaniem systemu miało być mapowanie przewidywanej erozji. W efekcie końcowym okazało się, że system nie tylko jest w stanie dać odpowiedź, które tereny są zagrożone erozją i w jakim stopniu, ale także może być stosowane jako narzędzie wspomagające zarządzanie fragmentem gminy. Użyteczność i różnorodność zastosowań systemu geoinformacyjnego w zarządzaniu strefą brzegową sprawiają, że powinien on stanowić nieodzowne narzędzie wszelkich projektów realizowanych na obszarze nadmorskim.

Literatura

- Bartlett D., Smith J., 2005: GIS for Coastal Zone Management, CRC.
- Dekeyne C., 2004: Guide for implementing Geographical Information Systems(GIS) dedicated to shoreline management, Materiały projektu MESSINA, IGN, Francja.
- Dudzińska-Nowak J., Furmańczyk K., 2005: Wykorzystanie historycznych zdjęć lotniczych do analizy zmian brzegu na przykładzie fragmentu wybrzeża Zatoki Pomorskiej. *Roczniki Geomatyki* tom III, zeszyt 4. ss. 53-61.
- Dudzińska-Nowak J. Furmańczyk K. Łęcka A., 2005: Ochrona brzegu na odcinku Międzyzdroje – Niechorze. ZZOP w Polsce – stan obecny i perspektywy. Problemy erozji brzegu. [red.] Furmańczyk K. Oficyna In Plus. Szczecin.

- Dudzinska-Nowak J., 2006: Zmienność morfologii strefy brzegowej jako wskaźnik tendencji rozwojowych brzegu. Instytut Nauk o Morzu US. Szczecin. Rozprawa doktorska.
- Furmańczyk K., Dudzińska-Nowak J., 2006: Przewidywanie wielkości erozji brzegu w rejonie miejscowości Trzęsacz, ZZOP – Brzeg morski zrównoważony, In Plus Oficyna.
- King S.D., 2003: The coastal zone Environment: A Place to Work, Rest, Play and to Manage, Coastal and Marine Geo-Information Systems, Coastal systems and Continental Margins Vol. 4, Kluwer Academic Publishers.
- Salman A., Lombardo S., Doody P., 2004: EuroSION Final Report, Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, RIKZ, EUCC, IGN, UAB, BRGM, IFEN, EADS.

Summary

Evaluation of erosion threats was the main aim of the European Commission project called EUROSION. To fulfill this task many European programs and plans for coastal management were reviewed. Geographic Information Systems were present in all of them as one of the most important tools. Based on that experience some recommendations for designing a dedicated system were prepared. Another project MESSINA - „Managing European Shoreline and Sharing Information on Near-Shore Areas” was aimed at implementation of those recommendations and their verification. The Laboratory of Remote Sensing and Marine Cartography localized at the University of Szczecin was responsible for collecting data and implementing it into comprehensive GIS system for the Rewal community within the MESSINA Project. The main emphasis was placed on erosion problems and hazards of a long term near-shore investment connected with this issue.

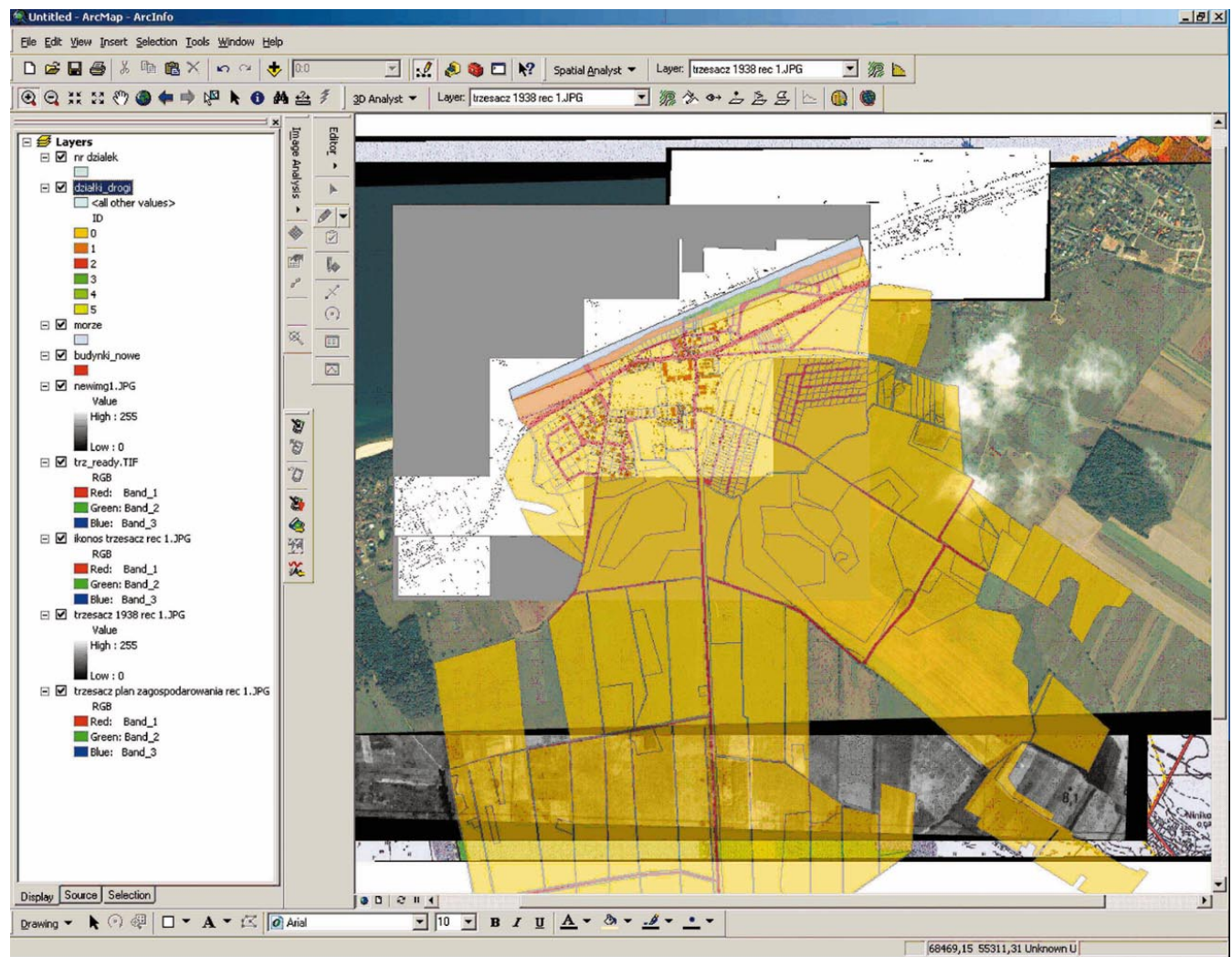
Many sets of data both graphic and attribute ones were collected for the pilot area of the Rewal community. The data reaching back even to year 1933 consisted of archival and present raster and vector maps, pictures, high resolution space images, coefficients of erosion rate and future investment plans up to 2015. All data was organized in one coordinate system with the use of ArcGIS software and presented in a way to enable display and analysis of plots and their development over any other available data. Calculation of shoreline changes was based on coefficients of erosion rate and prepared with the use of buffering tool leading to results of predicted changes that are supposed to occur in 20, 50 and 100 years. All analyses were conducted in two different scenarios. One assuming that the cliff where ruins of Trzęsacz church are standing will be protected and the second one assuming no human interference. To automate this time-consuming analysis a Model Builder module was used. Both scenarios representing different changes of the coastline included two different forecasts. Depending on the erosion rate we can call them optimistic and the second one is a pessimistic forecast. Beside the value of erosion range and information about parcels spatial distribution both scenarios include estimated losses for each plot. Also parts that are not under any threats within the period of 20, 50 or 100 years are available for display. All results can be compared with the investment plans and for better perception they may be strengthened with the remote sensing data displayed below the basic information.

This effective tool created within the MESSINA Project to predict shoreline behavior can be used in the decision making process by the community council. Additionally, the created system was used to explain complicated shoreline issues and its results in social consultations.

mgr Igor Szakowski
szakow@univ.szczecin.pl

mgr Rafał Benedyczak
benes@univ.szczecin.pl

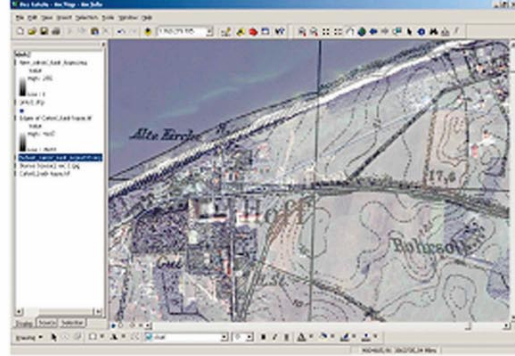
tel. (091) 444 15 97



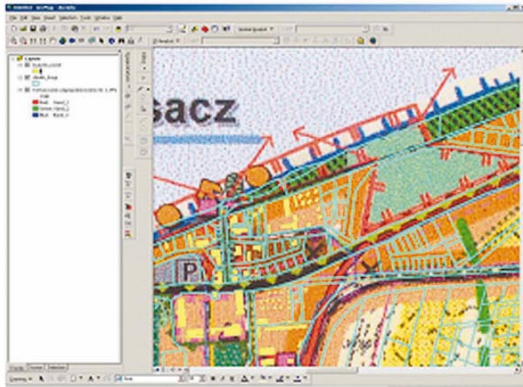
Rys. 1. System geoinformacyjny dla fragmentu gminy Rewal – miejscowość Trzêsacz



I



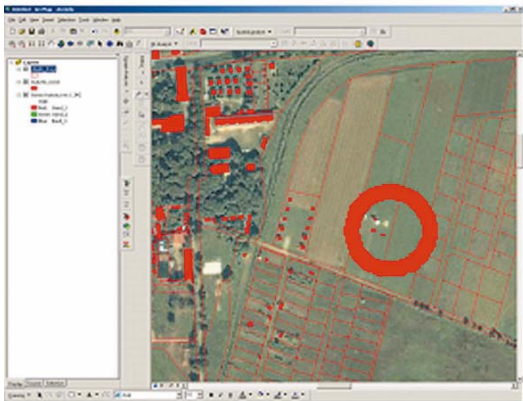
IV



II

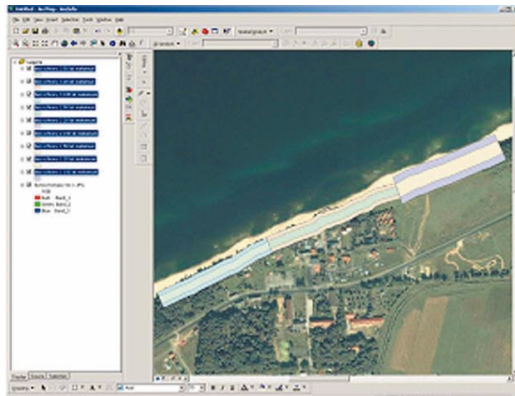


V

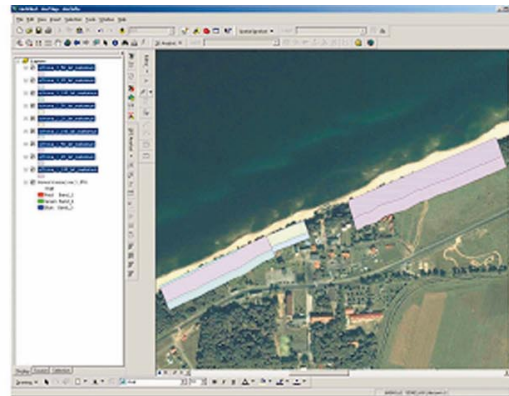


III

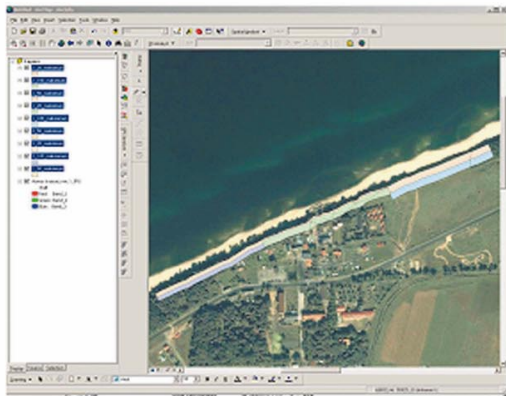
Rys. 2. Podstawowe zastosowania systemu geoinformacyjnego



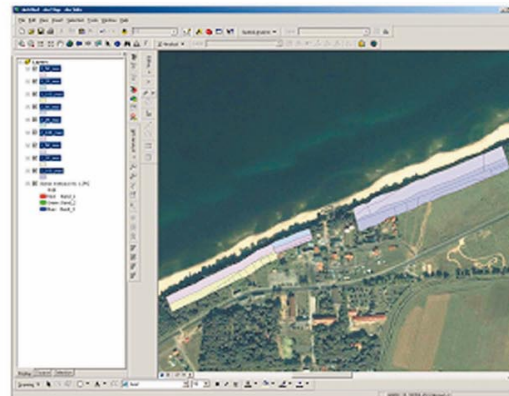
A



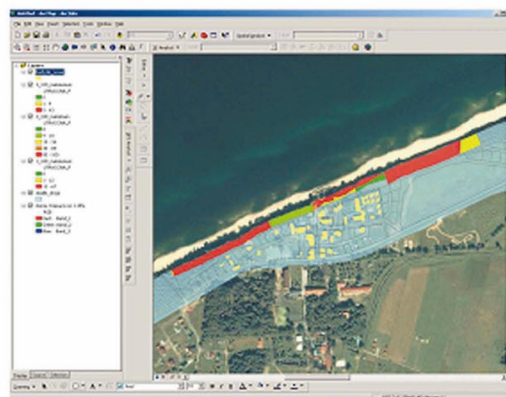
B



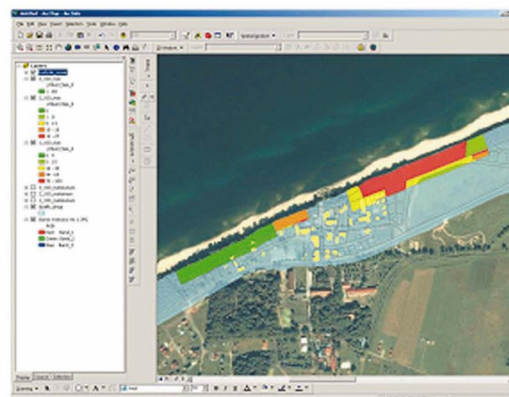
C



D



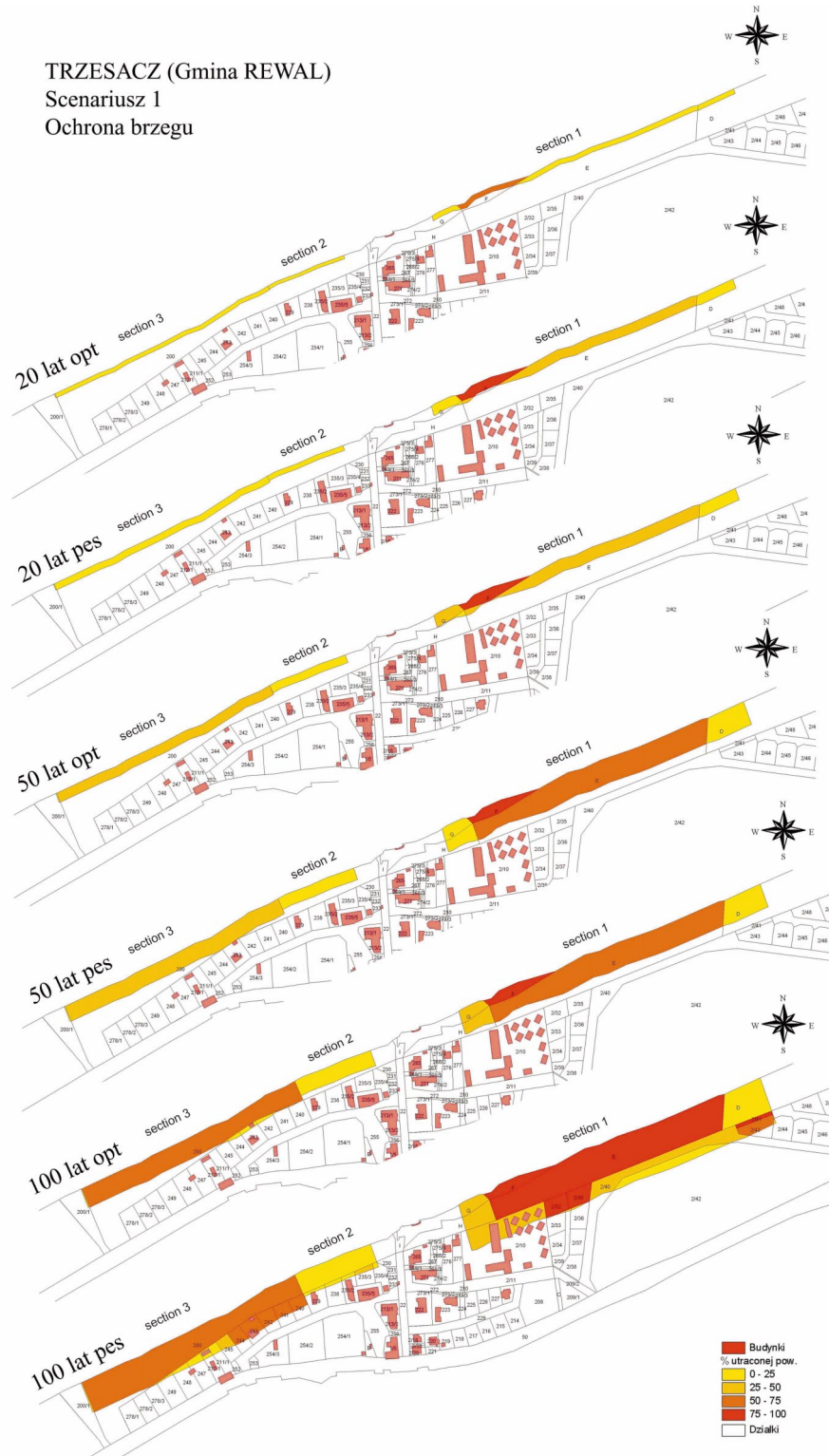
E



F

Rys. 3. Proces analizy wskaźników erozji

TRZESACZ (Gmina REWAL)
Scenariusz 1
Ochrona brzegu



Rys. 4. Graficzna reprezentacja analizy scenariuszy rozwoju erozji; skróty: opt – wersja optymistyczna, pes – wersja pesymistyczna