Piotr Wołejsza

WIELOKRYTERIALNAANALIZAWYBORUOPTYMALNEGOPRZEBIEGUTORUWODNEGONAZALEWIESZCZECIŃSKIM –ĆWICZENIEZPRZEDMIOTUSYSTEMYINFORMACJIPRZESTRZENNEJDLASTUDENTÓWWYDZIAŁUNAWIGACYJNEGO AKADEMII MORSKIEJ W SZCZECINIE.

SZCZECIN 2010

# Spis treści

Wprowad	zenie	3
Wykonan	ie ćwiczenia	4
1.	Akwen i dostępność danych	4
2.	Przygotowanie listy kryteriów	5
3.	Utworzenie warstw w programie ArcGis	8
4.	Wyświetlenie założonych kryteriów, jako kolejnych warstw w projekcie	14
5.	Wytyczenie wariantów przebiegu toru	17
6.	Wybór wariantu optymalnego	21
7.	Podsumowanie	27
Wnioski k	zońcowe	29
Literatura		29

#### Wprowadzenie

Celem ćwiczenia jest wytyczenie toru wodnego, który połączy port rybacki w Nowym Warpnie ( $\phi = 53^043^{\circ}35^{\circ}$ N,  $\lambda = 014^016^{\circ}56^{\circ}$ E) z przystanią w Wolinie ( $\phi = 53^050^{\circ}32^{\circ}$ N,  $\lambda = 014^037^{\circ}03^{\circ}$ E) na wyspie Wolin. Obecnie jedynym wytyczonym i właściwie oznakowanym szlakiem żeglugowym na Zalewie Szczecińskim jest tor wodny Szczecin – Świnoujście. Służy on przede wszystkim statkom morskim i śródlądowym. Mogą też z niego korzystać jednostki rekreacyjne. W związku ze stale wzrastającym ruchem turystycznym, wydaje się zasadnym uregulowanie innych popularnych połączeń. Do tej pory żegluga pomiędzy portami i przystaniami Zalewu nie podlegała żadnym regulacjom w zakresie trasy. Oczywiście żeglarze dysponujący mapą omijali rejony szczególnie dla nich niebezpieczne, zdając sobie sprawę, że głównym zagrożeniem, oprócz warunków meteorologicznych, są na tym akwenie niewielkie głębokości i liczne przeszkody znajdujące się zarówno nad jak i pod powierzchnią wody. Wyznaczenie torów wodnych z gwarantowaną minimalną głębokością przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi i zwiększy popularność Zalewu jako akwenu turystycznego.

W ćwiczeniu zaproponowano cztery warianty lokalizacji toru wodnego. Propozycje te wynikają ze wstępnej analizy akwenu. Oprócz opcji optymalnej pod względem odległości, przedstawiono również warianty omijające niebezpieczeństwa nawigacyjne oraz obszary, które wymagają wysokich nakładów finansowych na pogłębienie.

Każda z części ćwiczenia została w tytule opisana liczbą godzin przeznaczonych na jej realizację.

# WYKONANIE ĆWICZENIA

# 1. Akwen i dostępność danych – 1h

Celem bloku jest zapoznanie studentów:

- ze źródłami, z których mogą czerpać dane do realizacji projektów SIP,
- z akwenem, na którym będzie realizowane ćwiczenie.

Do dyspozycji są następujące dane otrzymane z Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej (BHMW):

- linia brzegowa z polskiej mapy morskiej numer 75 (INT 1296) pt. "Bałtyk. Zalew Szczeciński" w formacie *shape* (75\_Linia brzegowa) – skala 1:75000, obejmująca obszar ograniczony równoleżnikami 54N04 i 53N25 oraz południkami 014E08 i 014E55 przedstawiona na rysunku 1,
- sondaże z w/w obszaru w pliku tekstowym 75\_sondaże, który zawiera głębokości zmierzone na akwenie wraz ze współrzędnymi, gdzie dokonano pomiaru,
- przeszkody nawigacyjne z w/w obszaru w pliku tekstowym 75\_obstr, z wyróżnieniem rodzajów i opisem w postaci lokalizacji,
- rodzaj dna z w/w obszaru w pliku tekstowym 75\_rodzaj\_dna wraz ze współrzędnymi, w których dokonano próbkowania.

Współrzędne geograficzne wszystkich w/w danych są w systemie WGS 84.



Rys.1. Linia brzegowa mapy numer 75.

# 2. Przygotowanie listy kryteriów – 1h.

Celem bloku jest:

- zapoznanie studentów z kryteriami, które mogą być brane pod uwagę przy realizacji projektów SIP,
- wybór kryteriów niezbędnych do realizacji niniejszego projektu.

Wybierając optymalny wariant toru wodnego należy brać pod uwagę następujące kryteria:

- 1. minimalna głębokość toru wodnego to 3.0 m,
- 2. szerokość toru to 100 m,
- 3. długość toru powinna być jak najmniejsza,

- 4. minimalna odległość od brzegu to 50 m,
- 5. minimalna odległość od niebezpieczeństw nawigacyjnych to 500 m,
- 6. rodzaj dna (w przypadku konieczności pogłębiania).

W przypadku konieczności pogłębiania należy uwzględnić rodzaj dna. Jeżeli dno jest skaliste, należy przyjąć, że tor w tym miejscu nie może zostać pogłębiony. Koszty pogłębienia zależą od rodzaju dna. Najtańsze jest wydobycie piasku (S) i drobnego piasku (fS). Wydobycie mułu (M) jest 20% droższe, a muszli (Sh) o 50% droższe niż piasku.

Ostatnim kryterium łączącym wszystkie w/w jest sumaryczny koszt wytyczenia toru wodnego. Ma być on oczywiście jak najmniejszy.

Ze względu na ukształtowanie linii brzegowej, wszystkie proponowane rozwiązania są identyczne w początkowej i końcowej fazie (rysunek 2 i 3).



Rys.2. Początkowa faza przebiegu torów wodnych.



Rys.3. Końcowa faza przebiegu torów wodnych.

Utworzona lista kryteriów nie obejmuje wszystkich, jakie należałoby uwzględnić podczas opracowywania kompletnego projektu SIP. Z pewnością listę należałoby rozszerzyć o następujące warunki:

- odległość od obszarów chronionych i rezerwatów,
- istniejące oznakowanie nawigacyjne,
- położenie sieci rybackich.

Nie zostały one jednakże uwzględnione w ćwiczeniu, aby nie dopuścić do jego nadmiernego rozrostu oraz odpowiednio z następujących powodów:

- zastosowanie tych samych funkcji do tworzenia kryteriów co w przypadku linii brzegowej, czy też przeszkód nawigacyjnych,
- braku danych,
- zmiennego położenia.

#### 3. Utworzenie warstw w programie ArcGis – 3h.

Celem bloku jest zapoznanie studentów:

- z wymaganym przez oprogramowanie formatem danych,
- z metodami dostosowywania danych do wymaganego formatu,
- ze sposobami tworzenia kolejnych warstw w projekcie,
- z metodami etykietowania danych.

Linia brzegowa w formacie *shape* może być, bez konieczności dokonywania wstępnego przetworzenia, wyświetlona w programie ArcGis 9.3. Przed wczytaniem jej jako warstwy należy przypisać do niej układ odniesienia. Dokonujemy tego w **ArcCatalog**. Należy w nim odnaleźć i zaznaczyć plik **75\_linia brzegowa.shp**. Następnie prawym przyciskiem myszy rozwijamy menu, z którego wybieramy opcję **Shapefile Properties**, a w niej zakładkę **XY Coordinate System**. W opcji **Select** wchodzimy kolejno do katalogu **Projected Coordinated Systems** i **World**. W katalogu **World** zaznaczamy **Mercator** i potwierdzamy **Add**. W tym momencie ArcGis jest gotowy to utworzenia nowej warstwy. Dokonujemy tego poprzez ikonę Add Data. Z okienka wybieramy **75\_linia brzegowa.shp** i zatwierdzamy **Add**. Możemy też przeciągnąć plik z ArcCatalog do ArcMap za pomocą myszki. Ramka ArcMap przyjmie system odniesienia pierwszego pliku, który zostanie do niej dodany.

Aby zmienić sposób wyświetlania pozycji klikamy prawym przyciskiem myszy w dowolnym miejscu ramki. Z rozwijalnego menu wybieramy kolejno **Data Frame Properties** i **General.** W polu **Units Display** wybieramy **Degree, Minutes, Seconds**, a następnie zatwierdzamy **Zastosuj** i **OK**.

Pozostałe dane są w plikach tekstowych. W związku z tym należy je odpowiednio sformatować, aby były czytelne dla programu. Przykładowe dane zawarte w pliku **75\_Sondaże** przedstawione są poniżej:

53-59-38.000N;14-13-38.999E;9.4 53-48-10.317N;14-34-34.557E;1.4 53-48-06.557N;14-35-45.612E;2.4 54-01-18.000N;14-20-11.000E;10.4 53-53-20.556N;14-23-47.548E;2.3 53-53-42.888N;14-38-12.834E;1.3

Program ArcGis wymaga, aby dane tekstowe, które mają być wyświetlone w postaci warstwy na mapie, posiadały następujący format:

53,99388889	14,22749972	9.4
53,80286583	14,57626583	1.4

W związku z tym należy dokonać następujących zmian w pliku źródłowym:

- współrzędne geograficzne w formacie stopnie, minuty, sekundy należy zamienić na format stopnie,
- należy usunąć informacje o koordynatach (N, S, E, W),
- plik może składać się jedynie z trzech kolumn, tj. szerokość geograficzna, długość geograficzna, głębokość,
- każda kolumna musi być w nagłówku opisana; w tym wypadku szerokość oznaczamy y, długość x, a głębokość z,
- poszczególne kolumny muszą być oddzielone jednym tabulatorem.

Zamianę formatu stopnie, minuty, sekundy na format stopnie można wykonać w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Przeliczenia minut i sekund na części stopnia dokonamy za pomocą równania(1):

$$minuty/60 + sekundy/3600 = części stopnia$$
(1)

Po powyższych zmianach powinniśmy otrzymać następujący format:

У	х	Z		
53,9938	8889		14,22749972	9.4
53,8028	6583		14,57626583	1.4
53,8018	2139		14,59600333	2.4
54,0216	6667		14,33638889	10.4

Należy pamiętać, że oznaczenia w nagłówku również powinny być oddzielone tylko jednym tabulatorem. W związku z tym wcale nie muszą się znajdować bezpośrednio nad kolumnami, które opisują, tak jak to jest przedstawione powyżej. Wartości z kolumny y i x mogą występować z kropką lub przecinkiem. Natomiast kolumna z (głębokość) musi występować z kropką.

Tak przygotowany plik możemy dodać do pierwszej warstwy (linia brzegowa) według poniższej procedury:

- na pasku narzędzi wybieramy menu Tools, w którym korzystamy z opcji Add XY Data,
- po kliknięciu na Browse wybieramy żądany plik tekstowy (w tym wypadku 75\_sondaże),
- w X Field wybieramy x, czyli długość geograficzną,
- w Y Field wybieramy y, czyli szerokość geograficzną,
- w Coordinate Systems wybieramy WGS 84,
- zatwierdzamy **OK**.

Miejsca, w których robiono pomiary, zostaną standardowo oznaczone kropkami. Aby wyświetlić właściwe oznaczenie dna należy wykonać następujące czynności:

- w polu Layers prawym przyciskiem myszy kliknąć na 75\_sondaże i z menu wybrać Properties, a w nim zakładkę Labels. W zakładce należy zaznaczyć opcję Label features in this layer, a w Label field wybrać z rozwijalnego menu nazwę pola, którego wartość ma być wyświetlona na warstwie (w tym wypadku z),
- symbol, jakim oznaczone jest miejsce sondażu, można edytować. Z menu należy wybrać Properties, a następnie zakładkę Symbology. Po kliknięciu w pole Symbol pojawi się szeroka gama dostępnych symboli. Można również edytować ich kolor i wielkość,
- w celu zmiany położenia wartości sondażu względem kropki oznaczającej miejsce pomiaru należy wybrać zakładkę Labels, a w niej kolejno opcję Placement Properties, Offset label horizontally around the point i Change location, a następnie zaznaczyć żądany układ (np. Top center Only),
- aby wyświetlić żądaną liczbę miejsc po przecinku należy wybrać zakładkę
   Fields. Po kliknięciu na żądaną warstwę (w tym wypadku z) wybieramy wielokropek. W oknie Number Format wybieramy kategorię Numeric i zaznaczamy opcję Number of decimal places. W polu Rounding wybieramy żądaną liczbę miejsc po przecinku i zatwierdzamy OK, a w kolejnym oknie Zastosuj i OK.

Plik **75\_rodzaj\_dna** formatujemy tak jak plik **75 sondaże**. Pierwsze dwie kolumny: szerokość i długość geograficzną zamieniamy zgodnie z procedurą opisaną dla pliku 75 sondaże. W ostatniej, trzeciej kolumnie znajduje się oznaczenie rodzaju dna:

fS – fine sand (drobny piasek),

Sh – shells (muszle),

S - sand (piasek),

M - mud (mul),

Cy – clay (glina),

St – stones (kamienie),

fG – fine gravel (drobny żwir).

Po powyższych zmianach powinniśmy otrzymać następujący format:

У	Х	Z		
53,9938	88889		14,22749972	fS
53,8028	86583		14,57626583	S
53,8018	32139		14,59600333	Sh
54,0216	66667		14,33638889	Μ

Tak przygotowany plik możemy dodać do istniejących warstw według procedury zastosowanej dla pliku 75 sondaże.

75 linia brzegowa jest w formacie *shape*, natomiast 75 sondaże to plik tekstowy (w opisie posiada rozszerzenie Event), którego nie można wykorzystać do analiz przestrzennych. Aby wyeksportować do formatu shape klikamy prawym przyciskiem myszy na żądaną warstwę) i wybieramy kolejno Data, Export Data, a następnie Browse, aby wpisać ządaną nazwę. Zatwierdzamy Save i OK.

Miejsca, w których badano dno, zostaną standardowo oznaczone kropkami. Aby wyświetlić właściwe oznaczenie dna, należy wykonać następujące czynności:

> • w polu Layers prawym przyciskiem myszy kliknąć na 75\_rodzaj\_dna i z menu wybrać Properties, a w nim zakładkę Labels. W zakładce należy zaznaczyć opcję Label features in this layer, a w Label field wybrać z rozwijalnego menu nazwę pola, którego wartość ma być wyświetlona na warstwie (w tym wypadku z). W Other Options wybieramy Placement Properties..., zaznaczamy opcję Place label on top of the point i zatwierdzamy OK,

 w zakładce Symbology w polu Show wybieramy kolejno Categories i Unique values. Likwidujemy zaznaczenie w kolumnie Symbol i zatwierdzamy Zastosuj i OK.

Po wykonaniu powyższych czynności symbol oznaczający rodzaj dna zostanie naniesiony dokładnie w miejscu badania.

W ostatnim pliku tekstowym **75\_obstr** znajdują się współrzędne geograficzne niebezpieczeństw nawigacyjnych. Symbole przedstawiono w tabeli 1.

symbol na mapie	skrót w	znaczenie
morskiej	ріка	
#	DLFGG1	pozostałości po wrakach, dalbach lub zatopionych instalacjach morskich, niebezpieczne dla jednostek kotwiczących lub trałujących
+	DLRK	skała lub głaz podwodny leżący na głębokości mniejszej niż 5 m
·++·	DLWKDU	wrak niebezpieczny dla żeglugi
	DLWV5~L	wrak wystający ponad powierzchnię wody
	OBSTRN	przeszkoda nawigacyjna znajdująca się pod powierzchnią wody na głębokości większej niż 5m

Tabela 1. Symbole stosowane na mapach morskich.

Ponieważ pliku tekstowego (w opisie posiadają rozszerzenie Event) nie można w takiej formie wykorzystać do analiz przestrzennych, wyeksportujemy go do formatu *shape*. Klikamy prawym przyciskiem myszy na żądaną warstwę i wybieramy kolejno **Data**, **Export Data**, a następnie **Browse**, aby wpisać żądaną nazwę. Zatwierdzamy **Save** i **OK**.

Miejsca, w których wykonano pomiary, zostaną standardowo oznaczone kropkami. Ponieważ w pliku znajduje się pięć różnych niebezpieczeństw nawigacyjnych przeprowadzimy odpowiednią kategoryzację. W tym celu klikamy prawym przyciskiem myszy na żądaną warstwę i wybieramy **Properties**, a następnie zakładkę **Symbology**. W oknie **Show** wybieramy **Categories** i **Unique values**. W oknie Value Fields wybieramy "z" (współrzędną, pod którą zapisane są oznaczenia niebezpieczeństw nawigacyjnych). Następnie klikamy **Add All Values**. Po tej operacji, każdy rodzaj przeszkody zostanie oznaczony innym kolorem kropki.

Aby wyświetlić właściwe oznaczenie dna, należy wykonać następujące czynności:

- kliknąć prawym przyciskiem myszy na żądaną kategorię,
- z rozwijalnego menu wybrać **Properties**, a następnie zakładkę **Symbology**,
- kliknąć na pole Symbol, wybrać żądane oznaczenie i zatwierdzić OK,

 jeżeli żądany symbol nie występuje należy wybrać opcję More symbols znajdującą się z prawej strony i dodać określone kategorie, np. symbole wraków są w kategorii CADD GIS Center SDS 200.

Po wykonaniu wszystkich wyżej opisanych czynności powinniśmy mieć wyświetlone 4 warstwy (rysunek 4 i 5).



Rys.4. Wyświetlenie danych w programie ArcGis.



Rys.5. Powiększenie ekranu z rysunku 4.

# 4. Wyświetlenie założonych kryteriów, jako kolejnych warstw w projekcie – 1h.

Celem bloku jest zapoznanie studentów:

• z narzędziami ArcToolbox niezbędnymi do realizacji projektu.

Na wstępie przyjęto następujące kryteria:

- 1. minimalna głębokość toru wodnego to 3.0 m,
- 2. szerokość toru to 100 m,

- 3. długość toru powinna być jak najmniejsza,
- 4. minimalna odległość od brzegu to 50 m,
- 5. minimalna odległość od niebezpieczeństw nawigacyjnych to 500 m,
- 6. rodzaj dna (w przypadku konieczności pogłębiania).

Ostatnim kryterium łączącym wszystkie w/w jest sumaryczny koszt wytyczenia toru wodnego.

Pierwsze trzy kryteria zostaną zaimplementowane w punkcie 6. Kryterium czwarte można wyświetlić w formie buforu. Funkcja **Buffer** znajduje się w **ArcToolbox** (czerwona ikona na pasku narzędzi). Po kliknięciu w ikonę pojawi się dodatkowy, pionowy pasek narzędzi. W nim należy wybrać kolejno **Analysis Tools, Proximity** i **Buffer**. Jako **Input Features** wybieramy żądaną warstwę, np. **przeszkody**. **Output Feature Class** wypełni się automatycznie. Zostanie tam wpisana ścieżka dostępu do katalogu, w którym znajdują się nasze warstwy, a nazwa pliku zostanie uzupełniona o **\_Buffer.shp**. Oczywiście miejsce zapisania pliku i jego nazwę można zmienić. Zaleca się, chociażby ze względu na łatwość kopiowania, aby wszystkie warstwy znajdowały się w jednym katalogu, a nazwa jak najbardziej kojarzyła się z warstwą, dla której tworzymy bufor. W polu **Linear unit** wpisujemy wartość wynikającą z założonych kryteriów.

Pozostałe opcje pozostawiamy bez zmian i zatwierdzamy **OK**. Bufory wokół pozostałych niebezpieczeństw nawigacyjnych utworzymy w ten sam sposób. Dla ich rozróżnienia można zastosować inne kolory. W tym celu należy kliknąć dwukrotnie w pole reprezentujące barwę, które znajduje się bezpośrednio pod nazwą utworzonej warstwy, i wybrać żądany kolor. Z punktu widzenia założonych kryteriów nie jest to operacja obowiązkowa. W ćwiczeniu kolory te będą miały jedynie funkcję informacyjną. Przedstawiono je na rysunku 6.



Rys.6. Zobrazowanie buforów wokół niebezpieczeństw nawigacyjnych.

Bufor wzdłuż linii brzegowej wykonamy w ten sam sposób jak dla niebezpieczeństw nawigacyjnych. Jedyną różnicą będzie jego wielkość wynikająca z założonego kryterium (w tym wypadku 50 m - rysunek 7). Ponadto w polu **Dissolve Type** należy dodatkowo wybrać **All**, aby powstał jeden bufor(warstwa).



Rys.7. Zobrazowanie bufora wzdłuż linii brzegowej.

Warstwy **rodzaj\_dna** i **Sondaże** wyświetlone są jako zbiór punktów. W takiej formie nie nadają się do przeprowadzenia analiz przestrzennych. Do utworzenia obszarów o jednakowym rodzaju pokrycia dna posłuży nam funkcja **Create Thiessen Polygons**, która znajduje się w **Analysis Tools** w grupie **Proximity**. Po wybraniu tej opcji należy wskazać warstwę, dla której mają zostać utworzone poligony (w tym wypadku rodzaj\_dna). Sugerowana nazwa nowej warstwy to **rodzaj\_dna\_CreateThiessenPol.shp**. Niestety funkcja ta w pakiecie podstawowym ArcGis jakim jest ArcView nie występuje. Na dysku D:\cwiczenie SIP dla nawigacji znajduje się katalog **poligony** Thiessena. do projektu należy dodać warstwy rodzaj\_dna\_CreateThiessenPolugon oraz sondaże\_ThiessenPolygon. Poligony zostały przedstawione na rysunku 8. W Output Fields należy wybrać **ALL**. W tej sytuacji tabela utworzonej warstwy będzie zawierała wszystkie atrybuty z łączonych warstw.



Rys.8. Poligony Thiessena dla rodzaju dna.

#### 5. Wytyczenie wariantów przebiegu toru – 2h.

Celem bloku jest zapoznanie studentów:

• z funkcjami ArcCatalog niezbędnymi do realizacji projektu.

Planowany tor wodny ma połączyć port rybacki w Nowym Warpnie – rysunek 9 ( $\phi = 53^{0}43^{3}35^{\circ}$ N,  $\lambda = 014^{0}16^{5}56^{\circ}$ E) z przystanią w Wolinie – rysunek 10 ( $\phi = 53^{0}50^{3}32^{\circ}$ N,  $\lambda = 014^{0}37^{\circ}03^{\circ}$ E) na wyspie Wolin.



Rys. 9. Położenie portu rybackiego w Nowym Warpnie.



Rys.10. Położenie przystani w Wolinie.

Zaproponowano cztery warianty, które zostały przedstawione jako kolejne warstwy o następujących nazwach: tor\_polyline1, tor\_polyline2, tor\_polyline3, tor\_polyline4.

Aby utworzyć nowego *shape'a* otwieramy w Arc Catalog folder, w którym chcemy zapisać plik (najlepiej w tym samym, w którym znajdują się pozostałe warstwy). Klikamy prawym przyciskiem myszy i z rozwijalnego menu wybieramy New, a następnie Shapefile. W polu Create New Shapefile należy podać nazwę pliku, wybrać jego typ, np. punktowy, linia, poligon i system odniesienia taki sam jak dla całego projektu. Następnie przenosimy nowo utworzony plik do projektu w ArcGis (najprościej poprzez przeciągnięcie). Na pasku narzędzi wybieramy Editor Toolbar. W okienku, które pojawi się na ekranie, wybieramy kolejno Editor i Start Editing. W polu Task zaznaczamy Create New Feature, w polu Target warstwę, którą chcemy edytować, np. tor\_polyline1, a następnie wybieramy narzędzie, które posłuży nam do rysowania toru wodnego. W przypadku "ołówka" początek, kolejne punkty zwrotu i zakończenie oznaczamy poprzez pojedyncze kliknięcie w odpowiednim miejscu na mapie. W celu zakończenia rysowania wciskamy prawy przycisk myszy i wybieramy Finish Sketch. Następnie klikamy Save Edits i Stop Editing. Każdy z proponowanych torów powinien wyróźniać się na tle innych. Najłatwiej to osiągnąć edytując kolory poprzez dwukrotne kliknięcie na linii znajdującej się bezpośrednio pod nazwą

warstwy i wybór odpowiedniego koloru. Proponowane rozwiązania przedstawiono na rysunku 11.



Rys.11. Proponowane lokalizacje toru wodnego.

Wzdłuż proponowanej trasy toru wodnego utworzymy bufory, tak jak to było zrobione dla niebezpieczeństw nawigacyjnych i linii brzegowej. Założona szerokość toru wodnego to 100 m, a więc w polu **Linear unit** wpisujemy wartość 50 m.

Ze względu na ukształtowanie linii brzegowej, wszystkie proponowane rozwiązania są identyczne w początkowej i końcowej fazie (rysunek 2 i 3).

Proponowane rozwiązania spełniają również kryteria minimalnej odległości od lądu (50 m - kryterium 5) i projektowanej szerokości toru (100 m - kryterium 2). Z pozostałych kryteriów bezwzględnie musi być spełnione kryterium minimalnej głębokości. W tabeli 2 przedstawiono zbiorcze koszty poszczególnych czynności związanych z wytyczeniem toru wodnego.

Tabela 2. Koszty czynności związanych z wytyczeniem toru wodnego w jednostkach umownych.

Czynność	Koszt
wydobycie 1 m <sup>3</sup> piasku lub drobnego piasku	1

wydobycie 1 m <sup>3</sup> mułu	1.2
wydobycie 1 m <sup>3</sup> muszli	1.5
oznakowanie jednego metra toru wodnego	100
wydobycie wraku/przeszkody	10000

#### 6. Wybór wariantu optymalnego – 4h.

Celem bloku jest zapoznanie studentów:

- z operacjami na tabelach atrybutów,
- z kolejnymi narzędziami ArcToolbox niezbędnymi do realizacji projektu,
- z metodami obliczeń kosztów wynikających z poszczególnych kryteriów,
- ze sposobami przedstawienia zbiorczych wyników końcowych.

Spośród zaproponowanych torów wodnych należy wybrać ten, którego budowa będzie się wiązała z najmniejszymi nakładami inwestycyjnymi.

Całkowity koszt wytyczenia toru będzie sumą następujących składników:

- iloczynu długości toru w metrach i 100 jednostek umownych (kryterium 3),
- iloczynu wydobytego urobku wyrażonego w m<sup>3</sup> i kosztów jednostkowych wydobycia wynikających z rodzaju dna (kryteria 1 i 6),
- iloczynu liczby wydobytych wraków i 10000 jednostek umownych (kryterium 5).

Długość wyznaczonego toru wodnego obliczymy korzystając z funkcji Calculate Areas. Znajduje się ona w grupie Spatial statisctics tools, podgrupa Utilities. Jako Input Feature wybieramy tor\_polyline\_buffer. Output Class Feature Class to tor\_polyline\_pole. Po utworzeniu warstwy należy wyświetlić tabelę atrybutów. Następnie z Options wybrać Add Field. W polu nazwa wpisać np. długość. Z pola typ wybrać Double. Po utworzeniu kolumny klikamy na jej nagłówek prawym przyciskiem myszy i wybieramy Field Calculator. Otrzymaną wielkość powierzchni F\_AREA należy zamienić na metry kwadratowe, a następnie podzielić przez szerokość toru (w tym wypadku 100 m). Drugim sposobem sprawdzenia zaplanowanej długości toru jest wybór narzędzia Measure znajdującego się na pasku narzędzi. Z dostępnych opcji wybieramy Measure a Feature i klikamy na tor wodny, który chcemy zmierzyć (rysunek 12). Tak jak w pierwszym



przypadku wynik należy zamienić na metry. Można również w opcji **Measure a Feature** wybrać **Choose Units** i zadeklarować, żeby wynik był podany w metrach.

Rys.12. Wykorzystanie narzędzia Measure.

Zestawienie długości torów wodnych oraz kosztów ich wytyczenia przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Długości i koszty wytyczenia poszczególnych wariantów torów wodnych (kryterium 3).

Wariant	Długość [m]	Koszt [jedn. umownych]
1	45984,5	4598450
2	46138,6	4613860
3	46035,0	4603500
4	45632,6	4563260

W celu obliczenia objętości urobku, który będzie trzeba wydobyć, aby zapewnić założoną głębokość toru wodnego, należy w pierwszej kolejności obliczyć, na jakiej długości proponowanego toru wodnego głębokości są mniejsze od wymaganych. Wykorzystamy do tego funkcję Intersect. Nałożymy na siebie trzy warstwy: tor\_polyline\_buffer, rodzaj\_dna\_ThiessenPolygon i sondaże\_ThiessenPolygon. Niestety w pakiecie ArcView

można nałożyć na siebie tylko dwie warstwy jednocześnie. A wiec opisana czynność musimy podzielić na dwa etapy. W efekcie otrzymamy warstwę, którą oznaczymy jako tor\_polyline\_buffer\_Interse dodając do nazwy indeks od 1 do 4 w zależności od tego, dla którego toru wodnego tworzymy warstwę. W tabeli atrybutów tej warstwy znajdują się dane o głębokościach i rodzaju dna na poszczególnych odcinkach planowanego toru. W kolejnym kroku obliczymy pola powierzchni poszczególnych poligonów za pomocą funkcji Calculate Areas. Jako Input Feature Class wybieramy tor\_polyline\_buffer\_Interse. Output Feature Class to pow\_przeciecia. Po utworzeniu warstwy należy wyświetlić tabelę atrybutów i dokonać wyboru tylko tych poligonów, których głębokość jest mniejsza niż 3.0 m. W tym celu klikamy kolejno na **Options**, **Select by Attributes**, a w polu selekcji wpisujemy "z\_1" < 3 i zatwierdzamy **Apply** ("z 1"to nazwa kolumny, w której znajdują się głębokości). Wiersze spełniające powyższe kryteria zostana podświetlone. Jeżeli na dolnym pasku narzędzi wybierzemy opcję Show Selected, to w tabeli pozostaną jedynie podświetlone wiersze. Teraz policzymy ilość urobku do wydobycia w m<sup>3</sup>. W tym celu z **Options** w tabeli atrybutów należy wybrać Add Field. W polu nazwa wpisać objętość. Z pola typ wybrać Double. Po utworzeniu kolumny klikamy na jej nagłówek prawym przyciskiem myszy i wybieramy Field Calculator. Otrzymaną wielkość powierzchni F\_AREA należy zamienić na metry kwadratowe, a następnie pomnożyć przez różnicę założonej głębokości (3.0 m) i głębokości aktualnej (kolumna "z 1" w tabeli atrybutów).

W kolejnym kroku uwzględnimy rodzaj dna. Zgodnie z wcześniejszymi założeniami utworzymy w tabeli atrybutów kolumnę współczynnik, którego wielkość jest uzależniona od rodzaju dna. Procedura dodawania kolumny do tabeli została opisana wcześniej. Aby wpisać współczynnik, należy wyselekcjonować wiersze z tym samym rodzajem dna. W tym celu w tabeli atrybutów warstwy **pow\_przeciecia** klikamy kolejno na **Options**, **Select by Attributes**, a w polu selekcji wpisujemy "z\_1" < 3 AND "z" = 'fS' (głębokość mniejsza od 3 m i rodzaj dna drobny piasek) i zatwierdzamy **Apply** ("z" to nazwa kolumny, w której znajduje się rodzaj dna). Wiersze spełniające powyższe kryteria zostaną podświetlone. Jeżeli na dolnym pasku narzędzi wybierzemy opcję **Show Selected**, to w tabeli pozostaną jedynie podświetlone wiersze. Współczynnik dla piasku wynosi 1 (koszt jednostkowy wydobycia 1 m<sup>3</sup> piasku wynosi 1 jednostkę umowną) i taką wartość należy wpisać do kolumny. Tę samą operację należy przeprowadzić dla pozostałych rodzajów dna. W efekcie otrzymamy tabelę przedstawioną na rysunku 13.

	Selected Attributes of pow_przeciecia1											
F	FID Shape *		X		7	y 1	× 1	7.1		długość [m]	objetość (m3)	wenółczynnik
	2 Polygop	0.00045	53 794640	14 564902	29	53 905000	14 567603	4 <u>0</u>	0.000000023	1130 750393	22705 007620	
	4 Polygon	0,00045	53,704043	14,004002	2,0	53,0053333	14,507023	10	0,00000325	2402 459445	70070 700204	
	4 Folygon	0,00045	52,719010	14,003102	4.4	50,0000000	14,307023	M	0,00001340	2402,433443	40005 470444	10
	S Polygon	0,00045	53,710313	14,273013	4.6	53,713332	14,202030	1VI 4C	0,00000204	4724 950442	40223,170441	1,2
	7 Polygon	0,00045	53,743130	14,201724	1.0	59,740010	14,20313	M	0,00001405	214 590407	50222 970462	12
	Polygon 9 Dolygon	0,00045	53,737253	14,270113	1,4	53,713332	14,202030	1VI 4C	0,00000255	691 091110	100116 077061	4
	0 Polygon	0,00045	53,737233	14,270113	1,4	53,740013	14,20313	10	0,000000002	1410 220511	103110,377301	
	10 Dolugon	0,00045	53,748033	14,231430	1,7	53,740013	14,20019	13 40	0,00001144	767 400967	04204 205257	4
	11 Polygon	0,00045	53,703374	14,530034	1,3	53,005333	14,507623	10	0,00000621	207,123007	4204,200007	
	12 Polygon	0,00045	53,707919	14,607201	1,1	53,005333	14,507623	10	0,00000184	227,472030	43219,091023	1
	12 Polygon	0,00045	20,782107	14,092074	2,3	23,002899	14,007020	15	0,00000233	207,040000	20140,000707	
	14 Dolugon	0,00045	53,702310	14,003100	1,0	52,005333	14,507023	13 40	0,00000202	407 505445	77406 00000	4
	14 Polygon	0,00045	53,003323	14,000242	1,1	53,005333	14,507623	10	0,0000033	407,303413	77420,020330	
-	15 Polygon	0,00045	53,795222	14,590235	2,0	53,005333	14,507623	10	0,00000096	00,5224.09	22120,00191	
-	10 Polygon	0,00045	53,001021	14,596003	2,4	53,005333	14,567623	15	0,00000001	99,523190	3971,391007	
-	10 Polygon	0,00045	53,770205	14,577599	2,7	53,005999	14,567623	15	0,0000076	94,305302	2031,301401	1
	19 Polygon	0,00045	53,769002	14,570237	2,9	53,005999	14,567623	15	0,00000714	001,119341	0011,193400	1
	22 Polygon	0,00045	53,790046	14,557627	1,3	53,805999	14,567623	15	0,00000504	621,913326	105725,265342	1
	23 Polygon	0,00045	53,787945	14,546692	1,2	53,805999	14,567623	15	0,00000233	287,966027	51833,884771	1
	24 Polygon	0,00045	53,781255	14,544981	0,6	53,773922	14,50423	M	0,00000024	29,259439	7022,265477	1,2
	25 Polygon	0,00045	53,781255	14,544981	0,6	53,805999	14,567623	15	0,00000966	1192,79042	286269,700828	
_	26 Polygon	0,00045	53,785621	14,585197	2,3	53,805999	14,567623	tS	0,00000997	1231,144007	86180,08051	1
-	52 Polygon	0,00045	53,758838	14,29302	1,6	53,746815	14,28519	15	0,00000215	265,975406	37236,556909	1
	53 Polygon	0,00045	53,759415	14,30499	1,7	53,746815	14,28519	fS	0,00000174	214,571866	27894,342615	1
	54 Polygon	0,00045	53,759415	14,30499	1,7	53,770734	14,291282	M,Sh	0,00000794	979,821768	127376,829821	1,5
-	59 Polygon	0,00045	53,823751	14,603599	1,8	53,805999	14,567623	tS	0,000083	1024,353191	122922,382902	1
-	61 Polygon	0,00045	53,809163	14,602629	2,3	53,805999	14,567623	tS	0,00000704	868,981553	60828,708717	1
-	62 Polygon	0,00045	53,814865	14,599619	2,2	53,805999	14,567623	fS	0,00000492	607,471669	48597,733538	1 -
-	63 Polygon	0,00045	53,817054	14,605456	0,8	53,805999	14,567623	fS	0,00000035	43,436766	9556,088609	1 🗸
1	64 Dolygon	0.00045	53,81,81,01	1/ 5080/8	1.6	53 805000	14 567623	fC	0.00000182	224 007450	31/00 602236	1
Ľ						-				1		•
	Record: II	0	M Sho	ow: All Sel	lected	Reco	rds (29 out of	f 65 Sel	ected)	Options 👻		

Rys.13. Tabela atrybutów ze współczynnikami rodzaju dna.

Koszt pogłębienia otrzymamy z mnożenia następujących składników/kolumn:

- objętość [m3],
- współczynnik.

Całkowity koszt pogłębienia dla wybranego wariantu wyświetlimy klikając kolejno prawym przyciskiem myszy na kolumnę koszt, a następnie z rozwijalnego menu wybierzemy **Statistics**. W wierszu **Sum** znajduje się szukana wartość (rysunek 14).

FID	Shape *	BUFF_DIST	У	x	z	y_1	x_1	z_1	F_AREA	długość (m)	objętość [m3]	współczynnik	koszt
2	Polygon	0,00045	53,784649	14,564802	2,8	53,805999	14,567623	fS	0,00000923	1139,750382	22795,007639	1	22795,0076
4	Polygon	0,00045	53,827928	14,609102	2,7	53,805999	14,567623	fS	0,00001946	2402,459445	72073,783361	1	72073,7833
- 5	Polygon	0,00045	53,718919	14,279619	1,4	53,715332	14,282696	М	0,00000204	251,407315	40225,170441	1,2	48270,2045
6	Polygon	0,00045	53,743158	14,281724	1,6	53,746815	14,28519	fS	0,00001403	1731,859413	242460,317792	1	242460,3177
- 7	Polygon	0,00045	53,737253	14,278119	1,4	53,715332	14,282696	М	0,00000255	314,580497	50332,879463	1,2	60399,4553
8	Polygon	0,00045	53,737253	Selectio	un Sta	atistics of		ciecia					109116,9779
9	Polygon	0,00045	53,749855	Selectio			how_hize	ciecia				1	183602,9664
10	Polygon	0,00045	53,789974	TO A								1	84384,2853
11	Polygon	0,00045	53,787919	Field								1	43219,6910
12	Polygon	0,00045	53,792157	koszt						Frequency	/ Distribution	1	20148,8607
13	Polygon	0,00045	53,782318	Statistic:	s:							1	48724,6189
14	Polygon	0,00045	53,803329	Count					8 📻	·		1	77426,0289
15	Polygon	0,00045	53,795222	Lount: Minimur	~ 293 ~ 283	1 561/61				<b>F</b>		1	22128,551
16	Polygon	0,00045	53,801821	Maximu	m: 286	269,700828			6 -			1	5971,3918
18	Polygon	0,00045	53,778285	Sum:	212	20401,207084	1					1	2831,5614
19	Polygon	0,00045	53,789002	nican.	4 H							1	8811,1934
22	Polygon	0,00045	53,790046	Standar	rd Dev	riation: 70385,	,952101					1	105725,265
23	Polygon	0,00045	53,787945						2				
24	Polygon	0,00045	53,781255										8426,718
25	Polygon	0,00045	53,781255										286269,700
26	Polygon	0,00045	53,785621	<				>	2831	,6 /2608,6 1423	32,7212102,8281939,9	1	86180,08
52	Polygon	0,00045	53,758838						,			1	37236,556
-53	Polygon	0,00045	53,759415	14,30499	1,7	53,746815	14,28519	fS	0,00000174	214,571866	27894,342615	1	27894,342
- 54	Polygon	0,00045	53,759415	14,30499	1,7	53,770734	14,291282	M,Sh	0,00000794	979,821768	127376,829821	1,5	191065,2447
- 59	Polygon	0,00045	53,823751	14,603599	1,8	53,805999	14,567623	fS	0,0000083	1024,353191	122922,382902	1	122922,3829
61	Polygon	0,00045	53,809163	14,602629	2,3	53,805999	14,567623	fS	0,00000704	868,981553	60828,708717	1	60828,708
62	Polygon	0,00045	53,814865	14,599619	2,2	53,805999	14,567623	fS	0,00000492	607,471669	48597,733538	1	48597,733
63	Polygon	0,00045	53,817054	14,605456	0,8	53,805999	14,567623	fS	0,00000035	43,436766	9556,088609	1	9556,0886
64	Polygon	0,00045	53,818101	14,598046	1,6	53,805999	14,567623	fS	0,00000182	224,997159	31499,602236	1	31499,6022

Rys.14. Całkowity koszt pogłębienia toru wodnego.

W tabeli 4 przedstawiono zbiorcze koszty pogłębienia poszczególnych wariantów toru wodnego.

Tabela 4. Koszty pogłębienia poszczególnych wariantów toru wodnego (kryteria 1 i 6).

Wariant	Koszt pogłębienia [jedn. umowne]
1	2118799,3
2	2106864,1
3	1985604,5
4	280917889744,3

Z analizy warstw przedstawionych na rysunku 15 wynika, że warianty 1 i 4 wytyczone są w pobliżu przeszkód nawigacyjnych. Ilość wraków/przeszkód nawigacyjnych do wydobycia otrzymamy z przecięcia buforów utworzonych wokół niebezpieczeństw nawigacyjnych i proponowanej trasy toru wodnego. Tabelę atrybutów warstwy utworzonej z przecięcia buforów wariantu 1 i przeszkód przedstawiono na rysunku 16. Na jej podstawie można stwierdzić, że realizacja wariantu pierwszego wymaga wydobycia dwóch przeszkód nawigacyjnych. W tabeli 5 przedstawiono koszty związane z wydobyciem dla poszczególnych wariantów toru.



Rys.15. Położenie wariantów toru wodnego w stosunku do niebezpieczeństw nawigacyjnych



Rys.16. Tabela atrybutów warstwy tor\_polyline1\_Buffer\_przeszkody.

Tabela 5. Koszty wydobycia niebezpieczeństw nawigacyjnych (kryterium 5).

Wariant	Koszty [jedn. umowne]
1	20000
2	0
3	0
4	10000

W tabeli 6 przedstawione są łączne koszty budowy poszczególnych wariantów toru wodnego.

Tabela 6. Łączne koszty budowy poszczególnych wariantów toru wodnego.

Wariant	Kryteria 1 i 6	Kryterium 3	Kryterium 5	Koszty [jedn. umowne]
1	2118799,3	4598450	20000	6737249,3
2	2106864,1	4613860	0	6720724,1
3	1985604,5	4603500	0	6589104,5
4	280917889744,3	4563260	10000	280922463004,3

#### 7. Podsumowanie – 1h.

Celem bloku jest:

- omówienie ćwiczenia,
- wskazanie ograniczeń wynikających z przyjętych założeń (kryteriów),
- wskazanie innych metod realizacji projektu.

Z danych przedstawionych w tabeli 6 wynika, że najmniejsze nakłady inwestycyjne poniesione zostaną podczas budowy trzeciego wariantu toru wodnego.

Niewątpliwie najdroższym wariantem, a w praktyce niewykonalnym, jest wariant czwarty. Mimo, że jest najkrótszy to, zgodnie z przyjętymi założeniami, nie można go pogłębić do wymaganej głębokości 3.0 m, ponieważ jego dno na długości ponad 2663 m stanowią kamienie (rysunek 17). Z tej wielkości jedynie 290 m nie wymaga pogłębienia. Dla lepszego zobrazowania tego problemu współczynnik wynikający z rodzaju dna dla kamieni otrzymał wartość 1000000. W rezultacie koszty pogłębienia są wielokrotnie większe niż pozostałych trzech opcji.

🖩 Selected Attributes of pow_przeciecia4												
FID Shape E	BUFF_DIST	У	x z	y_1	x_1	z_1	F_AREA	długość l	objętość [m3]	współczynnik	koszt	
21 Polygon	0,00045	53,740559	14,324 84 St	3,742872	14,311991	1,1	0,00000789	973,926148	185045,968113	1000000	185045968113	
22 Polygon	0,00045	53,740559	14,32 184 St	3,748796	14,331631	4,4	0,00000236	290,798077	-40711,730822	0	0	
23 Polygon	0,00045	53,740559	14,32 184 St	3,746322	14,323345	2,4	0,00000937	1156,433391	69386,003471	1000000	69386003470,6	
24 Polygon	0,00045	53,740559	14,324 84 St	3,755053	14,309109	1,9	0,00000197	242,631514	26689,466587	1000000	26689466586,9	
Selection Statistics of pow_przeciecia4 Fiel  Statistics  Count: 4 Maintum: 1156,433391 Sum: 2263,789131 Standard Deviation: 404,771778												

Rys.17. Tabela atrybutów wariantu czwartego.

Drugi pod względem długości jest wariant 1. Ponad 19746 m jego długości nie spełnia kryterium założonej głębokości, z czego ponad 1575 m jego długości jest wytyczona nad mułem lub muszlami (rysunek 18). W porównaniu z wariantem trzecim znajduje się on zbyt blisko dwóch niebezpieczeństw nawigacyjnych, co dodatkowo zwiększa kwotę inwestycji.



Rys.18. Tabela atrybutów wariantu pierwszego.

Długość wariantu drugiego to 46173 m, z czego 19727 m wymaga pogłębienia. Aż 1931 m długości toru wymaga dodatkowych nakładów finansowych ze względu na rodzaj dna (rysunek 19). Dla porównania wariant trzeci to tylko 1544 m toru, gdzie rodzaj dna jest inny niż piasek. Jest to najkrótszy odcinek ze wszystkich proponowanych wariantów. Ponadto wariant trzeci nie przecina żadnego z buforów utworzonych wokół niebezpieczeństw

nawigacyjnych. Te wszystkie czynniki spowodowały, że łączny koszt inwestycji tego wariantu jest najniższy, a więc optymalny pod względem finansowym.



Rys.19. Tabela atrybutów wariantu drugiego.

#### Wnioski końcowe

- 1. Łączny czas przeznaczony na wykonanie ćwiczenia to 14 godzin laboratoryjnych.
- 2. Po wykonaniu ćwiczenia studenci będą w stanie samodzielnie wykonywać nieskomplikowane analizy przestrzenne.
- Świczenie to jest również przygotowaniem do opracowania optymalnej trajektorii toru wodnego bez narzucenia wstępnych wariantów, co będzie stanowić temat kolejnych zajęć laboratoryjnych z przedmiotu SIP.
- 4. Ćwiczenie jest wprowadzeniem do zajęć projektowych z przedmiotu SIP.

### Literatura

#### Literatura podstawowa:

- 1. Bielecka E., Systemy informacji geograficznej. Teoria i zastosowania. Wydawnictwo PJWSTK, Warszawa 2006.
- 2. Burrough P., McDonnell A., Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York 2004.
- 3. Davis D., GIS dla każdego. Wydawnictwo MICON, Warszawa 2004.
- 4. Eckes K., Modele i analizy w systemach informacji przestrzennej. Wydawnictwa AGH, Kraków 2006.

- 5. El-Sheimy N., Valeo C., Habib A., Digital Terrain Modelling. Acquisition, manipulation, and applikations. Artech House, Boston 2005.
- 6. Gaździcki J., Leksykon Geomatyczny. Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej, Warszawa 2003.
- 7. Kraak M., Ormeling F., Kartografia, wizualizacja danych przestrzennych, PWN, 1998.
- 8. Kwiecień J., Systemy informacji geograficznej. Podstawy. Wydawnictwo ATR w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2004.
- 9. Li Z., Zhu Q., Gold Ch., Digital Terrain Modeling. Principles and methodology. CRC PRESS, Boca Raton 2005.
- 10. Litwin L., Myrda G., Systemy Informacji Geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT, LIS. Wydawnictwo HELION, 2005
- 11. Longley P., Goodchil M., Maguire D., Hind. D., GIS teoria i praktyka. PWN Warszawa 2006.
- 12. Magnuszewski A., GIS w geografii fizycznej. PWN, 1999.
- 13. Makowski A. (red.) System informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- 14. Podstawy ArcGis 9, ESRI, 2004
- 15. Stateczny A. (red.), Metody nawigacji porównawczej. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk 2004.
- 16. Stateczny A., Nawigacja porównawcza. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk 2001.

#### Literatura uzupełniająca:

- 1. Główny Geodeta Kraju Instrukcje techniczne.
- 2. Normy ISO z serii 19100.
- 3. Materiały konferencyjne w tym konferencji PTIP.
- 4. Podręczniki elektroniczne do wybranego oprogramowania GIS.
- 5. Strony internetowe producentów oprogramowania GIS.
- 6. Portale geoinformacyjne.