

**Kamil KOWALCZYK<sup>1</sup>**  
**Tomasz TYMOSZCZUK<sup>2</sup>**

## **OPRACOWANIE TRÓJWYMIAROWEGO MODELU DNA STAWU W APLIKACJI SURFER PRZY UŻYCIU DANYCH Z POMIARU GPS RTK**

### **Streszczenie**

Głównym celem pracy było stworzenie trójwymiarowego modelu zbiornika wodnego przy wykorzystaniu pomiaru techniką GPS RTK. Obiektem podlegającym opracowaniu był staw rybny znajdujący się w miejscowości Swaderki. Do pomiaru wykorzystano odbiornik firmy Topcon Hiper Pro wraz z kontrolerem posiadającym zainstalowany program TOPSURV. Pomiar wykonano metodą GPS RTK z użyciem poprawek powierzchniowych z sieci ASG EUPOS. Został on przeprowadzony przy użyciu opcji tyczenia metodą domiarów prostokątnych imitującej metodę niwelacji siatkowej. Opracowanie wyników pomiaru przeprowadzono w aplikacji SURFER 8.0 przy wykorzystaniu różnych metod interpolacji oraz różnych metod przedstawiania danych. Efektem pracy są trójwymiarowe modele dna stawu, które mogą być przydatne przy przeprowadzaniu robót ziemnych w obrębie stawu, mogą być one również uwzględnione przy planowaniu produkcji rybnej.

**Słowa kluczowe:** model trójwymiarowy, niwelacja siatkowa, Surfer, RTK GPS, ASG- EUPOS

### **1. Wprowadzenie**

W związku z możliwością wykorzystania nowoczesnych metod pomiarów geodezyjnych, a także coraz lepszych metod ich opracowania, w referacie podjęto próbę ich wykorzystania przy opracowaniu koncepcji modernizacji stawu rybackiego. Opracowaniem został objęty staw rybacki o powierzchni około 0,6 ha znajdujący się w miejscowości Swaderki k. Olsztynka Jest to staw hodowlany, który w przyszłości będzie poddany modernizacji pod kątem zwiększenia jego możliwości produkcyjnych poprzez pogłębienie, utrwalenie grobli oraz modernizację urządzeń hydrotechnicznych.

Pomiar został wykonany w 2010 roku metodą GPS RTK. Do zrealizowania celu pracy wykorzystano technologię GPS RTK z użyciem poprawek powierzchniowych z systemu ASG EUPOS, teorię niwelacji siatkowej oraz wykorzystano program Surfer do opracowania modelu trójwymiarowego.

Opracowany model przedstawia nadmiar (i ewentualny niedobór) mas ziemnych w konkretnych miejscach. Poza tym na podstawie modelu (modeli) przedstawiono wnioski dotyczące innych procesów zachodzących w stawie (jak np. erozja i akumulacja spowodowana przepływem).

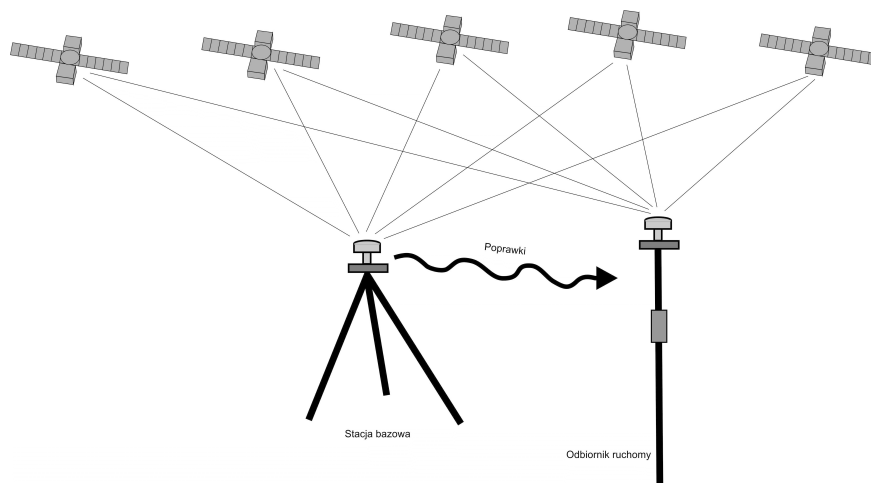
Model trójwymiarowy na etapie opracowania zrealizowany został w kilku wariantach (wykorzystanie różnych metod interpolacji). Po przeprowadzeniu porównania otrzymanych modeli zdecydowano się na wybór modelu reprezentatywnego najlepiej odpowiadającego założonemu celowi pracy. W pracy, zawarto ogólne informacje o systemie GPS RTK, a także sieci stacji referencyjnych ASG EUPOS. Opisano także wybrane metody interpolacji powierzchniowej.

---

<sup>1</sup>dr inż., Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
<sup>2</sup>inż., Gospodarstwo Rybackie Swaderki k. Olsztynka

## 2. Krótka charakterystyka techniki GPS RTK

RTK (Real Time Kinematic)- jest to jeden z typów pomiarów różnicowych, który polega na wyznaczaniu pozycji odbiornika w czasie rzeczywistym z wysoką dokładnością przy wykorzystaniu poprawek danych obserwacyjnych odbieranych ze stacji bazowej [1] (rys. 1).



Rys. 1. Zasada działania systemu GPS RTK

Błędy pomiarowe (głównie wynikające z wpływu atmosfery ziemskiej) wyznaczone są poprzez ustawienie jednego odbiornika na punkcie o znanych współrzędnych. Odbiornik ten nazywany jest stacją bazową (referencyjną). Transmisja ze stacji bazowej do odbiornika ruchomego (rover) odbywa się drogą radiową (UHF) lub GSM (GPRS). Na podstawie wysłanych danych odbiornik ma możliwość porównania odległości mierzonej z odległością teoretyczną a co za tym idzie obliczenia korekt do wykonywanego pomiaru.

Do błędów wpływających na dokładność pomiaru GPS RTK zaliczamy [1]): błąd zegara satelity i odbiornika, błędy orbit satelitów, opóźnienie jonosferyczne, opóźnienie troposferyczne. Na dokładność pomiaru RTK ujemnie wpływają m.in. zasłony terenowe (drzewa, wysokie budynki) płaskie powierzchnie (np. zbiorniki wodne), a także odległość odbiornika ruchomego od stacji bazowej umożliwiające korzystanie z pomiaru RTK na dużym obszarze przy użyciu jednego odbiornika i wykorzystaniu poprawek odbieranych z sieci stacji referencyjnych. Sieć ta jest złożona ze stacji referencyjnych oddalonych od siebie o około 70km (w przypadku ASG EUPOS) oraz koordynowana przez centrum obliczeniowe, które gromadzi dane ze wszystkich stacji oraz wylicza korekty obserwacyjne. System ASG EUPOS oferuje usługi pozycjonowania w czasie rzeczywistym z różną dokładnością. Do celów geodezyjnych (pomiaru GPS RTK) najkorzystniejsza jest usługa NAWGEO transmitująca poprawki różnicowe (RTCM) o dokładności wyznaczenia 0,03-0,05m [2]

Serwis NAWGEO oferuje następujące typy poprawek powierzchniowych [1]:

- MAC (Net) ang. Master and Auxiliary Concept

Do użytkownika transmitowane są obserwacje z głównej stacji bazowej oraz ich różnice wynikające z obserwacji sąsiednich stacji referencyjnych. Interpolacja poprawki dla przybliżonej pozycji odbywa się w odbiorniku użytkownika.

- VRS ang. Virtual Reference Station

Oprogramowanie w odbiorniku użytkownika pobiera wartości korekt dla tzw. wirtualnej stacji referencyjnej. Wartości te obliczane są w centrum obliczeniowym przy wykorzystaniu danych obserwacyjnych ze stacji bazowych znajdujących się w pobliżu odbiornika oraz danych przesłanych przez odbiornik w depeszy NMEA GGA .

- FKP niem. Flächenkorrekeurparameter

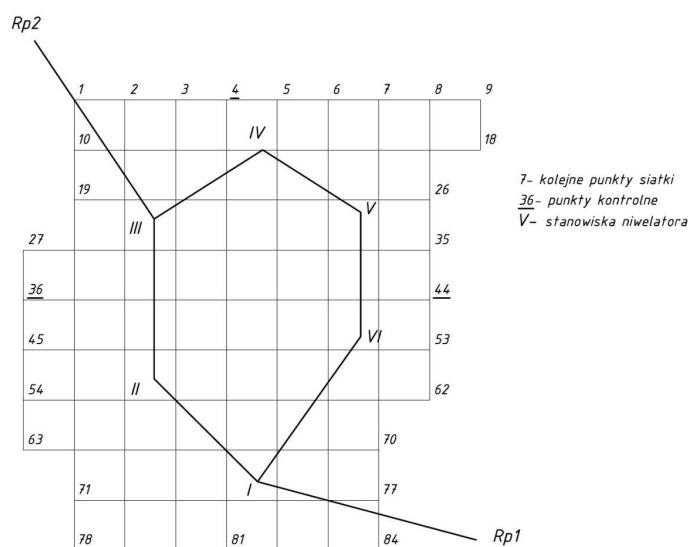
W tym przypadku centrum obliczeniowe przygotowuje wartości równań powierzchni opisujących zmienność poprawki dla danych satelitów na obszarze ograniczonym stacjami referencyjnymi. Natomiast oprogramowanie w odbiorniku odbiera te równania, a następnie podstawia do nich wartości współrzędnych przybliżonych.

### 3. Zasada pomiaru ukształtowania terenu przy wykorzystaniu niwelacji siatkowej

Niwelacja siatkowa pozwala na określenie wysokości punktów terenowych, które stanowią wierzchołki regularnych figur geometrycznych (np. kwadratów). Pomiar rzeźby terenu przy zastosowaniu tego typu niwelacji znajduje zastosowanie na terenach otwartych i poziomych tj. łąki, torfowiska, tereny sztucznie wyrównane. Wynik niwelacji siatkowej jest przydatny przy projektowaniu płaskich obiektów np. lotnisk, boisk sportowych, obszarów zieleni itp. [3].

Pomiar ukształtowania terenu polega na pokryciu go regularną siatką kwadratów lub prostokątów, a następnie wyznaczeniu wysokości wierzchołków tych figur. Wymiary boków figur zapewniających powinny być sobie równe na całym obszarze i zawierać się w przedziale 5-100m. Według instrukcji G-4 przy ustalaniu ww. długości należy kierować się zasadą aby pojedyncza figura zapewniająca była w przybliżeniu płaszczyzną [4].

Siatkę najlepiej zorientować równolegle do najdłuższego z boków mierzonego obiektu bądź zgodnie z kierunkiem największego spadku. Po nawiązaniu siatki do punktów osnowy należy przeprowadzić pomiar wysokościowy przy użyciu niwelatora (metoda klasyczna). (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowa siatka niwelacyjna (metoda klasyczna)

W poniższej pracy, zgodnie z jej celem nie wymagana jest tak duża dokładność wyznaczenia wysokości w węzłach siatki (punkt naturalnego ukształtowania terenu dokładność do 1 dcm) jaką można uzyskać z użyciem niwelatora. Dodatkowo stabilizacja węzłów siatki byłaby bardzo trudna ze względu na grząskość podłoża. Dlatego też do tego celu wykorzystano pomiar metodą RTK z wykorzystaniem obowiązującego modelu geoidy. Pomiar taki zapewnia dokładność do kilku cm [5].

W zależności od rozwiązania stosowanego przez firmy produkujące sprzęt pomiarowy, aby wykonać tego typu pomiar można np. wgrać podkład mapowy w formacie dxf lub dgn. Oprogramowanie jakie zostało wykorzystane do pomiaru również posiada taką opcję, ale jest ona dość kłopotliwa w przygotowaniu. Dlatego zdecydowano się połączyć dostępną opcję tyczenia punktów siatki z jednoczesnym ich pomiarem. Tyczenie punktów przeprowadzono z wykorzystaniem metody domiarów prostokątnych.

Pomiar rozpoczęto od wyboru końców linii głównej (pomiarowej) wzdłuż najdłuższego boku oraz ich pomiaru metodą GPS RTK. Tak otrzymane współrzędne stanowiły dane wyjściowe do dalszego pomiaru. Pomiar przeprowadzono poruszając się wzdłuż linii pomiarowej w stałych, wzrastających odstępach. Jest to rozwiązanie zdecydowanie mniej pracochłonne niż rozwiązania tradycyjne z użyciem niwelatora i w tym przypadkach zapewniające wystarczającą dokładność pomiaru.

#### 4. Przebieg pomiaru

Prace terenowe zostały rozpoczęte poprzez wirtualne obranie dwóch punktów, które wyznaczały prostą (rys. 3) względem, której nastąpi tyczenie punktów wirtualnej siatki niwelacyjnej przy użyciu domiarów prostokątnych metoda GPS RTK.



Rys. 3. Prosta wyznaczająca kierunek wirtualnej siatki niwelacyjnej

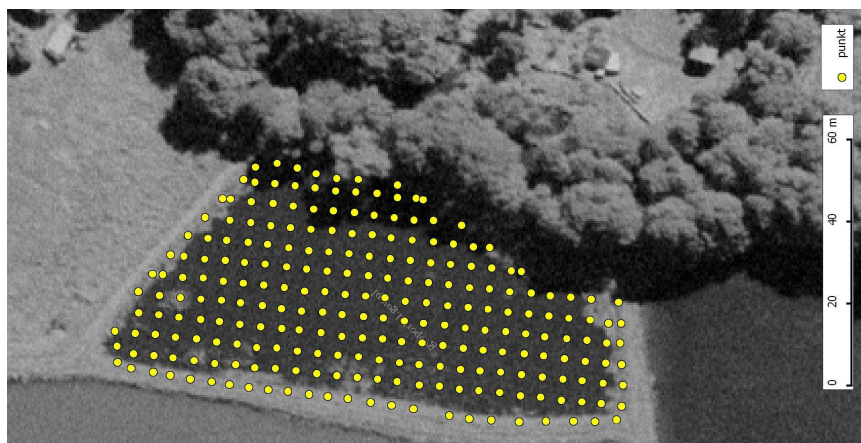
Po pomiarze tych punktów w układzie 2000 nastąpił właściwy pomiar wysokości punktów węzłowych (rys 4).



Rys. 4. Przeprowadzenie pomiaru

Pomiar polegał na odczycie miary bieżącej oraz domiaru z kontrolera, ustawieniu zestawu RTK na węźle siatki oraz zapisaniu współrzędnych danego punktu. Wielkość boku kwadratu zapęnlającego została ustalona na 5 metrów.

W trakcie pomiaru została pomierzona również wysokość posadowienia dna leżaka (pozioma rynna będąca elementem mnicha odprowadzającego wodę ze stawu [6]. Będzie ona wykorzystana do analizy możliwości odpływu wody ze stawu. W efekcie otrzymano współrzędne płaskie w układzie 2000 oraz wysokość w układzie Kronsztad 86 (rys. 5).



Rys. 5. Wirtualna siatka niwelacyjna (rysunek poglądowy)

## 5. Opracowanie map warstwowych i modeli trójwymiarowych dna stawu

Surfer 8.0 jest programem służącym do wizualizacji danych  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , a podstawowe zastosowanie znajduje m.in. w tworzeniu map przestrzennych oraz modeli trójwymiarowych.

Dane  $x$ ,  $y$ ,  $z$  mogą reprezentować obraz terenu (jak ma to miejsce w tej pracy), ale również wartości innych zjawisk- daje to bardzo szerokie możliwości zastosowania programu w różnych dziedzinach nauki. Surfer pozwala na odwzorowanie powierzchni poprzez wykorzystanie różnych algorytmów tworzenia regularnej siatki. Wybór algorytmów jest dość szeroki, poza tym istnieje możliwość regulacji parametrów każdego z nich. Program pozwala również tworzyć ciekawe przedstawienia kartograficzne (np. model 3d, mapa warstwowa). [7].

Do opracowania modelu dna stawu wybrano trzy metody interpolacji. Wyboru dokonano na podstawie własnego doświadczenia w tworzeniu modeli w programie Surfem [8]. Wykorzystano następujące metody:

- kriging,
- triangulacja z użyciem interpolacji liniowej,
- najmniejsza krzywizna.

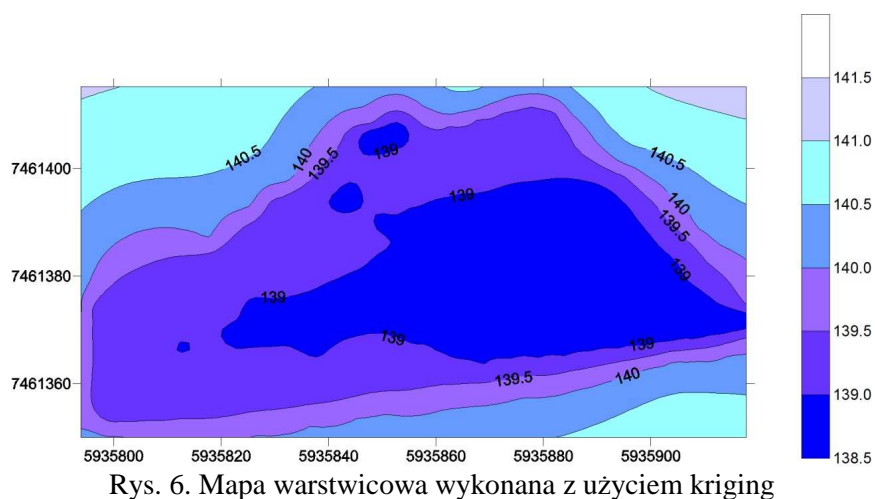
Poniżej opisano wybrane metody oraz pokazano otrzymane rezultaty wartości podano w metrach).

### 5.1. Kriging

Kriging jest algorytmem, który należy do grupy geostatycznych metod estymacji. Polega na interpolacji wartości w punkcie na podstawie danej wartości punktów sąsiednich. Należy jednak nadmienić, że wyinterpolowana wartość nie zależy tylko od odległości pomiędzy punktami (szukanym i danym). Interpolacja w przypadku kriging opiera się o model kowariancji, który opisuje sposób rozkładu wagi danego punktu w zależności od jego odległości od punktu szukanego [7], [8].

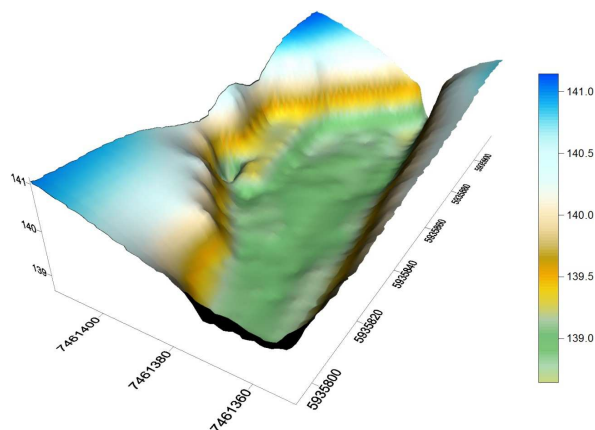
Istnieją trzy warianty kriging: prosty, zwykły oraz z trendem. Różnią się one założeniem odnośnie wartości średniej, która może być stała (jak w pierwszym przypadku) lub podlegać zmianom (jak w pozostałych przypadkach). W pracy wykorzystany został wariant krigingu prostego.

Na mapie warstwowej (rys. 6) można zaobserwować, że teren został szczegółowo odwzorowany. Pojawiają się miejscowe zagłębienia w dnie stawu (występujące w rzeczywistości). Można również zauważyć kontur brzegu.



Rys. 6. Mapa warstwowa wykonana z użyciem kriging

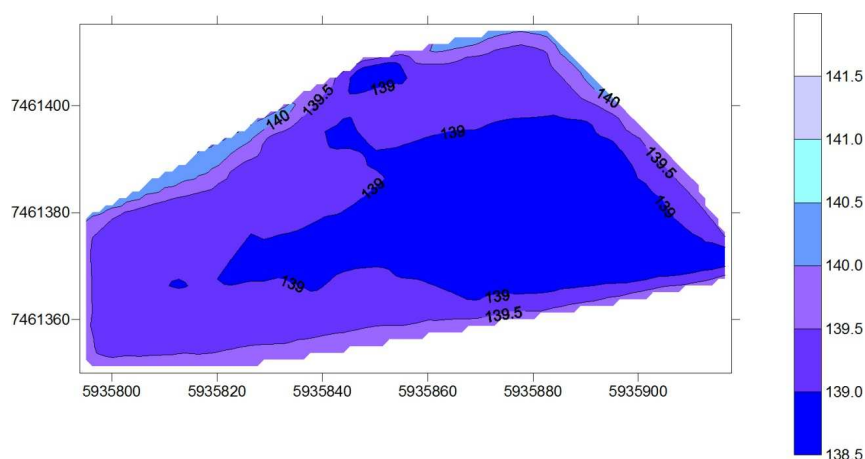
Model (rys. 7) podobnie jak mapa warstwowa dość wiernie odwzorowuje opracowywany obszar. Powierzchnia jest naturalnie łagodna, miejscami pojawiają się ekstrema. Brzegi są widoczne, ale nie są wyraźnie wyeksponowane.



Rys. 7. Model trójwymiarowy dna stawu wykonany przy użyciu kriging

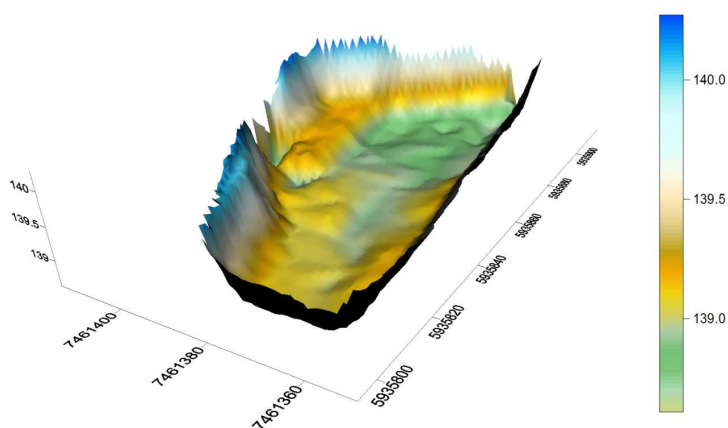
### 5.2. Metoda triangulacji z użyciem interpolacji liniowej

Metoda ta polega na stworzeniu siatki trójkątów pomiędzy pomierzonymi punktami. Mapa warstwowa (rys. 8) odwzorowuje teren nieco gorzej niż w przypadku zastosowania krigingu. Niektóre elementy warstw tworzą dość długie odcinki. Natomiast brzegi nie zostały odpowiednio wyeksponowane.



Rys. 8. Mapa warstwowa wykonana z użyciem triangulacji

Model (rys. 9) nie reprezentuje terenu w prawidłowy sposób. Jego przebieg nie jest łagodny (jak w rzeczywistości). Ekstrema są przeeksponowane, a spadki za duże.



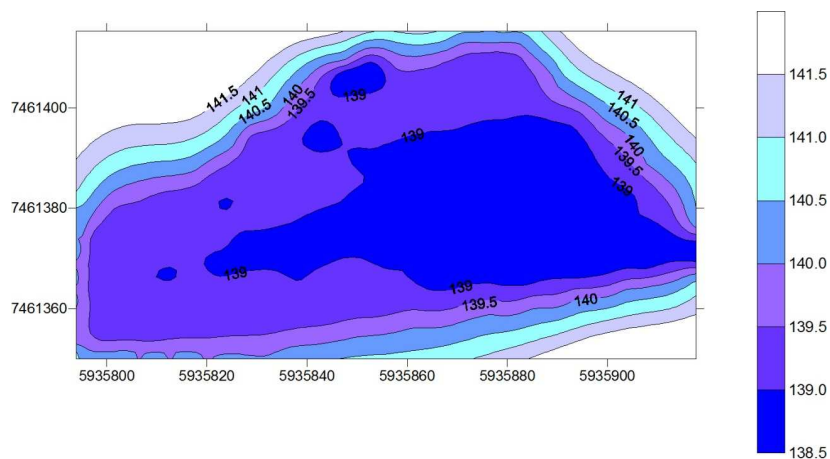
Rys. 9. Model trójwymiarowy dna stawu wykonany przy użyciu triangulacji



### 5.3. Metoda najmniejszej krzywizny

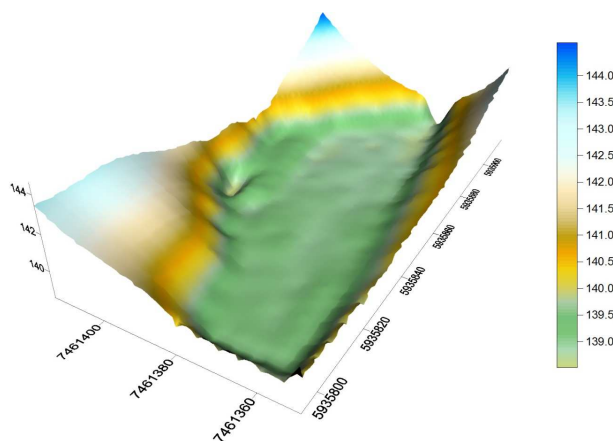
W tej metodzie interpolowana powierzchnia przechodzi przez każdy z pomierzonych punktów, jest ona cienka i elastyczna. Obliczenia są wykonywane iteracyjnie- tak aby uzyskać jak najlepsze dopasowanie powierzchni do danych wyjściowych. [7] [8].

Mapa warstwiczna (rys. 10) odpowiednio odwzorowuje pomierzony obszar. Szczegółowość jest porównywalna z dwoma poprzednimi metodami. Warstwy przebiegają łagodnie. Bardzo wyraźnie wyeksponowane są spadki przy brzegach (wynika to z tendencji metody do ekstrapolacji w miejscach gdzie brakuje danych).



Rys. 10. Mapa warstwiczna wykonana z użyciem metody najmniejszej krzywizny

Model trójwymiarowy wykonany z użyciem metody najmniejszej krzywizny (rys. 11) dobrze odwzorowuje dno stawu. Spadki przebiegają łagodnie. Można zaobserwować ekstrema, które odpowiadają ukształtowi terenu w rzeczywistości. Na modelu nie można zaobserwować krawędzi brzegu.

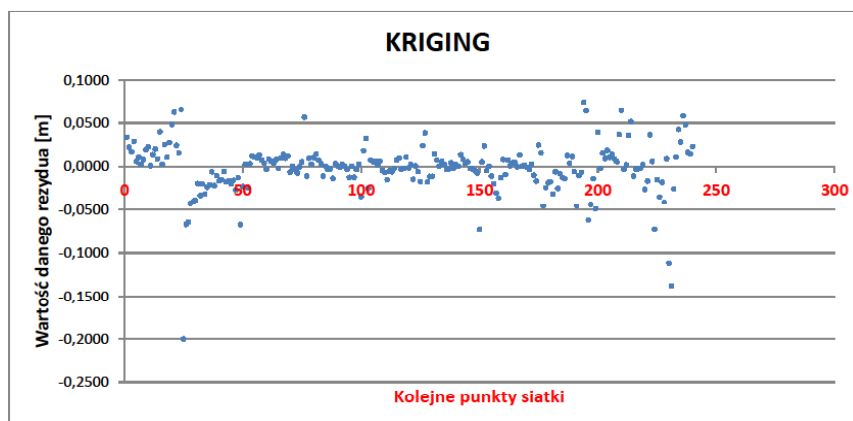


Rys. 11. Model trójwymiarowy dna stawu wykonany przy użyciu metody najmniejszej krzywizny

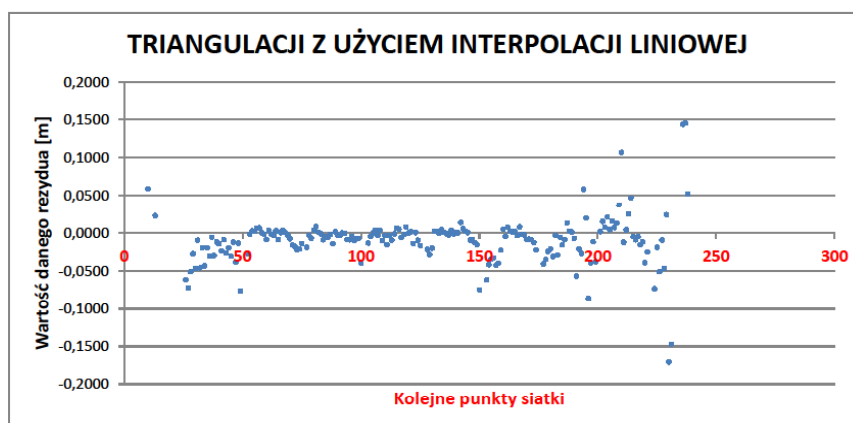
## 6. Porównanie otrzymanych modeli

Porównanie dokładności wykorzystanych metod wykonano poprzez obliczenie tzw. rezyduów (ang. residuals). Rezydua są to różnice pomiędzy wyinterpolowaną wartością wysokości, a pomierzoną wartością wysokości. Przy ich użyciu można dość szybko określić jak dany model odzwierciedla rzeczywistą powierzchnię. Rezydua obliczono w programie Surfer, natomiast porównania dokonano na podstawie obliczonego błędu średniego całej próbki danych (tab. 1). Ponadto

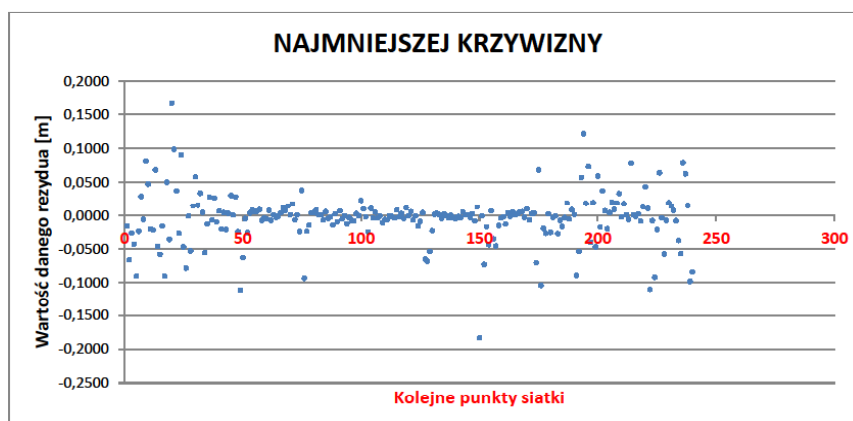
zamieszczono wykresy przedstawiające wartości rezyduów względem zera dla każdego z punktów siatki (rys. 12, rys. 13, rys. 14).



Rys. 12. Wartości rezydua dla kolejnych punktów siatki – metoda kringing



Rys. 13. Wartości rezydua dla kolejnych punktów siatki – metoda triangulacji



Rys. 14. Wartości rezydua dla kolejnych punktów siatki – metoda najmniejszej krzywizny

Na podstawie obliczonych wartości rezyduów obliczono wartości błędu średniego rezydua dla każdej z metod- zestawiono je w (tab. 1).



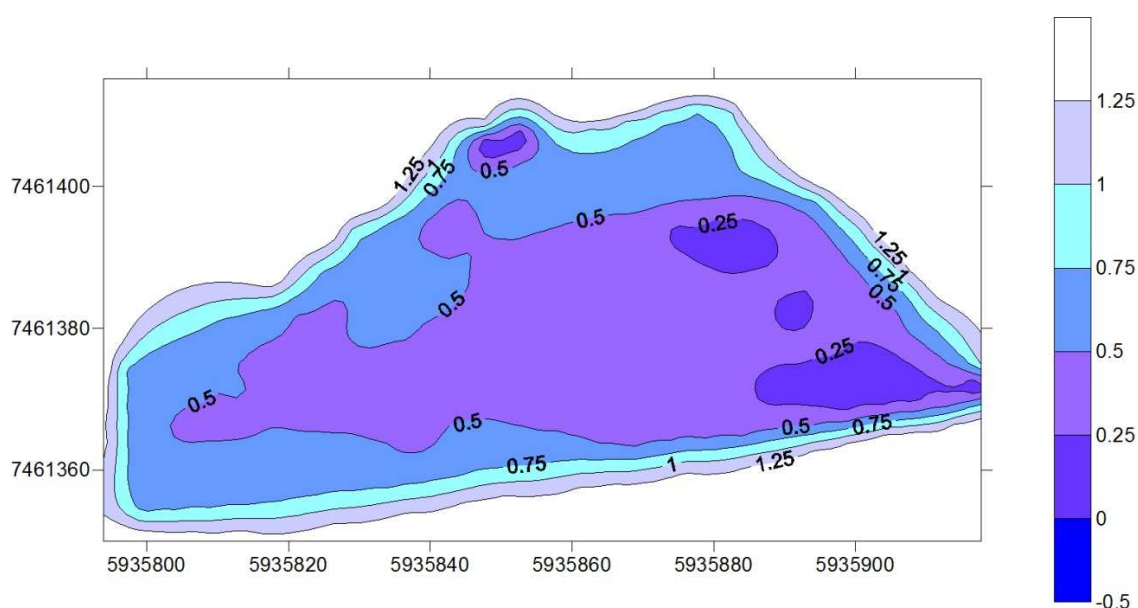
Tablica 1. Wartości błędu średniego rezydua dla poszczególnych metod interpolacji

Metoda	Wartość błędu średniego rezydua[m]
Kriging	0,029
Najmniejszej krzywizny	0,038
Triangulacji z użyciem interpolacji liniowej	0,032

Z analizy wykresów oraz wartości błędów średnich wynika, że metoda kriging pozwoliła na najlepsze dopasowanie modelu do pomierzonych danych.

## 7. Model koncepcyjny poprawy objętości stawu

Wyniki pracy można zastosować m.in. przy projektowaniu powiększenia objętości stawu (a co za tym idzie również jego wydajności). W tym celu stworzono kolejny model (met. kriging), przy użyciu zmodyfikowanych danych. Modyfikacja ta polegała na interpolowaniu wysokości będącej różnicą wysokości pomierzonej oraz wysokości posadowienia dna leżaka. W efekcie otrzymano model, który przedstawia miejsca, w których znajduje się nieodpowiednia ilość mas ziemnych (rys. 15.).



Rys. 15. Mapa warstwowa dna stawu względem posadowienia leżaka

Z powyższego rysunku wynika, że szukane różnice wysokości zawierają się w przedziale od 0,25 do 0,75m (autorzy pomijają wartości występujące bezpośrednio przy brzegu, ze względu na brak możliwości przeprowadzania robót ziemnych na tym obszarze). Ponadto można zauważyć, że najmniejsze wartości różnicy wysokości występują w pobliżu dopływu, a następnie stopniowo rosną wraz z oddalaniem się od niego. Model ten został zapisany w formie cyfrowej co umożliwia dalsze jego wykorzystanie w zależności od zapotrzebowania.

## 8. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie nowoczesnej metody GPS RTK z wykorzystaniem poprawek powierzchniowych oferowanych przez system ASG EUPOS okazało się bardzo dobrym wyborem. Jest to metoda dużo efektywniejsza od pomiaru przy użyciu niwelatora (nie ma konieczności nawiązywania się, stabilizowania siatki, a sam pomiar również przebiega szybciej).

Instrukcja techniczna G-4 określa, że w przypadku niwelacji siatkowej, należy założyć ciąg niwelacyjny, do którego nawiązujemy figury siatki, a pomiar przeprowadzić z taką dokładnością, aby po wyrównaniu błąd  $m_H \leq 10$  cm. Metoda GPS RTK zapewnia wyznaczenie wysokości z dokładnością około 5 cm, co wskazuje na to, że w większości zastosowań powinna być wystarczająca. Rezydua dla metody kriging nie przekraczają wartości 10cm. Dla pozostałych dwóch metod jest to wartość 15 cm. Błędy średnie rezydua dla poszczególnych metod są do siebie zbliżone, metoda kriging i najmniejszej

krzywizny około 3cm, metoda triangulacji około 4cm. We wszystkich trzech metodach występują sporadyczne punkty przekraczające podane wartości rezydualne. Fakt ten może wynikać z przysłoniętych terenowych (drzewa), które rosły po lewej stronie mierzonego stawu.

Opracowanie dna stawu w postaci trójwymiarowych modeli daje duże możliwości analizy. I tak w tym przypadku można zauważyć, że przy dopływie wody do stawu osady dennego są przenoszone w dalsze partie zbiornika, a następnie akumulowane w miejscach o mniejszym przepływie.

Ponadto dane w postaci trójwymiarowych modeli znajdują zastosowanie w systemach typu GIS, które posiadają możliwość analizy różnych typów danych- pozyskanych przez specjalistów, także z innych dziedzin niż geodezja. I tak np. można przeprowadzać analizy posiadając dane odnośnie szybkości przepływu, ilości tlenu czy temperatury wody w odniesieniu do powierzchni

Modele zostały zapisane w formie cyfrowej co umożliwi dalsze ich wykorzystanie w zależności od zapotrzebowania gospodarstwa rybackiego.

### Literatura

- [1] [http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg\\_type=tech\\_rtk](http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=tech_rtk), 2010.12.19
- [2] [http://www.asgeupos.pl/webpg/graph/dwnld/ASG-EUPOS\\_broszura\\_200806.pdf](http://www.asgeupos.pl/webpg/graph/dwnld/ASG-EUPOS_broszura_200806.pdf), 2010.12.21
- [3] JAGIELSKI A. 2007 Geodezja I. Wydawnictwo GEODPIS, Kraków
- [4] Instrukcja techniczna G-4
- [5] [http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg\\_type=serv&sub=nawgeo](http://www.asgeupos.pl/index.php?wpg_type=serv&sub=nawgeo), 2010.12.22
- [6] Encyklopedia rybactwa- wędkarska. SZCZERBOWSKI J. (red.). 1998. Wydawnictwo Instytutu Rybactwa Śródlądowego.
- [7] *Surfer 8 User's Guide*. 2002. Golden Software, Inc
- [8] KOWALCZYK K. 2009 Wynik zależy od metody. *Geodeta* Nr 8 (171), s. 54-59

## THREE- DIMENSIONAL MODEL OF POND'S BOTTOM CREATED IN SURFER FROM DATA SURVEYED USING GPS RTK

### Summary

The main purpose of this thesis was to create the three-dimensional pond's model using data surveyed by GPS RTK. The object of ranging was a fishery pond localized in Swaderki. Surveying was done using Topcon Hiper Pro receiver with external controller working on software TOPSURV. During the process controller downloaded correction data from ASG EUPOS. Merging was done using virtual levelling network technique. Data was worked up in SURFER 8.0. using different interpolation and representation methods. The result of this thesis are three-dimensional pond models which could be useful during any groundworks and could be considered when planning fish production.

**Keywords:** three-dimensional model, levelling network, Surfer, RTK GPS, ASG- EUPOS