

JAN CIESIELSKI

## **Mapa wizyjna do radarowego systemu kontrolowania i kierowania ruchem lotniczym w przestrzeni powietrznej AVIA-BM**

Zarys treści. W artykule podano zasady opracowania specjalnej mapy wizyjnej do radarowego urządzenia AVIA-BM przeznaczonego do kierowania i kontroli ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej. Zasady te obejmują: dobór najwłaściwszego odwzorowania kartograficznego, określenie zakresu treści i formy graficznej mapy, ustalenie kryteriów dokładnościowych oraz technologii sporządzania mapy.

### **1. Wstęp**

W ciągu ostatnich kilkunastu lat notuje się wzrastający z każdym rokiem lotniczy ruch komunikacyjny. Dla zapewnienia bezpieczeństwa lotów, koniecznością staje się stosowanie coraz doskonalszych i precyzyjniejszych urządzeń do kontroli i kierowania ruchem lotniczym w przestrzeni powietrznej.

Jednym z takich właśnie urządzeń jest opracowany w Polsce elektroniczny system radarowy AVIA-BM.

Nieodzownym elementem tego systemu jest mapa wizyjna wykonana w formie negatywu na płytce szklanej formatu 12×16,5 cm. Obraz tej mapy, przeniesiony elektronicznie na ekran urządzenia radarowego, umożliwia obserwacje i kierowanie obiektami latającymi w przestrzeni powietrznej.

Aby mapa ta mogła właściwie spełniać swoją rolę musi odpowiadać określonym warunkom, związanym z elektronicznym systemem radarowym AVIA-BM. Spełnienie tych warunków wymaga rozwiązania szeregu zagadnień kartograficznych uwzględniających między innymi: dobór właściwego odwzorowania kartograficznego, ustalenie zakresu treści i formy graficznej prezentacji mapy (znaki umowne), określenie kryteriów dokładnościowych oraz opracowanie najwłaściwszej technologii sporządzania mapy wizyjnej.

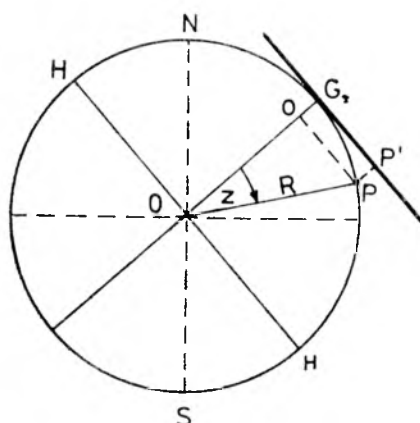
Te właśnie zagadnienia kartograficzne, opracowane po raz pierwszy w Polsce w Zakładzie Kartografii Instytutu Geodezji i Kartografii, są przedmiotem niniejszego opracowania.

## 2. Dobór najwłaściwszego odwzorowania kartograficznego

Kierowanie i kontrola ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej za pomocą urządzeń radarowych polega przede wszystkim na możliwie dokładnym określeniu w każdej chwili kierunku i odległości obiektu latającego od punktu posadowienia głowicy radaru. Stąd jasno wynika, że podstawowym kryterium, które należy brać pod uwagę przy wyborze odwzorowania kartograficznego jest zachowanie warunku wiernokątności i równych odległości od punktu głównego odwzorowania do innego dowolnego punktu.

Odwzorowaniem, które w optymalnym stopniu spełnia te warunki jest odwzorowanie azymutalne (płaszczyznowe) ukośne równodługościowe.

W odwzorowaniu tym, płaszczyzna rzutów jest styczna do płaszczyzny kuli ziemskiej w punkcie głównym  $G$  (głowicy radaru), który znajduje się w środku obszaru podlegającego odwzorowaniu. (rys. 1).



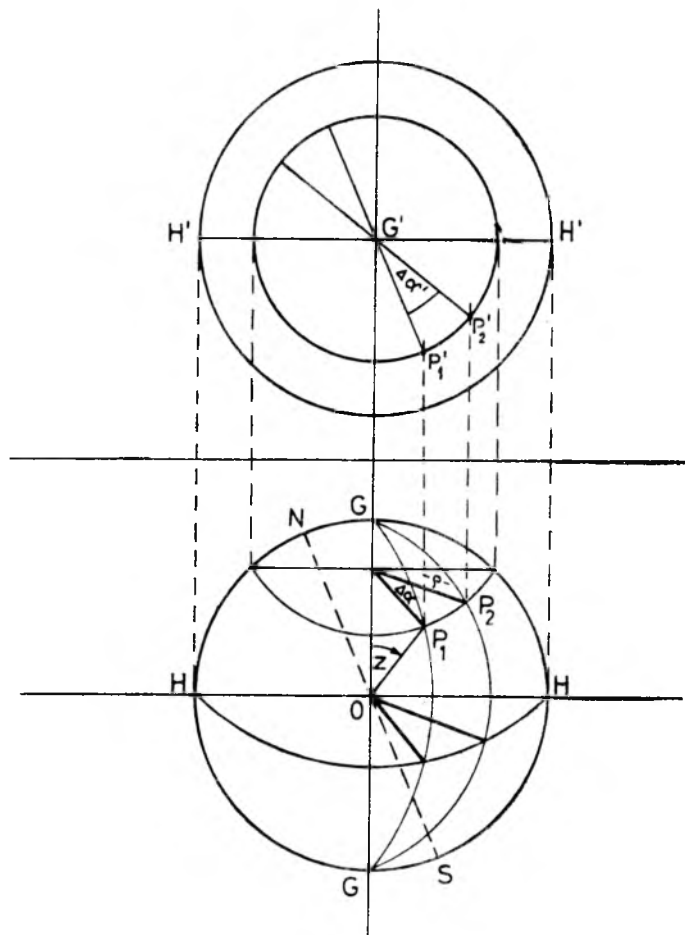
Rys. 1

Rolę południków i równoleżników spełniają w tym odwzorowaniu wertykały i almukantaraty tworzące kierunki główne, rolę zaś współrzędnych geograficznych  $\varphi$  i  $\lambda$  spełniają współrzędne azymutalne  $z$  i  $\alpha$ . Obrazami wertykałów są linie proste przecinające się w jednym punkcie, którym jest obraz punktu głównego o określonych współrzędnych geograficznych  $\varphi_0$  i  $\lambda_0$ .

Kąty, jakie tworzą obrazy wertykałów ze sobą na płaszczyźnie rzutów, są równe kątom utworzonym przez oryginały tych wertykałów na kuli. Różnice azymutów  $\Delta\alpha'$  i  $\Delta\alpha$  dwóch punktów woryginale i w odwzorowaniu są sobie równe (rys. 2).

Almukantaraty odwzorowują się na okręgi współśrodkowe względem obrazu punktu styczności ( $G$ ). Obrazy wertykałów i almukantaratów przecinają się pod kątami prostymi tworząc kierunki główne. Siatka wertykałów i almukantaratów jest więc siatką normalną.

Południki i równoleżniki odwzorowują się na linie krzywe o dość skomplikowanych równaniach matematycznych, jedynie południk przechodzący przez punkt styczności (punkt główny) odwzorowuje się na li-



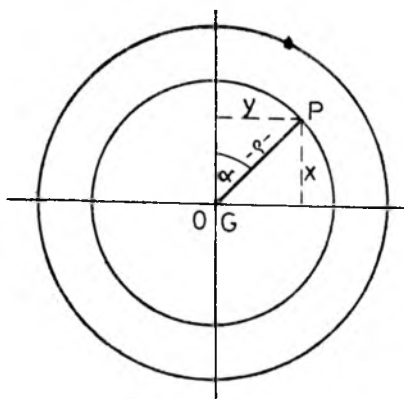
Rys. 2

nię prostą, dzieląc siatkę kartograficzną na dwie połowy. Południki i równoleżniki są rozmieszczone symetrycznie względem południka środkowego (południka punktu styczności). Odstępy między obrazami równoleżników na linii południka środkowego są jednakowe. Odstępy między obrazami dwóch sąsiednich równoleżników rosną w miarę oddalania się od południka środkowego.

Jeżeli obierzemy układ współrzędnych płaskich o środku leżącym w obrazie punktu głównego oraz osiach odciętych i rzędnych pokrywających się z obrazem wertykału początkowego, przechodzącego przez biegun ziemski, i wertykału o azymucie równym  $+90^\circ$ , to współrzędne prostokątne punktu  $P$  przecięcia się obrazu wertykału o danym azymucie

$\alpha$  z obrazem almukantaratu o danej odległości zenitalnej  $z$  (rys. 3) możemy obliczyć z wzorów:

$$\begin{aligned} x &= \varrho \cos \alpha \\ y &= \varrho \sin \alpha \end{aligned} \quad (1)$$



Rys. 3

Promień  $\varrho$  jest funkcją odległości zenitalnej  $z$  i dla wszystkich punktów obrazu określonego almukantaratu posiada wartość jednostkową

$$\varrho = f(z) \quad (2)$$

Równania wertykałów i almukantaratów są analogiczne do równań południków i równoleżników i posiadają postać:

$$\begin{aligned} y &= \operatorname{tg} \alpha \cdot x \\ x^2 + y^2 &= \varrho^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Skale liniowe w kierunkach głównych można obliczyć z wzorów:

$$\begin{aligned} m &= \frac{d\varrho}{R dz} \quad \text{w kierunku wertykału} \\ n &= \frac{\varrho}{R \sin z} \quad \text{w kierunku almukantaratu} \end{aligned} \quad (4)$$

Siatka kartograficzna w odwzorowaniu azymutalnym równodługościowym zachowuje wierne długości tylko w kierunku obrazów wertykałów przechodzących przez obraz punktu styczności, tj. w kierunku promieni siatki. Dlatego też na mapie w tym odwzorowaniu można mierzyć odległości między dwoma punktami położonymi na dowolnym promieniu siatki. Siatka zniekształca natomiast długości wzdłuż almukantaratów.

Jak z powyższego wynika, odwzorowanie azymutalne (płaszczyznowe) ukośne równodługościowe spełnia podstawowe warunki niezbędne do prawidłowego funkcjonowania mapy wizyjnej w radarowym systemie AVIA-BM, gdyż:

- w punkcie głównym odwzorowania (głowicy radaru) kąty odwzorowują się bez zniekształceń,
- kierunki liczone od punktu głównego są liniami prostymi,
- odległości mierzone po kołach wielkich (wertykałach) od punktu głównego odwzorowują się bez zniekształceń.

### 3. Ustalenie optymalnego zakresu treści mapy

Treść mapy wizyjnej powinna być ustalona w sposób bardzo rozważny i zawierać tylko elementy niezbędne do prawidłowego lokalizowania i kierowania obiektami latającymi. Zarówno zbyt duża jak i zbyt mała liczba elementów treści nie jest tutaj wskazana. Zbyt duże bowiem obciążenie treści szczegółami drugorzędnych może spowodować trudności w prawidłowym i sprawnym odczytaniu poszczególnych elementów treści i być źródłem niebezpiecznych pomyłek, zaś zbyt mała liczba niezbędnych elementów może utrudnić prawidłowe lokalizowanie i kierowanie obiektami latającymi.

Przy określaniu zakresu treści mapy wizyjnej należy brać pod uwagę nie tylko względy kartograficzne, ale przede wszystkim względy bezpieczeństwa ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej. Dlatego też w celu prawidłowego ustalenia treści mapy wizyjnej konieczny jest udział specjalisty, posiadającego dużą wiedzę teoretyczną i umiejętności praktyczne w zakresie konstrukcji i obsługi urządzenia radarowego.

Biorąc pod uwagę powyższe względy ustalono, że na potrzeby radarowego systemu kierowania ruchem lotniczym AVIA-BM konieczne jest posiadanie dla określonego obszaru dwu map wizyjnych o zasięgu 140 km (dla radaru precyzyjnego — szczegółowszy zakres treści) i zasięgu 280 km, których optymalny zakres treści powinien zawierać następujące elementy:

- miejsce usytuowania głowicy radaru,
- orientacja mapy (geograficzna lub magnetyczna),
- punkty usytuowania urządzeń radionawigacyjnych,
- osie dróg i tras lotniczych,
- strefy kontrolowane lotnisk (TMA i CTR),
- strefy niebezpieczne i ograniczone,
- przeszkody lotnicze,
- granice FIR i granice państwa,
- linia brzegowa morza,
- granice zasięgu mapy,
- drogi startowe (tylko na mapie o zasięgu 140 km),
- sektor widzenia radaru precyzyjnego (tylko na mapie o zasięgu 140 km),
- znaczki kontrolne odległości,

- znaczki wyznaczające kierunki stron świata (północ, południe, wschód, zachód),
- znaczki justerskie umożliwiające prawidłowe ustawienie mapy wizyjnej w karetkce nastawczej urządzenia radarowego.

W celu zachowania dobrej czytelności mapy, jej treść nie powinna zawierać żadnych opisów literowo-cyfrowych.

#### **4. Forma graficznej prezentacji treści mapy (znaki umowne)**

Zastosowanie radarowego systemu kierowania ruchem lotniczym stwarza nowe i specjalne wymagania dotyczące formy graficznej prezentacji treści mapy, stanowiącej integralną część tego systemu. Wymagania te wiążą się ściśle ze specyfiką przetwarzania i powstawania obrazu mapy na ekranie urządzenia radarowego.

System ten wymaga, aby wszystkie elementy treści mapy były prezentowane znakami umownymi o jak najprostszej i jednoznacznie czytelnej formie.

Formę graficznej prezentacji treści mapy, uzgodnioną ze specjalistami z zakresu konstrukcji i obsługi urządzenia radarowego AVIA-BM, ilustruje tablica 1.

#### **5. Określenie kryteriów dokładności mapy wizyjnej**

Wymagania dotyczące dokładności położenia i kartowania poszczególnych elementów treści mapy są różne i zależą od wagi i znaczenia tych elementów dla prawidłowego kierowania i kontrolowania ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej.


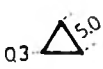

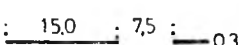
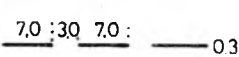

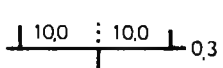

Ogólnie biorąc można tutaj wydzielić cztery następujące grupy elementów treści:


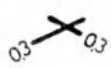
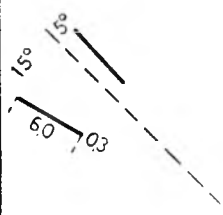
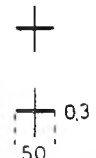
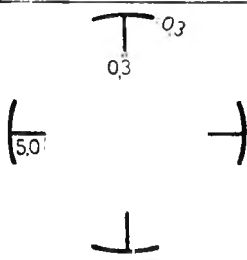
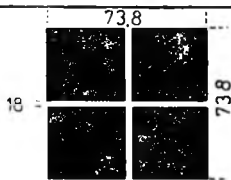
I grupa — elementy zawierające informacje podstawowe, takie jak np. miejsce usytuowania głowicy radaru, usytuowanie urządzeń radionawigacyjnych, usytuowanie stref kontrolowanych (TMA, CTR). Położenie tych elementów powinno być określone współrzędnymi geograficznymi z dokładnością  $\pm 1''$ , natomiast dokładność kartowania nie powinna być mniejsza niż  $\pm 0,1$  mm.

II grupa — elementy zawierające informacje dotyczące położenia stref niebezpiecznych, stref ograniczonych, przeszkód lotniczych itp. Ich położenie powinno być określone współrzędnymi geograficznymi z dokładnością  $\pm 1'$ , a dokładność kartowania  $\pm 0,1$  mm.

III grupa — elementy, których położenie nie zostało określone współrzędnymi geograficznymi np. drogi startowe, sektor widzenia radaru precyzyjnego, granice zasięgu mapy itp. Ich usytuowanie na mapie może być określone w sposób konstrukcyjny w oparciu o elementy należące do grupy I i II i dodatkowe dane cyfrowe, np. odległość, kąt, azymut itp. Do-

Tablica 1

1	Elementy treści mapy	Znaki umowne wymiary w mm	Objaśnienia
1	2	3	4
1	Miejsce usytuowania głowicy radaru		Dwa koncentryczne kółka
2	Punkty usytuowania urządzeń radionawigacyjnych		Trójkąt równoboczny skierowany wierzchołkiem ku północy
3	Osie dróg i tras lotniczych		Linie ciągłe łączące punkty załamań dróg i tras
4	Strefy kontrolowane lotnisk /TMA iCTR/		Linie przerywane łączące punkty załamań stref
5	Strefy niebezpieczne i ograniczone		Linie przerywane łączące punkty załamań stref
6	Przeszkody lotnicze		Daszek równoramienny skierowany ku północy. Usytuowanie przeszkody w środku podstawy znaku
7	Granica FIR i granica państwa		Linia ciągła z kreskami do niej prostopadłymi naprzemiennie
8	Linia brzegowa morza		Linia ciągła

1	2	3	4
9	Granica zasięgu mapy		Okrag koła o srodku w punkcie usytuowania glowicy radaru
10	Drogi startowe		Linie łączące odpowiednie progi startowe
11	Sektor widzenia radaru		Sektor wyznaczają kreski o długości 6-7 mm, usytuowane pod kątem 15° i 5° w stosunku do drogi startowej
12	Znaczkii kontrolne odległości		Wykreśla się je na osiach: północ, południe, wschód, zachód w odstępach co 50 km od głowicy radaru
13	Znaczkii wyznaczające kierunki stron świata		Wykreśla się je na osiach: północ, południe, wschód, zachód od linii zasięgu radaru w kierunku głowicy radaru
14	Znaczkii justerskie		Wykreśla się je na kierunku północ i południe w odległości 397,5 mm od głowicy radaru



kładność kartowania tych elementów nie powinna być jednak mniejsza niż  $\pm 0,3$  mm w skali mapy.

IV grupa — elementy mające jedynie charakter pomocniczy lub orientacyjny, np. linia brzegowa morza, granica państwowa itp. Usytuowanie tych elementów ujmuje się schematycznie na podstawie odpowiednich materiałów kartograficznych. Wymagania dotyczące dokładności położenia i kartowania tych elementów nie mogą być tutaj zbyt rygorystyczne.

## 6. Technologia sporządzania mapy wizyjnej

W procesie opracowania mapy można wydzielić następujące etapy:

- 1) Zebranie i ocena materiałów źródłowych;
- 2) Sporządzenie konceptu autorskiego;
- 3) Przeliczenie współrzędnych geograficznych na współrzędne prostokątne płaskie (tych elementów treści, które są określone współrzędnymi geograficznymi);
- 4) Opracowanie pierworysu mapy;
- 5) Opracowanie czystorysu mapy;
- 6) Sporządzenie ostatecznej postaci mapy wizyjnej.

### 6.1. Zebranie i ocena materiałów źródłowych

Zebranie i ocena materiałów źródłowych są bardzo istotnym etapem w procesie opracowania mapy. Od staranności wyboru i oceny tych materiałów zależy bowiem wartość merytoryczna mapy. Niedocenianie znaczenia tych prac, bądź też niestaranne ich wykonanie może spowodować błędy w redakcyjnym opracowaniu mapy, a tym samym zagrożenie bezpieczeństwem lotów w przestrzeni powietrznej.

Dlatego też istniejące materiały źródłowe powinny być starannie skompletowane i przeanalizowane pod względem ich aktualności oraz wymagań dokładnościowych stawianych poszczególnym grupom elementów treści mapy.

Do materiałów źródłowych należą:

- 1) Współrzędne geograficzne położenia głowicy radaru, punktów określających lokalizację urządzeń radionawigacyjnych, punktów wyznaczających granice stref niebezpiecznych, stref ograniczonych i kontrolowanych, punktów wyznaczających osie dróg i tras lotniczych, punktów określających lokalizację przeszkód lotniczych.
- 2) Dane dotyczące orientacji mapy (geograficzna lub magnetyczna).
- 3) Dane dotyczące zakresu podstawy czasu generatora.
- 4) Mapy lotnicze i szkice, na których uwidocznione są elementy treści mapy wymienione w punkcie 3 oraz inne dane, takie jak granica FIR, granica państwowa, linia brzegowa morza, kierunki dróg startowych, sek-

tory widzenia radaru precyzyjnego, pomoce nawigacyjne usytuowane na przedłużeniach dróg startowych itp.

5) Inne dane, które według użytkownika mapy powinny być uwzględnione w treści mapy wizyjnej.

## 6.2. Sporządzenie konceptu autorskiego mapy

Koncept autorski mapy sporządza się na przezroczystej folii kreślarskiej na podstawie skompletowanych i dokładnie przeanalizowanych materiałów źródłowych.

Przy doborze skali konceptu autorskiego należy się kierować następującymi zasadami:

— koncept powinien być wykonany w skali zbliżonej do skali pierworysu,

— skala konceptu autorskiego powinna być kilkakrotnie większa od skali mapy wizyjnej.

Najwłaściwszym materiałem źródłowym do sporządzenia konceptu autorskiego jest mapa lotnicza w skali 1:1000 000 posiadająca siatkę geograficzną. Koncept autorski sporządza się w ten sposób, że na przezroczystą folię kreślarską nałożoną na mapę lotniczą wnosi się, na podstawie współrzędnych geograficznych i innych materiałów źródłowych, pełną treść mapy wizyjnej. Poprawność wniesienia treści tematycznej należy sprawdzić z odpowiednią treścią przedstawioną na mapach i szkicach zaliczonych do materiałów źródłowych.

W przypadku braku danych, umożliwiających właściwą i pełną konstrukcję treści tematycznej, lub odchyłeń od rysunku przedstawionego na mapach i szkicach, należy wszystkie wątpliwości wyjaśnić, skorygować, uzupełnić brakujące materiały źródłowe i ewentualne poprawki wnieść na koncept autorski. Po sprawdzeniu treść tematyczną należy wykreślić znakami umownymi podanymi w tabelicy 1.

Koncept autorski powinien być zaakceptowany przez użytkownika mapy.

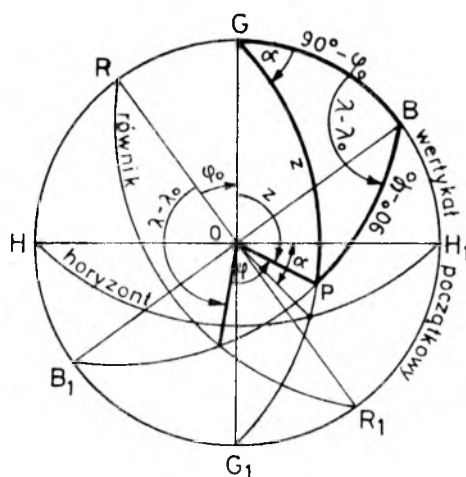
## 6.3. *Przeliczenie współrzędnych geograficznych, określających położenie poszczególnych elementów treści mapy, na współrzędne prostokątne płaskie*

Do sporządzenia pierworysu mapy wizyjnej w odwzorowaniu azymutalnym ukośnym równodługościowym niezbędne jest posiadanie punktów węzłowych siatki geograficznej i siatki kwadratów oraz wszystkich punktów określających tematyczne elementy treści mapy w układzie współrzędnych prostokątnych płaskich.

Ponieważ jednak podstawowe elementy treści mapy są z reguły określone współrzędnymi geograficznymi  $\varphi$  i  $\lambda$ , zachodzi konieczność ich przeliczenia na współrzędne prostokątne płaskie  $x, y$ .

Z praktycznego punktu widzenia zagadnienie sprowadza się do znalezienia związków między współrzędnymi geograficznymi  $\varphi$  i  $\lambda$  (których wartości są dane) a współrzędnymi azymutalnymi  $z$  i  $\alpha$  punktu na kuli.

Niech  $BB_1$  oznacza oś obrotu kuli ziemskiej, zaś  $GG_1$  średnicę łączącą punkty główne. Niech  $P$  oznacza dowolny punkt leżący na powierzchni kuli ziemskiej. Położenie tego punktu określone jest współrzędnymi  $\varphi$  i  $\lambda$  w układzie współrzędnych geograficznych lub współrzędnymi  $z$  i  $\alpha$  w układzie współrzędnych azymutalnych (rys. 4).



Rys. 4

W celu znalezienia związków między współrzędnymi  $\varphi$  i  $\lambda$  oraz  $z$  i  $\alpha$  rozpatrzmy trójkąt sferyczny  $GBP$ , w którym bok  $GP$  jest łukiem wertykału punktu  $P$  odpowiadającym kątowemu  $z$ , bok  $GB$  jest łukiem południka przechodzącego przez punkt  $G$  odpowiadającym kątowemu  $90^\circ - \varphi_0$ , bok  $BP$  jest łukiem południka przechodzącego przez punkt  $P$  odpowiadającym kątowemu  $90^\circ - \varphi$ , kąt przy wierzchołku  $G$  jest równy azymutowi linii  $GP$ , zaś kąt przy wierzchołku  $B$  jest równy różnicy długości geograficznych punktów  $P$  i  $G$ .

Zakładamy, że współrzędne geograficzne punktu  $G$  są znane. Z trójkąta sferycznego  $GPB$  na podstawie wzorów z trygonometrii sferycznej możemy określić:

$$\cos z = \cos (90^\circ - \varphi_0) \cos (90^\circ - \varphi) + \sin (90^\circ - \varphi_0) \sin (90^\circ - \varphi) \cos (\lambda - \lambda_0)$$

czyli

$$\cos z = \sin \varphi_0 \sin \varphi + \cos \varphi_0 \cos \varphi \cos (\lambda - \lambda_0) \quad (5)$$

$$\sin z \cos z = \cos (90^\circ - \varphi) \sin (90^\circ - \varphi_0) - \sin (90^\circ - \varphi) \cos (90^\circ - \varphi_0) \cos (\lambda - \lambda_0)$$

$$\sin z \cos z = \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0) \quad (6)$$

a następnie

$$\frac{\sin z}{\sin (\lambda - \lambda_0)} = \frac{\sin (90^\circ - \varphi)}{\sin \alpha}$$

stąd

$$\sin z \sin \alpha = \cos \varphi \sin (\lambda - \lambda_0) \quad (7)$$

dzieląc (6) przez (7) otrzymamy

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cos \varphi_0 - \sin \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0)}{\sin (\lambda - \lambda_0)} \quad (8)$$

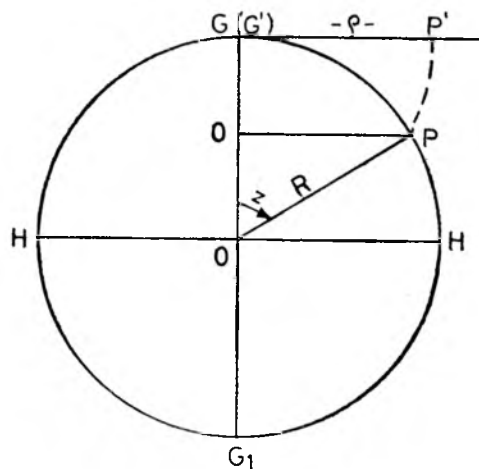
Za pomocą wzorów (5) i (8) możemy obliczyć współrzędne azymutalne  $z$  i  $\alpha$  punktu  $P$ , o ile są znane współrzędne geograficzne tego punktu.

Jeżeli więc współrzędnym geograficznym określonych punktów odpowiadają określone współrzędne  $z$  i  $\alpha$  to współrzędne prostokątne płaskie mogą być określone z wzorów:

$$\begin{aligned} x &= \varrho \cos \alpha \\ y &= \varrho \sin \alpha \end{aligned} \quad (9)$$

Promień  $\varrho$  almukantaratu punktu  $P$  o długości zenitalnej  $z$  (rys. 5) oblicza się z wzoru

$$\varrho = \pi R \frac{z}{180^\circ} = R \operatorname{arc} z \quad (10)$$



Rys. 5

Wzory na obliczenie współrzędnych prostokątnych płaskich punktu przecięcia się wertykału  $\alpha$  z almukantaratem z przyjmą ostatecznie postać

$$\begin{aligned}x &= R \operatorname{arc} z \cos \alpha \\y &= R \operatorname{arc} z \sin \alpha\end{aligned}\quad (11)$$

Postępując się powyższymi wzorami należy dokonać przeliczenia współrzędnych geograficznych na współrzędne prostokątne płaskie wszystkich tych punktów, których lokalizacja została określona za pomocą współrzędnych geograficznych, jak również tych punktów dla których istnieją dane umożliwiające wyliczenie tych współrzędnych. Przy wykonywaniu obliczeń zaleca się następującą kolejność czynności:

- ustalić współrzędne geograficzne  $\varphi$  i  $\lambda$  punktu głównego (głowicy radaru);
- ustalić współrzędne geograficzne  $\varphi$  i  $\lambda$  punktowych elementów treści mapy;
- ustalić dokładność prowadzenia obliczeń;
- obliczyć współrzędne azymutalne  $z$  i  $\alpha$  punktowych elementów treści mapy;
- obliczyć promień almukantaratu;
- obliczyć współrzędne prostokątne płaskie  $x$  i  $y$  punktowych elementów treści mapy.

Niezależnie od przeliczenia współrzędnych punktowych elementów treści mapy należy również obliczyć współrzędne prostokątne płaskie punktów węzłowych siatki geograficznej oraz siatki kwadratów, umożliwiającą wkartowanie elementów treści nie określonych współrzędnymi geograficznymi.

Obliczone w ten sposób współrzędne prostokątne płaskie mogą mieć wartości zarówno dodatnie, jak i ujemne, gdyż są odniesione do układu, którego środek znajduje się w punkcie posadowienia głowicy radaru. W celu uproszczenia dalszej pracy należy dokonać przesunięcia układu współrzędnych tak, aby wszystkie współrzędne miały wartości dodatnie. Ostateczny wykaz współrzędnych powinien zawierać numery punktów oraz wartości współrzędnych dostosowane do skali opracowania pierworysu mapy radarowej.

Przeliczenie współrzędnych powinno być wykonane niezależnie przez dwie osoby. Wyniki dwóch niezależnych obliczeń należy wzajemnie skontrolować, w celu ujawnienia ewentualnych błędów i wprowadzenia korekty.

#### 6.4. Opracowanie pierworysu mapy

Przy opracowaniu pierworysu mapy wizyjnej ważnym zagadnieniem jest ustalenie skali w jakiej ma on być wykonany. Dobór skali pierworysu uwarunkowany jest zarówno względami technicznymi związanymi

z parametrami technicznymi urządzenia radarowego, jak również względami kartograficznymi związanymi z czytelnością mapy i procesem fotomechanicznego pomniejszenia w końcowym etapie pracy. Parametry techniczne urządzenia radarowego, takie jak podstawa czasu generatora, częstotliwość powtarzania impulsów i ilość obrotów anteny radarowej na minutę, określają bardzo ściśle rozmiary mapy wizyjnej.

Ponieważ podstawa czasu generatora urządzenia radarowego AVIA-BM wynosi 300 km, a mapa wizyjna musi się zmieścić w kole średnicy 50,8 mm, to jak łatwo obliczyć mapa wizyjna będzie miała skalę 1:5 905 512.

Biorąc pod uwagę wymagania dotyczące dokładności i precyzji wykonania mapy wizyjnej, zachodzi konieczność wykonania pierworysu tej mapy.

Dla zachowania wymaganej dokładności pierworys mapy powinien być sporządzony na planszy kartograficznej z wkładką aluminiową lub na stabilnej poliestrowej folii kartograficznej.

Kartowanie poszczególnych elementów treści mapy, określonych współrzędnymi prostokątnymi płaskimi, należy wykonać za pomocą koordynatografu precyzyjnego. Poprawność kartowania sprawdza się przez nałożenie konceptu autorskiego na pierworys i staranne porównanie odpowiednich elementów treści. Po sprawdzeniu i ewentualnym poprawieniu błędów, skartowane za pomocą koordynatografu punkty stanowią podstawę do konstrukcji pozostałej treści mapy.

Rysunek pierworysu wykreśla się ołówkiem zgodnie ze znakami umownymi podanymi w punkcie 4 niniejszego opracowania.

Poza treścią zawartą wewnątrz koła należy wykreślić, na południku przechodzącym przez punkt główny, w odległości 397,5 mm od punktu głównego w kierunku na północ i południe, dwa znaczki justerskie w formie czarnych kwadratów z białymi krzyżami wyznaczającymi środki tych znaczków. Znaczki te o ściśle określonych wymiarach  $73,8 \times 73,8$  mm są niezbędne do prawidłowego ustawienia mapy wizyjnej w karetkie nastawczej urządzenia radarowego AVIA-BM.

Po zakończeniu prac związanych z opracowaniem pierworysu, sprawdza się jeszcze raz poprawność wniesienia treści, przez porównanie z konceptem autorskim. Sprawdzony pierworys powinien być przedstawiony do akceptacji użytkownikowi mapy. Po akceptacji stanowi on podstawę do opracowania czystorysu mapy.

#### 6.5. *Opracowanie czystorysu mapy*

Wykreślony w ołówku, sprawdzony i zaakceptowany przez użytkownika pierworys mapy wykreśla się bardzo starannie tuszem czarnym, ściśle według znaków umownych podanych w punkcie 4.

Przy wykreślaniu liniowych elementów treści mapy należy zwrócić uwagę na konieczność tangencjalnego pogrubiania linii promieniowych i prawiepromieniowych. Wynika to ze specyfiki działania urządzenia radarowego, a szczególnie częstotliwości powtarzania impulsów i ilości obrotów anteny na minutę. Gdyby linia o położeniu promieniowym lub prawiepromieniowym miała na całej swej długości 0,27 mm zarówno na obrzeżu mapy, jak i w pobliżu punktu głównego, to taka linia, zmniejszona 5,9-krotnie na ostatecznej mapie wizyjnej, byłaby w miarę oddalania się od punktu głównego coraz bardziej narażona na zaginięcie. Aby temu zapobiec, wszystkie linie promieniowe i prawiepromieniowe, tzn. mieszczące się wewnątrz kąta środkowego  $15^\circ$  o wierzchołku w punkcie głównym, należy tangencjalnie pogrubiać. Na podstawie odpowiednich wzorów obliczono, że minimalna grubość linii na mapie wizyjnej może wynosić 0,046 mm, zaś w skali 1:1 000 000 pierworysu 0,27 mm. Tangencjalne pogrubianie linii promieniowych i prawiepromieniowych należy rozpoczynać w odległości 10,8 mm od punktu głównego. Grubość tych linii na obrzeżu pierworysu mapy nie może być mniejsza niż 0,84 mm.

Bardzo ważnym elementem treści mapy jest pierścień centrujący, usytuowany w punkcie głównym. Od dokładności położenia tego pierścienia zależy dokładność całej mapy. Ze względu na małe rozmiary pierścienia (dwa koncentryczne kółka o średnicach 0,75 mm i 1,50 mm), trudno jest go wykreślić dokładnie nawet na czystorysie mapy. Dlatego zaleca się niezależne jego wykreślenie tuszem w dużej skali, a następnie zmniejszenie fotomechaniczne do żądanych wymiarów i wklejenie w punkcie głównym czystorysu mapy. Pierścień centrujący służy do prawidłowego ustawienia mapy wizyjnej w karetki nastawczej urządzenia radarowego.

Wykreślony w ten sposób czystorys mapy należy sprawdzić bardzo starannie pod względem prawidłowości wykreślenia wszystkich elementów treści. Szczególną uwagę należy zwrócić na pełną i jednolitą czerń rysunku wykreślonego tuszem.

Sprawdzony czystorys stanowi podstawę do opracowania ostatecznej postaci mapy wizyjnej, jaką jest płytka szklana w formie negatywu.

#### 6.6. Sporządzenie ostatecznej postaci mapy wizyjnej

Ostateczna postać mapy wizyjnej, uwarunkowana względami technicznymi urządzenia radarowego AVIA-BM, musi mieć formę szklanej płytki negatywowej o ściśle określonych rozmiarach i parametrach jakościowych.

Kierując się powyższymi wymaganiami czystorys mapy powinien być bardzo dokładnie zmniejszony do żądanych wymiarów. Zmniejszenia dokonuje się na aparacie fotoreprodukcyjnym.

Najwłaściwszym materiałem fotograficznym jest płytka szklana Kodak Kodalith Ortho Plate. Typ 3 o wymiarach  $12 \times 16,5$  cm.

Z uwagi na możliwość stłuczenia się mapy wizyjnej zaleca się sporządzenie 2—4 rezerwowych kopii mapy.

### **Zakończenie**

Na podstawie wyżej opisanej technologii sporządzono już kilka map wizyjnych do urządzenia radarowego AVIA-BM, które są z powodzeniem praktycznie wykorzystywane do radarowego systemu kontrolowania i kierowania ruchem lotniczym określonych obszarów lotniczych na terenie całej Polski.

Recenzowała: doc. dr inż. Krystyna Podlacha



JAN CIESIELSKI

## A video map for the AVIA-BM radar system to controlling the air traffic in the airspace

**Abstract.** The paper comprises the principles of preparation a special video map for the AVIA-BM radar device constructed for controlling the air traffic in the airspace. These principles contain the requirements as: the choice of the most appropriate map projection, determination of the range and the graphical form of the map content and establishing accuracy criteria and the technology of map elaboration.

### 1. Introduction

An intensified air service traffic has been noticed lately. For securing the safety of flights, it is necessary to apply better and more accurate equipment for controlling the air traffic in the airspace.

One of such appliances is the AVIA-BM — elaborated in Poland — electronic radar system.

The indispensable element of this system is a video map elaborated in the form of the negative on the glass plate of the size  $12 \times 16,5$  cm. The image of this map, electronically transmitted on the screen of the radar system allows to observe and control the flying objects.

In order that this map could be used appropriately, it should satisfy determined conditions connected with the AVIA-BM electronic radar system.

The meeting of the determined requirements demands the solution of several cartographic problems, considering among others: the choice of appropriate cartographic projection, establishing the range of the content and the form of graphical presentation of the map (conventional signs and symbols), determination of accuracy criteria as well as elaboration of the best technology for preparation of the video map.

The above-mentioned cartographic problems (and tasks) which have been worked out for the first time in Poland in the Department of Cartography of the Institute of Geodesy and Cartography are presented in this paper.

## 2. The choice of the most proper cartographic projection

Steering and air traffic control in the airspace by means of the radar equipment relies first of all upon the possibly accurate, permanent determination of the direction and the distance of a flying object from the point of the radar head site. Thus it is clear that the basis criterion which should be considered during the selection of cartographic projection is the condition of conformity and equal distances from the main point of the projection to another arbitrary point.

The projection which in an optimal degree meets these conditions is the azimuth projection (plane, oblique and equidistant).

In this projection the projective plane is tangent to the plane of the terrestrial globe at the point G (of the radar head), which is located in the centre of the projected area (Fig. 1).

The meridians and parallels (of latitude) in this projection are vertical circles and almucantar parallels (of altitude) creating the main directions; the task of geographic coordinates  $\varphi$  and  $\lambda$  fulfil azimuth coordinates  $z$  and  $\alpha$ . The images of vertical circles are the straight lines intersecting at one point being the image of the point of determined geographical coordinates  $\varphi_0$  and  $\lambda_0$ .

The angles created by the images of vertical circles on the projective plane are equal to the angles between the originals of these vertical circles on the sphere. Differences of azimuths  $\Delta\alpha'$  and  $\Delta\alpha$  of two points in the original and in the projection are equal (Fig. 2).

Almucantar parallels (of altitude) are projected into concentric circles in relation to the image of the tangence point (G). Images of vertical circles and almucantar parallels (of altitude) are intersecting perpendicularly creating principal directions. So the network of vertical circles and almucantar parallels is the normal network.

Meridians and parallels (of latitude) are projected into curves described by complex mathematical equations; only the meridian passing through the tangence point (the main point) is projected into the straight line dividing the cartographic network into two parts. Meridians and parallels (of latitude) are distributed symmetrically in relation to the central meridian (the meridian of the tangence point). Intervals between the images of parallels (of latitude) on the line of the central meridian are equal. Intervals between the images of two neighbouring parallels (of latitude) are increasing with the distance from the central meridian.

If the system of grid coordinates with the origin located in the image of the main point, and axes of abscissae and ordinates covering with the image of the vertical circle passing through the Earth Pole, and the vertical circle of the azimuth equal to  $+90^\circ$  is chosen, the rectangular coordinates of point P of the intersection of the image of the vertical

circle of the given azimuth with the image of the almucantar parallels (of altitude) of a given zenith distance (Fig. 3), can be calculated by means of the following formulae:

$$\begin{aligned} x &= \varrho \cos \alpha, \\ y &= \varrho \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

The radius  $\varrho$  is the function of the zenith distance  $z$ , and it is equal 1 for all points of the image of the determined almucantar parallels (of altitude).

$$\varrho = f(z). \quad (2)$$

Equations of vertical circles and almucantar parallels (of altitude) are analogical to the equations of meridians and parallels (of latitude). They are of the form:

$$\begin{aligned} y &= \tan \alpha \cdot x, \\ x^2 + y^2 &= \varrho^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Linear scales in the main directions may be calculated by means of the formulae:

$$m = \frac{d\varrho}{Rdz} \text{ in the direction of the vertical circle,} \quad (4)$$

$$n = \frac{\varrho}{R \sin z} \text{ in the direction of almucantar parallel (of altitude).}$$

Cartographic network in the azimuth equidistant projection maintains the faithful lengths only in the direction of images passing through the image of the tangence point, that is in the direction of the network radii. Therefore, on the map in this projection, the distances between two points situated on the arbitrary radius of the network may be measured.

However, the network deformats the lengths along almucantar parallels (of altitude).

Accordingly to the above analysis, the azimuth projection (plane, oblique, equidistant) satisfies the essential conditions, indispensable for the correct functioning of the video map in the AVIA-BM radar system, since:

- the angles in the central point of projection (of the radar head) are projected without any distortions,
- the directions, counted from the central point, are straight lines,
- the distances measured along the large circles (verticals) from the central point are projected without any distortions.

7\*

### 3. Settlement of the optimum range of the map content

The content of the video map should be determined with a particular deliberation, and comprise only essential elements to proper ranging and steering of flying objects. Too great as well as too small number of elements of its content would be inadvisable here. Too great number of unimportant details may cause difficulties in correct and efficient reading of individual elements of the map content, and it may be the source of dangerous mistakes, whereas too small number of indispensable elements may render the proper ranging and steering of flying objects difficult.

During the determination of the video map content one should keep in mind not only cartographic aspects, but above all the matter of safety of air traffic in the airspace. Therefore, for correct settlement of the video map content it is indispensable to employ the well informed and highly qualified expert abling to construct and operate the radar system.

Considering the above mentioned problems, it has been determined that for the needs of the AVIA-BM radar system of controlling the air traffic it is necessary to have — for the determined area — two video maps of the range of 140 km (for the precise radar — including more detailed range of the content), and of the range of 280 km; the optimum range of the content of these maps should comprise the following elements:

- the location of the radar head site,
- map orientation (geographical or magnetic),
- location of radionavigation appliances,
- axes of airways and air routes,
- controlled zones of airports (TMA and CTR),
- unsafe and limited zones,
- air interferences,
- FIR boundaries and State boundaries,
- coastlines of the sea,
- boundaries of the map range,
- runways (only on the map of the 140 km range),
- sector of vision of the precise radar (only on the map of the 140 km range),
- check symbols of distances,
- symbols indicating the directions of the quarters of the globe (North, South, East, West),
- adjusting (standard) symbols allowing for proper setting of the video map in the adjusting carriage of the radar equipment.

In order to keep a good readability of the map, its content should not include any lettering-numerical descriptions.

#### **4. The graphic form of the map content presentation (conventional signs)**

Utilization of the radar system for controlling the air traffic results in new and specific requirements referring to the graphic form of the map content presentation, being the integral part of this system.

These demands are closely connected with processing and formation of the map image on the screen of the radar equipment.

This system requires the presentation of all elements of the map content by the conventional signs (symbols) of the most simple and explicit form.

The graphical form of presentation of the map content, agreed with the experts in the field of construction and operation dealing with the AVIA-BM radar appliance, is illustrated in Table 1.

#### **5. Determination of the criteria of accuracy of the video map**

Requirements related to the accuracy of position and mapping of particular elements of the map content are different and depend on significance of these elements for proper steering and controlling of the air traffic in the air space.

In general, the following four groups of elements of the map content may be distinguished:

1st group — elements comprising the basic information such as, for instance, the radar head site, location of radionavigation appliances, location of controlled zones (TMA, CTR). Position of these elements should be determined by geographical coordinates with the accuracy of  $\pm 1''$ , while the mapping accuracy should not be lower than  $\pm 0,1$  mm.

2nd group — elements comprising information referring to the location of unsafe zones, limited zones, air drawbacks, etc. Their position should be determined by means of geographical coordinates, with the accuracy of  $\pm 1'$ , and the accuracy of plotting should be equal to  $\pm 0,1$  mm.

3rd group — elements, the position of which has not been determined by geographical coordinates, for instance, air routes, sector of vision of the precise radar, boundaries of the map range etc. Their position on the map can be determined in a constructive way, on the basis of elements belonging to the 1st and 2nd groups, and additional digital data, for instance, the distance, angle, azimuth, etc. The mapping accuracy should not be smaller than  $\pm 0.3$  mm at the map scale.

4th group — auxiliary or indicatory elements, for instance, the coastline of the sea, State boundaries, etc. Location of these elements is drawn schematically on the basis of the appropriate cartographic materials. Requirements referring to the accuracy of positioning and mapping of these elements cannot be too rigorous.

## 6. Technology of production of a video map

In the process of preparing the map the following stages may be distinguished:

- 1) Collection and evaluation of the source materials.
- 2) Preparation of a compilation manuscript.
- 3) Transformation of geographical coordinates to rectangular plane coordinates (of those elements which are determined by means of geographical coordinates).
- 4) Elaboration of first copy of the map.
- 5) Elaboration of a fair copy of the map.
- 6) Production of the final form of the video map.

### 6.1. *Collection and evaluation of the source materials*

The collection and evaluation of source materials are the particularly important stage in the process of map elaboration. The essential value of the map depends on proper selection and evaluation of these materials. Underestimation of significance of these works or their unproper preparation may cause errors in the process of map editing and thus threaten to safety of flight in the air space.

Therefore, the existing source materials should be carefully completed and thoroughly analyzed from the standpoint of their topicality and accuracy requirements with respect to particular groups of elements of the map content.

The following data may be used as the source materials:

- 1) Geographical coordinates of the position of the radar head, of the points designating location of radionavigation equipment, of the points indicating boundaries of the unsafe zones, the limited and controlled zones, of the points indicating axes of airlines and air routes, of the points determining the location of air interferences.
- 2) Data referring to orientation of the map (geographical or magnetic).
- 3) Data relating to the generator time base.
- 4) Air maps and sketches, presenting the elements of the map content, mentioned in the item 3 as well as the other data as the FIR boundary, boundary of the State, coastline of the sea, directions of runways, sectors of vision of the precise radar, servo-navigation equipment on the elongations of the runways, etc.
- 5) The other data which should be included in the video map content, according to the opinion of the map user.

### 6.2. *Production of the compilation manuscript of the map*

The compilation manuscript is made on the transparent drawing film on the basis of completed and thoroughly analyzed source material.

The following rules should be considered during the selection of the scale of the compilation manuscript:

- the compilation manuscript ought to be prepared at the scale similar to the scale of the first copy,
- the scale of the compilation manuscript should be several times larger than the scale of the video map.

The most proper source material for producing the compilation manuscript is the aeronautical map at the scale 1:1 000 000 with geographical grid. The compilation manuscript is prepared in such a way that full content of the video map is introduced on the drawing film, overlapping the aeronautical map. It is performed on the basis of geographical coordinates and the other source materials. Correctness of introduction of the thematic content should be checked with the content presented on source maps and sketches.

In a case of lack of data, allowing for designing of the thematic content, all doubts should be explained and corrected, lacking source materials should be supplemented and necessary corrections should be introduced on the compilation manuscript. After verification the thematic content should be drawn by conventional signs, given in Table 1.

The compilation manuscript should be accepted by the user of the map.

### 6.3. *Transformation of geographical coordinates, determining the position of particular elements of the map content to rectangular plane coordinates*

In order to produce the first copy of the video map in the azimuthal, oblique, equidistant projection, it is indispensable to determine graticule intersections and the grid, and all points determining thematic elements of the map content in the rectangular plane coordinates system.

Since, however, the essential elements of the map content are usually determined by means of geographical coordinates  $\varphi$  and  $\lambda$ , it is necessary to transform them to rectangular plane coordinates  $x, y$ .

From the practical standpoint, the problem relies upon the definition of the relations between geographical coordinates  $\varphi$  and  $\lambda$  (the values of which are given) and azimuthal coordinates  $z$  and  $\alpha$  of the point on the sphere.

Let  $BB_1$  determine the rotating axis of the terrestrial globe,  $GG_1$  — the diameter between the main points,  $P$  — an arbitrary point located

on the surface of the globe. Its location is determined by the  $\varphi$ ,  $\lambda$  coordinates in the geographical coordinates system or the  $z$ ,  $\alpha$  coordinates in the azimuthal coordinates system (Fig. 4).

In order to determine the relations between  $\varphi$ ,  $\lambda$  and  $z$ ,  $\alpha$  coordinates, the spherical triangle  $GBP$  will be discussed; its  $GP$  side is the arc of the vertical circle of the point  $P$ , corresponding to the  $z$  angle,  $GB$  side is the arc of the meridian passing through the point  $G$ , corresponding to the angle  $90^\circ - \varphi_0$ ,  $BP$  side is the arc of the meridian passing through the point  $P$ , corresponding to the angle  $90^\circ - \varphi$ , the  $G$  vertex angle is equal to the azimuth of the  $GP$  line and the  $B$  vertex angle is equal to the difference of geographical longitudes of  $P$  and  $G$  points.

It is assumed that geographical coordinates of the point  $G$  are known. From the spherical triangle  $GRB$ , on the basis of rules of spherical trigonometry it can be determined that:

$$\cos z = \cos (90^\circ - \varphi_0) \cos (90^\circ - \varphi) + \sin (90^\circ - \varphi_0) \sin (90^\circ - \varphi) \cos (\lambda - \lambda_0),$$

so

$$\cos z = \sin \varphi_0 \sin \varphi + \cos \varphi_0 \cos \varphi \cos (\lambda - \lambda_0) \quad (5)$$

$$\sin z \cos z = \cos (90^\circ - \varphi) \sin (90^\circ - \varphi_0) - \sin (90^\circ - \varphi) \cos (90^\circ - \varphi_0) \cos (\lambda - \lambda_0)$$

$$\sin z \cos z = \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0) \quad (6)$$

and

$$\frac{\sin z}{\sin (\lambda - \lambda_0)} = \frac{\sin (90^\circ - \varphi)}{\sin \alpha}$$

thus

$$\sin z \sin \alpha = \cos \varphi \sin (\lambda - \lambda_0) \quad (7)$$

dividing (6) by (7) it is obtained:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi \cos \varphi_0 - \sin \varphi_0 \cos (\lambda - \lambda_0)}{\sin (\lambda - \lambda_0)} \quad (8)$$

By means of the equations (5) and (8) the azimuthal coordinates  $z$  and  $\alpha$  of the point  $P$  may be calculated, if its geographical coordinates are known.

If geographical coordinates of certain points correspond to determined  $z$  and  $\alpha$  coordinates, rectangular coordinates may be calculated by means of the following formulae:

$$\begin{aligned} x &= \varrho \cos \alpha \\ y &= \varrho \sin \alpha \end{aligned} \quad (9)$$

The radius  $\varrho$  of the almucantar parallel of the point  $P$  (of the zenithal longitude  $z$ , fig. 5) is calculated on the basis of the equation:

$$\varrho = \pi R \frac{z}{180^\circ} = R \operatorname{arc} z \quad (10)$$



Equations for calculating rectangular coordinates of the point of intersection of the vertical circle  $\alpha$  and the almucantar parallel  $z$  have the final form:

$$\begin{aligned}x &= R \operatorname{arc} z \cos \alpha \\y &= R \operatorname{arc} z \sin \alpha\end{aligned}\tag{11}$$

Making use of the above-mentioned formulae, geographical coordinates should be transformed to rectangular plane coordinates for all the points, the localization of which has been determined by means of geographical coordinates, as well as for such points, for which it is possible to calculate these coordinates.

The following sequence of operations is advised for the calculations:

- determination of geographical coordinates  $\varphi_0$  and  $\lambda_0$  of the central point (of the radar head);
- determination of geographical coordinates  $\varphi$  and  $\lambda$  of point elements of the map content;
- determination of the accuracy of calculations;
- calculation of azimuthal coordinates  $z$  and  $\alpha$  of point elements of the map content;
- calculation of the radius of almucantar parallels (of altitude);
- calculation of rectangular plane coordinates  $x$  and  $y$  of point elements of the map content.

Independently on the transformation of coordinates of point elements of the map content it is also necessary to calculate rectangular plane coordinates of graticule intersections and the grid of squares, what enables to map in the elements of content, which are determined by geographical coordinates.

The calculated in such a way rectangular plane coordinates may have positive as well as negative values, since they are referenced to the system, the center of which is located at the point of the site of the radar head. In order to simplify further work it is necessary to shift the system of coordinates, so that all the coordinates would have positive values. The final list of coordinates ought to comprise numbers of points and values of coordinates fitted to the scale of elaboration of the first copy of the radar map.

The transformation of coordinates ought to be performed independently by two persons. The results of the two independent calculations should be checked and compared in order to detect possible errors and to introduce corrections.

#### 6.4. *Elaboration of the first copy of the map*

During the elaboration of the first copy of the video map it is important to determine the scale of its elaboration. The choice of the scale is conditioned by technical aspects, by technical parameters of the radar

equipment as well as by cartographic reasons connected with the readability of the map and with the photomechanical process of reducing the map in the final stage of its elaboration. Technical parameters of the radar equipment, such as the basis of time of the generator, the frequency of repeating the pulses, and the number of rotations of the radar antenna per minute, very exactly determine the dimensions of the video map.

Since the assumed basis of time of the generator of the AVIA-BM radar equipment equals to 300 km, and the video map must be included in the circle of the diameter of 50,8 mm, thus it is easy to calculate that the scale of the video map will be equal 1:5 905 512.

Considering the requirements related to the accuracy of preparation of the video map, it is necessary to elaborate the first copy of this map.

The practice in this field proves that the most appropriate scale for preparation of the first copy is 1:1 000 000. It follows from the fact that the aeronautical map constituting the kind of the background source material and the compilation manuscript of the map was prepared at this scale. It facilitates both drawing up of the map content on the first copy as well as the control of its correctness, by comparison with the compilation manuscript.

Comparing the scale of the video map (1:5 905 512) with the scale of the first copy — 1:1 000 000 — may be observed that the scale of the first copy will be 5,9 times larger. Conventional signs, being applied to preparation of the first copy have to be also 5,9 times enlarged (see Table 1).

For maintaining the required reliability, the first copy should be prepared on the cartographic sheet with the aluminium plate or on the stable polyester cartographic film.

Mapping particular elements of the map content, determined by the rectangular plane coordinates, should be performed by means of a high precision plotter. Accuracy of plotting is controlled by overlying of the compilation manuscript upon the first copy and comparison of the respective elements of the content. After checking and possible correcting the errors, the points mapped by the plotter will constitute grounds for construction of the remaining map content.

The drawing of the first copy is traced with a pencil in agreement with conventional signs given in Section 4 of the paper.

Besides the content comprised inside the circle, it is necessary to plot, on the meridian crossing the central point, 397,5 mm North and South of the central point, two adjusting (standard) symbols in the form of black squares with white crosses indicating the centres of these symbols. These symbols, of strictly qualified dimensions  $73,8 \times 73,8$  mm, are indispensable for proper placing the video map in the adjustable carriage of the AVIA-BM radar equipment.

After elaboration of the first copy, it is obligatory to check the accuracy of overlying the content by comparison with the compilation manuscript. The verified first copy ought to be submitted to the acceptance of the map user. After approval, this first copy becomes the basis for elaboration of the fair draught of the map.

#### 6.5. Preparation of the fair draught of the map

Pencil-drawn, verified and accepted by the user, first copy is traced very carefully with black drawing ink according to the conventional symbols given in Section 4.

In the course of drawing linear elements of the map content one should pay attention to the necessity of tangential thickening of radial lines and almost-radial ones. It results from the functioning of the radar device, and particularly from the frequency of repeating the pulses and the number of the antenna rotations per minute. If the radial or quasi-radial line was 0,27 mm thick both on the map margin as well as near the central point, then such a line 5,9 times reduced on the final video map would disappear with moving from the central point. In order to prevent to this phenomenon all the radial lines and almost-radial lines, i.e. those being situated inside the central angle  $15^\circ$  of the vertex in the central point, have to be thickened tangentially. It was computed on the basis of appropriate formulae that the minimum thickness of line on the video map may be of 0,046 mm, whereas at the scale 1:1 000 000 of the first copy of the original manuscript — 0,27 mm.

Tangential thickening of radial and almost-radial lines should be started at the distance 10,8 mm from the central point.

Thickness of these lines on the margin of the first copy should not be smaller than 0,84 mm.

The centring ring, located at the central point, is a very important element of the map content. The reliability of the whole map depends on the reliability of this ring. In view of small dimensions of the ring (two concentric rings of the diameter 0,75 and 1,50 mm), it is difficult to be plotted exactly even on the fair draught of the map. Therefore, its separate plotting with the drawing ink at the large scale is advised, and then it should be photomechanically reduced to the required dimensions and inserted in the central point of the fair draught. The centring ring serves for the proper placing of the video map in the adjusting carriage of the radar equipment.

The fair draught of the map plotted in this way should be carefully checked in respect of its correctness of plotting of all content elements. Particular attention should be paid to the deep and uniform black colour of the drawing plotted with the drawing ink.

The checked fair draught is the basis for preparation of the final form of the video map, as is the glass plate in the form of the negative.

### 6.6. Preparation of the final form of the video map

The final form of the video map, conditioned by technical reasons of the AVIA-BM equipment, should have the form of the negative glass plate of strictly determined dimensions and qualitative parameters.

Considering the above-mentioned requirements, the fair draught of the map has to be very accurately 5-times reduced to the demanded dimensions. The reducing of size is carried out on the photoreproductive apparatus.

The most proper photographic material is the glass plate — Kodak Kodalith Ortho Plate, type 3, dimensions  $12 \times 16,5$  cm.

On account of the possibility of cracking the video map, preparing 2 — 4 extra copies of this map is advised.

### Conclusion

On the basis of the above described technology, a series of video map have been elaborated, which have been successfully applied in practice in the AVIA-BM radar system for controlling and steering the air traffic for the determined areas on the whole terrain of Poland.

Translation: Regina Majewska

ЯН ЦЕСЕЛЬСКИ

### ВИДЕОКАРТА ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ AVIA-BM

#### Резюме

В статье изложены принципы разработки специальной видеокарты для радиолокационного устройства AVIA-BM, предназначенного для управления и контролирования движения самолетов в воздушном пространстве.

Эти принципы охватывают: подбор соответствующей картографической проекции, определение оптимального объема содержания карты и её графической формы, установление критериев точности видеокарты и технологии её составления. Технологическое описание охватывает следующие действия: сбор исходных материалов, подготовку авторского макета карты, способ пересчёта географических координат в прямоугольные плоские координаты, разработку составительского и издательского оригинала карты, а также подготовку окончательной формы видеокарты, приспособленной для радиолокационного устройства AVIA-BM.

Перевод: Róża Tolstikowa