

**METODY PRZYROSTOWE W PRZETWARZANIU
DANYCH BATYMETRYCZNYCH –
KRYTERIA OCENY DOKŁADNOŚCI DOPASOWANIA
PRZEBIEGU APROKSYMUJĄCEGO
DO SYGNAŁU WEJŚCIOWEGO**

**INCREMENTAL METHODS IN THE BATHYMETRIC
DATA PROCESSING – ACCURACY CRITERIA
FOR THE APPROXIMATION OF INPUT SIGNAL**

Janusz Ogrodniczak

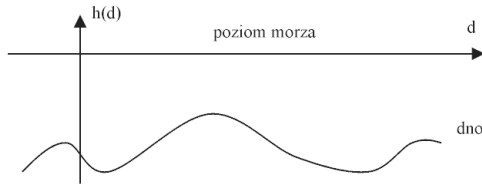
Akademia Marynarki Wojennej

Słowa kluczowe: przetwarzanie danych batymetrycznych, modulacja delta
Keywords: bathymetric data processing, delta modulation

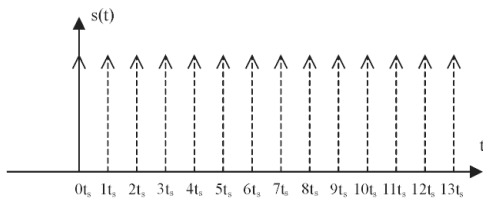
Wprowadzenie

Batymetria to nauka o mierzeniu głębokości wody w celu określenia topografii dna (Bowdith, 1995). Niezależnie od stosowanych metod, pomiary batymetryczne są wykonywane w celu określania głębokości morza w punkcie o znanych współrzędnych. Jednak ze względu na technologię ich realizacji, z jednostki pływającej, są one najczęściej wykonywane jako serie pomiarów ułożone wzdłuż profilu pomiarowego¹. A w przypadku echosond wielowiązkowych są to serie jednoczesnych pomiarów dla poszczególnych wiązek – pomiary realizowane w chwili t_i rozłożone są wzdłuż linii prostopadłej do profilu pomiarowego. Jeszcze do niedawna batymetria borykała się z problemem zbyt małej liczby danych pomiarowych. Powstawały coraz to bardziej złożone algorytmy interpolacyjne, mające za zadanie uzupełnienie informacji o ukształtowaniu dna morskiego pomiędzy dość rzadko rozmieszczonymi punktami pomiarowymi. Obecnie, w związku z rozwojem zarówno urządzeń służących do pomiaru głębokości (echosond jedno- i wielowiązkowych), jak i systemów pozycjonowania, możliwe jest uzyskanie dużej ilości wiarygodnych i dokładnych danych pomiarowych, a problemem staje się nadmiar danych. Wartości głębokości pochodzące z punktów pomiarowych, które leżą w niewielkich odległościach od siebie nawzajem, przestają być od siebie niezależne. Należy, więc zastanawiać się nad sposobami redukcji liczby skorelowanych wartości pomiarów.

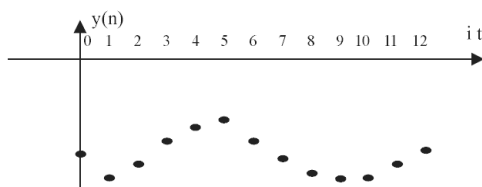
¹ Pod pojęciem profil pomiarowy rozumie się zarówno profil sondażowy, jak i profil kontrolny.



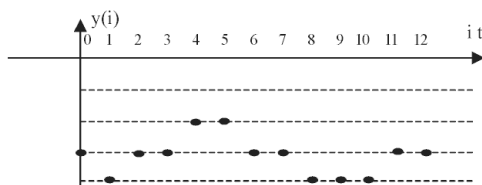
Rys. 1. Przekrój dna morskiego wzdłuż profilu sondażowego



Rys. 2. Ciąg impulsów próbkujących



Rys. 3. Wartości głębokości w dyskretnych momentach czasu



Rys. 4. Zmiany głębokości wzdłuż profilu sondażowego jako sygnał dyskretny

uzyskiwanych w trakcie pomiarów sondażowych jako sygnał dyskretny (rys. 4).

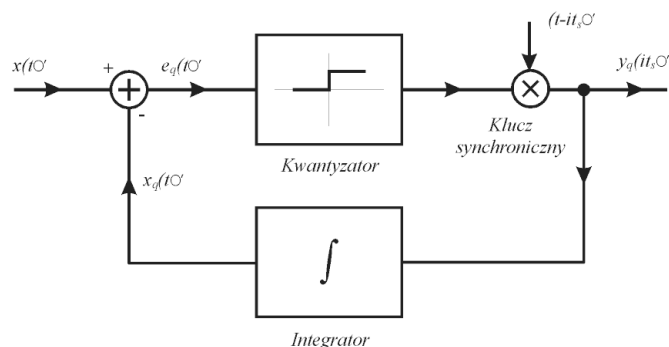
Przyjęcie założenia, że wartości głębokości uzyskiwane w wyniku kolejnych pomiarów stanowią próbki sygnału, pozwala na zastosowanie teorii sygnałów i metod cyfrowego przetwarzania sygnałów w odniesieniu do danych batymetrycznych. Wybór metody modulacji delta i jej modyfikacji sigma-delta do

Biorąc pod uwagę, iż sygnał to wielkość fizyczna, najczęściej elektryczna, ale także optyczna lub akustyczna, która niesie w sobie informację – a przesyłanie i przetwarzanie sygnałów umożliwia obieg informacji w systemie informacyjnym (Wojnar, 1980), można zauważyć, że pomiary batymetryczne niosą informację o ukształtowaniu terenu.

Zgodnie z definicją sygnał, to różnowartościowa funkcja czasu (Haykin, 2000). Dla sygnału analogowego zarówno czas, jak i amplituda sygnału przybierają wartości ciągłe ze zbioru o mocy kontinuum. W przypadku sygnału cyfrowego zarówno czas, jak i amplituda sygnału przyjmują wartości dyskretne. Zmienność dna morskiego wzdłuż profilu sondażowego można traktować jako sygnał analogowy (rys. 1), kolejne impulsy sondujące stanowią odpowiednik impulsów próbkujących (rys. 2), wyznaczają one dyskretne momenty czasu, w których dokonywane są pomiary głębokości dna morskiego (rys. 3).

W trakcie pomiaru, poza dyskretyzacją w dziedzinie czasu, następuje przypisanie dyskretnych wartości mierzonej wielkości, w naszym przypadku głębokości. Liczba i wartości poziomów kwantowania zależą od rozdzielczości urządzenia pomiarowego. Stosowane obecnie echosondy oferują rozdzielczości rzędu pojedynczych centymetrów (Konsberg Simrad, Reson).

W związku z powyższym można rozpatrywać ciąg kolejnych wartości głębokości



Rys. 5. Schemat blokowy układu z modulacją delta, część nadawcza (Wojnar, 1980)

dalszych badań wynika z silnej korelacji pomiędzy kolejnymi wartościami uzyskiwanymi w wyniku pomiarów przy zastosowaniu współczesnych, coraz częściej stosowanych wysokogęstościowych technik pomiarowych (rys. 5).

Na wejście układu kwantyzatora podawany jest sygnał będący różnicą sygnału wejściowego i jego aproksymacji wyliczonej przez układ integratora na podstawie poprzedniej wartości sygnału wyjściowego:

$$e_q(i \cdot t_s) = x(i \cdot t_s) - x_q((i-1) \cdot t_s) \quad (1)$$

Wartość przebiegu aproksymującego można wyznaczyć korzystając z następującego wzoru:

$$x_q(i \cdot t_s) = q \cdot \int_0^{i \cdot t_s} y_q(t) dt \quad (2)$$

biorąc pod uwagę, że sygnał $y(t)$ jest przebiegiem prostokątnym operację całkowania można zastąpić operacją sumowania (Haykin, 2000):

$$x_q(i \cdot t_s) = q \cdot \sum_{j=0}^i y_q(j \cdot t_s) \quad (3)$$

Wartość sygnału wyjściowego wynika z zależności:

$$\forall_{0 \leq i < n} y(i \cdot t_s) = \begin{cases} 1 & \text{dla } e_q(i \cdot t_s) \geq 0 \\ 0 & \text{dla } e_q(i \cdot t_s) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Kryteria oceny dokładności dopasowania przebiegu aproksymującego do sygnału wejściowego

Do określenia, jak dokładne jest dopasowanie przebiegu aproksymującego do kształtu dna morskiego wzdłuż profilu pomiarowego może służyć jedno z następujących kryteriów:

○ różnica wartości chwilowych $e_q = h(t) - h_q(t)$ (5)

○ różnica nachyleń krzywych $e_q = \alpha(t) - \alpha_q(t)$ (6)

○ odległości krzywych $e_q = \int_{(i-1)t_s}^{it_s} (h(t) - h_q(t)) dt = \int_{(i-1)t_s}^{it_s} h(t) dt - \int_{(i-1)t_s}^{it_s} h_q(t) dt$ (7)

gdzie:

$\alpha(t)$ – kąt nachylenia stycznej do krzywej przekroju pionowego dna w chwili pomiaru.

Pierwsze kryterium funkcjonuje w oparciu o porównywanie wartości głębokości uzyskanej z pomiaru, z odpowiadającą jej wartością przebiegu aproksymującego. Kryterium to jest powszechnie wykorzystywane w układach elektronicznych działających w oparciu o metodę modulacji delta i sigma-delta (Marven, Ewers, 1999; Wojnar, 1980) (rys. 6).

W drugim kryterium porównywane są nie wartości głębokości, lecz wartość kąta nachylenia stycznej do krzywej (reprezentującej kształt dna wzdłuż profilu pomiarowego) w punkcie odpowiadającym pomiarowi i kącie nachylenia przebiegu aproksymującego (rys. 7).

Trzecie z kryteriów, zaproponowane przez autora w tym zastosowaniu, pozwala na ocenę stopnia dopasowania krzywych nie tylko w punktach pomiarowych, ale również pomiędzy nimi. W tym przypadku porównywaniu podlegają pole powierzchni pomiędzy osią poziomą, reprezentującą zerową wartość głębokości a krzywą kształtu dna morskiego wzdłuż profilu sondażowego, ograniczone prostymi prostopadłymi do osi poziomej, przecinającymi tę oś w sąsiednich punktach pomiarowych (rys. 8).

Kryteria drugie i trzecie są stosowane w ocenie numerycznych modeli rzeźby terenu (Menno-Jan, 1998), nie spotkałem natomiast w literaturze z zakresu elektroniki, by były wykorzystywane w systemach z modulacją delta.

Różnica porównywanych wartości, e_q , podlega następnie kwantowaniu w bloku kwantyzatora. Poniżej przedstawiony zostanie wpływ każdego z trzech kryteriów na wygląd przebiegu aproksymującego na przykładzie metody kwantowania równomiernego.

Kryterium różnicy wartości chwilowych

Dla kryterium opartego o różnicę wartości chwilowych (różnicę pomiędzy głębokością w punkcie pomiarowym, a wartością aproksymowaną), wartości przebiegu aproksymującego, w kolejnych krokach i , otrzymywane są według następującej zależności:

$$\forall_{1 \leq i \leq n} h_q(i \cdot t_s) = \begin{cases} h_q((i-1) \cdot t_s) + q, & \text{dla } h_q((i-1) \cdot t_s) \leq h(i \cdot t_s) \\ h_q((i-1) \cdot t_s) - q, & \text{dla } h_q((i-1) \cdot t_s) > h(i \cdot t_s) \end{cases} \quad (8)$$

a wartość początkowa przebiegu aproksymującego, dla $i=0$, wynosi:

$$h_q(0) = h(0) \quad (9)$$

lub

$$h_q(0) = \text{ent} \left(\frac{h(0)}{q} + \frac{1}{2} \right) \cdot q \quad (10)$$

Przebieg aproksymujący, dla którego $h_q(0)$ wyznaczono zgodnie z wzorem 9 rozpoczyna się od wartości głębokości uzyskanej z pomiaru. W odróżnieniu od niego, przebieg aproksymujący, dla którego $h_q(0)$ określono wzorem 10, który rozpoczyna się od wartości głębokości, będącej wielokrotnością wartości kwantu, najbliższej oryginalnej wartości głębokości przebiegu dna morskiego. Pierwszy sposób wyznaczenia wartości początkowej jest prostszy i bardziej intuicyjny, ale wartości, jakie mogą przybierać głębokości skwantowane zależą nie tylko od wartości kwantu, ale i od wartości pierwszego pomiaru. Również to, czy przebieg aproksymujący może osiągnąć dokładną wartość 0 zależy od wartości pierwszego pomiaru – jest to możliwe tylko w przypadku, gdy wartości obliczone na podstawie wzoru 9 i 10 są identyczne. Stosowanie wzoru 10 jest problematyczne dla metod kwantowania innych niż kwantowanie równomierne.

Rysunek 9 przedstawia działanie układu aproksymującego dla kryterium różnicy wartości chwilowych.

Kryterium różnicy nachyleń krzywych

W tym przypadku kwantowaniu podlega różnica nachyleń gradientu dna morskiego wzdłuż profilu pomiarowego i aproksymacji schodkowej, a wartości przebiegu aproksymującego w kolejnych krokach i określone są zależnością:

$$\nabla_{1 \leq i \leq n} h_q(i \cdot t_s) = \begin{cases} h_q((i-1) \cdot t_s) + q, & \text{dla } \alpha_q((i-1) \cdot t_s) \leq \alpha(i \cdot t_s) \\ h_q((i-1) \cdot t_s) - q, & \text{dla } \alpha_q((i-1) \cdot t_s) > \alpha(i \cdot t_s) \end{cases} \quad (11)$$

a wartość początkowa, $h_q(0)$ wyznaczana jest, jak w poprzednim podpunkcie (rys. 10).

Kryterium odległości krzywych (całkowe)

W przypadku tego kryterium (rys. 11) wielkością podawaną na wejście układu kwantyzatora jest wartość pola powierzchni, w przedziale czasu od $(i-1) \cdot t_s$ do $i \cdot t_s$, pomiędzy przekrojem dna morskiego wzdłuż profilu pomiarowego a krzywą aproksymacji schodkowej. Wartości przebiegu aproksymującego w kolejnych krokach i określone są zależnością:

$$\nabla_{1 \leq i \leq n} h_q(i \cdot t_s) = \begin{cases} h_q((i-1) \cdot t_s) + q, & \text{dla } \int_{(i-1)t_s}^{it_s} (h(t) - h_q(t)) dt \geq 0 \\ h_q((i-1) \cdot t_s) - q, & \text{dla } \int_{(i-1)t_s}^{it_s} (h(t) - h_q(t)) dt < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Podsumowanie

Po wstępnej analizie przedstawionych kryteriów oceny dokładności dopasowania aproksymacji schodkowej do przebiegu wejściowego kontynuowano badania stosując kryterium różnicy wartości chwilowych oraz kryterium odległości krzywych. Kryterium różnicy nachyleń zbroczono ponieważ mogło prowadzić do dużych błędów odtwarzania wartości głębokości, co widać wyraźnie na rysunku 10. Błędy te wystąpią w przypadku błędu nienadążania – zbyt małej szybkości narastania aproksymacji schodkowej w stosunku do przebiegu wejściowego. Po zmniejszeniu się szybkości zmian sygnału wejściowego aproksymacja schodkowa zaczyna również zmieniać się wolniej i nie próbuje osiągnąć poziomu przebiegu wejściowego.

Rysunki 9 i 11, odpowiednio dla kryterium różnicy wartości chwilowych i odległości krzywych, różnią się od siebie nieznacznie, co może wynikać bądź z przypadkowo wybranej krzywej przykładowej, bądź z kształtu przebiegów – oba są krzywymi schodkowymi przesuniętymi względem siebie o 1/2 okresu próbkowania. Dokładniejsze badania pozwolą określić, zastosowanie którego z tych dwóch kryteriów daje lepsze rezultaty.

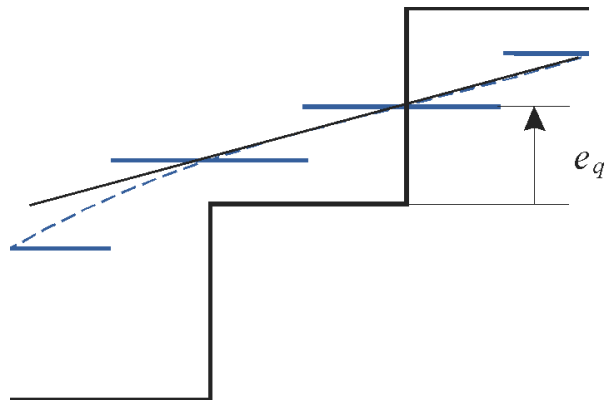
Literatura

- Bowditch N., 1995: The American Practical Navigator. Defense Mapping Agency Hydrographic / Topographic Center, Bethesda, Maryland.
- Gaździcki J., 2001: Leksykon geomatyczny. PTIP, Warszawa.
- Haykin S., 2000: Systemy telekomunikacyjne. WKŁ, Warszawa.
- IHO S-44: Standards for hydrographic surveys – Standardy hydrograficznych prac pomiarowych. IHB, Monako.
- IHO S-57, 2000: Iho transfer standard for digital hydrographic data, ed. 3.1, Part 3 Data Structure – Standard wymiany cyfrowych danych hydrograficznych, wyd. 3.1, część 3 Struktura danych. IHB, Monako 2000.
- Klonowicz Z., Zurzycki Z., 1983: Teoria obwodów. PWN, Warszawa.
- Konsberg Simrad: EM 3000 Product description.
- Kozak M., Stateczny A., 2006.: Budowa numerycznego modelu rzeźby terenu toru wodnego metodą opartą na przekrojach. *Zeszyty naukowe* nr 11 (83) Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin.
- Magnuszewski A., 1999: GIS w geografii fizycznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Maleika W., 2006: Problem efektu stykowego w kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego. *Zeszyty naukowe* nr 11 (83) Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin.
- Marven C., Ewers G., 1999: Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów. WKŁ, Warszawa.
- Menno-Jan K., Ferjan O., 1998: Kartografia. Wizualizacja danych przestrzennych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ogrodniczak J., 2005: Systemy przetwarzania danych batymetrycznych z wykorzystaniem modulacji sigma-delta. Prace naukowe Politechniki Radomskiej, *Elektryka* 1 (9) 2005, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom.
- Oppenheim A.V., 1982: Sygnały cyfrowe. WNT, Warszawa.
- Reson: SeaBat 7125 Product description.
- Reson: SeaBat 8128 Product Specification.
- Wojnar A., 1980: Teoria sygnałów. WNT, Warszawa.

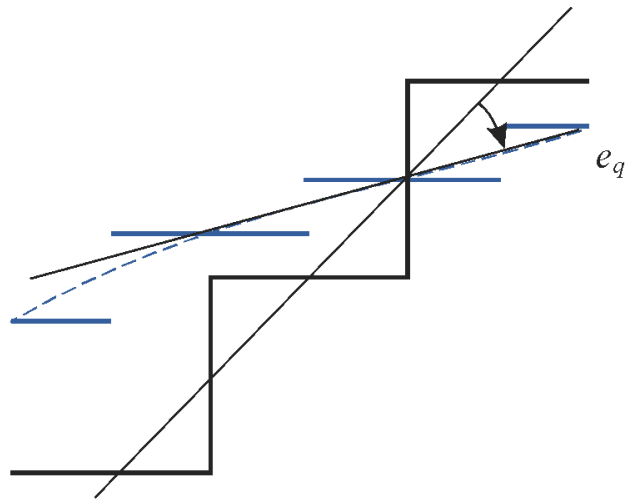
Summary

The possibilities to use delta modulation based incremental methods in the bathymetric data processing are described in this paper. The bathymetric data is a geo-referenced depth data. The depth measurement is made in fixed time intervals so it could be assumed that it is a kind of a signal. Contemporary survey systems provide users with huge amount of data. In the paper it is decided to incorporate the delta modulation into the bathymetric data processing as a method of reducing the amount of the bathymetric data to be transmitted or stored. The delta modulation is a technique taken from signal processing. It is usually used to process electric signals so comparison of voltage levels at the sampling time is the criterion. When considering series of the bathymetric data as a signal, some of the ideas from terrain modeling were adapted to the delta modulation based system. Hence, additional two criteria are taken: a difference between the slope of approximation and the slope of the sea bottom shape and the distance between curves represented by the approximation and the sea bottom shape.

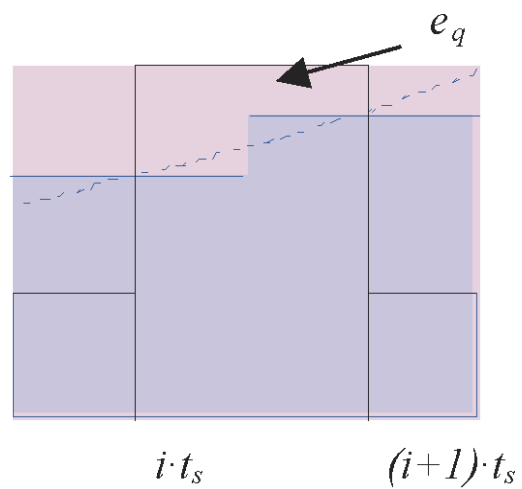
mgr inż. Janusz Ogrodniczak
j.ogrodniczak@amw.gdynia.pl



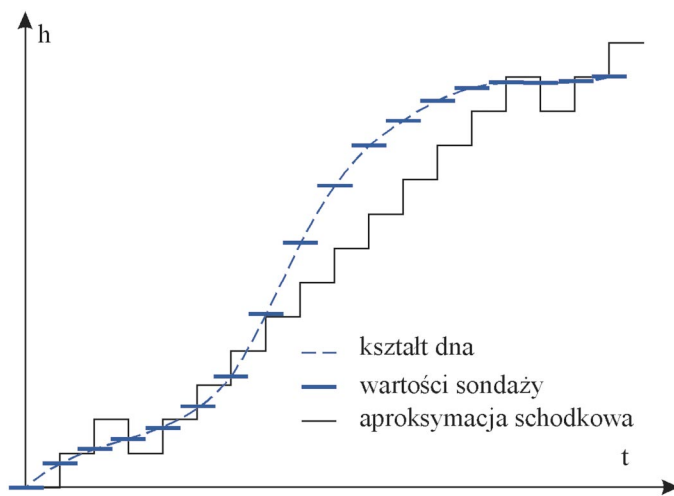
Rys. 6. Wyznaczenie wartości e_q dla kryterium różnicy wartości chwilowych



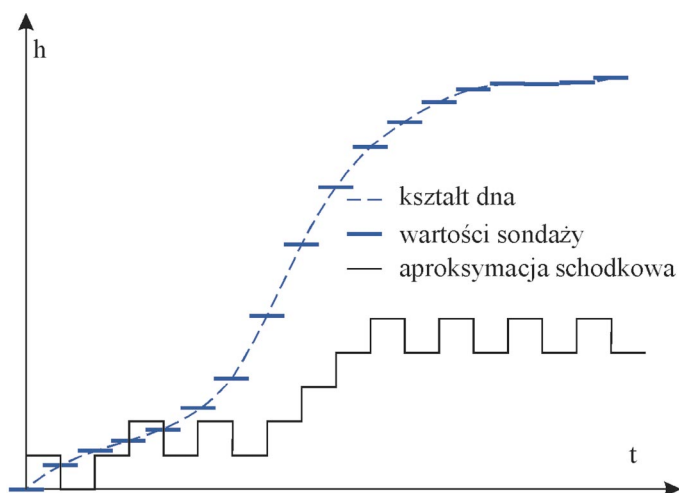
Rys. 7. Wyznaczenie wartości e_q dla kryterium różnicy nachyleń krzywych



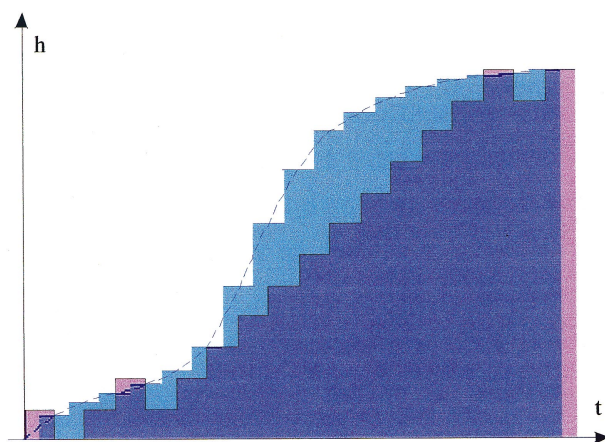
Rys. 8. Wyznaczenie wartości e_q dla kryterium odległości krzywych



Rys. 9. Aproksymacja schodkowa przebiegu wejściowego uzyskana w oparciu o kryterium różnic wartości chwilowych



Rys. 10. Aproksymacja schodkowa przebiegu wejściowego uzyskana w oparciu o kryterium różnic nachyleń krzywych



- - kształt dna, h
 — wartości sondaży, h_s
 — aproksymacja schodkowa, h_q
 ■ pole powierzchni pod aproksymacją schodkową
 ■ pole powierzchni pod krzywą pomiarową

Rys. 11. Aproksymacja schodkowa przebiegu wejściowego uzyskana w oparciu o kryterium odległości krzywych