



Grey Scale #13



DANES PICTA .COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

JAWNE

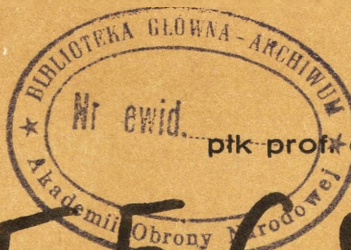
Egz. Nr.....



PLANOWANIE SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI
RADIOLINIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM
KOMPUTEROWEJ MAPY TERNU
Z JEDNOCZESNYM PRZYDZIAŁEM
CZĘSTOTLIWOŚCI I POZOSTAŁYCH DANYCH
RADIOLINIOWYCH

Kryptonim problemu SIGMA-1

METODA TWORZENIA CYFROWEJ MAPY WYSOKOŚCI
(Etap prac przygotowawczych)



Nr ewid.

Kierownik problemu
ptk. prof. dr hab. Władysław FILAR

55681

WARSZAWA 1986





**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

JAWNE

Egz. Nr.....



PLANOWANIE SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI
RADIOLINIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM
KOMPUTEROWEJ MAPY TERNU
Z JEDNOCZESNYM PRZYDZIAŁEM
CZĘSTOTLIWOŚCI I POZOSTAŁYCH DANYCH
RADIOLINIOWYCH

Kryptonim problemu SIGMA-1

METODA TWORZENIA CYFROWEJ MAPY WYSOKOŚCI
(Etap prac przygotowawczych)

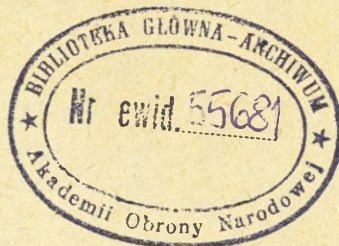


Kierownik problemu
ptk-prof dr hab. Władysław FILAR

55681

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP
im. gen. broni Karola Świerczewskiego

INSTYTUT BADAŃ STRATEGICZNO OBRONNYCH



JAWNE



PLANOWANIE SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI RADIOLINIOWEJ
Z WYKORZYSTANIEM KOMPJUTEROWEJ MAPY TERENU
Z JEDNOCZESTNYM PRZYDZIAŁEM CZĘSTOTLIWOŚCI
I POZOSTAŁYCH DANYCH RADIOLINIOWYCH

Kryptonim problemu SIGMA-1

METODA TWORZENIA CYFROWEJ MAPY WYSOKOŚCI

/ etap prac przygotowawczych /

KIEROWNIK PROBLEMU

płk prof. dr hab. Władysław FILAR

Archiwum - JAWNE
23.01.2003 Jan Koliński

WYDZIAŁ
ZESPÓŁ AUTORSKI

1. dr inż. Wiktor SĘGA

2. dr inż. Wiesław WASZKIS

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE.....	2
2. NUMERYCZNY MODEL TERENU.....	3
3. CYFROWA MAPA POZIOMICOWA.....	6
3.1. Własności mapy poziomicowej.....	6
3.2. Numeryczne przedstawienie mapy poziomicowej.....	7
3.3. Wyszukiwanie informacji z cyfrowej mapy poziomicowej..	11
3.3.1. Sprawdzenie przynależności punktu do obszaru ograniczonego poziomicą.....	11
3.3.2. Obliczenie minimalnej odległości punktu od konturu.....	13
3.3.3. Obliczenie wysokości w punkcie o zadanych współrzędnych.....	13
3.3.4. Wyznaczenie poziomic sąsiednich do punktu.....	14
3.3.5. Wyznaczenie profilu wysokościowego na określo- nej trasie.....	19
3.4. Dokładność określenia wysokości i wyznaczenie skoku siatki.....	20
4. CYFROWA MAPA OPARTA NA SIATCE PROSTOKĄTNEJ DLA TERYTORIUM PRL (opracowana dla celów analizy systemów radiowych).....	23
4.1. Odczytywanie informacji z map źródłowych.....	23
4.2. Kontrola danych.....	26
4.3. Sposób zapisania cyfrowej mapy w pamięci komputera....	26
4.3.1. Struktura zbiorów cyfrowej mapy wysokości dla Polski południowej.....	28
4.3.2. Sposób zapisu mapy dla całego terytorium Polski.....	33
5. DOKŁADNOŚĆ CYFROWEJ MAPY WYSOKOŚCI.....	34
6. PODSUMOWANIE ORAZ PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ ZAGRANICZNYCH.....	56
7. LITERATURA.....	59

1. WPROWADZENIE

Celem niniejszego opracowania jest krytyczne omówienie podstawowych technik tworzenia cyfrowej mapy wysokości z punktu widzenia zastosowania jej w analizach związanych z systemami radiowymi. Z tego względu szczególną uwagę zwrócono na sprawy kodowania danych, ich dokładności, metod wyszukiwania itp., nie wglębiając się w szczegóły związane z rejestracją danych, które można znaleźć między innymi w opracowaniach Centrum Informatycznego Geodezji i Kartografii [1], oraz innej literaturze [2,3].

Dane topograficzne odgrywają istotną rolę w wielu dziedzinach, przy czym sposób ich wykorzystania jest różny w zależności od celów, którym służą. Najbardziej powszechnym źródłem informacji o terenie są mapy. Często jednak zachodzi potrzeba przetworzenia informacji zawartej w mapie do innej postaci np. określenie ciągu wysokości wzdłuż określonej trasy, wyznaczenie obszarów widocznych z danego punktu itp. Bezpośrednie wykorzystanie map topograficznych do dalszego przetwarzania jest pracochłonne ponieważ wymaga odczytywania dużych ilości informacji. Jeśli operacje takie wykorzystuje się wielokrotnie (np. wyznaczenie profili terenu w analizie systemów radiokomunikacyjnych) celowe jest jednorazowe przetworzenie danych topograficznych na postać cyfrową i wykorzystanie komputera do ich dalszej analizy. Prace tego typu zostały wykonane w wielu dziedzinach i w różnym zakresie. Dane topograficzne w formie cyfrowej nazywa się mapą cyfrową, a informacja o ich strukturze oraz algorytmy przetwarzania i wyniki numerycznym modelem terenu.

W dalszych częściach opracowania omówiono w punkcie 2 numeryczny model terenu, w punkcie 3 i 4 dwie alternatywne koncepcje tworzenia cyfrowej mapy wysokości, w punkcie 5 analizę dokład-

ności odwzorowania mapy za pomocą danych cyfrowych i w punkcie 6 podsumowanie oraz przegląd map cyfrowych wykonanych w innych krajach do celów analiz systemów radiowych.

2. NUMERYCZNY MODEL TERENU

Numeryczny model terenu może być zdefiniowany jako zbiór danych cyfrowych, umożliwiających uzyskiwanie według ściśle ustalonych algorytmów informacji o kształcie i położeniu powierzchni terenowej na określonym obszarze [2]. Danymi numerycznymi mogą być:

- 1) współrzędne x, y, h pojedynczych punktów terenowych,
- 2) dane opisujące przebieg określonych linii terenowych, np. warstwic, przekrojów terenowych itp.,
- 3) dane opisujące kształt określonych fragmentów powierzchni terenowej, np. współczynniki płaszczyzn aproksymujących lokalnie powierzchnię terenową.

Przy zastosowaniu numerycznego modelu terenu rozwiązywane są między innymi następujące zadania:

- 1) obliczanie wysokości h_i punktu terenowego P_i o zadanych współrzędnych x_i, y_i ,
- 2) obliczanie przekroju terenu wzdłuż zadanej trasy,
- 3) obliczanie i kreślenie warstwic.

Podstawowe znaczenie ma pierwsze z tych zadań, polegające na obliczaniu wysokości punktów terenowych. Wysokość h_i obliczona na podstawie modelu różni się na ogół od rzeczywistej wysokości terenowej H_i . Różnica tych wysokości

$$e_i = H_i - h_i$$

jest błędem modelu w punkcie P_i .

Dla oceny dokładności modelu można stosować różne miary, jednak najbardziej przyjęty jest błąd średniokwadratowy

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 / n}$$

przy czym punkty P_i powinny być wybrane przypadkowo w obszarze, którego powierzchnia terenowa jest aproksymowana przez model. Przy opracowaniu numerycznych modeli terenu dąży się do minimalizacji błędu δ starając się jednocześnie, aby czas obliczenia wysokości h_i dowolnego punktu był możliwie krótki, a liczba danych wykorzystywanych dla utworzenia modelu możliwie mała. Tendencje te są wzajemnie przeciwstawne: dokładność modelu jest z reguły tym większa im więcej wykorzystuje się danych o terenie oraz im lepsze i wierniej opisujące powierzchnię terenową, a zatem bardziej skomplikowane są algorytmy przetwarzania tych danych. W praktyce poszukuje się zwykle rozwiązania kompromisowego, zapewniającego otrzymanie dokładności odpowiadającej określonym celom tworzenia modelu przy utrzymaniu kosztów ogólnych, obejmujących:

- jednorazowy koszt pomiaru i numerycznego opracowania danych,
- wielokrotne koszty wykorzystania modelu do celów użytkowych (czas obliczeń),

na zadanym poziomie.

Należy zwrócić uwagę na bardzo silną zależność kosztów od dokładności odwzorowania terenu przez model numeryczny. Dlatego już na wstępie wymagana, dla celów pracy, dokładność odwzorowania terenu powinna być ściśle określona. W opisanym dalej cyfrowym modelu terenu do analizy systemów radiodifuzyjnych przyjęto, że dokładność wyznaczania wysokości z danych cyfrowych nie powinna być gorsza od dokładności ręcznego wyznaczania tych danych przez operatora z mapy w skali 1:100000. Przyjęto bowiem, że mapa w tej

skali jest wystarczającym źródłem danych terenowych w przypadku analizy systemów radiodifuzyjnych. W oparciu o powyższe założenie określono, że błąd średniokwadratowy nie powinien przekraczać podstawowego cięcia poziomicowego na mapie 1:100000 t.j. 5m w terenach nizinnych, 10m w terenach pofałdowanych i 20m w terenach górskich.

Dane cyfrowe modelu uzyskuje się na podstawie:

- pomiarów terenowych,
- opracowań fotogrametrycznych,
- digitalizacji map warstwicowych.

Zaletą pomiarów terenowych jest możliwość uzyskiwania stosunkowo wysokiej dokładności, natomiast wadą znaczna pracochłonność, zwłaszcza jeśli stosuje się tradycyjne instrumenty pomiarowe.

Tworzenie modelu terenu na drodze fotogrametrycznej jest celowe w przypadku dysponowania zdjęciami lotniczymi o odpowiedniej skali zapewniającymi pokrycie całego rozważanego obszaru. Dane numeryczne rejestruje się zarówno w postaci współrzędnych x, y, h pojedynczych punktów terenowych, jak też w postaci zbiorów współrzędnych opisujących przebieg warstwic, przekrojów, lub linii charakteryzujących naturalne i sztuczne formy terenowe.

Najtańszym, aczkolwiek najmniej dokładnym (choć często wystarczającym) źródłem danych dla numerycznych modeli terenu są mapy warstwicowe. Stosuje się dwa zasadnicze sposoby digitalizacji map:

- rejestracja pojedynczych punktów, rozmieszczonych nieregularnie bądź w węzłach określonej siatki,
- rejestracja linii warstwicowych.

Wybór sposobu digitalizacji zależy głównie od dostępności sprzętu specjalistycznego, odpowiednich map, oraz kwalifikacji personelu.

Wszystkie dane źródłowe, niezależnie od technologii ich uzys-

kiwania muszą być poddane procesom wstępnego przetworzenia, obejmującym:

- 1) kontrole danych, wynikające ze struktury zapisu, metody pomiaru, odczytu, itp.,
- 2) transformacje współrzędnych na układ modelu numerycznego,
- 3) porządkowanie współrzędnych modelu w sposób ułatwiający i przyspieszający ich wyszukiwanie w dalszych procesach obliczeniowych.

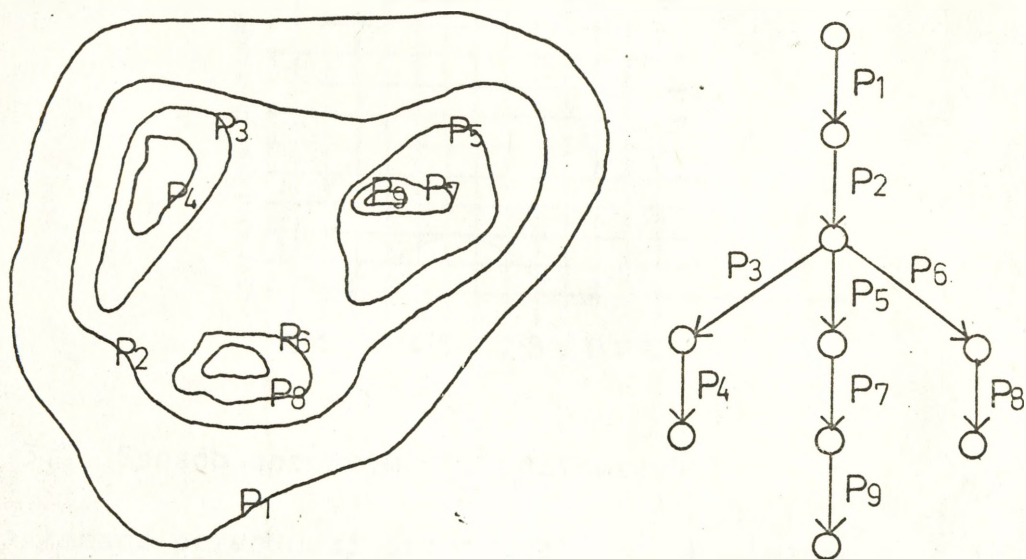
W dalszej części opracowania (punkt 3 i punkt 4) przedstawiono dwie metody tworzenia numerycznego modelu terenu w oparciu o mapy warstwiczne: metodę digitalizacji warstwic oraz metodę rejestracji pojedynczych punktów rozmieszczonych regularnie i nieregularnie.

3. CYFROWA MAPA POZIOMICOWA [4,5]

3.1. Własności mapy poziomicowej

Mapa poziomicowa jest graficznym przedstawieniem wysokości terenu w funkcji współrzędnych geograficznych. Funkcja wysokości jest jednowartościowa (nie uwzględnia pionowych ścian i nawisów), ciągła i ograniczona. Niech x i y będą współrzędnymi geograficznymi (szerokość i długość). Zakres zmienności $x \in X$ i $y \in Y$ określa pewien obszar geograficzny. Niech $H=f(x,y)$ będzie funkcją wysokości, a H_{\min} i H_{\max} będą najmniejszą i największą wysokością w tym obszarze. Można wybrać pewien dyskretny zbiór wysokości $\{H_i\}$ ($i=1,2,3,\dots,n$), przy czym $H_{\min} < H_1 < H_2 < H_3 < \dots < H_n < H_{\max}$. Wykresem funkcji $H_i=f(x,y)$ jest poziomicą odpowiadająca wysokości H_i . Jest to linia zamknięta rozgraniczająca punkty o wyso-

kości większej od H_i od punktów o wysokości mniejszej od H_i .
Jeśli linia ta przecina się z granicami mapy przyjmuje się, że zamyka się ona poza obszarem objętym mapą. Mapa poziomicowa jest zbiorem poziomic o wartościach $\{H_i\}$ ($i=1,2,3,\dots,n$). Mapie poziomicowej można przyporządkować graf, którego węzły odpowiadają obszarowi mapy zawartemu wewnątrz danej poziomicy, a gałęzie - linii konturowej ograniczającej obszar. Gałęzie grafu są skierowane do węzłów odpowiadających obszarom leżącym wewnątrz danej poziomicy. Przykład mapy poziomicowej i odpowiadający jej graf przedstawiono na rysunku 3.1.



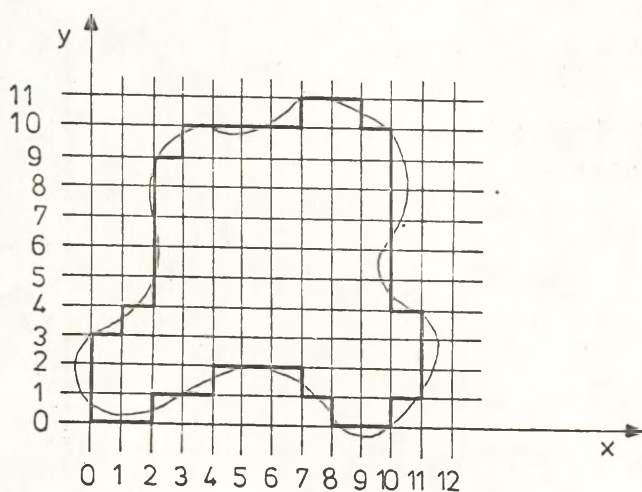
Rys. 3.1. Przykład opisu struktury mapy poziomicowej za pomocą grafu

Graf ten ma zawsze formę drzewa, ponieważ do każdego węzła może dochodzić tylko jedna gałąź, jakkolwiek z węzła może wychodzić dowolna liczba gałęzi.

3.2. Numeryczne przedstawienie mapy poziomicowej

Wykorzystując opisane własności mapy poziomicowej można stworzyć numeryczną mapę, która pozwala na łatwe i szybkie wyszu-

kanie informacji o wysokości terenu. W tym celu zapisuje się poziomice w postaci dyskretnego zbioru współrzędnych określających jej kształt i położenie. Zbiór ten tworzy się w następujący sposób. Na mapę obszaru nakłada się siatkę południkowo-równoleżnikową o skoku wynikającym z żądanej dokładności aproksymacji poziomicy. Poziomicę aproksymuje się najbliższą linią łamaną przechodzącą przez węzły siatki. Sposób aproksymacji przedstawiony jest na rysunku 3.2.

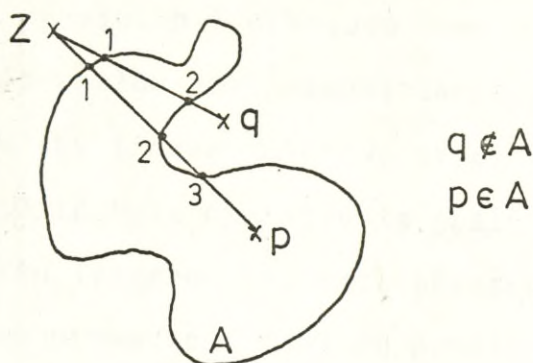


Rys. 3.2. Sposób aproksymacji poziomicy

Linia łamana przechodzi przez węzły siatki leżące najbliżej poziomicy. Linia ta jest zapisana w sposób umożliwiający łatwe wyszukanie informacji o przynależności określonego punktu do obszaru ograniczonego poziomicy. Dla sprawdzenia czy dany punkt leży wewnątrz obszaru ograniczonego zamkniętą linią ciągłą wykorzystuje się następujące twierdzenie topologiczne:

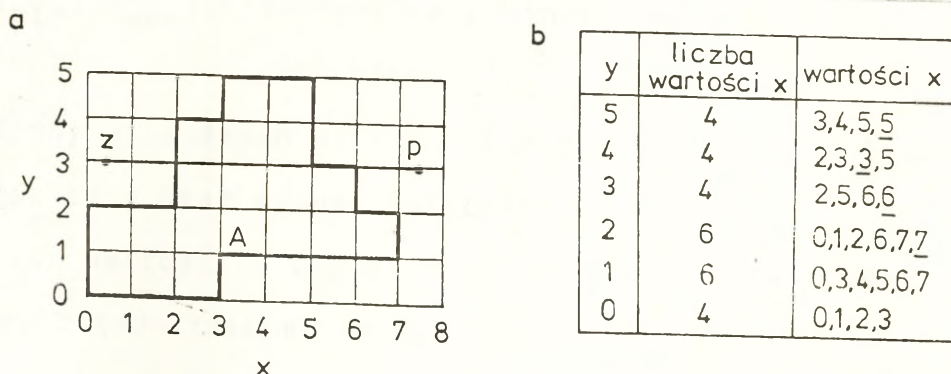
Jeśli linia testowa przeprowadzona z punktu leżącego na zewnątrz badanego obszaru A do zadanego punktu p przecina linię ograniczającą obszar A nieparzystą liczbę razy to punkt p leży wewnątrz obszaru A ($p \in A$), w przeciwnym przypadku punkt p leży poza obszarem A .

Twierdzenie to jest słuszne jeśli kontur ograniczający rozpatrywany obszar jest krzywą gładką (rys. 3.3).



Rys. 3.3. Ilustracja twierdzenia o przynależności punktu do obszaru

Jeśli ograniczenie obszaru stanowi linia łamana, zapisana w postaci zbioru węzłów, to omawiane twierdzenie nie jest zawsze słuszne (rys. 3.4). Jeśli jako punkty przecięcia przyjąć punkty



Rys. 3.4. Ilustracja twierdzenia o przynależności punktu do obszaru ograniczonego linią łamaną (linia testowa z-p przechodzi przez trzy punkty węzłowe należące do konturu lecz punkt p nie należy do obszaru A)

węzłowe należące jednocześnie do konturu i do linii testowej, to linia z-p na rys. 3.4 przechodzi przez trzy punkty węzłowe należące do konturu 1, mimo że punkt p nie należy do obszaru A.

Aby zachować słuszność podanego twierdzenia współrzędne konturu zapisuje się w następujący sposób:

1. Kolejne punkty węzłowe linii łamanej są odległe od siebie dokładnie o jeden skok siatki.
2. Linia testowa jest pozioma.
3. W lokalnych maksimach i minimach oraz w punktach przegięcia krzywej zbiór węzłów jest uzupełniany (jeśli jest to potrzebne), tak aby liczba punktów, przez które linia testowa może przechodzić była nieparzysta jeśli linia prowadzona jest do punktu leżącego wewnątrz obszaru lub parzysta jeśli linia testowa prowadzona jest do punktu leżącego poza obszarem.

Przykładowy zbiór węzłów dla konturu jest przedstawiony w postaci tabeli na rys. 3.4b. Uzupełnienie polega na powtórzeniu współrzędnej x dla charakterystycznego węzła.

Informację dotyczącą jednej poziomicy zapisuje się w jednym rekordzie. Rekord ten zawiera trzy następujące pola:

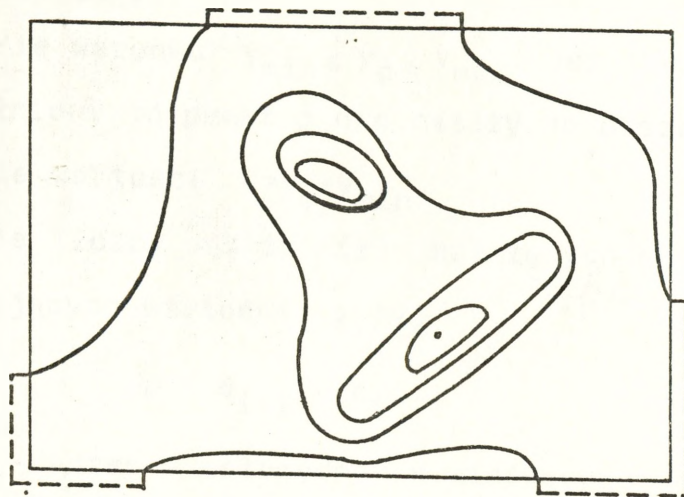
1. (y_{\min}, y_{\max}) - maksymalna i minimalna współrzędna szerokości geograficznej.
2. Adresy pierwszych wartości x odpowiadających kolejnym wartościom y oraz adres następnego rekordu.
3. Zbiór wartości x odpowiadających kolejnym wartościom y .

Poziomicy przedstawionej na rys. 3.4 odpowiada następujący rekord:

(0,5); (10,14,20,26,30,34,38); (0,1,2,3,0,3,4,5,6,7,0,1,2,6,7,7,2,5,6,6,2,3,3,5,3,4,5,5).

Zbiór rekordów odpowiadających poziomicom leżącym na danym obszarze sätnowi mapę numeryczną tego obszaru.

W podanej metodzie zakłada się, że wszystkie poziomice są liniami zamkniętymi, jednak na mapie ograniczonego obszaru część poziomicy przecina granice obszaru. Aby spełnić powyższy warunek należy linie te zamknąć poza granicami obszaru, jak pokazano na rysunku 3.5.



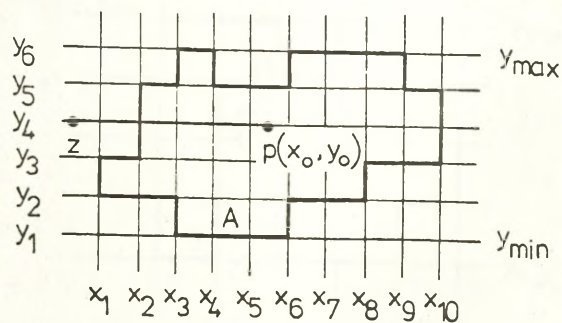
Rys. 3.5. Zamknięcie konturów poza granicami obszaru (linia kreskowa)

3.3. Wyszukiwanie informacji z cyfrowej mapy poziomicowej

3.3.1. Sprawdzenie przynależności punktu do obszaru ograniczonego poziomicą

Przyjmuje się, że linia testowa z-p jest pozioma i przechodzi przez węzły siatki. Można wyróżnić dwa przypadki.

1. Punkt $p(x_0, y_0)$ leży na jednej z linii poziomych tworzących siatkę.



Rys. 3.6. Ilustracja przypadku, gdy punkt $p(x_0, y_0)$ leży na jednej z linii poziomych siatki

W tym przypadku algorytm określenia przynależności punktu do obszaru jest następujący:

- a) Sprawdzenie warunku $y_{\min} \leq y_0 \leq y_{\max}$. Jeśli warunek ten nie jest spełniony to punkt p nie należy do obszaru A .
- b) Obliczenie wartości $i = y_0 - y_{\min}$.
- c) Obliczenie liczby węzłów (r) należących do konturu 1, odpowiadających wartości $y_i = y_0$

$$r = d_{i+1} - d_i, \quad (3-1)$$

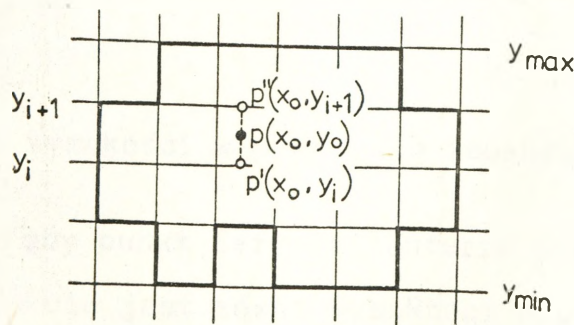
przy czym:

d_i - adres współrzędnej x pierwszego węzła odpowiadającego wartości y_i ,

d_{i+1} - adres współrzędnej x pierwszego węzła odpowiadającego wartości y_{i+1} .

- d) Porównanie wartości x_0 z kolejnymi współrzędnymi węzłów x_j ($j=1,2,3,\dots,r$), odpowiadającymi wartości y_i . Punkt $p(x_0, y_0)$ należy do obszaru A , jeśli można znaleźć taką parę współrzędnych x_j, x_{j+2} , które spełniają następujący warunek: $x_{2k-1} \leq x_0 \leq x_{2k}$ ($k=1,2,3,\dots,r/2$). Odpowiada to nieparzystej liczbie przecięć linii testowej $z-p$ z konturem 1.

2. Punkt $p(x_0, y_0)$ nie leży na żadnej z linii poziomych tworzących siatkę.



Rys. 3.7. Ilustracja przypadku gdy punkt $p(x_0, y_0)$ nie leży na żadnej z linii poziomych siatki

Przynależność punktu $p(x_0, y_0)$ do obszaru A można określić przez sprawdzenie przynależności do obszaru A punktów $p'(x_0, y_i)$ oraz $p''(x_0, y_{i+1})$ leżących na najbliższych punktowi $p(x_0, y_0)$ liniach poziomych należących do siatki i mających tę samą co punkt p współrzędną x_0 . Punkt $p(x_0, y_0)$ należy do obszaru A wtedy i tylko gdy oba punkty p' i p'' należą do obszaru A.

3.3.2. Obliczanie minimalnej odległości punktu od konturu

Przez odległość punktu od konturu rozumie się odległość tego punktu od najbliższego węzła siatki należącego do tego konturu. Aby obliczyć tę odległość znajduje się najpierw współrzędną y obszaru A najbliższą współrzędnej y_0 punktu. Następnie w zbiorze współrzędnych x odpowiadającym wyszukanej współrzędnej y znajduje się współrzędną x o wartości najbliższej współrzędnej x_0 punktu i oblicza się odległość punktu od wyszukanego węzła. Następne sprawdzenia ogranicza się do węzłów konturu, których współrzędne są mniejsze od obliczonej odległości. Kolejno oblicza się odległości punktu od węzłów konturu eliminując te węzły, których współrzędne y są większe (lub równe) od najmniejszej odległości poprzednio obliczonej. Znaleziona odległość jest odległością punktu od konturu.

3.3.3. Obliczenie wysokości w punkcie o zadanych współrzędnych

W przypadku, gdy punkt leży na konturze przyjmuje się, że wysokość w tym punkcie jest równa wysokości odpowiadającej poziomicy. Jeśli punkt znajduje się pomiędzy poziomiami wysokość w punkcie oblicza się stosując liniową interpolację wysokości pozio-

mic, pomiędzy którymi leży punkt. Wysokość w punkcie $p(x_0, y_0)$ oblicza się z następującej zależności:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{H_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i}} \quad (3-2)$$

przy czym:

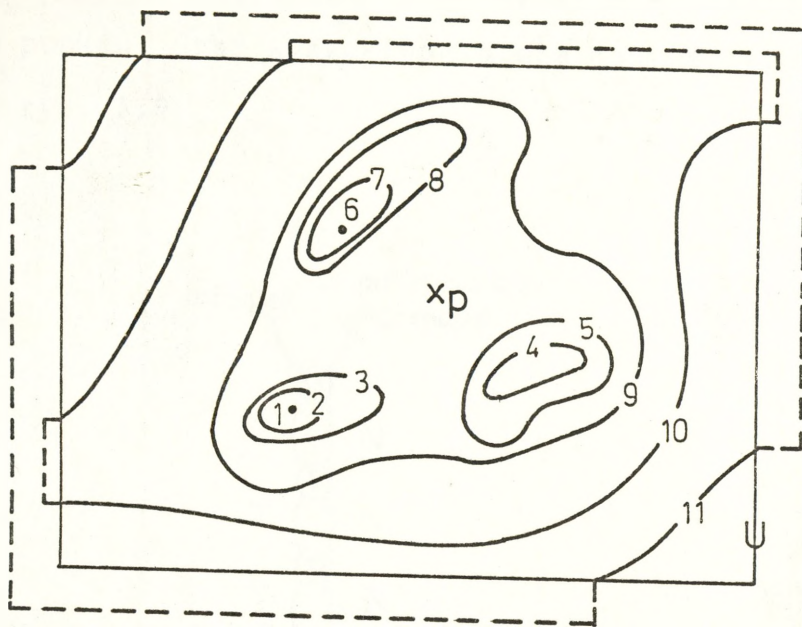
- N - liczba poziomicy, między którymi leży punkt,
- d_i - minimalna odległość punktu od i -tej poziomicy,
- H_i - wysokość przyporządkowana i -tej poziomicy.

3.3.4. Wyznaczenie poziomicy sąsiednich do punktu

Poziomicą sąsiednią do punktu nazywa się taką poziomice, którą można połączyć z punktem linią nieprzecinającą innych poziomicy. Pierwszym krokiem przy wyznaczaniu poziomicy sąsiednich do punktu jest zakodowanie wzajemnego położenia poziomicy na mapie. W tym celu wybiera się wartości ekstremalne poziomicy (lokalne ekstrema wysokości) i linie otaczające te ekstrema grupuje się w uporządkowane podzbiory. Sekwencja tych podzbiorów tworzy zbiór nazywany sekwencją kodującą, który opisuje wzajemne położenie poziomicy. Mapie przedstawionej na rysunku 3.8. odpowiada następująca sekwencja kodująca:

$$C = (\emptyset, 1, 2, 3, 9, \emptyset, 4, 5, \underline{9}, \emptyset, 6, 7, 8, \underline{9}, 10, 11, U),$$

przy czym \emptyset oznacza kontur zerowy, który odpowiada lokalnemu ekstremum, a U oznacza granice mapy.

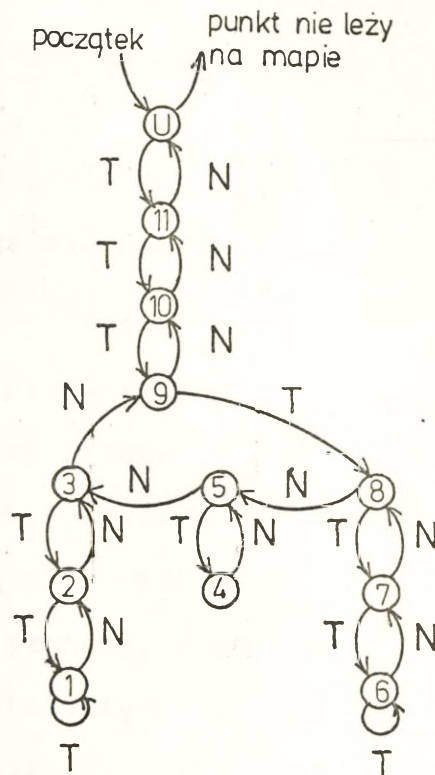


Rys. 3.8. Przykład mapy poziomicowej

Sekwencję kodującą wyznacza się iteracyjnie za pomocą następującego algorytmu:

1. Wybór pierwszego ekstremum (arbitralnie).
2. Wprowadzenie \emptyset i konturu najbliższego ekstremum.
2. Wprowadzenie kolejnego otaczającego konturu.
4. Sprawdzenie czy kontur był poprzednio wprowadzony. Jeśli tak, zaznacza się to przez podkreślenie.
5. Sprawdzenie czy kontur zawiera ekstremum, które nie było jeszcze wprowadzone. Jeśli tak to należy powrócić do punktu 2, jeśli nie to należy przejść do punktu 6.
6. Sprawdzenie czy istnieje kontur otaczający. Jeśli tak, to należy powrócić do punktu 3, jeśli nie to przejść do punktu 7.
7. Wprowadzenie U i sprawdzenie czy istnieje ekstremum dotychczas nie wprowadzone. Jeśli tak, to należy powrócić do punktu 2, jeśli nie to proces jest zakończony.

Następnym krokiem po wyznaczeniu sekwencji kodującej jest zbudowanie "grafu wyszukiwania", który służy do wyszukiwania informacji o położeniu punktu. Graf wyszukiwania dla mapy z rys. 3.8 przedstawiono na rys. 3.9.



Rys. 3.9. Graf wyszukiwania dla mapy z rysunku 3.8

Węzły grafu wyszukiwania odpowiadają obszarom ograniczonym odpowiednimi poziomiami. Przejścia między węzłami grafu przyjmują jedną z dwóch wartości T (oznacza TAK) lub N (oznacza NIE). Wartość T przyjmuje się w przypadku, gdy punkt leży wewnątrz obszaru ograniczonego daną poziomcią, a wartość N w przypadku przeciwnym. Wartości przejść między węzłami grafu wyznacza się na podstawie sekwencji kodującej. W celu wyznaczenia przejść stosuje się następującą procedurę:

Niech $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_m\}$ będzie sekwencją kodującą. Niech

$S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$ będzie zbiorem węzłów grafu, przy czym $S_{\sigma(i)}$ jest węzłem, który odpowiada elementowi C_i sekwencji kodującej. Jeśli C_i odpowiada konturowi, który był już poprzednio wprowadzony do sekwencji kodującej, to C_i jest ekwiwalentny do tego konturu, ponieważ reprezentuje ten sam węzeł grafu. Algorytm wyznaczania wartości przejść jest następujący:

1. Sprawdzenie pary konturów C_i, C_{i+1} dla wyznaczenia przejść między nimi.

a) Jeśli $C_i = \emptyset$ przyporządkowuje się przejście T węzłowi $S_{\sigma(i)}$ co zapisuje się następująco:

$$S_{\sigma(i+1)} \stackrel{I}{=} S_{\sigma(i)} \quad (3-3)$$

Następnie przechodzi się do punktu 2.

b) Jeśli $C_{i+1} = \emptyset$ przechodzi się do punktu 2.

c) Jeśli C_i, C_{i+1} były już poprzednio sprawdzone, to przechodzi się do punktu 2.

d) Jeśli nie zachodzi żaden z przypadków a), b) lub c), to bada się elementy sekwencji kodującej $C_{i+1}, C_{i+2}, \dots, C_m$ i tworzy się zbiór elementów ekwiwalentnych do C_{i+1} .

Niech zbiór ten będzie następujący $\{C_{1_1}, C_{1_2}, \dots, C_{1_p}\}$.

Tworzy się sekwencję węzłów o wskaźnikach $r_i = \sigma(1_i - 1)$, $1 \leq i \leq p$ i przyporządkowuje się przejścia w następujący sposób:

$$S_{\sigma(i+1)} \stackrel{I}{=} S_{r_p} \stackrel{N}{=} S_{r_{p-1}} \stackrel{N}{=} \dots \stackrel{N}{=} S_{r_1} \stackrel{N}{=} S_{\sigma(i)} \stackrel{N}{=} S_{\sigma(i+1)} \quad (3-4)$$

Następnie przechodzi się do punktu 2.

2. Jeśli istnieje element zbioru C, który nie był jeszcze sprawdzany to należy powrócić do punktu 1, jeśli nie to przyporządkowuje się przejście N węzłowi U.

Dla mapy przedstawionej na rys. 3.8. i odpowiadającej jej sek-

wencji kodującej:

$$C = (\emptyset, 1, 2, 3, 9, \emptyset, 4, 5, \underline{9}, \emptyset, 6, 7, 8, \underline{9}, 10, 11, U)$$

można wyznaczyć wartości przejść między węzłami grafu z rys. 3.9 w sposób przedstawiony w tabeli 3.1.

Tabela 3.1

Wyznaczenie wartości przejść

C_i	C_{i+1}	Przyporządkowanie wartości przejść	Uwagi
\emptyset	1	$S_1 \overset{I}{\rightarrow} S_1$	$C_i = \emptyset$
1	2	$S_2 \overset{I}{\rightarrow} S_1 \overset{N}{\rightarrow} S_2$	nie ma ekwiwalentnych
2	3	$S_3 \overset{I}{\rightarrow} S_2 \overset{N}{\rightarrow} S_3$	nie ma ekwiwalentnych
3	9	$S_9 \overset{I}{\rightarrow} S_8 \overset{N}{\rightarrow} S_5 \overset{N}{\rightarrow} S_3 \overset{N}{\rightarrow} S_9$	$p=2, l_1=9, l_2=14, \sigma(8)=5, \sigma(13)=8$
9	\emptyset	-	$C_{i+1} = \emptyset$
\emptyset	4	$S_4 \overset{I}{\rightarrow} S_4$	$C_i = \emptyset$
4	5	$S_5 \overset{I}{\rightarrow} S_4 \overset{N}{\rightarrow} S_5$	nie ma ekwiwalentnych C_5 było już
5	<u>9</u>	-	5,9 były już sprawdzone
<u>9</u>	\emptyset	-	$C_{i+1} = \emptyset$
\emptyset	6	$S_6 \overset{I}{\rightarrow} S_6$	$C_i = \emptyset$
6	7	$S_7 \overset{I}{\rightarrow} S_6 \overset{N}{\rightarrow} S_7$	C_6 było już
7	8	$S_8 \overset{I}{\rightarrow} S_7 \overset{N}{\rightarrow} S_8$	C_7 było już
8	<u>9</u>	-	8,9 były już sprawdzone
<u>9</u>	10	$S_{10} \overset{I}{\rightarrow} S_9 \overset{N}{\rightarrow} S_{10}$	C_9 było już
10	11	$S_{11} \overset{I}{\rightarrow} S_{10} \overset{N}{\rightarrow} S_{10}$	C_{10} było już
11	U	$S_U \overset{I}{\rightarrow} S_{11} \overset{N}{\rightarrow} S_U$	C_{11} było już
	U	$S_U \overset{N}{\rightarrow} S_U$	

Każdy węzeł grafu odpowiadający obszarowi zawartemu wewnątrz poziomicy opisuje się podając następujące informacje:

- 1) Wartość poziomicy.
- 2) Ekstremalne współrzędne obszaru ($x_{\min}, x_{\max}; y_{\min}, y_{\max}$).
- 3) Adres i długość rekordu opisującego poziomice w zbiorze danych.
- 4) Adres elementu w zbiorze węzłów, który jest połączony z opisywanym węzłem przejściem o wartości T.

Znając graf wyszukiwania można określić poziomice sąsiednie do dowolnego punktu położonego na mapie, badając przynależność punktu do obszaru odpowiadającego danemu węzłowi. Proces wyszukiwania rozpoczyna się od konturu U obejmującego całą mapę. Jeżeli punkt należy do obszaru odpowiadającego danemu węzłowi przechodzi się do następnego węzła przejściem o wartości T, jeśli nie - przejściem o wartości N. Proces kończy się znalezieniem pierwszego zbioru przejść, które tworzą pętlę. Badany punkt położony jest między poziomiami określonymi przez węzły należące do tej pętli. Dla punktu p pokazanego na rys. 3.8 pętlę tworzą węzły 9, 8, 5, 3.

3.3.5. Wyznaczenie profilu wysokościowego na określonej trasie

W celu wyznaczenia profilu wysokościowego na trasie, opisanej np. współrzędnymi początku i końca trasy, postępuje się w następujący sposób. Zakłada się pewien przedział próbkowania profilu Δd . Następnie oblicza się współrzędne geograficzne punktów leżących na trasie w odległości $n \times \Delta d$ ($n \in \mathbb{N}$) od punktu początkowego trasy aż do przekroczenia długości trasy. Dla punktów o znanych współrzędnych wyznacza się wysokości korzystając z mapy numerycznej.

3.4. Dokładność określenia wysokości i wyznaczenie skoku siatki

Wysokość w punkcie $p(x_0, y_0)$ leżącym w sąsiedztwie dwóch poziomicy o wysokości H_1 i H_2 , oblicza się ze wzoru

$$H = \frac{H_1 d_2 + H_2 d_1}{d_1 + d_2}, \quad (3-5)$$

w którym: d_1 - minimalna odległość punktu p od poziomicy o wysokości H_1 ,

d_2 - minimalna odległość punktu p od poziomicy o wysokości H_2 .

W celu znalezienia błędu określenia wysokości należy obliczyć różniczkę zupełną funkcji $H=f(d_1, d_2)$

$$dH = \frac{d_2(H_2 - H_1)}{(d_1 + d_2)^2} dd_1 + \frac{d_1(H_1 - H_2)}{(d_1 + d_2)^2} dd_2 \quad (3-6)$$

Przechodząc do przyrostów skończonych i zakładając, że błędy określenia odległości d_1 i d_2 są jednakowe $\Delta d_1 = \Delta d_2 = \Delta d$, można zapisać

$$\Delta H = \frac{(H_2 - H_1)(d_2 - d_1)}{(d_1 + d_2)^2} \Delta d \quad (3-7)$$

Aby znaleźć maksymalną wartość błędu Δh należy oszacować poszczególne wielkości występujące w tym wzorze. Maksymalna różnica wysokości $H_2 - H_1$ jest równa cięciu poziomcowemu $S_h = H_2 - H_1$. Maksymalną wartość wyrażenia $(d_2 - d_1)/(d_1 + d_2)^2$ można oszacować, licząc maksimum funkcji:

$$g(d_1, d_2) = \frac{d_2 - d_1}{(d_1 + d_2)^2}$$

Z warunków $\partial g / \partial d_1 = 0$ i $\partial g / \partial d_2 = 0$ znajduje się, że ekstrema funkcji występują jeśli $d_1 = d_2$, $d_1 = 3d_2$ oraz $d_2 = 3d_1$, przy czym warunek $d_2 = 3d_1$ odpowiada maksimum funkcji. Uwzględniając powyższe oszacowania maksymalny błąd określenia wysokości jest równy:

$$\Delta H = \frac{1}{8} S_h \frac{\Delta d}{d_1} \quad , \quad (3-8)$$

przy czym d_1 - minimalna uwzględniana przy interpolacji odległość punktu od poziomicy.

Maksymalny błąd aproksymacji poziomicy przeprowadzonej w sposób opisany w punkcie 3.2 jest równy połowie skoku siatki. Wobec tego można założyć, że punkt którego odległość od poziomicy jest mniejsza od połowy skoku siatki leży na konturze. Stąd minimalna odległość punktu od poziomicy uwzględniana przy interpolacji jest równa $d_{1\min} = a/2$ (a - skok siatki). Błąd określenia odległości Δd wynika również z przyjętego sposobu aproksymacji. Jest to maksymalna różnica odległości pomiędzy dwoma poziomiami, które można aproksymować tym samym konturem.

Jak widać z rysunku 3.10 błąd ten jest równy skokowi siatki:

$$\Delta d = a \quad . \quad (3-9)$$

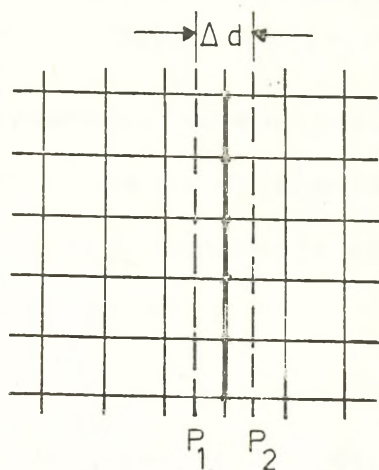
Wobec tego maksymalny błąd określenia wysokości z mapy poziomicowej jest równy

$$\Delta H = \frac{1}{4} S_h \quad . \quad (3-10)$$

Z tego warunku, przy założonym błędzie określenia wysokości, można wyznaczyć wymagane cięcie poziomicowe:

$$S_h = 4 \Delta H \quad . \quad (3-11)$$

Aby zapewnić jednoznaczność odwzorowania mapy poziomicowej na mapę numeryczną, skok siatki mapy numerycznej nie może być większy

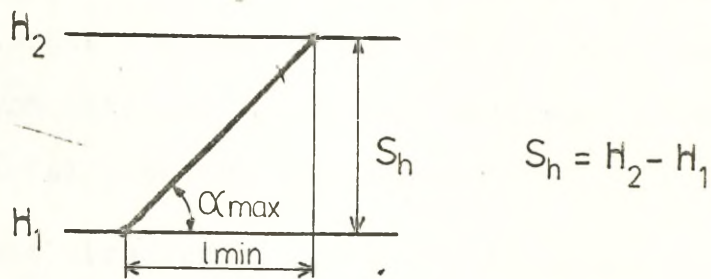


Rys. 3.10. Błąd określenia długości

niż połowa najmniejszej odległości między poziomiami. Przy zmniejszaniu skoku siatki maksymalny błąd określenia wysokości maleje i w ogólnym przypadku wynosi:

$$\Delta H = \frac{n-1}{n^2} S_h \quad (n \geq 2) \quad , \quad (3-12)$$

przy czym n - stosunek minimalnej odległości między dwoma poziomiami na mapie do skoku siatki.



Rys. 3.11. Najmniejsza odległość między poziomiami
 $l_{\min} = S_h \operatorname{ctg} \alpha_{\max}$

Maksymalny skok siatki można wyznaczyć znając największe nachylenie terenu na obszarze objętym przez mapę. Na odcinku l_{\min} musi być co najmniej dwa skoki siatki. Stąd maksymalny skok siatki jest równy:

$$a = \frac{1}{2} l_{\min} \quad (3-13)$$

4. CYFROWA MAPA WYSOKOŚCI OPARTA NA SIATCE PROSTOKĄTNEJ DLA TERYTORIUM PRL [6]

(opracowana dla celów analizy systemów radiowych)

Cyfrowa mapa wysokości terenu jest podstawowym i niezbędnym zbiorem danych do symulowania działania i analizy systemów radiowych na maszynie cyfrowej. Koncepcja mapy cyfrowej jest ściśle związana z jej zastosowaniem.

Cyfrowa mapa wysokości obejmuje całe terytorium Polski oraz niewielki pas przygraniczny. Wysokości terenu odczytywano z map fizycznych w siatce zależnej od stopnia zróżnicowania terenu (im bardziej zróżnicowany teren tym bardziej gęsta siatka). Dla każdego typu terenu rozmiary siatki dobierano w taki sposób, aby dokładność wyznaczania wysokości w dowolnym punkcie terenu pozostawała tak jak przy najbardziej gęstej siatce t.j. 250m x 250m.

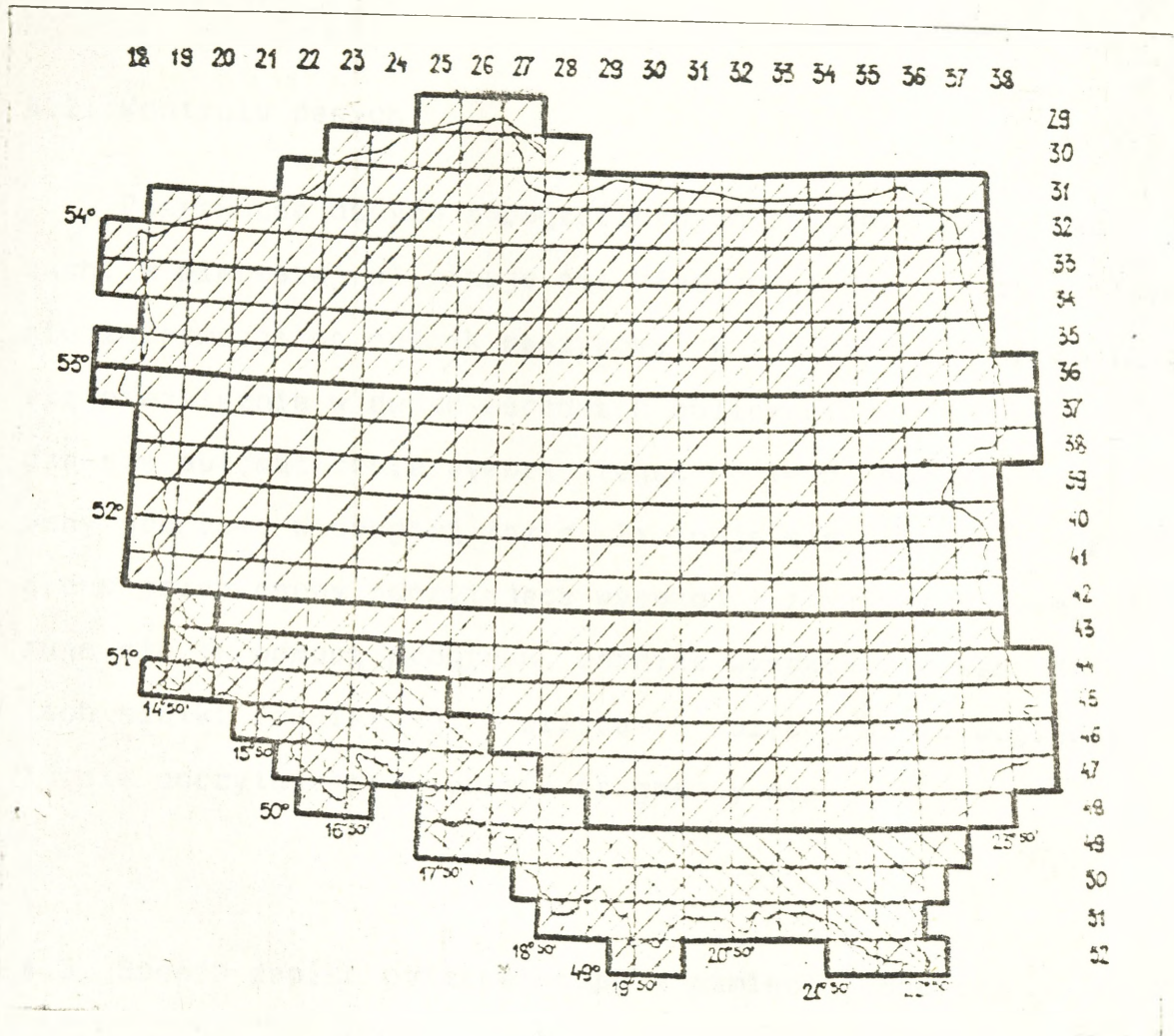
4.1. Odczytywanie informacji z map źródłowych

Cyfrowa mapa wysokości jest zbiorem próbek wysokości terenu. Próbki są wybierane w węzłach regularnej siatki geograficznej oraz w lokalnych maksimach wysokości mających istotne znaczenie dla propagacji fal elektromagnetycznych.




Wobec braku urządzeń automatycznych lub częściowo zautomatyzowanych zastosowano klasyczną metodę ręczną. Informację o wysokości terenu w punktach próbkowania odczytywano z map fizycznych. Na mapę rozważanego obszaru nałożono południkowo-równoleżnikową siatkę wykreśloną na przezroczystej folii. Folia była wykonana z materiału, który zachowuje wymiary przy normalnie występujących zmianach temperatury powietrza. Wysokości w węzłach siatki określano stosując liniową interpolację między najbliższymi poziomiami. Odległości oceniano wzrokowo. Zapewnia to

wystarczającą dokładność odczytu w przypadku map dostępnych w praktyce [3]. Cyfrowa mapa wysokości została utworzona na podstawie map fizycznych w skali 1:50000 (dla terenów górskich) i 1:100000 (dla pozostałych terenów). W przypadku map w skali 1:50000 użyto siatkę o oczku około 5mm x 5mm (rozmiary kątowe 12,5" x 8,10(810)"), co odpowiada w terenie rzeczywistym obszarom 250m x 250m. Natomiast w przypadku map w skali 1:100000 zastosowano dwa rozmiary siatek około 5mm x 5mm (rozmiary kątowe 25" x 16,2(162)") i 10mm x 10mm (rozmiary kątowe 50" x 32,32(432)"), co odpowiada w terenie rzeczywistym obszarom 500m x 500m i 1000m x 1000m. Cały obszar pokryty mapą cyfrową podzielono na podobszary odpowiadające arkuszom mapy o rozmiarach kątowych 15' x 15' (w przypadku map w skali 1:50000) oraz 30' x 15' (skala 1:100000). Rozmiary arkuszy odpowiadają w terenie odpowiednio obszarom o rozmiarach około 18km x 28km i 36km x 28km. Podział na arkusze oraz gęstości zastosowanych siatek przedstawiono na rysunku 4.1.

Każdemu arkuszowi mapy w skali 1:50000 przyporządkowano macierz o 73 kolumnach i 112 wierszach. W przypadku map w skali 1:100000 i oczku 5mm x 5mm (10mm x 10mm) macierz zawiera 73 kolumny (37 kolumn) i 57 wierszy (29 wierszy). Elementami tych macierzy są wysokości w węzłach regularnej siatki południkowo-równoleżnikowej. W przypadku gdy w oczku siatki występuje ekstremum wysokości ustalony węzeł siatki należący do tego oczka jest opisywany za pomocą czterech liczb, z których pierwsza jest kolejnym numerem, natomiast następne opisują wysokość ekstremum oraz jego względne współrzędne (odległość w milimetrach od południka i równoleżnika siatki, w których sąsiedztwie znajduje się ekstremum). Osoba odczytująca informacje z mapy źródłowej wypełnia specjalnie przygotowane arkusze odpowiadające macierzy. Fragment



Rys. 4.1. Podział na arkusze oraz gęstości siatek

-  siatka o oczku 250m x 250m (mapa źródłowa w skali 1:50000)
-  siatka o oczku 500m x 500m (mapa źródłowa w skali 1:100000)
-  siatka o oczku 1000m x 1000m (mapa źródłowa w skali 1:100000)

mapy z nałożoną siatką oraz fragment wypełnionego arkusza są przedstawione na rys. 4.2.

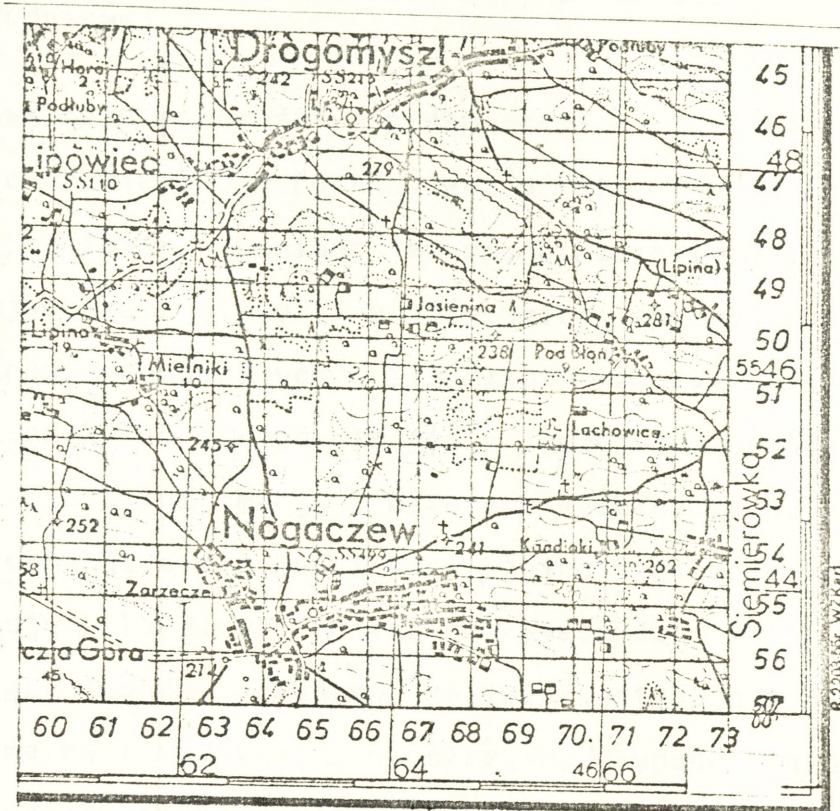
4.2. Kontrola danych

Poprawność danych topograficznych sprawdza się w dwóch fazach. W pierwszej eliminuje się błędy powstające przy zapisywaniu informacji na nośnik maszynowy. W tym celu dane przepisuje się niezależnie w dwóch ośrodkach obliczeniowych. Zgodność sprawdza się automatycznie wykorzystując do tego specjalnie opracowany program. W drugiej fazie eliminuje się błędy grube popełnione przez osoby odczytujące wysokości z mapy źródłowej. Analizuje się za pomocą programu, różnice wysokości w sąsiednich węzłach siatki regularnej. W przypadku dużych różnic względnych powtórnie odczytuje się wybrane fragmenty mapy.

4.3. Sposób zapisu cyfrowej mapy w pamięci komputera

Cyfrowa mapa wysokości jest zapisana na dysku magnetycznym. Dysk ten dołączony jest do maszyny ODRA 1305. Mapa była tworzona sukcesywnie. W pierwszej fazie opracowano mapę cyfrową dla Polski południowej w siatce 250m x 250m (fragmenty te zaznaczono na rysunku 4.1). Aktualnie jest opracowana cyfrowa mapa wysokości dla całego terytorium Polski. Ponieważ obecnie wykorzystywana jest głównie mapa rejonów południowych opisana będzie struktura danych tej mapy oraz sposób zapisu mapy cyfrowej dla całej Polski.

a



b

60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	
250	250	250	255	242	260	252	263	260	260	258	254	248	249	45
253	243	240	248	240	243	250	263	270	266	262	263	258	252	46
255	252	242	238	240	252	$\frac{265}{3} \frac{279}{1}$	268	262	260	260	263	260	257	47
247	238	237	236	242	238	247	255	258	250	257	260	263	260	48
240	233	240	232	237	244	248	253	250	255	262	270	270	264	49
228	230	232	238	240	238	245	247	240	242	244	$\frac{247}{3} \frac{281}{4}$	260	270	50
240	234	230	240	245	232	238	230	235	242	240	243	250	257	51
250	236	227	235	237	230	226	227	230	240	240	243	244	250	52
250	240	230	220	228	222	232	230	240	238	245	250	255	243	53
248	243	240	224	218	223	230	$\frac{233}{3} \frac{241}{1}$	230	230	235	245	260	250	54
254	240	230	225	216	220	224	227	230	232	230	240	245	240	55
240	240	238	218	214	223	230	232	232	233	232	245	245	240	56
242	230	226	218	212	230	233	232	237	242	242	243	245	225	57

Rys. 4.2. Fragment mapy źródłowej (fizycznej) z nałożoną siatką równoleżnikowo-południkową (a); oraz fragment wypełnionego arkusza (b)

4.3.1. Struktura zbiorów cyfrowej mapy wysokości dla Polski południowej

Cyfrowa mapa wysokości zapisana jest w kolejnych zbiorach dyskowych o nazwie SOUTH POLAND lecz o różnych numerach generacji zbioru. Jeden zbiór odpowiada jednemu arkuszowi mapy fizycznej obejmującej obszar kątowny $15' \times 15'$. Zbiór mapy cyfrowej zawiera 8176 wysokości zakodowanych w 2128 liczb rzeczywistych. Wysokości są zakodowane w ten sposób, że jedna liczba zapisana w zbiorze dyskowym zawiera informację o czterech wysokościach. Do zakodowanych informacji o wysokościach w siatce regularnej dołączone są informacje o lokalnych ekstremach wysokości. Zbiór dyskowy odpowiadający jednemu arkuszowi zawiera następujące informacje:

1. minimalną i maksymalną współrzędną długości geograficznej arkusza (w radianach), minimalną i maksymalną współrzędną szerokości geograficznej arkusza (w radianach), odległości między dwoma kolejnymi południkami i równoleżnikami siatki (w radianach), liczbę informacji o wysokościach w węzłach, liczbę informacji o ekstremach wysokości,
2. zakodowane informacje o wysokościach terenu (2128 liczb),
3. informacje o ekstremach wysokości: numer ekstremum, wysokość, długość geograficzna (w radianach) oraz szerokość geograficzna (w radianach) położenia ekstremum wysokości.

Arkuszowi mapy po odkodowaniu odpowiada macierz o 73 kolumnach i 112 wierszach. Informacje o wysokościach terenu są zapisywane wierszami począwszy od wiersza o najmniejszej szerokości geograficznej. Kolumna 73-cia jest przepisana z pierwszej kolumny następnego arkusza o większej długości geograficznej. Pierwszy wiersz arkusza jest przepisany z wiersza 112 arkusza o większej szerokości geograficznej.

Cyfrowa mapa wysokości obejmuje obszar południowej Polski

ograniczony południkami: $14^{\circ}35'$ i $23^{\circ}20'$ oraz równoleżnikami $49^{\circ}00'$ i $51^{\circ}30'$, jednak nie cały obszar tego prostokąta jest wypełniony informacjami o wysokościach. Prostokąt ten jest podzielony na arkusze o rozmiarach $15' \times 15'$, czyli posiada rozmiary 10 arkuszy na 35 arkuszy, co daje ogólną liczbę 350 arkuszy. Z tej liczby 126 arkuszy wypełnionych informacjami istnieje na dysku. Podział na arkusze jest przedstawiony na rys. 4.3.

Arkusze, które są częściowo wypełnione informacjami o wysokościach uzupełniane są liczbami "-1" w miejsce brakującej informacji o wysokościach w węzłach siatki.

Kodowanie i dekodowanie wysokości zapisanych w zbiorze dyskowym

Arkuszowi mapy źródłowej odpowiada macierz o 112 wierszach i 73 kolumnach. Kodowanie przebiega wierszami. Idea kodowania wysokości polega na tym, że dwie sąsiednie wysokości w wierszu dodaje się do siebie w następujący sposób:

$$k_{1,2} = m_1 a + m_2$$

gdzie:

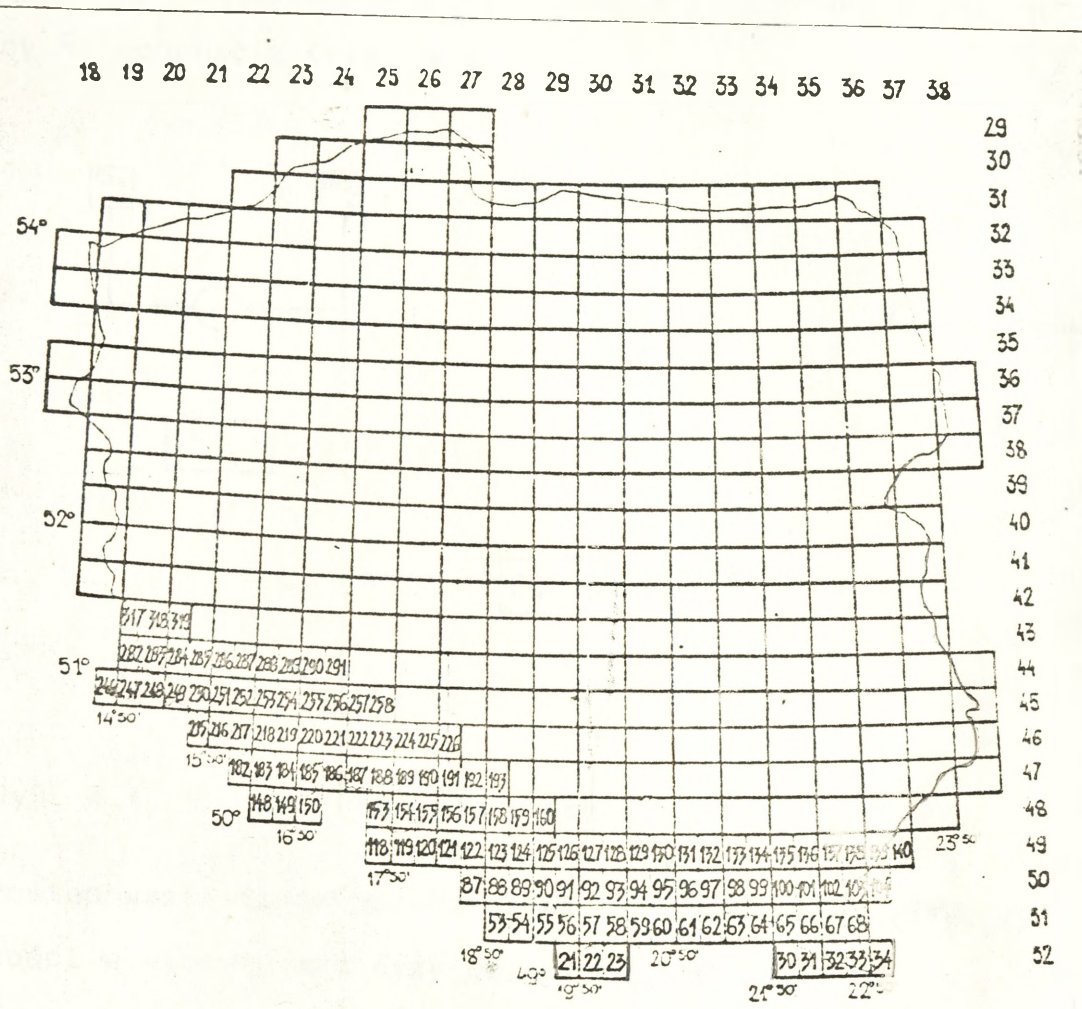
m_1 - pierwsza wysokość (liczba typu całkowitego),

m_2 - druga wysokość (liczba typu całkowitego),

a - stała.

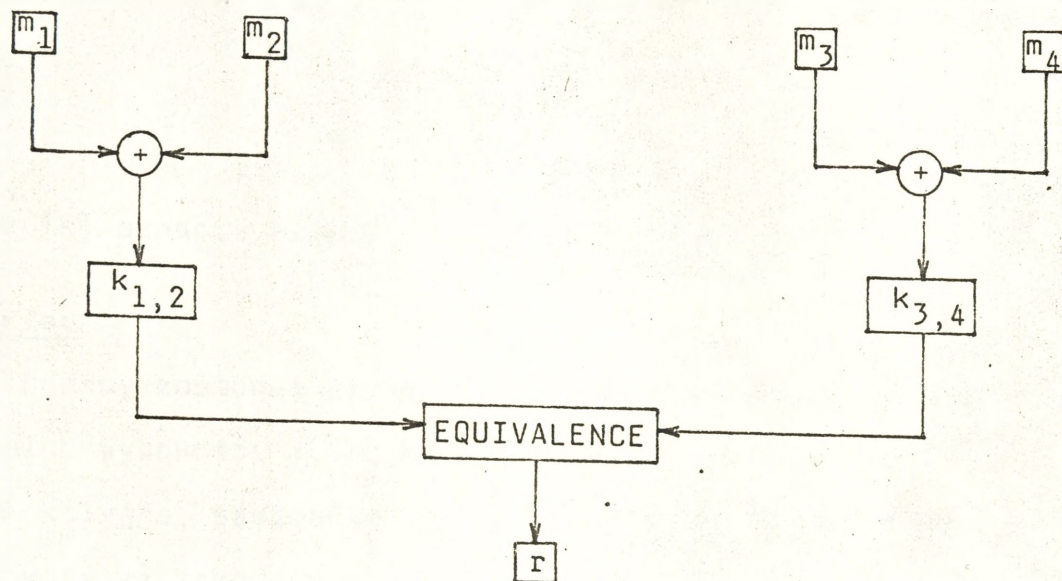
Za stałą przyjęto wartość 3000, ponieważ żadna wysokość na rozpatrywanym obszarze nie osiąga takiej wartości (przemnożenie czterocyfrowej liczby m_1 przez $a=3000$ nie powoduje również przekroczenia dopuszczalnego zakresu liczby typu całkowitego na maszynie ODRA 1305). Z kolei bierze się następne dwie kolejne wysokości w wierszu m_3 i m_4 i dodaje się je analogicznie jak m_1 i m_2 otrzymując liczbę $k_{3,4}$.

Liczby całkowite (INTEGER) $k_{1,2}$ i $k_{3,4}$ równoważymy za pomocą



Rys. 4.3. Podział mapy na arkusze

dyrektywa EQUIVALENCE uzyskując jedną liczbę rzeczywistą (REAL) r . Liczba r zawiera więc informacje o czterech kolejnych wysokościach (w jednym wierszu macierzy). Sposób postępowania jest przedstawiony na schemacie (rys. 4.4).



Rys. 4.4. Sposób kodowania wysokości

Postępowanie takie przebiega aż do wyczerpania wszystkich wysokości w wierszu macierzy odpowiadającej arkuszowi mapy i powtarzane jest dla wszystkich wierszy. Opisany sposób umożliwia czterokrotne zmniejszenie obszaru pamięci potrzebnego do przechowywania informacji o wysokościach. Ekstrema wysokości nie są kodowane. Liczby "-1" oznaczające brak informacji o wysokości w węzle siatki są kodowane jako liczby 2700, którą wybrano arbitralnie.

Uwaga: Przy zastosowaniu instrukcji języka FORTRAN 1900 COMPRESS INTEGER AND LOGICAL liczba całkowita (INTEGER) zajmuje w maszynie cyfrowej jedno słowo maszynowe (bez zastosowania tej instrukcji liczba INTEGER zajmuje 2 słowa maszynowe). Liczba typu rzeczywistego (REAL) zajmuje 2 słowa maszynowe i istnieje możliwość zapamiętywania dwóch liczb typu INTEGER w jednej liczbie REAL, stosując dyrektywę EQUIVALENCE

Odkodowanie informacji o wysokościach rozpoczyna się od odczytania ze zbioru dyskowego liczb typu REAL. Na jeden wiersz arkusza składa się 19 liczb typu REAL, które są "równoważone" w 37 liczbach typu INTEGER. Niech $k_{1,2}$ będzie liczbą typu INTEGER, w której zakodowane są dwie wysokości m_1 i m_2 .

$$m_1 = [k_{1,2}/a]$$

$$m_2 = k_{1,2} - m_1 a,$$

gdzie $[k]$ oznacza funkcję - część całkowitą liczby k .

Przykład

Podany zostanie przykład opisanego wcześniej dodawania sąsiednich wysokości i schemat kodowania.

Niech kolejne, sąsiednie wysokości mają wartości $m_1=900$, $m_2=1050$. Liczby te są zakodowane w jednej liczbie $k_{1,2}$

$$k_{1,2} = 900 \times 3000 + 1050 = 2701050.$$

Niech następne wysokości będą następujące $m_3=1000$, $m_4=960$.

Wtedy:

$$k_{3,4} = 3000960.$$

Obie liczby $k_{1,2}$ oraz $k_{3,4}$ są równoważone przez jedną liczbę typu REAL. Przy odkodowaniu sprowadza się do pamięci operacyjnej liczby typu REAL i poprzez równoważenie z liczbami typu INTEGER można przystąpić do odkodowania liczb $k_{1,2}$ i $k_{3,4}$.

$$m_1 = [2701050/3000] = 900$$

$$m_2 = 2701050 - 900 \times 3000 = 1050,$$

i analogicznie:

$$m_3 = [3000960/3000] = 1000$$

$$m_4 = 3000960 - 1000 \times 3000 = 960.$$

Wyznaczenie numeru arkusza mapy w zbiorze dyskowym

Każdemu arkuszowi mapy, zapisanemu w zbiorze dyskowym, przyporządkowany jest odpowiedni numer, który jest także numerem generacji odpowiadającego mu zbioru dyskowego. Numer ten jest parametrem, który umożliwia dostęp do żądanego arkusza mapy. Mając współrzędne geograficzne jakiegoś punktu można w prosty sposób określić numer arkusza, który ten punkt zawiera. Niech przykładowy punkt T ma następujące współrzędne: x_T jest długością geograficzną a y_T szerokością geograficzną. Wyznaczony zostanie numer generacji NRG zbioru cyfrowej mapy wysokości, w której znajduje się punkt T.

Do wyznaczenia numeru arkusza NRG potrzebne są także minimalna długość geograficzna (XMIN) i minimalna szerokość geograficzna ograniczająca prostokąt (YMIN), w których zawarte są arkusze cyfrowej mapy wysokości. Prostokąt, w którym wpisane są arkusze mapy ma rozmiar 10 arkuszy w szerokości i 35 arkuszy w długości. Wobec tego numer arkusza NRG wylicza się ze wzoru:

$$NRG = 35 \times LW + LK ,$$

przy czym:

$$LW = \lfloor y_T - YMIN/S \rfloor - \text{liczba wierszy},$$

$$LK = \lfloor x_T - XMIN/S \rfloor + 1 - \text{liczba kolumn},$$

S - rozmiar arkusza w radianach.

4.3.2. Sposób zapisu mapy dla całego terytorium Polski

Cyfrowa mapa wysokości dla całego obszaru Polski jest zapisana na dysku magnetycznym o pojemności 60mln znaków (mapa zajmuje około połowę całej pojemności). Cały zbiór podzielony jest na podzbiory odpowiadające arkuszom mapy fizycznej obejmującym

obszar kątowy 30' x 15'. W celu maksymalnego skrócenia czasu przetwarzania analitycznie zagęszczono siatkę na całym terytorium Polski do rozmiaru 250m x 250m. W ten sposób każdy podzbiór zawiera 16240 wysokości. Ponadto wysokości są zakodowane w ten sposób, że jedna liczba zapisana w zbiorze dyskowym zawiera informację o dwóch kolejnych wysokościach (a nie o czterech jak w poprzednim przypadku). Do zakodowanych informacji o wysokościach w siatce regularnej dołączone są informacje o lokalnych maksimach wysokości. Arkuszowi mapy źródłowej o rozmiarach kątowych 30' x 15' odpowiada macierz o 112 wierszach i 145 kolumnach. Kodowanie przebiega wierszami. Idea kodowania polega na tym, że dwie sąsiednie wysokości w wierszu równoważy się za pomocą dyrektywy EQUIVALENCE uzyskując jedną liczbę rzeczywistą.

5. DOKŁADNOŚĆ CYFROWEJ MAPY WYSOKOŚCI [7]

Zapisanie informacji o ukształtowaniu terenu w formie cyfrowej pozwala na istotne skrócenie czasu dostępu do tych informacji. Opierając się na danych cyfrowych należy jednak zdawać sobie sprawę z błędów wprowadzanych przy kodowaniu danych topograficznych.

Wysokość w dowolnym punkcie obszaru wyznacza się stosując interpolację wysokości próbek sąsiednich do rozpatrywanego punktu (odległych nie więcej niż o rozmiar oczka). Przedstawiona dalej analiza została przeprowadzona dla czterech sposobów interpolacji.

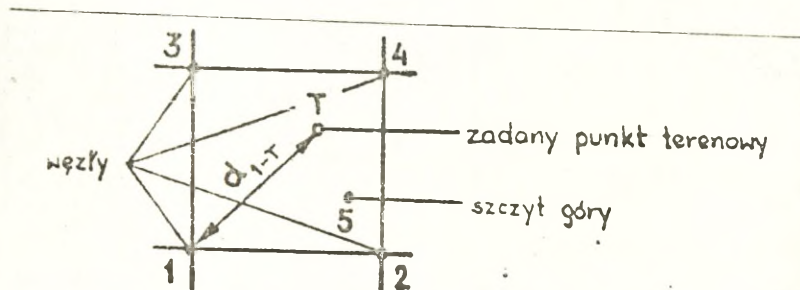
- 1) W pierwszym, wysokość w zadanym punkcie oblicza się jako średnią ważoną z wysokości w sąsiednich węzłach (oraz wysokości szczytu jeśli występuje w sąsiedztwie), przy czym czynnikiem wagowym jest odwrotność odległości punktu od węzła, wg wzoru [3]:

$$h_T = \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{h_i}{d_{i-T}}}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{d_{i-T}}} \quad (5-1)$$

gdzie:

- h_i - wysokość i-tej próbki,
- d_{i-T} - odległość zadanego punktu od i-tej próbki (węzła lub szczytu),

jak pokazano na rysunku 5.1.



Rys. 5.1. Określenie wysokości punktu jako średniej ważonej sąsiednich wysokości (d_{1-T} - odległość punktu od 1-szego węzła, d_{5-T} - odległość punktu od szczytu góry)

- 2) W drugim sposobie interpolacji wysokość w zadanym punkcie oblicza się stosując podwójną liniową interpolację wysokości z czterech sąsiednich węzłów siatki. W tym przypadku wysokość h_T oblicza się ze wzoru [8]:

$$h_T = \Delta_2 h_a + \Delta_1 h_b \quad (5-2)$$

gdzie:

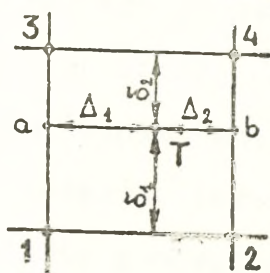
$$h_a = \delta_2 h_1 + \delta_1 h_3, \quad h_b = \delta_2 h_2 + \delta_1 h_4,$$

jak pokazano na rysunku 5.2.

- 3) W trzecim sposobie interpolacji wysokość w dowolnym punkcie oblicza się jako średnią ważoną z wysokości w sąsiednich węzłach, przy czym czynnikiem wagowym jest odwrotność kwadratu odległości punktu od węzła. W tym przypadku wysokość h_T oblicza się ze wzo-

ru [3]:

$$h_T = \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{h_i}{d_{i-T}^2}}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{d_{i-T}^2}} \quad (5-3)$$



Rys. 5.2. Określenie wysokości punktu za pomocą podwójnej, liniowej interpolacji (h_a, h_b - wysokości interpolowane w punktach a i b)

- 4) W czwartym sposobie interpolacji wysokość w zadanym punkcie wyznacza się podobnie jak poprzednio, przy czym węzeł znajdujący się najbliżej punktu jest szczególnie wyróżniony. Wysokość oblicza się według wzoru [3]:

$$h_T = 0,5 \left(h_n + \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{h_i}{d_{i-T}^2}}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{d_{i-T}^2}} \right) \quad (5-4)$$

przy czym h_n - wysokość w węźle znajdującym się najbliżej punktu T.

Dla oceny dokładności wyznaczania wysokości terenu z mapy cyfrowej przeprowadzono porównanie wysokości interpolowanych z danych cyfrowych z wysokościami odczytanymi bezpośrednio z map fizycznych. Odczytywano z tych samych map, które były podstawą

opracowania mapy cyfrowej. Skala mapy wynosi 1:50000 (podstawowe cięcie poziomicowe 20m, w terenach nizinnych 10m). Wysokości odczytano wzdłuż około 100 dowolnie wybranych tras liniowych na przecięciach trasy z kolejnymi poziomicami mapy fizycznej. W sumie odczytano wysokości w ponad sześciu tysiącach punktów.

Zbiór danych podzielono na trzy podzbiory: dane obejmujące tereny płaskie, dane obejmujące tereny pofałdowane oraz dane obejmujące tereny górskie. Przeprowadzono analizę statystyczną różnic wysokości dla całego zbioru danych jak również oddzielnie dla każdego z podzbiorów. Wyniki analizy, dla różnych sposobów interpolacji i różnych rodzajów terenu są przedstawione w tabelach 5.1 do 5.16. Jak widać z powyższych tabel, istnieje duża zgodność między zbiorami wysokości odczytanych bezpośrednio z mapy fizycznej i wysokości wyznaczonych z mapy cyfrowej w przypadku trzech pierwszych sposobów interpolacji. Wartość średnia różnic wysokości jest równa zero, odchylenie standardowe jest rzędu kilkunastu metrów, współczynnik korelacji między dwoma zbiorami jest w przybliżeniu równy 1. Podobnie proste regresji niewiele różnią się od przypadku idealnego (tzn. $A_1(B_1, C_1) = 1$ i $A_0(B_0, C_0) = 0$). Nawet w najgorszym przypadku (teren górski) prawdopodobieństwo, że błąd wysokości będzie większy od 60m jest mniejsze od 0,001 (1%). Jedyne w przypadku gdy wysokość w zadanym punkcie jest wyznaczana jako średnia ważona wg wzoru (5-4), zbiór wysokości wyznaczonych istotnie różni się od zbioru wysokości odczytanych. Na rysunkach 5.3 do 5.6 przedstawiono histogramy i dystrybuanty różnic wysokości wyznaczonych z mapy cyfrowej i odczytanych z mapy fizycznej w przypadku gdy wysokość jest wyznaczana wg wzoru interpolacyjnego (5-1), stosowanego obecnie w zastosowaniach radiowych. Wykresy te pokazują różnice dokładności opisu terenu za pomocą mapy cyfrowej o stałym rozmiarze

Tabela 5.1

Wynik analizy dla całego zbioru i wzoru interpolacyjnego 5-1

Liczebnosc I probki I N	Wartosc I srednia I [m]	Odchylenie I standard. I [m]	Wartosc I maksym. I [m]	Wartosc I minim. I [m]	Rozstep I w probce I [m]	Wspolcz. I asymetrii I
Wysokosci odczytane z mapy fizycznej						
6117	486	222	1300	135	1165	0.56
Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej						
6117	486	221	1338	134	1204	0.56
Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)						
6117	0	12	67	-75	143	-0.07

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej
H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1*HR + A0$
 $A1 = 0.995$
 $A0 = 1.9$

2. Regresja $HR = B1*H + B0$
 $B1 = 1.0016$
 $B0 = -0.2$

3. Regresja ortogonalna $H = C1*HR + C0$
 $C1 = 0.9967$
 $C0 = 1.1$

Współczynnik korelacji: $R = 0.998$

Tabela 5.2

Wynik analizy dla terenów płaskich i wzoru interpolacyjnego 5-1

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	Liczebność	Wartość	Odchylenie	Wartość	Wartość	Rozstęp	Współcz.				
I	probki	średnia	standard.	maksym.	minim.	w probce	asymetrii				
I	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I		I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]
I Wysokosci odczytane z mapy fizycznej I											
I											
I	1242	229	51	390	135	255	0.45				
I Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej I											
I											
I	1242	228	51	388	134	253	0.46				
I Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna) I											
I											
I	1242	0	4	19	-30	50	-1.49				

Parametry prostych regresji:

*HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej

H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1 \cdot HR + A0$
 $A1 = 0.9962$
 $A0 = 0.4$
2. Regresja $HR = B1 \cdot H + B0$
 $B1 = 0.9967$
 $B0 = 1.2$
3. Regresja ortogonalna $H = C1 \cdot HR + C0$
 $C1 = 0.9998$
 $C2 = -0.4$

Współczynnik korelacji; $R = 0.996$

Tabela 5.3

Wynik analizy dla terenow pofalowanych i wzoru interpolacyjnego 5-1

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	Liczebnośc	Wartość	Odchylenie	Wartość	Wartość	Rozstęp	Współcz.	I		
I	probki	średnia	standard.	maksym.	minim.	w próbce	asymetrii	I		
I	N	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	I		
I Wysokosci odczytane z mapy fizycznej I										
I	1524	369	100	840	200	640	1.39	I		
I Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej I										
I	1524	368	98	323	199	623	1.42	I		
I Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna) I										
I	1524	-1	10	40	-47	87	-0.21	I		

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej

H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A_1 \cdot HR + A_0$
 $A_1 = 0.9812$
 $A_0 = 5.6$

2. Regresja $HR = B_1 \cdot H + B_0$
 $B_1 = 1.0078$
 $B_0 = -1.5$

3. Regresja ortogonalna $H = C_1 \cdot HR + C_0$
 $C_1 = 0.9866$
 $C_2 = 3.6$

Współczynnik korelacji: $R = 0.994$

Tabela 5.4

Wynik analizy dla terenów górskich i wzoru interpolacyjnego 5-1

Liczba próbek	N	Wartość średnia [m]	Odchylenie standardowe [m]	Wartość maksymalna [m]	Wartość minimalna [m]	Różnica w próbkach [m]	Współczynnik asymetrii
Wysokości odczytane z mapy fizycznej							
3351		635	178	1300	260	1040	0.45
Wysokości wyznaczone z mapy cyfrowej							
3351		635	176	1338	260	1078	0.46
Odchyłki wysokości (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)							
3351		0	15	67	-75	143	-0.06

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej
H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1 * HR + A0$
 $A1 = 0.9859$
 $A0 = 8.8$

2. Regresja $HR = B1 * H + B0$
 $B1 = 1.0065$
 $B0 = -4.0$

3. Regresja ortogonalna $H = C1 * HR + C0$
 $C1 = 0.9897$
 $C2 = 6.4$

Współczynnik korelacji: $R = 0.996$

Tabela 5.6

Wynik analizy dla terenow plaskich i wzoru interpolacyjnego 5-2

Liczebnosc I probki I N	Wartosc I srednia I [m]	Odchylenie I standard. I [m]	Wartosc I maksym. I [m]	Wartosc I minim. I [m]	Rozstep I w probce I [m]	Wspolcz. I asymetrii I
Wysokosci odczytane z mapy fizycznej						
1242	229	51	390	135	255	0.45
Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej						
1242	228	51	387	134	253	0.45
Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)						
1242	0	4	19	-31	50	-1.49

Parametry prostych regresji:

HR - wysokosc odczytana z mapy fizycznej

H - wysokosc wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1*HR + A0$
 $A1 = 0.9932$
 $A0 = 1.0$

2. Regresja $HR = B1*H + B0$
 $B1 = 0.9995$
 $B0 = 0.7$

3. Regresja ortogonalna $H = C1*HR + C0$
 $C1 = 0.9969$
 $C2 = 0.1$

Wspolczynnik korelacji: $R = 0.996$

Tabela 5.7

Wynik analizy dla terenów pofalowanych i wzoru interpolacyjnego 5-2

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Wysokosci odczytane z mapy fizycznej											
1524	369	100	840	200	640	1.39					
Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej											
1524	368	99	830	199	630	1.42					
Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)											
1524	-1	10	38	-49	87	-0.27					

Parametry prostych regresji:

HR - wysokosc odczytana z mapy fizycznej
H - wysokosc wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1 \cdot HR + A0$
 $A1 = 0.9881$
 $A0 = 2.9$

2. Regresja $HR = B1 \cdot H + B0$
 $B1 = 1.0012$
 $B0 = 1.1$

3. Regresja ortogonalna $H = C1 \cdot HR + C0$
 $C1 = 0.9934$
 $C2 = 0.9$

Wspolczynnik korelacji: $R = 0.995$

Tabela 5.9

Wynik analizy dla terenów górskich i wzoru interpolacyjnego 5-2

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
I	Liczebność	Wartość	Odchylenie	Wartość	Wartość	Rozstęp	Współcz.					
I	probki	średnia	standard.	maksym.	minim.	w probce	asymetrii					
I	N	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]					
I I I Wysokosci odczytane z mapy fizycznej											I I I	
I	3351	635	178	1300	260	1040	0.45					I I I
I I I Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej											I I I	
I	3351	635	177	1333	260	1073	0.47					I I I
I I I Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)											I I I	
I	3351	0	16	72	-96	168	-0.03					I I I

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej
H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1 \cdot HR + A0$
 $A1 = 0.9897$
 $A0 = 7.0$

2. Regresja $HR = B1 \cdot H + B0$
 $B1 = 1.0019$
 $B0 = -1.7$

3. Regresja ortogonalna $H = C1 \cdot HR + C0$
 $C1 = 0.9939$
 $C2 = 4.4$

Współczynnik korelacji: $R = 0.996$

Tabela 5.H

Wynik analizy dla terenów pofaldujących i wzoru interpolacyjnego 5-3

Liczba próbek	Wartość średnia	Odchylenie standard.	Wartość maksym.	Wartość minimal.	Różnica w próbkach	Współcz. asymetrii
N	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Wysokości odczytane z mapy fizycznej						
1524	369	100	840	200	640	1.39
Wysokości wyznaczone z mapy cyfrowej						
1524	368	99	833	199	634	1.41
Odchyłki wysokości (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)						
1524	-1	10 ^o	45	-49	94	-0.23

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej
H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1*HR + A0$
 $A1 = 0.9847$
 $A0 = 4.5$

2. Regresja $HR = B1*H + B0$
 $B1 = 1.0054$
 $B0 = -0.3$

3. Regresja ortogonalna $H = C1*HR + C0$
 $C1 = 0.9896$
 $C2 = 2.6$

Współczynnik korelacji: R = 0.995

Tabela 5.12

Wynik analizy dla terenów górskich i wzoru interpolacyjnego 5-3

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	Liczebność	Wartość	Odchylenie	Wartość	Wartość	Różnica	Współcz.			
I	probki	średnia	standard.	maksym.	minim.	w probce	asymetrii			
I	N	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]			
I	I Wysokosci odczytane z mapy fizycznej I									
I										
I										
I	3351	635	178	1300	260	1040	0.45			
I										
I	I Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej I									
I										
I										
I	3351	635	178	1318	260	1057	0.46			
I										
I	I Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna) I									
I										
I										
I	3351	0	14	71	-86	157	-0.15			
I										

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej

H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1 \cdot HR + A0$
 $A1 = 0.9882$
 $A0 = 7.4$

2. Regresja $HR = B1 \cdot H + B0$
 $B1 = 1.0054$
 $B0 = -3.3$

3. Regresja ortogonalna $H = C1 \cdot HR + C0$
 $C1 = 0.9914$
 $C2 = 5.3$

Współczynnik korelacji: $R = 0.997$

Tabela 5.13

Wynik analizy dla całego zbioru i wzoru interpolacyjnego 5-3

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	Liczebnosc	Wartosc	Odchylenie	Wartosc	Wartosc	Rozstep	Wspolcz.			
I	probki	Isrednia	Istandard.	Imaksym.	Iminim.	Iw probce	Iasymetrii			
I	N	I	I	I	I	I	I			
I		I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]	I [m]			
I										
I Wysokosci odczytane z mapy fizycznej										
I										
I										
I	6117	I 486	I 222	I 1300	I 135	I 1165	I 0.56			
I		I	I	I	I	I	I			
I										
I Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej										
I										
I										
I	6117	I 488	I 226	I 1440	I 134	I 1306	I 0.61			
I		I	I	I	I	I	I			
I										
I Odchytki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)										
I										
I										
I	6117	I 1	I 30	I 170	I -141	I 311	I 0.26			
I		I	I	I	I	I	I			

Parametry prostych regresji:

HR - wysokosc odczytana z mapy fizycznej

H - wysokosc wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1*HR + A0$
 $A1 = 1.0067$
 $A0 = -1.3$

2. Regresja $HR = B1*H + B0$
 $B1 = 0.9756$
 $B0 = 10.0$

3. Regresja ortogonalna $H = C1*HR + C0$
 $C1 = 1.0160$
 $C0 = -5.9$

Wspolczynnik korelacji: $R = 0.991$

Tabela 5.14

Wynik analizy dla terenow plaskich i wzoru interpolacyjnego 5-4

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I Liczebnośc I probki I N	I Wartość I średnia I [m]	I Odchylenie I standard. I [m]	I Wartość I maksym. I [m]	I Wartość I minim. I [m]	I Rozstęp I w próbce I [m]	I Współcz. I asymetrii I					
I Wysokosci odczytane z mapy fizycznej I											
I 1242	I 229	I 51	I 390	I 135	I 255	I 0.45					
I Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej I											
I 1242	I 228	I 51	I 392	I 134	I 258	I 0.48					
I Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna) I											
I 1242	I 0	I 7	I 30	I -40	I 70	I -0.30					

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej

H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1*HR + A0$
 $A1 = 0.9912$
 $A0 = 1.8$

2. Regresja $HR = B1*H + B0$
 $B1 = 0.9892$
 $B0 = 2.6$

3. Regresja ortogonalna $H = C1*HR + C0$
 $C1 = 1.0010$
 $C2 = -0.4$

Współczynnik korelacji: $R = 0.990$

Tabela 5.15

Wynik analizy dla terenów pofaldowanych i wzoru interpolacyjnego 5-4

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Wysokosci odczytane z mapy fizycznej									
1524	369	100	840	200	640	1.39			
Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej									
1524	369	103	825	199	626	1.46			
Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)									
1524	0	22*	103	-91	194	0.14			

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej

H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

$$1. \text{ Regresja} \quad H = A1*HR + A0$$

$$A1 = 1.0047$$

$$A0 = -2.4$$

$$2. \text{ Regresja} \quad HR = B1*H + B0$$

$$B1 = 0.9469$$

$$B0 = 20.3$$

$$3. \text{ Regresja ortogonalna} \quad H = C1*HR + C0$$

$$C1 = 1.0309$$

$$C2 = -12.0$$

Współczynnik korelacji: $R = 0.975$

Tabela 5.16

Wynik analizy dla terenów górskich i wzoru interpolacyjnego 5-4

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
Wysokosci odczytane z mapy fizycznej													
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	3351	I	635	I	178	I	1300	I	260	I	1040	I	0.45
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Wysokosci wyznaczone z mapy cyfrowej													
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	3351	I	639	I	182	I	1440	I	263	I	1177	I	0.55
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Odchyłki wysokosci (mapa cyfrowa - mapa fizyczna)													
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I			
I	3351	I	3	I	37	I	170	I	-141	I	311	I	0.11
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	

Parametry prostych regresji:

HR - wysokość odczytana z mapy fizycznej

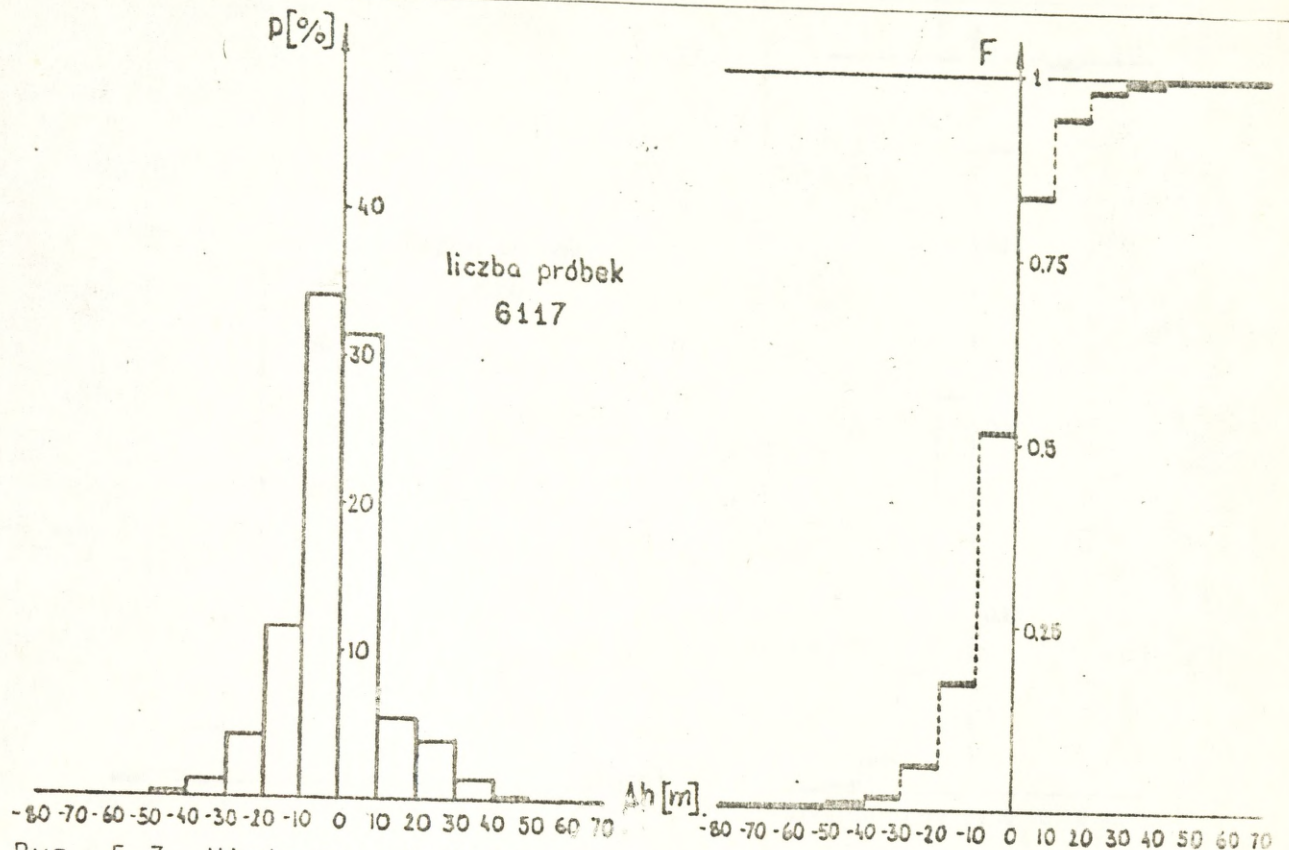
H - wysokość wyznaczona z mapy cyfrowej

1. Regresja $H = A1*HR + A0$
 $A1 = 0.9991$
 $A0 = 4.4$

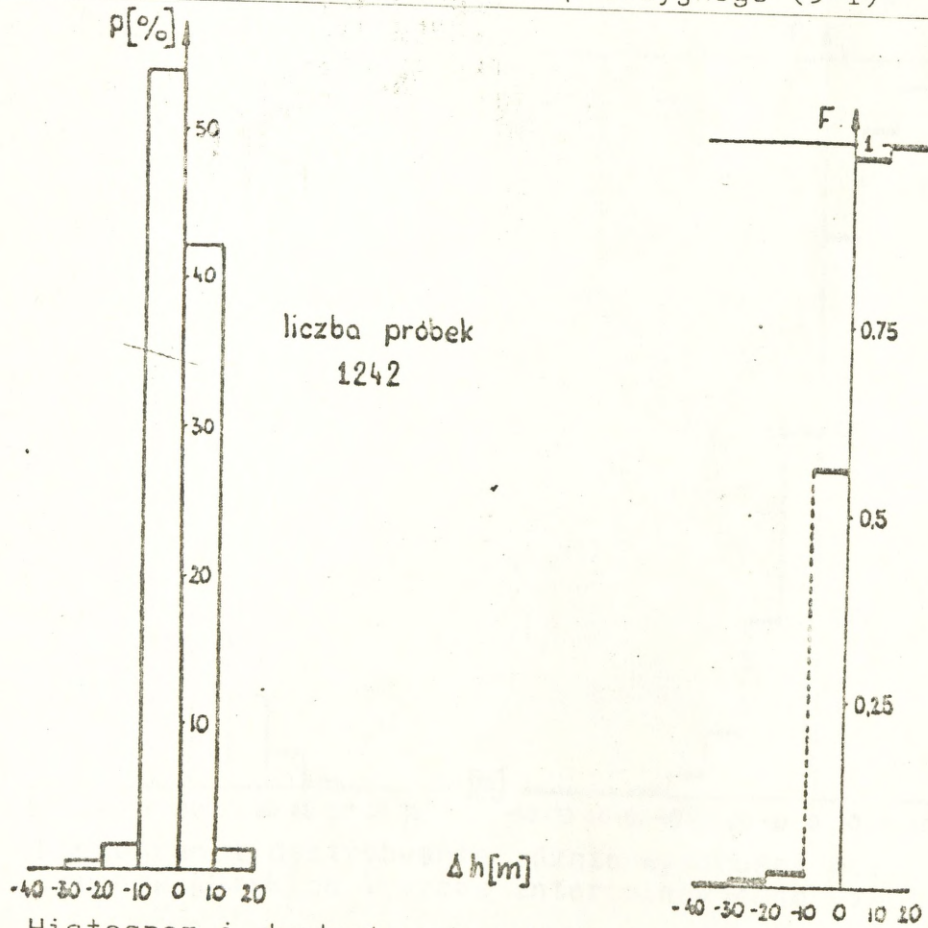
2. Regresja $HR = B1*H + B0$
 $B1 = 0.9585$
 $B0 = 22.7$

3. Regresja ortogonalna $H = C1*HR + C0$
 $C1 = 1.0214$
 $C2 = -9.8$

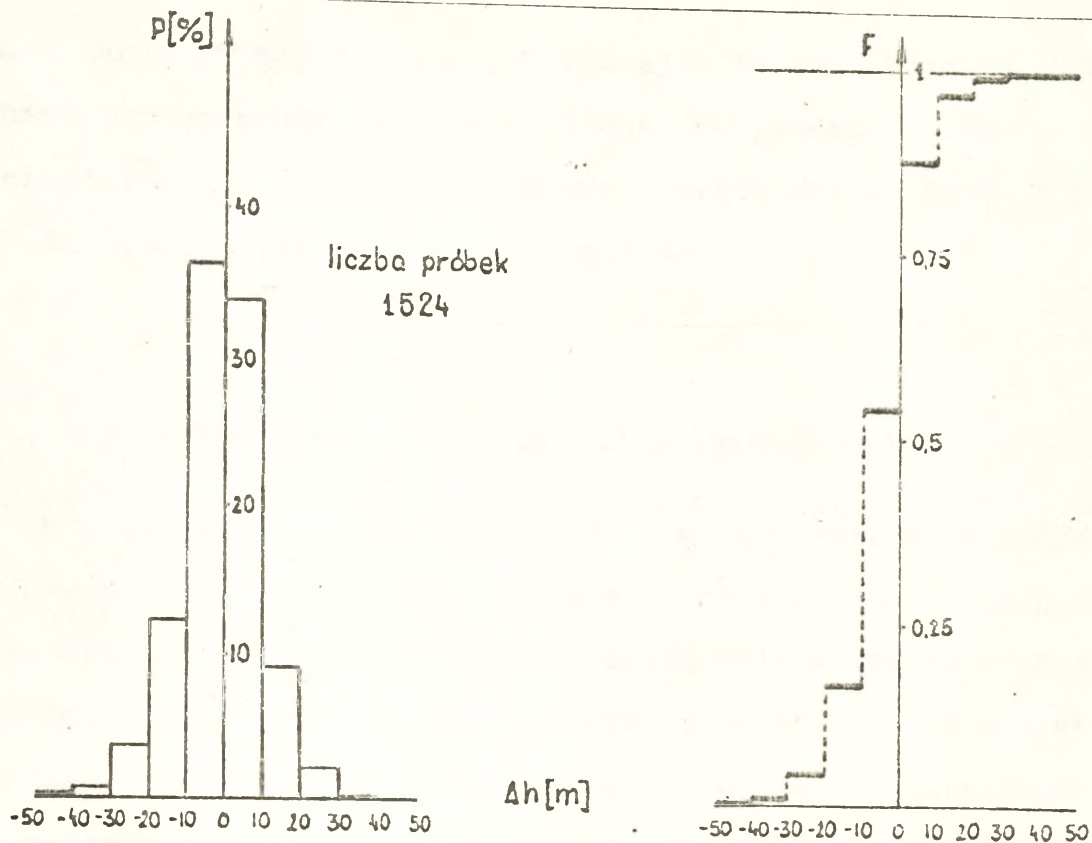
Współczynnik korelacji: $R = 0.979$



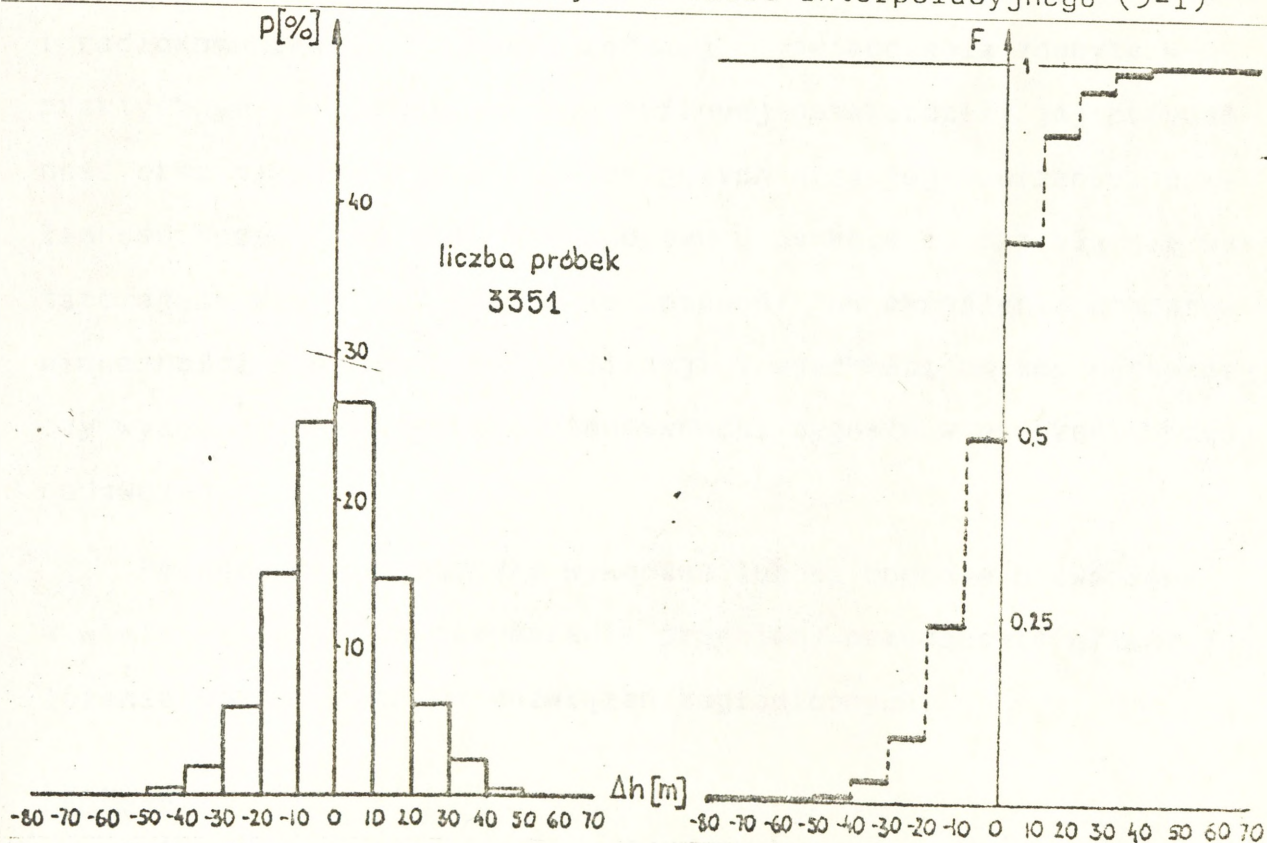
Rys. 5.3. Histogram i dystrybuanta różnic wysokości dla całego zbioru i wzoru interpolacyjnego (5-1)



Rys. 5.4. Histogram i dystrybuanta różnic wysokości dla terenów płaskich i wzoru interpolacyjnego (5-1)



Rys. 5.5. Histogram i dystrybuanta różnic wysokości dla terenów pofałdowanych i wzoru interpolacyjnego (5-1)



Rys. 5.6. Histogram i dystrybuanta różnic wysokości dla terenów górskich i wzoru interpolacyjnego (5-1)

oczka (około 250m), dla różnych rodzajów terenu. Różnice te są istotne, co wskazuje że przy założonej dokładności granicznej (wyrażonej odchyleniem standardowym różnic) można stosować różne gęstości siatki dla różnych rodzajów terenu.

6. PODSUMOWANIE ORAZ PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ ZAGRANICZNYCH

W opracowaniu przedstawiono dwie metody tworzenia cyfrowej mapy wysokości: pierwszą polegającą na digitalizacji i zapisaniu w pamięci komputera warstwic oraz drugą polegającą na odczytaniu wysokości w węzłach regularnej siatki geograficznej i wybranych punktach rozmieszczonych nieregularnie. Druga z wymienionych metod została zrealizowana w praktyce jako cyfrowa mapa terenu zastosowana w analizie i projektowaniu systemów radiodyfuzyjnych i radiokomunikacji ruchomej lądowej. Doświadczenia zdobyte w praktycznym zastosowaniu mapy cyfrowej potwierdziły jej przydatność oraz słuszność założeń przyjętych przy jej tworzeniu. Dokładność modelu (opisana szczegółowo w punkcie 5) okazała się wystarczająca dla podstawowych zastosowań: jak określenie obszarów widoczności dla różnych lokalizacji i wysokości anteny nadawczej, czy wyznaczania rozkładu intensywności sygnału w otoczeniu stacji nadawczej.

Podobne prace zostały wykonane lub są obecnie prowadzone w wielu krajach. Na zakończenie pragniemy przedstawić główne założenia opublikowanych rozwiązań zagranicznych:

FRANCJA

Cyfrowy model terenu opracowano dla części obszaru kraju w celu wyznaczenia obszaru pokrycia siecią telefoniczną. Bank

danych topograficznych obejmuje obszar 40km x 50km. Zastosowano tutaj siatkę regularną o oczku 100m. Dodatkowo bank danych zawiera informację o rodzaju i wysokości pokrycia roślinnego. Podstawą przy tworzeniu mapy cyfrowej były mapy fizyczne w skali 1:25000. Średnia wartość błędów wysokości wynosi około 0,1m a odchylenie standardowe około 1,08m. Błąd wysokości pokrycia roślinnego jest około 3m [9].

JAPONIA

Aktualnie opracowana jest cyfrowa mapa wysokości dla całego terenu Japonii. Cały obszar kraju podzielono na oczka o rozmiarach 250m x 250m i odczytano wysokości terenu dla każdego oczka siatki [10].

JUGOSŁAWIA

W Jugosławii opracowano projekt cyfrowego modelu terenu, który będzie zawierał informacje o wysokości terenu oraz o pokryciu naturalnym i sztucznym dla całego obszaru kraju. Model ten będzie przygotowany w oparciu o mapy w skali 1:50000 oraz zastosowana będzie siatka o rozmiarach 120m x 110m. Całość informacji będzie przechowywana na dysku o pojemności 50MB [11].

KANADA

Opracowano model cyfrowy terenu dla znacznej części Kanady. Dane były odczytywane ręcznie z map źródłowych w skali 1:50000. Zastosowano siatkę o rozmiarach 500m x 500m. Dla każdego węzła siatki odczytano wysokość, jak również informację o pokryciu terenu, naturalnym i sztucznym. Wysokości są zapisane w pamięci komputera z dokładnością do jednego metra i zajmują 13 bitów. Kod opisujący rodzaj pokrycia reprezentuje następujące przypadki: teren zadrzewiony, teren odkryty, jeziora, morze, bagna, te-

ren średnio zabudowany, teren o dużej gęstości zabudowy. Kod zajmuje 3 bity, co w rezultacie powoduje, że informacja o każdym punkcie geograficznym zajmuje 16 bitów. Dokładność odczytywania wysokości jest ograniczona przez cięcie poziomicowe map źródłowych, jakie użyto do tworzenia mapy cyfrowej. W tym przypadku cięcie poziomicowe zawarte jest w granicach od 7,6m dla terenów nizinnych do 15,2m dla terenów górskich. Zazwyczaj błąd wysokości (wyznaczonej przez interpolację) w dowolnym punkcie jest mniejszy od cięcia poziomicowego [12].

REPUBLIKA FEDERALNA NIEMIEC

Ministerstwo Poczty opracowało topograficzną bazę danych dla obszaru Republiki Federalnej Niemiec. Model terenu zawiera wysokości nad poziomem morza oraz parametry charakteryzujące rodzaj terenu dla każdego obszaru elementarnego o rozmiarach kątowych 5" x 5". Odpowiada to około 95m x 150m w terenie rzeczywistym. Baza danych zawiera w sumie około 17,5 miliona wysokości odpowiadających elementarnym obszarom. Dla każdego oczka zapamiętane są maksymalne wysokości nad poziomem morza oraz jedna z 10 wartości opisujących rodzaj terenu. Cyfrowa mapa została opracowana w oparciu o mapy źródłowe w skali 1:25000 i 1:50000. W celu oszczędnego zapisu informacji uwzględniano następujące poziomicę: 5m dla terenu płaskiego, 20m w terenie podgórskim oraz 100m dla terenu górskiego [13].

STANY ZJEDNOCZONE AMERYKI

W USA cyfrowy model terenu zawiera wysokości dla 48 stanów oraz dla części obszarów sąsiednich. W Stanach Zjednoczonych zastosowano rozmiar oczka 30" co odpowiada w terenie rzeczywistym 900m na kierunku północ-południe oraz 700m na kierunku wschód-zachód. Dane zapamiętane są w formie bloków danych obejmujących

obszary o rozmiarach kątowych $1^\circ \times 1^\circ$. Cyfrowy model terenu, który zawiera wysokości opracowano w oparciu o mapy topograficzne w skali 1:250000. Dla USA, których powierzchnia jest około 9 mln km² daje to zbiór, zawierający w przybliżeniu 15 mln danych dyskretnych [14].

WIELKA BRYTANIA

Cyfrowy model terenu w Wielkiej Brytanii opracowano w oparciu o mapy źródłowe w skali 1:25000. Każdy arkusz mapy podzielono na kwadraty o boku 500m, dla których zapamiętano wysokości rzeczywiste (w przypadku gdy w kwadracie znajduje się szczyt, siodło, płaskowyż lub dolina) lub wartość średnią wysokości minimalnej i maksymalnej w danym kwadracie. Ponadto model ten zawiera informacje o rodzaju terenu [15].

WŁOCHY

We Włoszech Ministerstwo Przemysłu rozpoczęło opracowywanie cyfrowego modelu terenu w oparciu o mapy źródłowe w skali 1:25000 oraz rozmiary oczka siatki 250m x 250m [16].

7. LITERATURA

1. M. BARANOWSKI: Opracowanie metod i technik zbierania i gromadzenia danych orograficznych w oparciu o arkusz mapy. Centrum Informatyczne Geodezji i Kartografii. Opracowanie wewnętrzne, Warszawa 1983
2. J. GAŹDZICKI: Informatyka w geodezji i kartografii. PPWK, Warszawa 1975
3. E.B. MACDOUGALL: Computer Programming for Spatial Problems. Edward Arnold (Publisher) Ltd, 1976

4. R.D. MERRILL, M. TANNENBAUM: Representing Geographic Information for Efficient Computer Search. Information Systems. Proc. of the Fourth International Symposium on Computer and International Sciences. Miami Beach, Florida, Dec. 1972. Ed. by J.T. Tou, New York 1974 Plenum Press
5. H. FREEMAN, S.P. MORSE: On Searching a Contour Map for a Given Terrain Elevation Profile. Journal of the Franklin Institute, 284(1), July 1967
6. W. SĘGA, W. WASZKIS: Opracowanie zbioru danych o rzeźbie terenu kraju w siatce 1 - 0,5 - 0,25km. Sprawozdanie Ił O/Wrocław nr Z21/310/2.2.03.A.08/84, Wrocław 1984
7. A. MARSZAŁEK, W. SĘGA, W. WASZKIS, J. ZAJĄCZKOWSKI: Weryfikacja eksperymentalna modelu symulacyjnego sieci tv stacji małej mocy. Sprawozdanie Ił O/Wrocław nr Z21/286/2.2.05.A.03/82 Wrocław 1982
8. CCIR Doc. IWP 1/2 - 97. Profile
9. S. MEYER, J. PIHAN: Coverage Prediction for Rural Telephony Systems. IEEE International Conference on Communications. Integrating Communication for World Progress. Boston, June 19-22, 1983
10. H. NIIMI, T. HIRABAYASI, M. KAJIYAMA: Computer Aided Analysis of Propagation Characteristics Using Topographical Mesh-Data Basis. IEEE International Conference on Communications. Integrating Communication for World Progress. Boston, June 19-22, 83
11. D. STARCEVIC: Production of Digital Model of Topographic Map for Radio Communication Planning. Fifth International Wrocław Symposium on EMC, September 17-19, 1980
12. J.H. WHITTEKER: Propagation Prediction from a Topographic Data Base. IEEE International Conference on Communications. Integrating Communication for World Progress. Boston, June 19-22, 1983
13. K. LOEW, R.W. LORENZ: Determination of Service Areas for Mobile Communication with a Topographical Data Base. IEEE International Conference on Communications. Integrating Communication for World Progress. Boston, June 19-22, 1983
14. CCIR IWP 1/2 Handbook: Spectrum Management and Computer-Aided Techniques, ITU, Geneva 1983

15. M.F.A. IBRAHIM, J.D. PARSONS, C.E. DADSON: Signal Strength Prediction in Urban Areas Using a Topographical and Environmental Data Base. IEEE International Conference on Communications. Integrating Communication for World Progress. Boston, June 19-22; 1983
16. E. DAMOSSO, B. LINGUA: A Computer Prediction Technique for Land Mobile Propagation in VHF and UHF Bands. IEEE International Conference on Communications. Integrating Communication for World Progress. Boston, June 19-22, 1983

