

*Tomasz Owerko, Łukasz Ortyl, Anita Kwartnik-Pruc, Paweł Cwiąkała*

## **INTEGRACJA TECHNOLOGII GEODEZYJNYCH NA PRZYKŁADZIE POMIARÓW BATYMETRYCZNYCH**

---

### ***GEODESIC TECHNOLOGY INTEGRATION ON THE EXAMPLE OF BATHYMETRIC MEASUREMENT***

#### **Streszczenie**

Artykuł przedstawia metodykę, sposób przeprowadzenia oraz wyniki pomiarów batymetrycznych prowadzonych na potrzeby obliczeń hydrologicznych oraz mostowych projektów budowlanych. Przykładowe testowe badania terenowe były prowadzone na rzekach oraz zbiornikach śródlądowych. Prace obejmowały wykonanie przekrojów poprzecznych dolin rzecznych w granicach wyznaczonych przez wały przeciwpowodziowe. Metodyka badań zakładała integrację systemów GNSS, batymetrii oraz w szczególnych przypadkach instrumentów typu Total Station. W artykule przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane podczas prac badawczych na jednej z rzek Polski południowej.

**Słowa kluczowe:** pomiary batymetryczne, hydrologia, GPS

#### ***Summary***

*The article presents the methodology and manner of conducting bathymetric measurements carried out to calculate hydrological and bridge construction projects. Sample test field studies were conducted, inter alia, on rivers and inland reservoirs. The work included the elaboration of cross-sections of the river valley within the limits of the levees. The research methodology assumed integration of GNSS, bathymetry systems and in special cases the Total Station instruments. The paper presents examples of the results obtained during the research work at one of the southern Polish rivers.*

**Key words:** bathymetric measurements, hydrology, GPS

## **WSTĘP**

Dynamiczny przyrost ilości inwestycji drogowych na terenie Polski w ostatnich latach spowodował konieczność budowy większej ilości przepraw mostowych. O ile pozyskanie wiarygodnej informacji w postaci mapy do celów projektowych na stałym łądzie nie stwarza problemów, o tyle wiarygodna informacja o przebiegu dna nie jest tak łatwo dostępna. Zwłaszcza w przypadku większych rzek, w których głębokość nie pozwala na pomiar bezpośrednie. Pomiary batymetryczne z użyciem szeroko pojętych technik sonarowych nie są nowością – na świecie zajmują się tym od wielu lat duże przedsiębiorstwa min. holenderskie Fugro [Fugro 2011], które od 1962 roku realizuje projekty hydrogeologiczne, geotechniczne oraz kartograficzne na wielką skalę [CrossSection 2011]. Bezpośrednim problemem z jakim geodeci borykają się wykonując tego typu pomiary na zbiornikach i rzekach śródlądowych jest fakt, że nie ma tam możliwości wykorzystania dużych jednostek pomiarowych (zarówno ze względu na możliwości techniczne jak i ekonomiczne). Pomiary zbiorników śródlądowych prowadzone są również w Polsce między innymi przez Uniwersytet Warmińsko-Mazurski (np. mapa jeziora Śniardwy) [Batymetria 2011], który wdrożył „Zintegrowany System Pomiarów Batymetrycznych”. Postępująca miniaturyzacja sprzętu pomiarowego powoduje, że można do tego celu wykorzystać nowoczesne, a niekoniecznie duże jednostki pływające np. bezpieczne motorówki typu RIB.

## **METODY BADAŃ**

Bezpośrednim celem badań było skonfigurowanie skutecznego systemu zdolnego do automatycznego wykonania profili batymetrycznych, powiązanych w sposób jednoznaczny z położeniem sytuacyjnym, wyznaczonym w wybranym geodezyjnym układzie współrzędnych. Poniższa fotografia przedstawia rejon pomiarów testowych na jednej z rzek w południowej Polsce.

Pomiary na łądzie są realizowane za pomocą standardowych technik geodezyjnych: w przypadku obiektów o mniejszej powierzchni będzie to praca geodezyjna z wykorzystaniem tachimetrów oraz instrumentów GPS, w przypadku opracowań o większej powierzchni fotogrametria lotnicza i Lidar. W omawianych przykładach korzystano z tachimetru Leica TCRP 1201 oraz 2 zestawów RTK GPS – pracujących w nawiązaniu do sieci ASG – EUPOS. Pomiary na wodzie przeprowadzono w oparciu o echosondę Lorance oraz odbiorniki GPS, po uprzednim wytyczeniu punktów profilowych na brzegach mierzonych zbiorników. Takie postępowanie pozwoliło sprawdzać poprawność nawigacji w oparciu o odbiorniki GPS zamontowane na łodzi oraz poprawnie kierować kursem jednostki pływającej podczas sondowania dna. Zakres pomiarów



Źródło: www.maps.google.com.  
Source: www.maps.google.com.

**Rysunek 1.** Rejon pomiarów testowych – zaniedbany rzeczny szlak żeglowny  
**Figure 1.** Area of test measurements – disheveled river navigable route

na wodzie (w przypadku pomiarów rzecznych) został tak zaplanowany, aby w wyniku sondowania otrzymać dwa niezależne profile podłużne (w miarę możliwości w głównym nurcie meandrującej rzeki) oraz uzupełnić informację potrzebną do wykonania profili poprzecznych dna. Rysunek 2 przedstawia prace przy pomiarze przekrojów na brzegach rzeki oraz wytyczenie nabieżników dla pomiarów wodnych. Prace tego typu powinny obejmować również pomiar dna starorzecza, który w większości przypadków wykonywany jest metodami bezpośrednimi ze względu na ich niedużą głębokość. W pomiarach testowych głębokość starorzecza nie przekraczała 70 cm co nie pozwalało na zastosowanie echosondy z pokładu jednostki pływającej.

Podczas prowadzenia prac na brzegu wyznaczano pikietę terenową co 10 metrów oraz w każdym miejscu w którym następowało załamanie terenu. W miejscach, które były niemożliwe do pomiaru za pomocą techniki GPS (prześłonięcia horyzontu przez drzewa i krzewy) informacje o przebiegu terenu uzupełniano za pomocą pomiarów tachimetrycznych.



Źródło: fot. Przemysław Kuras.

Source: fot. Przemysław Kuras

**Rysunek 2.** Pomiary nad brzegiem oraz tyczenie nabieżników  
**Figure 2.** Measurements on the shore and setting out profile signs

Zestaw pomiarowy zamontowany na motorówce widoczny na rysunku 3, który był używany na wodzie składał się z echosondy Lorance, odbiornika GPS oraz komputera Panasonic Toughbook służącego do rejestracji danych i prowadzenia nawigacji po zaprojektowanych profilach. Zestaw pomiarowy zamontowany był na klasycznej łodzi motorowej (nie była to jednostka typu RIB). Antena GNSS znajdowała się bezpośrednio nad czujnikiem pomiarowym echosondy.

Podczas wykonywania pomiaru na wodzie kontrolowana była jakość połączenia GPRS modemu odbiornika GPS, dokładność przestrzenna rozwiązania, odległość względem profilu oraz głębokość. Powiązanie danych z echosondy oraz instrumentu GPS nastąpiło na etapie opracowania danych. Przed przystąpieniem do opracowania końcowego niezbędne było przeprowadzenie kalibracji pomiarów batymetrycznych (prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w ośrodku wodnym zależy od kilku czynników między innymi temperatury wody, zasolenia itp.). W omawianym przypadku pomiary kalibracyjne oraz test po-

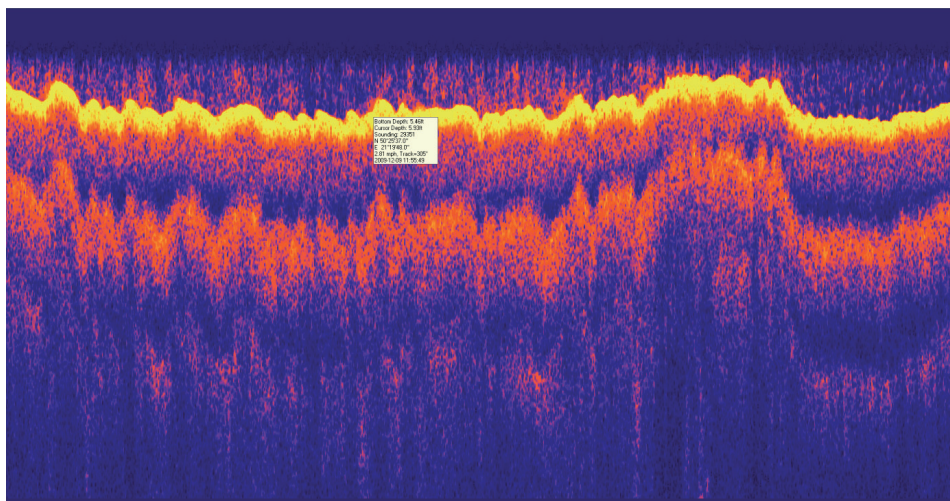
prawności działania systemu przeprowadzono, gdy motorówka była zacumowana do promu. Pozwoliło to między innymi na weryfikację dokładności pomiaru głębokości oraz wstępne oszacowanie prędkości prądu w rzece.



Źródło: fot. Przemysław Kuras.  
Source: fot. Przemysław Kuras

**Rysunek 3.** Zestaw pomiarowy – w strefie dziobowej ploter echosondy Lorance oraz wodoodporny komputer do rejestracji danych, na rufie echosonda i antena GNSS  
**Figure 3.** Measuring set - in the bow area Lowrance sonar plotter and waterproof computer to record data, on the stern sonar and GNSS antenna

Pomiary na wodzie w profilach były realizowane tak, aby zachować bezpieczną 50 centymetrową głębokość wody poniżej pracującej śruby silnika motorówki (taka głębokość w strefie przybrzeżnej jest już dostępna do pomiaru bezpośredniego). Zapis w odbiorniku GPS był prowadzony bezpośrednio na kartę pamięci SD z wykorzystaniem funkcji „Auto-Points” oraz niezależnie na dysk twardy laptopa. Profile echosondy były rejestrowane na wbudowaną kartę SD. Czujnik echosondy zamontowany za tylną pawężą motorówki został umiejscowiony w sposób pozwalający na dokonywanie pomiarów pozbawionych podstawowych błędów systematycznych. Odległość pomiędzy ARP anteny GNSS oraz czujnikiem echosondy podczas całego pomiaru nie zmieniała się. Rysunek 4 przedstawia przykładowy, surowy profil zapisany na karcie SD przed uwzględnieniem poprawek kalibracyjnych oraz przed zastosowaniem filtracji danych. Dane zgromadzone w profilach w celu prowadzenia dalszej obróbki mogą być zapisywane do plików CSV (character-separated values), które łatwo importować do aplikacji pozwalających na sprawną obróbkę danych. Dane GPS opracowano w oprogramowaniu Leica Geo Office.



Źródło: materiały własne.

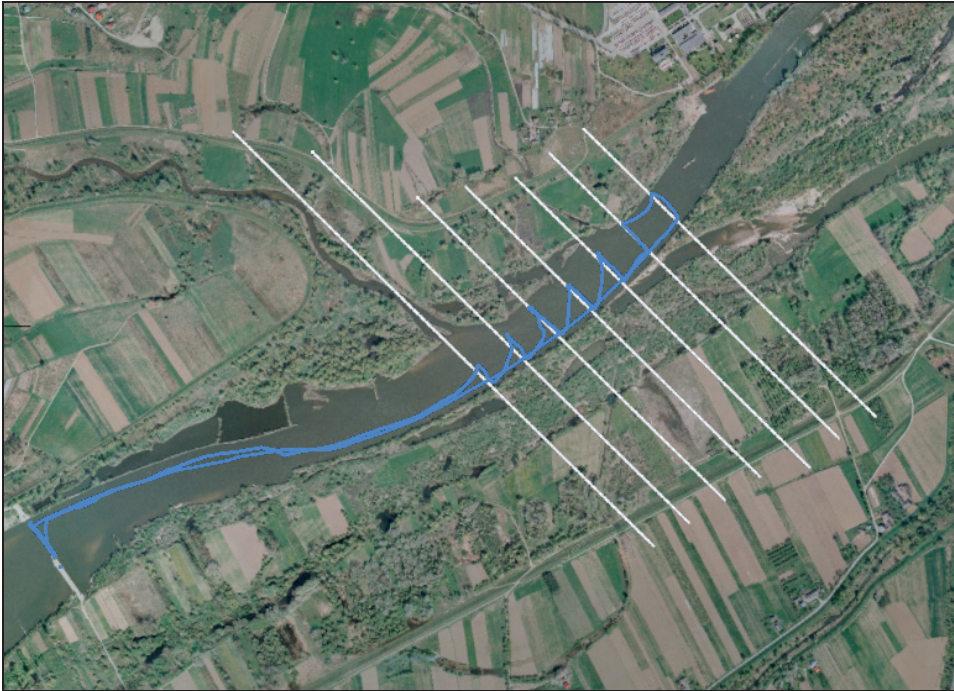
Source: own materials.

**Rysunek 4.** Profil pomiarowy przed opracowaniem  
**Figure 4.** Measurement profile before the elaboration

W pierwszej kolejności wykonywany był profil znajdujący się najniżej (biorąc pod uwagę bieg rzeki). Podczas profilowania rzeka miała nurt o prędkości dochodzącej do 3,5 m/s. Stanowiło to podstawowy problem przy wtyczaniu się w profile wykonane wcześniej na brzegach. Przedstawiony na rysunku 5 kilwater pokazuje założone (teoretyczne) linie przekrojów – kolor biały oraz rzeczywistą trasę poruszającej się jednostki pływającej podczas jednego z pomiarów - kolor niebieski. Informację o położeniu sytuacyjnym pozyskiwano z częstotliwością 1 Hz.

W kierunku z południowego-wschodu na północny zachód znajdują się profile poprzeczne, w kierunku z południowego zachodu na północny wschód profil podłużny – prowadzony w głównym nurcie rzeki. Zwraca uwagę fakt, że nawet informacja o przebiegu profilu w instrumencie GPS na pokładzie oraz zastabilizowane nabieżniki nie pozwoliły za jednym razem poprawnie wykonać pomiarów na wszystkich profilach. Powodem był nierównomierny, silny prąd który znacząco utrudniał poprawne utrzymanie kursu jednostki nad dnem. Zakres głębokości uzyskany na podstawie omawianego pomiaru wynosił od 80 cm do 4,5 metra. Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów można powiedzieć, że na tym obiekcie nie występują nieciągłości które dyskwalifikowałyby zaproponowaną konfigurację sprzętową. Próbkowanie dna przez echosondę w głębokościach spotykanych na śródlądowych drogach wodnych w oparciu o omawiany system może zachodzić nawet co 50 ms, co oznacza że przy prędkości 3.5m/s można

pozyskiwać informacje o dnie co 1-2 cm. Naturalnie tak gęsty profil zwykle nie jest konieczny, w standardowym opracowaniu końcowym nie ma potrzeby 11 aproksymowania pozycji pomiędzy położeniami wyznaczonymi na podstawie 1 Hz pracy odbiornika GPS (o ile na profilu nie zachodzi istotna zmiana rzeźby dna).

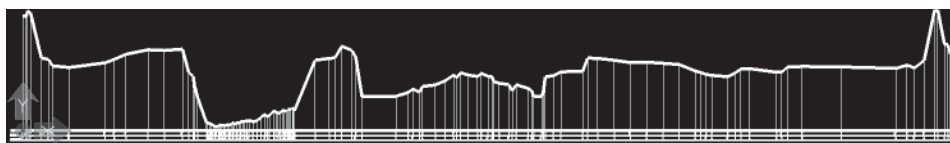


Zródło: opracowanie własne na podstawie ortofoto [www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl).  
Source: Own study base on ortofoto [www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl).

**Rysunek 5.** Kilwater zarejestrowany pracującym na pokładzie odbiornikiem GPS  
**Figure 5.** Wake recorded by GPS receiver working on board

Obecnie odbiorniki GPS (między innymi wykorzystywana Leica 1200) mogą rejestrować pozycję z częstotliwości maksymalną dochodzącą do 20 Hz, co oznacza że potencjalnie można uzyskiwać pełną informację o wysokości (oraz położeniu sytuacyjnym tej informacji) dna badanego zbiornika nad poziomem morza 20 razy na sekundę, a ponadto informację uzupełniającą o głębokości co 5 setnych sekundy. Naturalnie są to parametry które mają charakter teoretyczny - ponieważ, nie są wykorzystywane – podobnie jak w przypadku wykonywania geodezyjnego profilu terenu - nie jest on wykonywany na przykład co 3 centymetry. Standardowe opracowanie końcowe wykonuje się w skali

1:500, jeżeli chodzi o długość oraz 1:50 jeżeli chodzi o głębokość dna. Przykładowy profil dna doliny rzecznej przedstawia poniższy rysunek. Zwraca uwagę duża powierzchnia potencjalnego terenu zalewowego na prawym brzegu rzeki. Tego typu informacje wraz z rzetelnym pomiarem numerycznego modelu terenu wzdłuż rzeki pozwalają na sprawne prowadzenie analiz zagrożenia powodziowego w aplikacjach typu CAD/GIS.



Zródło: opracowanie własne.

Source: Own study.

**Rysunek 6.** Przykładowy profil dna doliny rzecznej  
**Figure 6.** A sample profile of the river valley

## WNIOSKI

Zaproponowana konfiguracja sprzętowa pozwoliła na wykonanie pomiarów głębokości rzeki uzupełniających informację pomiarową niezbędną do wykonania kompletnego profilu doliny rzecznej. Przeprowadzone testy potwierdziły, że częstotliwość próbkowania głębokości, częstotliwość wyznaczania pozycji oraz dokładność są wystarczające, aby uzyskana informacja pozwalała na właściwe i pełne odwzorowanie przebiegu dna rzeki. Po nabraniu doświadczenia w tego typu pracach podstawowymi problemami będą trudności żeglugowe, przesłonięcia horyzontu dla pomiarów GPS oraz brak zasięgu sieci GSM utrudniający wykonanie pomiarów i precyzyjną nawigację na szlaku żeglugowym w odniesieniu do zaprojektowanych profili pomiarowych. Są to jednak przeszkody, które tylko utrudnią a nie uniemożliwią właściwe wykonanie tego typu pracy. Biorąc pod uwagę jakość oraz wiarygodność pozyskanej informacji, integracja danych pozyskiwanych klasycznymi systemami geodezyjnymi oraz technikami bazującymi na sonarach wydaje się nie do przecenienia. Nie bez znaczenie pozostaje również fakt, że czas potrzebny do pozyskania tego typu informacji jest niewielki. W omawianym przykładzie pomiary na wodzie zajmowały około trzydziestu procent ogółu czasu przeznaczanego na pomiar. Część z przedstawionych prac była wykonywana na zlecenie firmy Geoprojekt Kielce.



## **BIBLIOGRAFIA**

Batymetria.pl [online]. <http://batymetria.pl> [dostęp: 10.01.2011]

CrossSection Online [online]. <http://www.crosssection-online.com> [dostęp: 10.01.2011]

Fugro World Wide [online]. <http://www.fugro.com> [dostęp: 10.01.2011]

Dr inż. Tomasz Owerko  
owerko@agh.edu.pl  
tel. kom. 0048 605 165 281  
tel. 012 617 44 86

Dr inż. Anita Kwartnik-Pruc  
akwart@agh.edu.pl  
tel. 012 617 44 86

Dr inż. Łukasz Ortyl  
ortyl@agh.edu.pl  
tel. 012 617 22 99

Mgr inż. Paweł Cwiakała  
pawelcwi@agh.edu.pl  
tel. 012 617 44 86

Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Al. Mickiewicza 30, pawilon C-4  
30-059 Kraków

Recenzent: *Dr hab. inż. Waldemar Krupiński, prof. UR*