

**OCENA DOKŁADNOŚCI DANYCH UZYSKANYCH Z POMIARU
BATYMETRYCZNEGO WYKONANEGO ECHOSONDĄ
LOWRANCE LMS-527C DF iGPS**

**EVALUATION OF DATA ACCURACY OBTAINED FROM BATHYMETRIC
MEASUREMENT USING FISHFINDER LOWRANCE LMS-527C DF iGPS**

Piotr Goluch, Agnieszka Dombek, Jan Kapłon

Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

SŁOWA KLUCZOWE: batymetria, Numeryczny Model Terenu, hydroakustyczne pomiary głębokości cieków lub zbiornika wodnego

STRESZCZENIE: W pracy autorzy przeprowadzili analizy dokładności danych, uzyskanych w wyniku wykonanego sondu hydroakustycznego za pomocą jednowiązkowej echosondy ultradźwiękowej LMS-527C DF iGPS firmy Lowrance Electronics, Inc. Lokalizacja punktów sondowania była przeprowadzona na dwa sposoby: wykorzystano 12-kanalowy GPS wbudowany w echosondę oraz niezależnie sprzęt do pomiarów geodezyjnych – zastosowano w drugim przypadku technikę pomiarową GPS-RTK (Real Time Kinematic), umożliwiającą precyzyjne wyznaczenie pozycji w czasie rzeczywistym.

Pomiar terenowy przeprowadzono w lipcu 2009 roku na Zbiorniku Pilchowickim, który znajduje się w górnej części rzeki Bóbr, niedaleko Jeleniej Góry. Prace terenowe wykonane zostały przez pracowników Instytutu Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Ocena dokładności opierała się na analizie wyznaczonych współrzędnych płaskich XY, pomierzonych głębokości D oraz otrzymanych współrzędnych przestrzennych XYZ. W rezultacie przeprowadzonych analiz wyznaczono dokładność wykonanego pomiaru. Stwierdzono, że za pomocą systemu GPS wbudowanego w odbiornik echosondy można wyznaczyć pozycję XY przetwornika echosondy z średnim błędem na poziomie 4.2 m (dokładność ta jest niejednorodna i zmienia się w czasie). Sondaz hydroakustyczny przy pomocy zastosowanej echosondy ultradźwiękowej oraz odbiornika GPS w niej wbudowanego (przy założeniu, że znany jest poziom zwierciadła wody) pozwala na pozyskanie danych batymetrycznych z dokładnością na poziomie 0.20 m. Natomiast, gdy do pozycjonowania przetwornika echosondy wykorzystano technikę pomiarową GPS-RTK (w przypadku znanego i nieznanego poziomu zwierciadła wody), otrzymano dokładność pomiaru głębokości na poziomie 0.13 m. Obliczenia przeprowadzono w środowisku Scilab.

1. WPROWADZENIE

Sposoby wykonywania pomiarów cieków wodnych ulegają ciągłemu rozwojowi. Wpływają na to możliwości techniczne, jakimi dysponuje człowiek, poziom jego wiedzy oraz posiadane przez niego przyrządy i urządzenia umożliwiające wykonanie badań. W celu monitorowania morfologii rzeki rośnie potrzeba efektywnego i dokładnego zobrazowania geometrii dna cieków w postaci numerycznego modelu o wysokiej rozdzielczości. Trójwymiarowe prezentacje dna rzeki są coraz powszechniej stosowane w badaniach hydrologicznych (Gao, 2009; Popielarczyk, 2002; Templin i Popielarczyk, 2008).

2. POMIAR BATYMETRYCZNY – WYKORZYSTANY SPRZĘT, POZYSKANE DANE

Budowę numerycznego modelu dna cieku wodnego oraz ocenę jego dokładności przeprowadzono na podstawie danych otrzymanych w wyniku sondażu hydroakustycznego Zbiornika Pilchowickiego na rzece Bóbr, znajdującego się niedaleko Jeleniej Góry. Uzyskano obszerny zbiór skorelowanych w czasie danych, takich jak: głębokość oraz pozycja jednostki pływającej (Dombek, 2010).

Pomiar głębokości przeprowadzony został w dniach 19 i 20 lipca 2009 r. za pomocą jednowiązkowej echosondy ultradźwiękowej LMS-527cDF firmy Lowrance. Echosonda ta umożliwia pracę przy dwóch częstotliwościach 50 i 200 kHz. Ze względu na charakter obiektu badawczego do pomiaru zastosowano częstotliwość 200 kHz (LOWRANCE, 2006). Pozwoliła ona na wygenerowanie wąskiej wiązki akustycznej o kącie detekcyjnym wynoszącym 12° , w wyniku czego przeprowadzono precyzyjną i szczegółową penetrację dna.

Pozycja jednostki pływającej podczas sondażu wyznaczona została na podstawie przeprowadzonego pomiaru RTK (Real Time Kinematic) przy pomocy 72-kanalowego odbiornika sygnału kodowego oraz fazowego GPS i GLONASS, a także przy pomocy 12-kanalowego odbiornika GPS, pracującego w trybie kodowego rozwiązania nawigacyjnego, w który wyposażona jest wyżej opisana echosonda.

Wykorzystane w niniejszej pracy dane stanowiły trzy profile pomiarowe. Pierwszy, pozyskany pierwszego dnia pomiarów, stanowił zbiór 6653 punktów, drugi i trzeci, pomierzone drugiego dnia, odpowiednio 1355 i 1339 punktów.

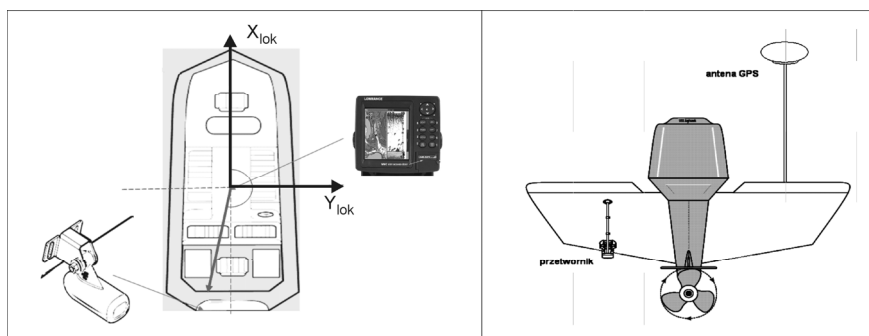
3. KOREKCJA DANYCH

3.1. Wyznaczenie współrzędnych XY punktów pomiaru głębokości

W wyniku przeprowadzonego sondażu hydroakustycznego otrzymano głębokości wyznaczone w przedziałach czasowych średnio co 300 ms oraz współrzędne w odwzorowaniu walcowym poprzecznym Mercatora X_{MERC} , Y_{MERC} , uzyskane za pomocą odbiornika GPS echosondy, mierzone z interwałem jednosekundowym. W celu uzyskania dna, jak najęśniej pokrytego punktami, przeprowadzono interpolację, w wyniku której określono pozycję każdego punktu, dla którego została pomierzona głębokość.

Wyznaczone współrzędne X_{MERC} , Y_{MERC} dotyczyły jednak pozycji echosondy znajdującej się na pokładzie łodzi, natomiast miejsce sondowania dna wyznaczała wiązka akustyczna emitowana przez przetwornik, który zamontowany został na tylnej krawędzi jednostki pływającej (rys. 1.). Aby więc wyznaczyć dokładną pozycję punktów pomiarowych należało uwzględnić brak centryczności położenia echosondy względem przetwornika. W tym też celu założono lokalny układ współrzędnych, którego początek stanowiła pozycja echosondy, natomiast osie układu: prosta równoległa do osi łodzi oraz prosta do niej prostopadła (rys. 1). Pozycję przetwornika obliczono na podstawie pomierzonych wzdłuż osi układu odległości pomiędzy położeniem odbiornika GPS echosondy a przetwornikiem.

Po przeprowadzeniu interpolacji otrzymane współrzędne X_{MERC} , Y_{MERC} przeliczono na współrzędne płaskie prostokątne w układach 1992 oraz 2000.



Rys. 1. Zastosowany w obliczeniach układ lokalny. Poziome przesunięcie pozycji anten odbiorników GPS względem przetwornika echosondy

W wyniku pomiaru otrzymano również współrzędne płaskie, wyznaczone za pomocą techniki pozycjonowania RTK. Aplikacja napisana w środowisku Scilab umożliwia korektę poziomego przesunięcia anteny odbiornika RTK w przypadku, gdy podczas pomiaru nie znajduje się ona pionowo nad przetwornikiem.

Wykonywanie pomiarów pozycji i głębokości dwoma różnymi instrumentami wymusza na użytkownika konieczność synchronizacji pomiarów. Pomiar pozycji techniką RTK ustalono co 1 sekundę. Jednakże opóźnienia w odbiorze poprawek RTK przesyłanych na falach UHF oraz konieczność gromadzenia przez odbiornik odpowiedniej ilości danych wymaganych do rozwiązania tzw. nieoznaczoności (ang. ambiguities) powodują nieregularność tego interwału. Sondowania głębokości również wykonywane są ze zmienną częstotliwością (np. zależnie od głębokości). W celu wyznaczenia dokładnej (± 10 cm) pozycji sondowania napisano własną aplikację w środowisku obliczeń numerycznych Scilab (DIGITEO, 2010), która interpolowała miejsca sondowań na podstawie krzywej typu „spline”, wpasowanej w ślad przepływu opisanego danymi pikietami RTK.

3.2. Korekcja pomierzonych głębokości ze względu na zmiany zanurzenia łodzi

Wyznaczona na podstawie sondażu hydroakustycznego głębokość obciążona jest wieloma błędami. Niektóre źródła błędów można wyeliminować na podstawie odpowiednio wykonanych obserwacji oraz przeprowadzonych obliczeń.

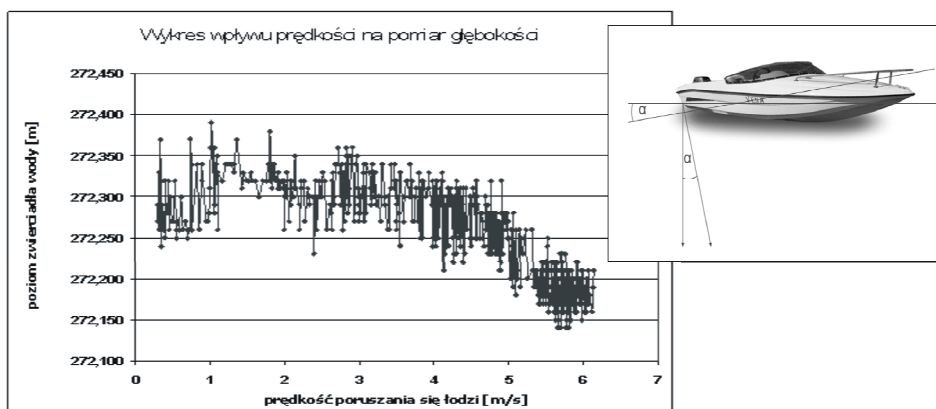
W niniejszej pracy wyznaczono wpływ stopnia zanurzenia łodzi na dokładność pomiaru głębokości, tzn. odległości pomiędzy przetwornikiem a dnem.

Podczas ruchu jednostka pływająca ulega licznym przechyłom. Ze względu na wymiary wykorzystanej do pomiaru batymetrycznego jednostki, w badaniach uwzględniono zmiany położenia osi podłużnej łodzi względem płaszczyzny poziomej. Zmiany te spowodowane były wzrostem prędkości płynięcia. Wraz ze wzrostem prędkości tylna część łodzi obniżała się, w następstwie czego droga propagacji fali akustycznej została skrócona, a wiązka sygnału odchyliła się od linii pionowej.

Wpływ braku stabilności jednostki pływającej wyznaczono na podstawie graficznego zestawienia (rys. 2.) zależności występujących pomiędzy (uzyskaną w wyniku pomiaru RTK) wysokością zwierciadła wody a prędkością poruszania się jednostki pływającej. Przeprowadzona analiza wykazała, iż przy prędkości mniejszej niż 3 m/s wpływ badanego czynnika jest niezauważalny, natomiast dla prędkości od 3÷6 m/s rejestrowana wysokość

zmniejszała się proporcjonalnie do wzrostu prędkości łodzi. W wyniku wzrostu prędkości o 1 m/s mierzona głębokość skracana była o około 5 cm.

Dokładność wyznaczonej głębokości obarczona była również wpływem odchylenia wiązki akustycznej. W wyniku głębszego zanurzenia tylnej części łodzi wiązka sygnału odchylała się do przodu.



Rys. 2. Wpływ prędkości łodzi na mierzoną głębokość

Oszacowano, że oś poprzeczna, wokół której następował przechył łodzi, znajdowała się w odległości około 0.75 m od końca łodzi. Stąd kąt odchylenia wiązki od linii pionowej przy zmianie zanurzenia o 5 cm wynosił 3.8° . W Tab. 1. zamieszczono przykładowe obliczone błędy w pomiarze głębokości w zależności od prędkości pływnięcia oraz głębokości pomiaru.

Tab. 1. Błędy pomiaru głębokości wynikające z odchylenia wiązki akustycznej od linii pionowej

Prędkość łodzi [m/s]	Kąt odchylenia wiązki od linii pionowej [°]	Głębokość [m]	Błąd w pomiarze głębokości [m]
5	3.8	10	0.02
		20	0.04
6	7.6	10	0.09
		20	0.18

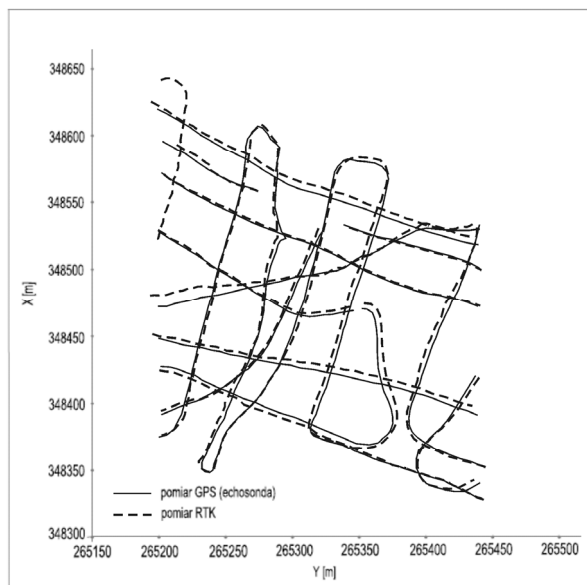
4. ANALIZA DOKŁADNOŚCI PRZEPROWADZONEGO POMIARU BATYMETRYCZNEGO

Dokładność przeprowadzonego sondu hydroakustycznego zależy od bardzo wielu czynników. Z tego względu na podstawie danych pozyskanych dla fragmentu zbiornika wykonano:

- analizę dokładności współrzędnych płaskich XY uzyskanych przy pomocy odbiornika GPS wbudowanego w odbiornik echosondy,

- analizę dokładności przeprowadzonego pomiaru batymetrycznego na podstawie badania powtarzalności uzyskanych wyników pomiaru (przypadek, gdy położenie XY wyznaczone jest jedynie odbiornikiem GPS zamontowanym w echosondzie lub gdy: położenie wyznaczone jest techniką GPS-RTK przy znanym lub nieznanym poziomie zwierciadła wody),
- analizę dokładności przeprowadzonego pomiaru batymetrycznego względem bezpośredniego pomiaru głębokości.

4.1. Ocena dokładności współrzędnych płaskich XY uzyskanych przy pomocy odbiornika GPS wbudowanego w odbiornik echosondy



Rys. 3. Trasa łodzi przebyta podczas sondażu hydroakustycznego, wyznaczona za pomocą pomiaru RTK oraz odbiornika GPS echosondy

W realizowanym projekcie określono, że na podstawie pomiaru z wykorzystaniem odbiornika GPS, który wbudowany jest w odbiornik echosondy, można wyznaczyć pozycję z dokładnością na poziomie 4.3 m. Każdą trasę charakteryzowała inna średnia różnica współrzędnych X i Y. Na podstawie uzyskanych wyników nie udało się ustalić stałego przesunięcia współrzędnych płaskich o wartość, o którą można byłoby skorygować pozycję jednostki pływającej wyznaczonej za pomocą odbiornika GPS echosondy.

4.2. Ocena dokładności pomiaru batymetrycznego na podstawie badania powtarzalności uzyskanych wyników pomiaru

Analizę dokładności przeprowadzonego sondażu hydroakustycznego rozpoczęto od oceny dokładności wyników, stanowiących uzyskane z pomiaru echosondą głębokości oraz przypisane im współrzędne płaskie, pomierzone za pomocą odbiornika GPS w niej zamontowanego.

Pierwszy etap analizy dotyczył określenia dokładności lokalnej pomierzonych głębokości. Dokładność tą wyznaczono w obrębie przecięć profili, gdzie w promieniu 1 m znajdują się co najmniej trzy punkty pomiarowe. W ten sposób otrzymano 431 przecięć profili. Obliczona średnia dokładność lokalna, po eliminacji błędów grubych dla poszczególnych profili sondu hydroakustycznego wykonanego za pomocą echosondy oraz odbiornika GPS w niej zamontowanego, kształtowała się (Tab. 2.) w zakresie od 0.01 m do 0.26 m.

Tab. 2. Zestawienie wyników przeprowadzonych analiz dokładności dla różnych kombinacji profili

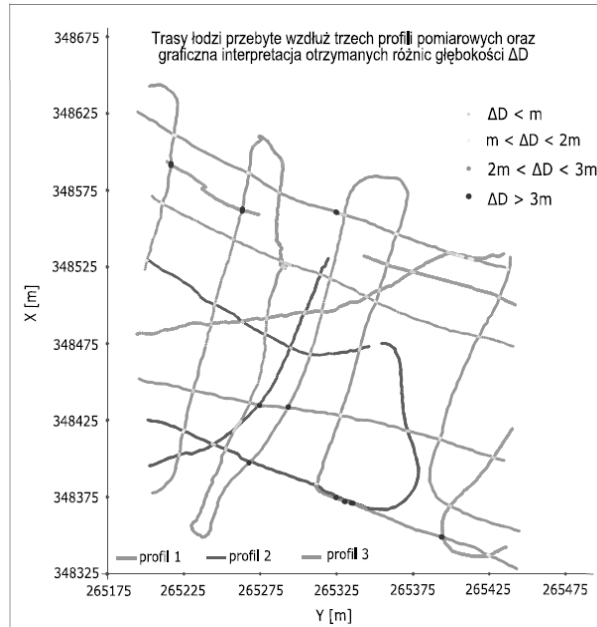
Profil	Liczba węzłów	Liczba punktów	Dokładność pomiaru [m]	Maksymalna ujemna różnica głębokości [m]	Maksymalna dodatnia różnica głębokości [m]
1-1	130	1111	0.073	-0.270	0.275
2-2	10	57	0.078	-0.156	0.150
3-3	6	33	0.012	-0.028	0.019
1-2	178	1210	0.260	-0.693	0.711
1-3	98	532	0.260	-0.506	1.008
2-3	9	52	0.023	-0.042	0.043
Wszystkie profile łącznie - dokładność globalna	431	2995	0.203	-0.693	1.008

W drugim etapie analiz wyznaczono dokładność globalną przeprowadzonego pomiaru. Dokładność ta określona została na podstawie wszystkich różnic głębokości wyznaczonych w miejscach przecięć profili. W wyniku wykonanych obliczeń (Tab. 2.) uzyskano dokładność globalną na poziomie 0.20 m.

Graficzną prezentację wyników przeprowadzonych analiz stanowi Rys. 4. Pokazano tu, jak na tle uzyskanej dokładności globalnej m wynoszącej 0.20 m kształtują się wartości odchyłek ΔD , wyznaczone w miejscach węzłów tras trzech profili pomiarowych.

Wyniki przeprowadzonej analizy w znacznym stopniu związane są z dokładnością wyznaczenia pozycji jednostki pływającej, jaką oferuje pomiar przy użyciu odbiornika GPS zamontowanego w echosondzie. W związku z powyższym, w dalszej części pracy przeprowadzono analizę wpływu dokładności określenia pozycji (XY) na dokładność pomiaru batymetrycznego (Z) – analizy te dokonano na podstawie wyznaczonych głębokości oraz danych z pomiaru RTK. Analizy przeprowadzono dla dwóch przypadków. Pierwszy, gdy znany był poziom piętrzenia wody – wówczas z pomiaru RTK można wykorzystać otrzymaną pozycję XY. W drugim przypadku, gdy nie znano poziomu piętrzenia wody – wówczas z przeprowadzonego pomiaru RTK należy wykorzystać przestrzenne położenie punktów XYZ. W wyniku zsynchronizowania pozyskanych podczas sondu akustycznego głębokości z obserwacjami pomiaru metodą RTK uzyskano nowy zbiór danych batymetrycznych, charakteryzujący się wysoką dokładnością współrzędnych XY oraz drugi zbiór z pomierzonymi głębokościami i współrzędnymi XYZ.

W Tab. 3. zamieszczono sumaryczne zestawienie otrzymanych dokładności globalnych dla 3 wyżej wymienionych sytuacji. W wyniku uwzględnienia danych uzyskanych z pomiaru RTK dokładność globalna wzrosła prawie dwukrotnie i wyniosła (po wyeliminowaniu błędów grubych) 0.13 m.



Rys. 4. Trasy łodzi przebyte wzdłuż trzech profili pomiarowych oraz graficzna interpretacja otrzymanych różnic głębokości – położenie XY wyznaczone odbiornikiem GPS echosondy

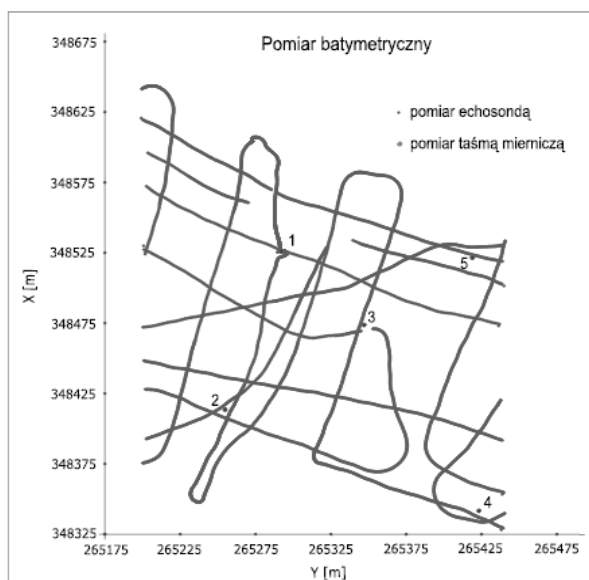
Tab. 3. Sumaryczne zestawienie otrzymanych dokładności globalnych

	GPS zintegrowany z echosondą			RTK XY			RTK XYZ		
	m_{sr} [m]	Liczba węzłów	Liczba pkt	m_{sr} [m]	Liczba węzłów	Liczba pkt	m_{sr} [m]	Liczba węzłów	Liczba pkt
Bez eliminacji błędów grubych	0.326	431	3208	0.229	323	2595	0.234	323	2595
Dokładność pomiaru głębokości po eliminacji błędów grubych									
$\Delta D > 3 m_{sr}$	0.263	431	3158	0.154	323	2527	0.159	323	2528
$\Delta D > 2 m_{sr}$	0.203	431	2995	0.126	323	2468	0.131	323	2468

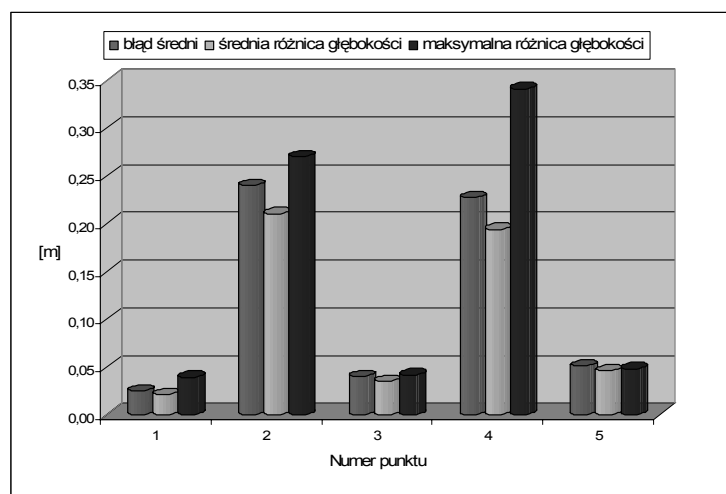
4.3. Ocena dokładności przeprowadzonego pomiaru batymetrycznego względem bezpośredniego pomiaru głębokości

Podczas sondażu hydroakustycznego wykonano również pomiar głębokości pięciu równomiernie rozmieszczonych na obiekcie badawczym punktów. Pomiar ten wykonano za pomocą pionu opuszczonego na taśmie mierniczej, a otrzymane w jego wyniku głębokości przyjęto za bezbłędne. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono ocenę dokładności bezwzględnej wykonanego pomiaru batymetrycznego, porównując pomierzone taśmą mierniczą głębokości z głębokościami wyznaczonymi podczas sondażu.

Rys. 5 przedstawia trasę pomiaru batymetrycznego oraz lokalizację punktów pomiaru bezpośredniego, zaś Rys. 6 stanowi graficzną prezentację wielkości błędu średniego oraz średniej i maksymalnej różnicy pomiędzy głębokościami wyznaczonymi na podstawie hydroakustycznego sondażu echosondą a głębokościami pozyskanymi z pomiaru bezpośredniego taśmą mierniczą.



Rys. 5. Trasa przebyta przez łódź podczas sondażu hydroakustycznego oraz punkty pomiaru bezpośredniego taśmą mierniczą



Rys. 6. Graficzne zestawienie wartości błędu średniego oraz średniej i maksymalnej różnicy głębokości, ilustrujące dokładność bezwzględną przeprowadzonego pomiaru batymetrycznego

Lokalna dokładność bezwzględna sondażu hydroakustycznego kształtowała się w zakresie od 0.03 m do 0.24 m, średnia różnica głębokości z kolei mieściła się w przedziale od 0.02 m do 0.21 m, natomiast maksymalna różnica głębokości wyniosła 0.34 m.

Analiza dokładności bezwzględnej pomiaru batymetrycznego, dotycząca strefy obiektu badawczego charakteryzującej się niewielkim zróżnicowaniem morfologicznym dna, wykazała dużą precyzję przeprowadzonego pomiaru. Głębokości zostały tam wyznaczone z dokładnością 0.03 m. Pomiar głębokości w strefie przybrzeżnej natomiast został wykonany z dużo mniejszą dokładnością, wynoszącą 0.19 m.

Ostatecznie ocena dokładności globalnej wykazała, iż przeprowadzony przy pomocy jednowiązkowej echosondy ultradźwiękowej pomiar batymetryczny, wykonany został z dokładności bezwzględnej wynoszącą 0.11 m.

5. WNIOSKI

1. Pomiar za pomocą odbiornika GPS zamontowanego w echosondzie umożliwił wyznaczenie pozycji XY z dokładnością około 4 m.
2. Sondaż hydroakustyczny przy pomocy jednowiązkowej echosondy ultradźwiękowej oraz odbiornika GPS w niej zamontowanego pozwala na pozyskanie danych batymetrycznych z dokładnością na poziomie 0.20 m.
3. Sondaż hydroakustyczny przeprowadzony za pomocą jednowiązkowej echosondy ultradźwiękowej oraz satelitarnego systemu pozycjonowania RTK pozwala na pozyskanie danych batymetrycznych z dokładnością 0.13 m.
4. Dokładność pozyskanych danych batymetrycznych za pomocą jednowiązkowej echosondy ultradźwiękowej zależy od ukształtowania podwodnej topografii dna. W wyniku przeprowadzonej analizy pozyskanych danych batymetrycznych w stosunku do wyników bezpośredniego pomiaru głębokości za pomocą pionu zawieszono na taśmie mierniczej uzyskano dokładność bezwzględną na poziomie 0.11 m. W terenie, gdzie dno jest płaskie, dokładność ta wyniosła 0.03 m, zaś w obszarze o znacznym nachyleniu 0.19 m.
5. Zalecana prędkość przemieszczania się zastosowanej łodzi powinna wynosić mniej niż 3 m/s. W przypadku większej prędkości przepływu pomierzoną głębokość należy skorygować ze względu na stopień zanurzenia.
6. W wyniku poprawnie przeprowadzonego sondażu hydroakustycznego możliwe jest zbudowanie precyzyjnego numerycznego modelu dna ciek.

7. LITERATURA

- DIGITEO, 2010. Scilab 5.2. Help. The Scilab Consortium (DIGITEO).
- Dombek A., 2010. *Budowa numerycznego modelu dna ciek wodnego z wykorzystaniem echosondy Lowrance LMS*. Praca magisterska. UP we Wrocławiu.
- Gao J., 2009. *Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations*. Progress in Physical Geography 33 (1).
- LOWRANCE, 2006. *LMS-527cDF iGPS Fish-finding Sonar & Mapping GPS Installation and Operation Instructions*.
- Popielarczyk D., 2002. *Zastosowanie zintegrowanych technik pomiarowych GPS oraz echosondy cyfrowej do tworzenia map batymetrycznych cieków i śródlądowych zbiorników wodnych*. Rozprawa doktorska. Olsztyn.

Templin T., Popielarczyk D., 2008. *Tworzenie numerycznego modelu dna zbiornika wodnego w oparciu o jednowiązkowy sondaż hydroakustyczny i system DGPS*. Acta Sci. Pol., Geodesia et Descriptio Terrarum 7 (3).

EVALUATION OF DATA ACCURACY OBTAINED FROM BATHYMETRIC MEASUREMENT USING FISHFINDER LOWRANCE LMS-527C DF iGPS

KEY WORDS: bathymetry, digital terrain model, hydroacoustic depth measurements of the water-course or reservoir of water

SUMMARY: The authors carried out an analysis of the accuracy of data obtained from a hydroacoustic survey performed with the ultrasonic sonar LMS-527C DF and GPS Company Lowrance Electronics, Inc. The location of probing points was carried out in two ways: using an 12-channel GPS built-in echo sounder and, independently, a surveying equipment. In the second case, the measuring technique GPS-RTK (Real Time Kinematic) was used enabling accurate position determination in real time.

The field measurement was conducted in July 2009 at Pilchowice Reservoir, which is located in the upper part of the Bóbr River near Jelenia Góra. Fieldwork was carried out by the staff of the Institute of Geodesy and Geoinformatics, University of Life Sciences in Wrocław. Assessment of accuracy was based on analysis of the determined coordinates in XY plane, measured depth D and obtained spatial coordinates XYH. As a result of the analysis, the accuracy of the measurements was determined. It was found that using a built-in GPS receiver the position of the sonar transducer XY could be determined with an average error of 4.2 m (accuracy is heterogeneous and changes with time). Hydroacoustic survey with an ultrasonic sonar and a GPS receiver embedded in it (assuming that the level of water table is known) can provide bathymetric data of an accuracy of 0.20 m. However, if for sonar transducer positioning the measuring technique GPS-RTK was used, (with known or unknown water level), the depth measurement accuracy was at a level of 0.13 m. The calculations were performed in the Scilab environment.

dr inż. Piotr Gołuch
e-mail: piotr.goluch@igig.up.wroc.pl
tel. 71 3205693

dr inż. Jan Kapłon
e-mail: jan.kaplon@igig.up.wroc.pl
tel. 71 3205682