INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/II/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 133–144
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Tomasz Salata

REALIZACJA POMIARÓW GEODEZYJNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO OBLICZEŃ HYDROLOGICZNYCH

IMPLEMENTATION OF GEODESICAL MEASUREMENT UTILIZED FOR HYDROLOGICAL CALCULATIONS

Streszczenie

Określając podstawowe parametry ukształtowania cieku wodnego, niezbędną czynnością jest wykonanie pomiarów położenia charakterystycznych punktów terenowych. Od jakości wykonania tych pomiarów i opracowania pozyskanych danych uzależnione jest uzyskanie poprawnych wyników z pomiarów dynamiki przepływu, na równie wysokim poziomie. Praca przedstawia sposób wykonywania pomiarów geodezyjnych dla potrzeb pozyskania danych o stanach wody w rzece o charakterze podgórskim oraz o ukształtowania koryta rzeki.

Kompleksowe wykonanie zadania obejmuje prace pomiarowe w terenie, związane z założeniem wysoko-dokładnej stabilizowanej osnowy pomiarowej, pomiar szczegółowy wybranych punktów rzeźby terenu i poziomu lustra wody oraz wykonanie obliczeń i niezbędnych prac kameralnych. Dokładności wykonywanych pomiarów powinny spełniać wymogi określone w odpowiednich rozporządzeniach, normach i geodezyjnych instrukcjach technicznych.

Dane uzyskane z pomiarów mają zastosowanie na wstępnym etapie sporządzania analizy dynamiki przepływu.

W pracy zaprezentowano technologię pozyskania danych terenowych stosowaną w pracach hydrologicznych, czyli: wybór miejsca pomiarów, metody dokładnego oznaczania profilu w przekroju rzeki oraz gęstość wykonywania pomiarów w przekrojach poprzecznych. Są to rzadziej spotykane zadania dla wykonawstwa geodezyjnego, które mogą mieć znaczenie w opracowaniu przez zespół pomiarowy własnej techniki realizacji zadań wysokich dokładności.

Słowa kluczowe: pomiary geodezyjne rzek, dokładność geodezyjna, profile poprzeczne rzeki, opracowanie danych pomiarowych

Summary

In order to define basic parameters of a water stream, it is necessary to determine the location of characteristic field points that influence local hydrological conditions. The papers presents the methodology for performing geodesical measurements that are necessary to obtain data about water state in rivers and river bed profiles. The comprehensive process includes the following stages: field measurements, which include highly-accurate and stabilized minor control points; detailed measurements of selected relief points and water mirror level; finally, calculations and indispensable analysis performed outside the field. Accuracy parameters should be in line with requirements defined in relevant regulations, norms and geodesical instructions.Data obtained from measurements are used in the preliminary stage of hydrological analysis preparation. The paper presents the procedure of field data collection applied in hydrological works, which includes selection of measurement point, methods of exact determination of river bed profile and density of measurements along profile cross-sections. These tasks are less frequent in geodesical practice, yet they may be significant for the group performing the measurements and may help to develop own methodology for high-accuracy tasks.

Key words: *rivers surveying, accuracy, river transverse profiles, measurement data development*

WSTĘP

Pomiary geodezyjne są jedną z najdokładniejszych form realizacji odczytu danych terenowych i ich zapisu w ustalonej i standardowej formie. Wykorzystywane są z reguły jako podstawa do dalszych działań inżynieryjnych w określonych ramach problemowych. Jakkolwiek zagadnienie pomiarów terenowych są dla samej geodezji zjawiskiem znanym, jednakże dodatkowym elementem ułatwiającym komunikację pomiędzy poszczególnymi dziedzinami nauki może być sposób opracowania wyników. Geodezyjne prace kameralne mogą być odpowiednio ukierunkowane i zdecydowanie ułatwić dalsze prace projektowe lub analizę wyników. Geodezja mogłaby przejąć na siebie więcej obowiązków, dostarczając, np. dla dziedziny nauki - hydrologii pomierzony, obliczony i odpowiednio zestawiony, jednym słowem, kompletny zestaw danych, przetworzonych z pomiarów. Prace kameralne powinny wówczas opierać się na oprogramowaniu komputerowym również z rodziny GIS – nie ograniczać się do typowego wykorzystania CAD-a.

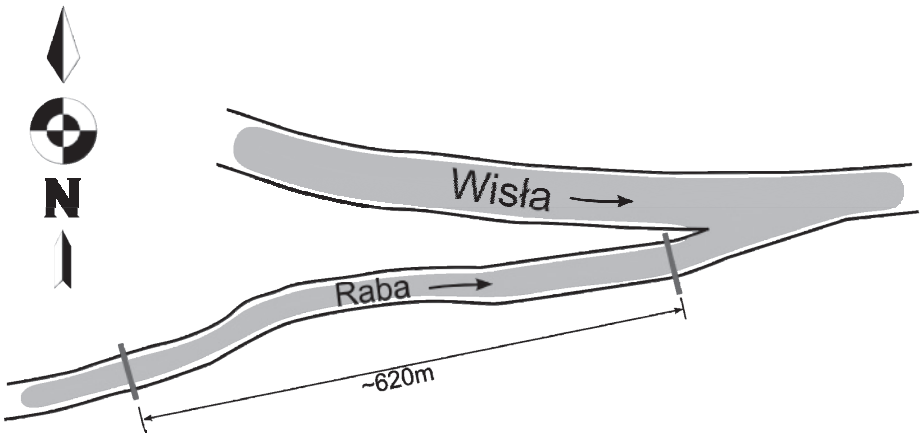
CEL I ZAKRES PRACY

Dokładność w pomiarach geodezyjnych odgrywa zasadniczą rolę. Stosując różne techniki pomiarowe zawsze określona zostaje ocena dokładności danej metody, oraz podane są główne parametry znaczące dla uzyskania odpowiednich

rezultatów. Wymogi techniczne w zakresie dokładności pomiarów geodezyjnych zostały określone w Rozporządzeniu w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego [Rozporządzenie 2011]. Zakłada się, że dla różnej klasy szczegółów terenowych należy przestrzegać określonych dokładności i uzyskiwać odpowiedni stopień w zakresie powtarzalności pomiarów.

Dla potrzeb realizacji zadania pomiarów stanu wody i przekroi dna rzeki Raby przyjęto dokładności dla szczegółów I-go stopnia, czyli wg rozporządzenia dokładność <0.10 m położenia punktu w terenie, chociaż mierzone szczegóły takimi nie są. Często stosuje się takie założenia w pomiarach realizacyjnych, gdzie osiągana i stosowana dokładność wielokrotnie przewyższa zakładane w ogólnych standardach dokładności.

Zakres obszarowy obejmuje odcinek 650 metrów w górę rzeki, licząc od ujścia rzeki Raby do rzeki Wisły. Jako zadanie problemowe zostało zakreślone wykonanie dwóch głównych przekroi poprzecznych koryta rzeki Raby oraz dla każdego z nich po jednym profilu poprzecznym (powyżej i poniżej). Zadanie powyższe przedstawia rysunek 1.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 1. Szkic rozmieszczenia przekroi poprzecznych na rzece Raba

Położenie przekroi na rzece Rabie zostało wybrane z uwagi na zaobserwowanie na danym odcinku badań intensywnych zmian hydrodynamiki przepływu oraz morfologii koryta i związane z nimi powstawanie określonych formacji dennych w postaci wydm żwirowych i żwirowo-piaszczystych. W rzekach o charakterze podgórskim powstawanie tego typu utworów rzecznych, zbudo-

wanych z drobnych żwirów jest zjawiskiem rzadko spotykanym [Słowik-Opoka, Radecki-Pawlik 2006].

METODY POMIAROWE

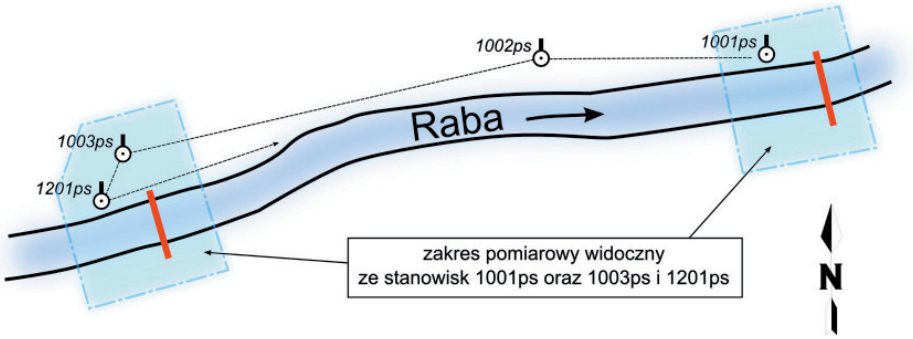
Założenia koncepcyjne określały wykonanie przekroi poprzecznych zorientowanych wysokościowo wobec siebie. Zatem istotnym jest w tym wypadku pomiar różnicy poziomów lustra wody na odcinku 620 metrów pomiędzy przekrojami. Oprócz tego ważna jest dokładność wykonywanych pomiarów w obrębie pojedynczego przekroju.

Dla uzyskania najwyższych dokładności określenia pozycji płaskiej i wysokościowej poziomów wody, w pobliżu miejsca przekroi założone zostały stanowiska pomiarowe utrwalone rurkami stalowymi, długości 80 cm . Gwarantuje to względnie stabilną pozycję wysokościową góry rurki, wystawionej nad powierzchnię gruntu o ok. 3-4 cm, oraz zapewnia stabilność położenia poziomego. Pomiar przemieszczeń stanowisk może być obserwowany w odstępach czasowych, przy okazji wykonywania pomiarów poziomów lustra wody i przekroju dna rzeki w różnych porach roku.

Założone zostały 4 stanowiska pomiarowe, z czego 3 służą bezpośrednio do pomiaru szczegółów sytuacyjnych (1001ps, 1003ps, 1021ps), natomiast stanowisko nr 1002ps jest pośrednim stanowiskiem, na którym wykonano pomiar tachimetryczny wstecz i wprzód na punkty 1001ps i 1003ps. Do określenia wysokości przyjęto metodę trygonometryczną, z uwagi na wykonanie pomiarów instrumentem 3" firmy Trimble z kompensatorem dwuosiowym i bezpośrednim pomiarem odległości, charakteryzującym się błędem stałym równym 2mm +/- 2ppm. Wykonanie pomiarów nadmiarowych na każdym stanowisku gwarantowało wykluczenie błędów grubych oraz możliwość uśrednienie wyników dla niewielkich różnic wysokości pomiędzy poszczególnymi stanowiskami pomiarowymi. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych zostało przedstawione na rysunku 2.

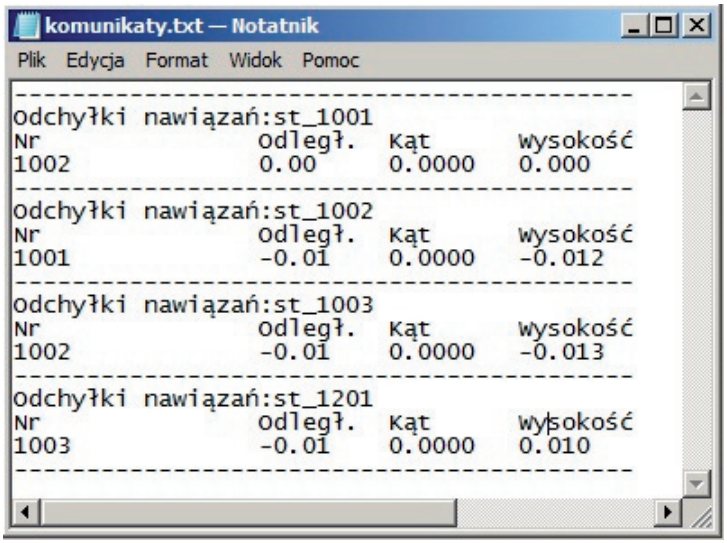
Wykorzystanie pojedynczego stanowiska nr 1001ps położonego przy ujściu Raby do Wisły stało się możliwe dzięki łagodnym skarpom koryta rzeki i braku roślinności wysokiej. Inaczej rzeźba wyglądała przy przekroju „w górę" Raby, gdzie nachylenie wałów i roślinność stanowiły barierę obserwacyjną - stąd dodatkowe stanowisko 1201ps, które nie jest kluczowym w ciągu poligonowym z uwagi na krótką celową, natomiast można z niego wykonać pomiar kontrolny na stałe punkty pomiarów hydrologicznych. Podnosi to jego dokładność wysokościową.

Liczba obserwacji nadliczbowych wynosi 4 kąty i 4 boki. Dokładności nawiązań dla poniższych stanowisk są bliskie 1 cm, co prezentuje poniższy rysunek.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2. Stanowiska pomiarowe



Źródło: opracowanie własne.

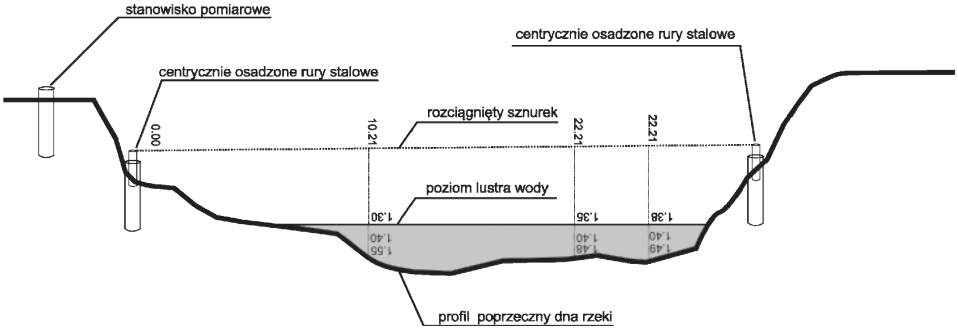
Rysunek 3. Dokładności nawiązań poszczególnych stanowisk pomiarowych

W przedstawionym zadaniu można dla stanowisk pomiarowych wykonać niwelację techniczną i określić precyzyjnie różnicę wysokości. Było by to przydatne szczególnie pomiędzy stanowiskami 1001ps i 1003ps. Jednakże biorąc pod uwagę rodzaj stabilizacji (rurki stalowe) oraz aspekt ekonomiczny, tachimetryczny pomiar różnic wysokości spełnił zadanie należycie (błąd pomiędzy skrajnymi stanowiskami to ok. 25 mm/620 mb długości). Nie jest to wartość znacząca, przy wykonywaniu obliczeń hydraulicznych, błąd poniżej 0.005% stosunku błędu wysokości do odległości.

WYKONANIE POMIARÓW TERENOWYCH

Pomiar terenowy obejmował założenie osnowy oraz pomiary szczegółowe. Obie te czynności można wykonywać ze stanowiska pomiarowego w trakcie pojedynczej sesji pomiarowej, lecz w takim przypadku należy zwrócić uwagę na fakt, że pomiar nawiązań powinien zostać wykonany w krótkim odstępie czasu. Błędem było by, gdyby na początku pomiaru pomierzyć nawiązanie, następnie przez długi czas skupić się na szczegółowych pomiarach profilu dna rzeki, a następnie wykonać drugie nawiązanie. Instrument razem ze statywem mogą w nieznaczny sposób zmieniać swoje położenie z powodów nierównomiernego operowania promieni słonecznych lub zapadania się nóg statywu w podłoże. Wykonując istotne pomiaru kierunków w krótkim czasie zespół pomiarowy ustrzega się od niekorzystnego wpływu zjawisk mechanicznych.

Pomiar szczegółów sytuacyjnych ma za zadanie określenie profilu dna rzeki, poziomu lustra wody, linii wałów rzecznych oraz innych sztucznych elementów potrzebnych do wykonania zadań hydrologicznych. Są to najczęściej stalowe rury określonej średnicy stabilizowane w pasie przykorytowym rzeki, w które zostają włożone rury o mniejszej średnicy z naciągiem do utrzymania liny rozciąganej pomiędzy brzegami rzeki.



Źródło: opracowanie własne.

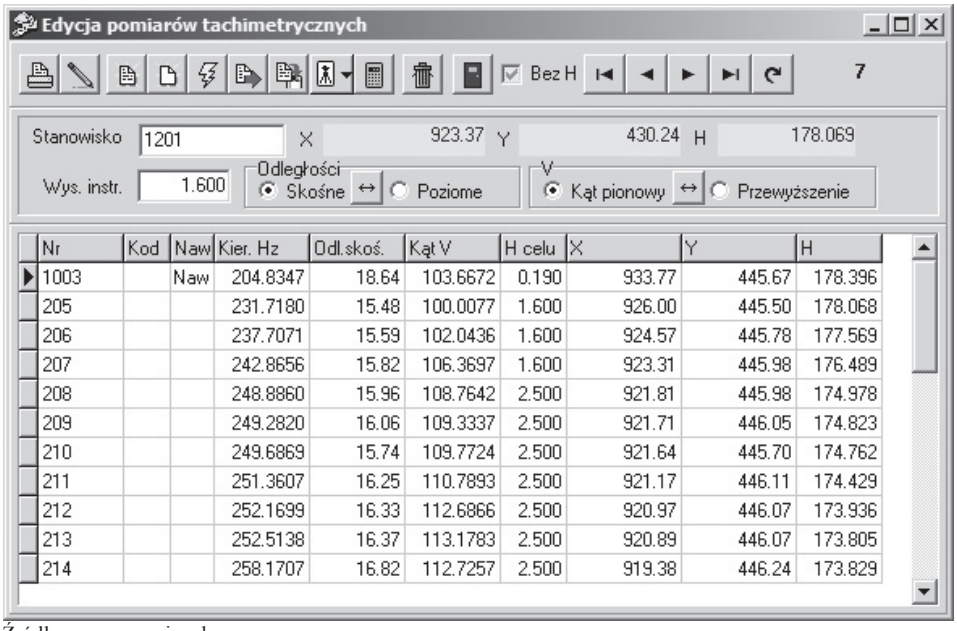
Rysunek 4. Schemat pomiaru istotnych szczegółów sytuacyjnych

Pomiar tachimetryczny to przede wszystkim pomiar położenia rur służących do naciągu liny, wyznaczającej przekrój poprzeczny. Ponadto pomiarowi podlega również powierzchnia terenu w zakresie pomiędzy naciągami jak i na zewnątrz nich, tj. w linii przedłużającej profil. Pomiarowi podlega również położenie lustra wody w kilku miejscach dla kontroli poprawności odczytów.

Wszystkie przedstawione pomiary wykonywane są tyczką z pryzmatem. Naciągi na obu brzegach rzeki powinny być osadzone na tej samej wysokości, lecz często jest to niewykonalne z uwagi na ukształtowanie terenu. Stabilizacja ich na różnych wysokościach nie stanowi problemów obliczeniowych, gdyż znając różnicę wysokości i odległość, można obliczyć funkcję prostej. Dalsze pomiary hydrometryczne opierają się na metodzie ortogonalnej, gdzie rzędną stanowi linia rozciągniętej liny, a odciętą kierunek naciągu. Więc po przetransponowaniu osi odciętych z płaszczyzny pionowej na poziomą, można technikami geodezyjnymi wykonać pomiary położenia pionów hydrometrycznych oraz stan wody w każdym punkcie obwodu zwilżonego, przyjmując za bazę współrzędne naciągów po obu brzegach rzeki.

PRACE KAMERALNE

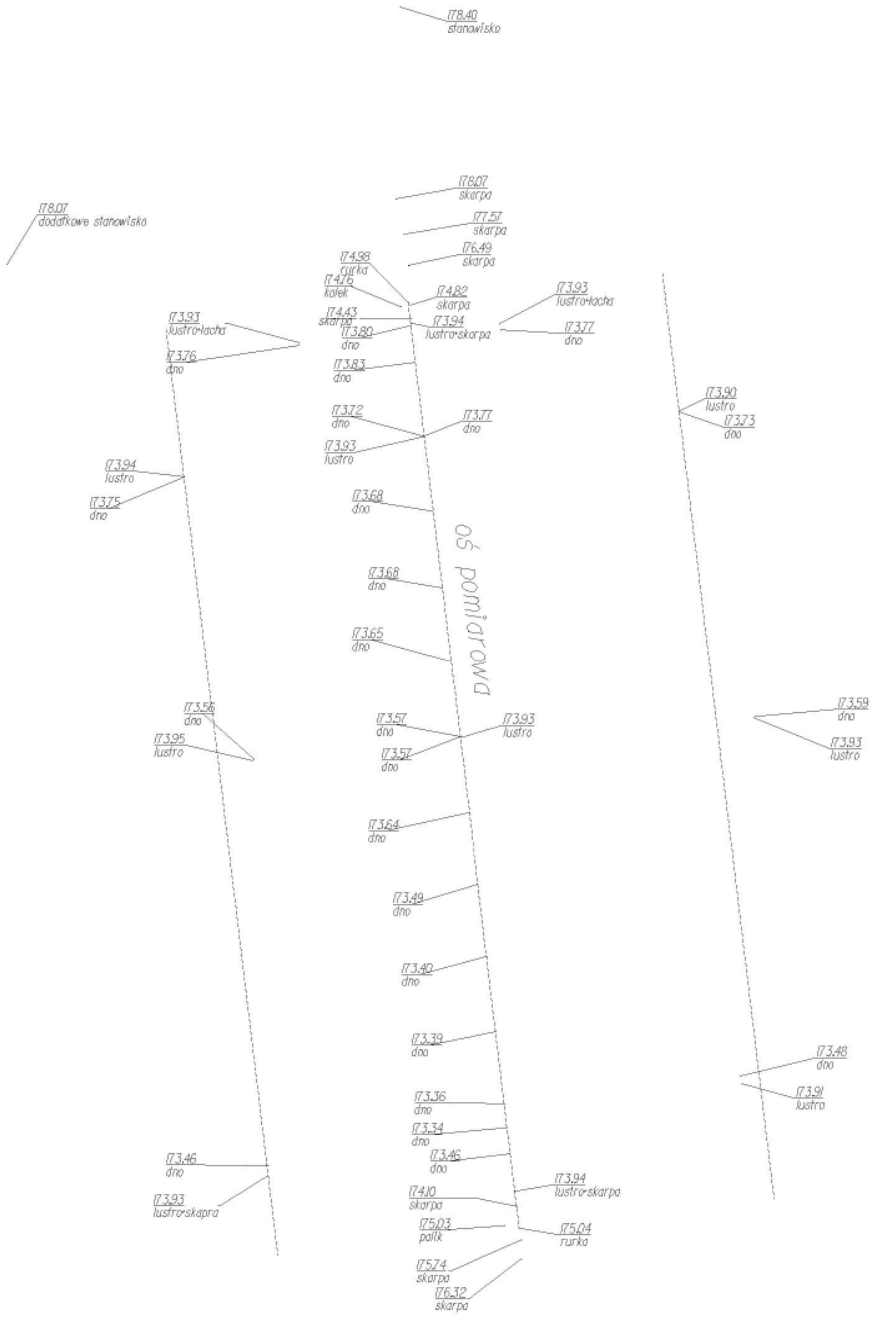
Obliczenie danych pomiarowych jest znanym zadaniem i nie przedstawia specjalnych trudności. Do ich wykonania wykorzystano dedykowane oprogramowanie geodezyjne, które posiada możliwość bezpośredniej komunikacji urządzenia pomiarowego z komputerem. Po ustawieniu niezbędnych parametrów i wskazaniu nawiązań, następuje obliczenie współrzędnych XYZ wszystkich pomierzonych pikiet.



Nr	Kod	Naw	Kier. Hz	Odl.skoś.	Kąt V	H celu	X	Y	H
1003		Naw	204.8347	18.64	103.6672	0.190	933.77	445.67	178.396
205			231.7180	15.48	100.0077	1.600	926.00	445.50	178.068
206			237.7071	15.59	102.0436	1.600	924.57	445.78	177.569
207			242.8656	15.82	106.3697	1.600	923.31	445.98	176.489
208			248.8860	15.96	108.7642	2.500	921.81	445.98	174.978
209			249.2820	16.06	109.3337	2.500	921.71	446.05	174.823
210			249.6869	15.74	109.7724	2.500	921.64	445.70	174.762
211			251.3607	16.25	110.7893	2.500	921.17	446.11	174.429
212			252.1699	16.33	112.6866	2.500	920.97	446.07	173.936
213			252.5138	16.37	113.1783	2.500	920.89	446.07	173.805
214			258.1707	16.82	112.7257	2.500	919.38	446.24	173.829

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5. Obliczenie pikiet pomiarowych w programie geodezyjnym



Źródło: opracowanie własne.

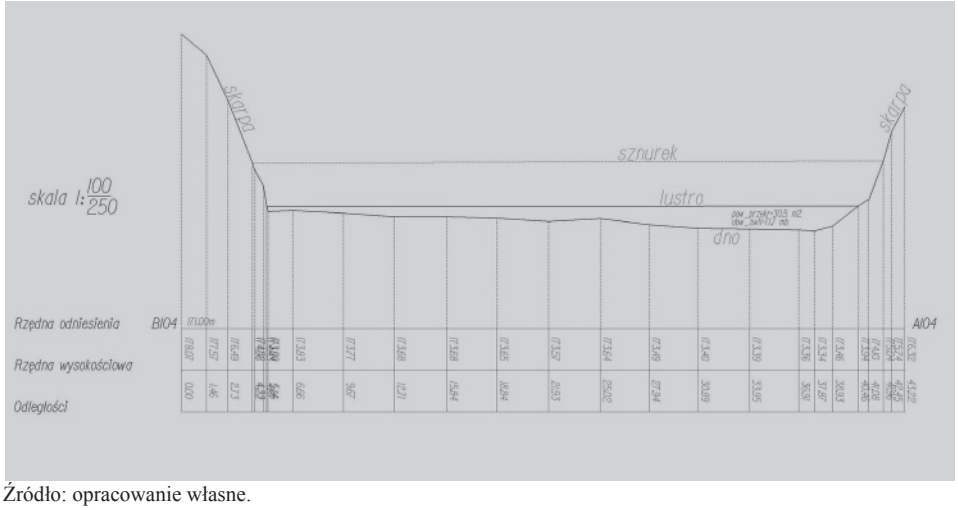
Rysunek 6. Mapa numeryczna pikiet pomiarowych z oznaczeniami

Pomiary pikiet zostały wykonane w trzech różnych rozwinięciach pryzmatu: 0.19 m dla poziomu lustra wody, dla brzegów bliższych 2.5 m, natomiast dla brzegów dalszych 1.6 m. Ustalenia takie zostały poczynione dla uzyskania pewności zapisu i wyeliminowania błędu człowieka.

Wyniki w postaci zestawu danych w formacie pliku tekstowego, w którym przechowuje się dane dotyczące: numeru pikiety i współrzędnych XYZ wizualizuje się na mapie numerycznej, dodając dodatkowo opisy dotyczące charakteru i znaczenia każdego punktu pomiarowego. Schematyczny zapis piet pomiarowych na mapie przedstawia rysunek 6.

Dla każdego przekroju „głównego" wykonywane są dodatkowe pomiary kilka metrów w dół i w górę rzeki. Cechują się one znacznie mniejszą gęstością niż podstawowe i zaznacza się na nich jedynie najistotniejsze elementy. Przekrój główny jest wykonywany precyzyjnie w oparciu o linię, którą tworzy rozciągnięta lina, więc jak widać na powyższej rycinie są rozmieszczone bardzo blisko prostej.

Etapem sprawdzającym poprawność wykonania pomiarów i obliczeń jest graficzne wykonanie profilu poprzecznego. Jeśli rysowanie profilu zostanie wykonanie w sposób półautomatyczny – wówczas wszystkie pikiety obarczone grubymi błędami nie będą pasować do pozostałych. W oprogramowaniu CAD dostępne są narzędzia, które radzą sobie bardzo dobrze z takimi zadaniami. W tym przypadku wykorzystano oprogramowanie Microstation z nakładką geodezyjną MK2006, która w pliku projektowym środowiska 3D pozwala na narysowanie przekrojów. Rycina poniższa przedstawia przekrój „górny" rzeki Raby.



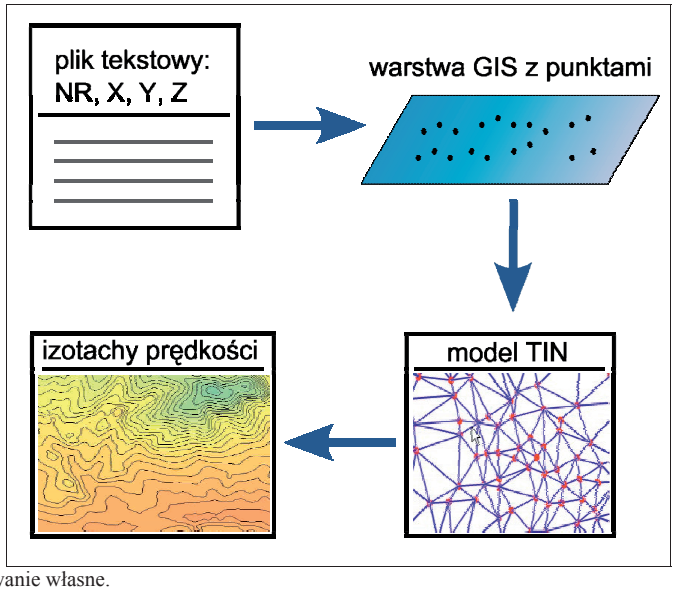
Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 7. Przekrój rzeki Raby „w górę" rzeki

Na przekrojach umieszcza się miarę odległości liczoną od wskazanego miejsca w linii pomiarowej (najczęściej jest to początek przekroju), oraz podziałkę odciętych wysokości (wartości wysokości podawane w metrach m.p.m.).

WYKORZYSTANIE NARZĘDZI GIS DO OPRACOWANIA OKREŚLONYCH DANYCH HYDROLOGICZNYCH

W pracach kameralnych, posługując się technologią komputerową można niejednokrotnie niewielkim nakładem pracy wykonać zaawansowane obliczenia, pod warunkiem, że każdy krok przetwarzania danych jest wykonywany w sposób standardowy. Autor rozumie przez to fakt, że dane są pozyskiwane, przetwarzane i udostępniane w formacie uznanym za standard. Zatem, jeśli punkty pomiarowe tworzą siatkę punktów ułożonych w płaszczyźnie poziomej wzdłuż linii prostej (linia głównego przekroju), a dane hydrologiczne są ułożone w płaszczyźnie pionowej to można je przedstawić jako fragment transponowanej płaszczyzny poziomej w systemach GIS.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 8. Wykorzystanie oprogramowania GIS do sporządzenia izotach

Danymi źródłowymi będą w tym przypadku wartości prędkości chwilowej płynięcia wody mierzone w pionach hydrometrycznych rozmieszczonych wzdłuż przekroju poprzecznego rzeki, za pomocą pomiaru rzędnych i odciętych

przedstawionych na rycinie nr 4. Dane źródłowe można zapisać do pliku tekstowego i wczytać do projektu obejmującego takie dane w systemie informacji geograficznej. Dalej należy utworzyć warstwę płaszczyzny krzywej dla prędkości stosując metodę nieregularnych trójkątów TIN. [Gaździcki 2003]. Kolejnym krokiem będzie ekstrapolacja krzywych stanowiących izotachy prędkości, tj. izolinie łączące punkty o takiej samej wartości prędkości średniej w pionie. Schemat ideowy przedstawia rysunek 8.

Metodyka generowania modelu warstwicowego może opierać się na kilku metodach obliczania krzywizn funkcji pośrednich pomiędzy punktami o znanych wartościach. Najprostszą jest metoda nieregularnych trójkątów, która zakłada, że pomiędzy wartością cechy w punkcie $A_{(x1, y1)}$ i $B_{(x2, y2)}$ wartości zmieniają się liniowo. W tym przypadku jest to odpowiednia metoda interpolacji, gdyż metoda odwrotnych odległości reprezentuje zjawiska posiadające inny charakter przestrzenny [Longley i in. 2006].

WNIOSKI

Technologia wykonania pomiaru geodezyjnego wykorzystywanego w dziedzinie nauki hydrologii musi być tej samej klasy dokładności co pomiary realizacyjne. Powoduje to wzrost zaufania do danych i pewność obliczeń. Ustawiczna kontrola wykonanych pomiarów na etapie prac terenowych, kameralnych i opracowania wyników eliminuje niemal całkowicie błędne wartości i nie dopuszcza do powstawania błędów grubych.

Prace pomiarowe stanowią wstępny etap sporządzania analiz lecz poprzez odpowiednie i wielokrotne wykorzystanie pozyskanych danych mogą stanowić istotny zakres prac obliczeniowych i prezentujących dane w sposób zunifikowany. Zastosowanie techniki interpolacji danych przestrzennych dla transponowanej płaszczyzny pionowej może wnieść wartość dodaną do pakietu danych przekazywanych specjalistycznym zagadnieniom hydrologicznym.

BIBLIOGRAFIA

Gaździcki J. 2003. Leksykon Geomatyczny, Wydawnictwo „Wieś Jutra", Warszawa.

Słowik-Opoka E., Radecki-Pawlik A. 2006. Wybrane parametry hydrauliczne w obrębie wydm żwirowych języko-kształtnych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Kom. Tech. Inf. Wsi PAN, Oddz. w Krakowie 4/2, 159-172.

Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. 2006. GIS Teoria i Praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Rozporządzenie w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, Dz. U. 2011 Nr 263 poz. 1572.

Dr inż. Tomasz Salata
Katedra Planowania, Organizacji i Ochrony Terenów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy im.H.Kołłątaja
Al.Mickiewicza 24/28
30 059 Kraków