



**Marek Kowalewski, Adam Krężel**

**SYSTEM AUTOMATYCZNEGO DOWIĄZANIA  
GEOGRAFICZNEGO I KOREKCJI GEOMETRYCZNEJ  
DANYCH AVHRR**

**SYSTEM OF AUTHOMATIC REGISTRATION  
AND GEOMETRIC CORRECTION OF AVHRR DATA**

*Institut Oceanografii, Uniwersytet Gdański  
Institute of Oceanography, University of Gdansk*

**STRESZCZENIE:** Standardowe procedury pozwalające na dowiązanie geograficzne zdjęć z satelitów meteorologicznych z serii Tiros N/NOAA, przy użyciu modelu predykcji orbity satelitarnej, obarczone są błędami. Związane są one z niedokładnym wyznaczeniem pozycji satelity, a także z nieznaną dokładną jego orientacją względem Ziemi. Z tych powodów błędy dowiązania geograficznego wynoszą zwykle kilka kilometrów, a w szczególnych przypadkach nawet 20–30 km. Automatyczny System Dowiązania i Korekcji (ASDIK) danych AVHRR został opracowany w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego. Jego głównym celem jest pełna automatyzacja precyzyjnego dowiązania geograficznego oraz korekcji geometrycznej obrazów satelitarnych. ASDIK bazuje na poszukiwaniu na zdjęciu charakterystycznych obszarów o znanych współrzędnych (tzw. obszarów kontrolnych) np. wysp, jezior, półwyspów. Na tej podstawie wyznaczane są poprawki orientacji satelity względem Ziemi oraz poprawki dla jego zegara pokładowego.

Dokładność precyzyjnego dowiązania wykonywanego przez system ASDIK zależy głównie od liczby prawidłowo zidentyfikowanych obszarów kontrolnych. Najlepsze rezultaty otrzymano, gdy ich liczba była większa niż 15. Weryfikacji metody dokonano na podstawie 288 zdjęć z satelity NOAA 12 i 663 zdjęć NOAA 16, zarejestrowanych w roku 2002. Porównanie błędów ustawienia obu satelitów wykazało, iż drugi z nich, nowocześniejszy, ma znacznie mniejsze błędy nachylenia wzdłużnego i zboczenia. Wstępna weryfikacja wykazała przydatność systemu ASDIK zwłaszcza w zastosowaniach operacyjnych. Średni błąd dowiązania zmniejszył się z 8,8 km do 0,9 km w przypadku satelity NOAA 12 i z 5,4 km do 1,0 km dla NOAA 16.

**SŁOWA KLUCZOWE:** AVHRR, dowiązanie geograficzne, HRPT

## **1. WSTĘP**

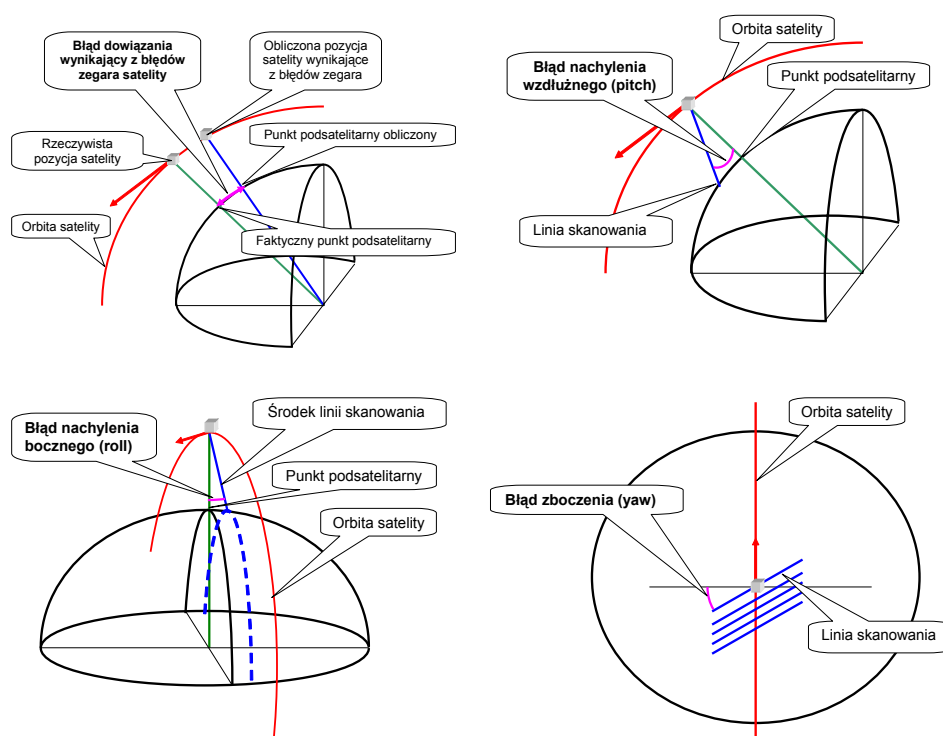
Wykorzystanie danych satelitarnych pochodzących z radiometru AVHRR w pełnej rozdzielczości (1,1 km w punkcie podsatelitarnym) wymaga precyzyjnego dowiązania

geograficznego i dokładnej korekcji geometrycznej. Dowiązanie geograficzne pozwala obliczyć, na podstawie numeru piksela i linii, długość i szerokość geograficzną dowolnego punktu na zdjęciu satelitarnym. Aby tego dokonać należy najpierw, na podstawie czasu skanowania linii obliczyć położenie satelity względem Ziemi, przy użyciu wybranego modelu predykcji orbity satelitarnej (np. SPG, SGP4, SDP4), a następnie wyznaczyć kąt skanowania względem nadiru i na tej podstawie współrzędne geograficzne skanowanego punktu. Korekcja geometryczna polega na transformacji obrazu satelitarnego do przyjętego odwzorowania geograficznego. Umożliwia to między innymi przedstawienie zdjęcia satelitarnego w formie mapy, a następnie wykorzystanie do jego analizy systemów GIS (Geograficznych Systemów Informacyjnych).

Korekcja geometryczna nie jest generalnie zadaniem trudnym, sprowadza się do interpolacji punktów skanowania na regularną siatkę w wybranym odwzorowaniu geograficznym. Znacznie większe problemy występują przy dowiązaniu geograficznym obrazów satelitarnych. Związane są one głównie z niedokładnym wyznaczeniem pozycji satelity, a także z tym, iż nieznana jest jego dokładna orientacja względem Ziemi. Z tych powodów błędy dowiązania geograficznego wynoszą zwykle kilka kilometrów, a w szczególnych przypadkach sięgają nawet 20–30 km. Niedokładności w dowiązaniu geograficznym obrazów satelitarnych wywołane są: błędami obliczonej orbity satelity, niedokładnością zegara satelity, nieznaną ustawieniami satelity względem Ziemi tzn. nachylenia wzdłużnego (ang. *pitch*), nachylenia bocznego (ang. *roll*) i zbroczenia (ang. *yaw*) (rys. 1).

Wyznaczenie w dowolnym czasie pozycji satelity, czyli współrzędnych punktu podsatelitarnego oraz wysokości, wymaga zastosowania modelu orbity. Aby rozwiązać problem trzeba znać aktualne parametry orbity danego satelity (inklinację, ekscentryczność, długość węzła wstępującego, średnią prędkość itp.). Informację taką można otrzymać dzięki odpowiednim biuletynom, takim jak: TBUS (biuletyn NOAA), ARGOS (CLS ARGOS), *two-line element set* (NORAD). Stacja odbioru danych satelitarnych Uniwersytetu Gdańskiego wykorzystuje ostatni z wymienionych biuletynów. Dlatego do predykcji położenia wygodnie jest zastosować model NORAD SGP4 (Hoots i Roehrich, 1988) dla satelitów krążących blisko Ziemi i dostosowany do zbioru parametrów zawartych w biuletynie *two-line element set* (TLE). Dokładność wyznaczenia pozycji zależy głównie od długości czasu predykcji. Im mniej aktualny jest zbiór parametrów orbity, tym większe są błędy. Obliczone w oparciu o biuletyny ARGOS i TBUS błędy predykcji dla NOAA 12 i NOAA 14 (Brunel i Marsouin, 2000) wynosiły od 0,5 do 3 km/dzień. Średni błąd wyznaczenia pozycji NOAA 14 wynosił 3,45 km (ARGOS) i 3,78 km (TBUS), a NOAA 12 odpowiednio 2,16 km i 2,44 km.

Dane przekazywane z satelity w formacie HRPT zawierają informację o czasie, w którym była skanowana każda linia. Jest on podawany według zegara pokładowego i umożliwia obliczenie jego pozycji dla każdej linii. Zegar jest kontrolowany raz w tygodniu i w przypadku występowania różnic większych niż 1 sekunda, w stosunku do czasu uniwersalnego, jest przestawiany przez zespół kontroli naziemnej. Różnica pomiędzy czasem UTC a czasem satelity podawana jest w biuletynie TBUS, natomiast nie jest podawana w TLE. Może to powodować znaczne błędy wyznaczenia pozycji, gdyż w ciągu jednej sekundy satelita NOAA pokonuje drogę ok. 6,5 km.



Rys. 1. Źródła błędów dowiązania geograficznego obrazów satelitarnych  
Fig. 1. Sources of errors of geographical registration of satellite data

Każdy satelita z serii NOAA wyposażony jest w system kontroli i ustawienia względem Ziemi ADACS (*Attitude Determination and Control Subsystem*). Powinien on być zawsze tak zorientowany w przestrzeni, aby linie skanowania były prostopadłe do kierunku lotu, a środek każdej linii odpowiadał nadirowi. Według oficjalnej specyfikacji NOAA (NOAA 2001) system ADACS ustawia satelitę z dokładnością do 0,2 stopnia (3,5 mrad), jednak faktyczne błędy są często znacznie większe i mogą wynosić nawet ok. 5 mrad (Brunel i Marsouin, 2000). Błąd rzędu 5 mrad może spowodować niedokładność dowiązania o ok. 5 km. Średni błąd dowiązania geograficznego, wynikający z łącznego efektu błędów pozycji i ustawienia satelity, w latach 1996–1997, wynosił odpowiednio 3,9 km dla NOAA 14 i 8;7 km dla NOAA 12 (Brunel i Marsouin, 2000).

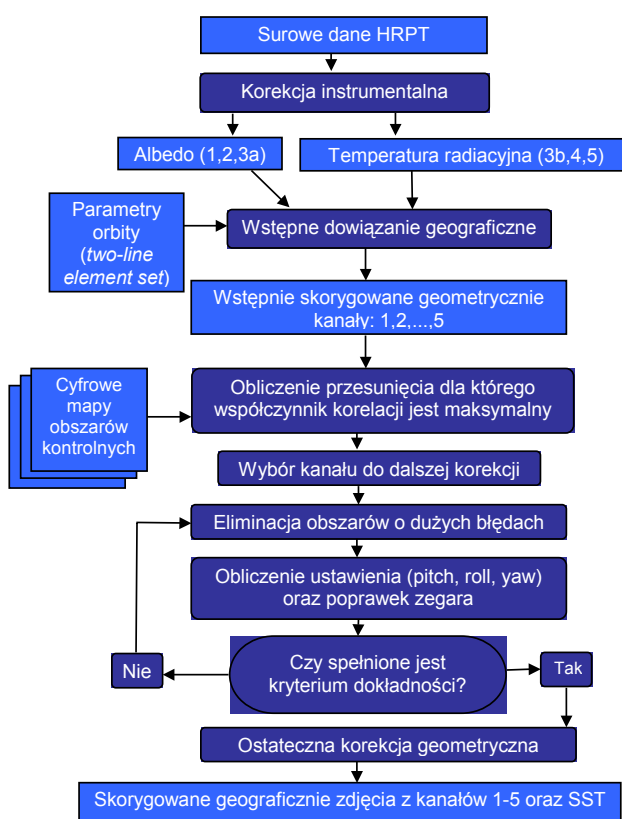
W celu poprawienia dokładności stosuje się zazwyczaj dodatkowe metody, które na podstawie analizy obrazu satelitarnego pozwalają na bardziej precyzyjne dowiązanie geograficzne. Bazują one zwykle na poszukiwaniu na zdjęciu charakterystycznych punktów o znanych współrzędnych (tzw. punktów kontrolnych) np. wysp, jezior, półwyspów itp. Zasadniczą trudnością jest poszukiwanie punktów kontrolnych w przypadku systemów automatycznych działających bez ingerencji człowieka. W ostatnich latach, prace nad takimi systemami prowadzone są w wielu ośrodkach przetwarzania danych satelitarnych (Marcal, 1999; Brunel i Marsouin, 2000; Parada

i in., 2000; Huggett i Opie, 2002), gdyż wyeliminowanie pracy ludzkiej z jednej strony obniża koszty działania systemu, a z drugiej znacznie przyspiesza operacyjne pozyskiwanie tych danych. Problem ten został rozwiązany w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego (IOUG) poprzez stworzenie Automatycznego Systemu Dowiązania i Korekcji (ASDIK) danych AVHRR. Został on wykorzystany jako jeden z elementów operacyjnego systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Morza Bałtyckiego.

Podstawowym celem pracy jest przedstawienie algorytmu systemu ASDIK oraz sprawdzenie jego praktycznej przydatności. Przeanalizowane zostaną ponadto błędy ustawienia i zegara dla satelitów NOAA 12 i NOAA 16. Pierwszy z nich należy do generacji satelitów NOAA wyposażonych w radiometr AVHRR/2 i pracuje już na orbicie 12 lat. Drugi, wykonuje pomiary wykorzystując nowszy radiometr AVHRR/3. Został umieszczony na orbicie okołozemskiej w 2000 roku.

## 2. AUTOMATYCZNY SYSTEM DOWIĄZANIA I KOREKCJI DANYCH AVHRR

Głównym założeniem systemu było w pełni automatyczne precyzyjne dowiązanie geograficzne oraz korekcja geometryczna obrazów satelitarnych. Na rys. 2 przedstawiono schemat jego działania. Surowe dane AVHRR odebrane z satelity, zapisane w formacie HRPT, muszą najpierw zostać rozkodowane i poddane korekcji instrumentalnej, która pozwala na obliczenie fizycznych wartości albedo (kanały 1, 2 i 3B) lub temperatury radiacyjnej (kanały 3B, 4 i 5). Wartości albedo wyznaczone są w stosunkowo prosty sposób, na podstawie współczynników kalibracyjnych wyznaczonych przed wystrzeleniem satelity (NOAA 1998, NOAA 2001). Kalibracja kanałów termalnych odbywa się na bieżąco w trakcie lotu satelity w



Rys. 2. Schemat działania systemu ASDIK

Fig. 2. Scheme of ASDIK

oparciu o pokładowe, wzorcowe ciało doskonale czarne, którego temperaturę kontrolują cztery termometry.

Wstępne dowiązanie geograficzne zdjęcia satelitarnego polega na obliczeniu pozycji satelity na podstawie czasu zarejestrowanego przez jego zegar pokładowy. Współrzędne satelity wyznaczone są w oparciu o model predykcji orbit SGP4 na podstawie informacji zawartych w biuletynie TLE. Informacja o czasie skanowania jest przesyłana wraz z każdą linią HRPT. Ze względu na to, że informacja o różnicy wskazań zegara satelity w stosunku do czasu uniwersalnego nie jest przekazywana w biuletynie TLE, przy wstępnym dowiązaniu zakłada się, że jest ona równa zero.

Odbiornik zdjęć satelitarnych IOUG zapisuje biuletyn TLE wraz z surowym materiałem satelitarnym, chociaż nie zawsze jest on najbardziej aktualny. W przypadku danych archiwalnych system ASDIK sprawdza najpierw czy w bazie danych nie ma bliższego w czasie biuletynu, a dla danych bieżących próbuje pobrać nowszy biuletyn ze strony internetowej.

Po wybraniu możliwie najbardziej aktualnego biuletynu zostaje przeprowadzone dowiązanie geograficzne przy założeniu braku błędów ustawienia satelity, tzn. przy założeniu, że linie skanowane są prostopadłe do wektora prędkości satelity, a środkowy piksel każdej linii trafia dokładnie w punkt podsatelitarny. Współrzędne geograficzne każdego piksela widzianego przez satelitę znajduje się, wyznaczając punkty styczności linii skanowania i elipsoidy ziemskiej, poprzez rozwiązanie odpowiedniego układu równań (NOAA 1998, NOAA 2001). W obliczeniach uwzględnia się eliptyczne orbity satelity opisane za pomocą modelu SGP4 (Hoots i Roehrich, 1988) oraz elipsoidalny model kształtu Ziemi, przy czym system umożliwia wybór elipsoidy odniesienia (np. WGS72, WGS84).

W następnym kroku wykonywana jest korekcja geometryczna. W jej rezultacie otrzymuje się wstępnie skorygowane obrazy poszczególnych kanałów, przetransformowane do układu współrzędnych identycznego z cyfrową mapą terenu. Polega to na interpolowaniu wartości w nowej równomiernej siatce poprzez wyznaczenie najbliższego punktu. Korekcja zdjęcia przeprowadzana jest w celu umożliwienia obliczenia współczynników korelacji pomiędzy obrazem satelitarnym a cyfrową mapą terenu, co jest podstawą algorytmu umożliwiającego dokładne dowiązanie geograficzne.

W kolejnych krokach system dokonuje precyzyjnego dowiązania. Na zdjęciu satelitarnym poszukuje się obszarów „podobnych” do cyfrowych map obszarów kontrolnych, na których wartość 1 odpowiada morzu, a 0 – lądowi. Miarą podobieństwa jest współczynnik korelacji. Obliczenia wykonuje się przesuwać mapę obszaru względem zdjęcia w każdą stronę o maksymalnie 20 km. Przesunięcie obszaru, dla którego współczynnik korelacji jest największy wyznacza wektor błędu dowiązania. W każdym obszarze obliczenia wykonuje się osobno, kolejno dla każdego kanału, a wektor błędu przyjmuje się dla tego, dla którego wartość bezwzględna współczynnika korelacji jest największa (rys. 3).

Ze względu na to, iż wektor przesunięcia może być efektem przypadkowego skorelowania fragmentu zdjęcia z chmurą, dokonuje się eliminacji obszarów niepewnych. Spośród zdefiniowanych obszarów odrzuca się te, dla których współczynnik korelacji jest mały ( $< 0.8$ ). Na podstawie wszystkich zaakceptowanych obszarów kontrolnych wyznaczany jest średni błąd kwadratowy dowiązania. W celu minimaliza-

cji średniego błędu dowiązania geograficznego zastosowano algorytm regresji nieliniowej polegający na poszukiwaniu kolejnych przybliżeń ustawienia satelity. Parametrami podlegającymi optymalizacji są: błąd zegara, nachylenie wzdłużne, nachylenie poprzeczne i zboczenie.

Po wyznaczeniu optymalnych wartości ustawienia satelity i poprawki zegara, takich, dla których średni błąd kwadratowy dowiązania jest minimalny, sprawdza się czy osiągnięto już przyjęte kryterium dokładności. Jeśli nie, dokonuje się kolejnej eliminacji obszarów wątpliwych, dla których wektor przesunięcia wyraźnie różni się od pozostałych. Eliminację obszarów niepewnych oraz optymalizację parametrów opisujących ustawienie satelity i poprawki zegara przeprowadza się na przemian, aż do spełnienia kryterium dokładności lub, gdy nie uda się już wyeliminować kolejnych obszarów.

Końcowym etapem obliczeń, po zakończeniu optymalizacji dowiązania geograficznego, jest ostateczna korekcja geometryczna. W jej wyniku system ASDIK generuje mapy albedo, temperatury radiacyjnej oraz temperatury powierzchni morza (SST) w wybranym odwzorowaniu geograficznym.

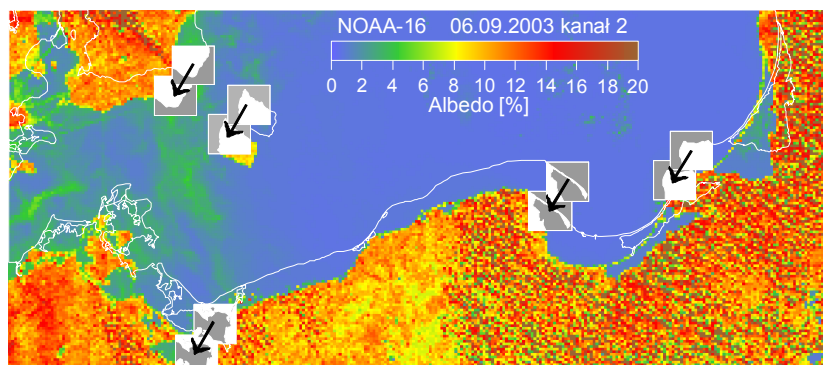
### 3. WERYFIKACJA SYSTEMU

W celu sprawdzenia praktycznej przydatności przeprowadzono szereg analiz mających na celu sprawdzenie działania systemu ASDIK. Testy wykonano przy wykorzystaniu ok. 500 obszarów kontrolnych obejmujących wybrzeża Morza Bałtyckiego, Śródziemnego, Czarnego, Północnego i Białego oraz Oceanu Atlantyckiego.

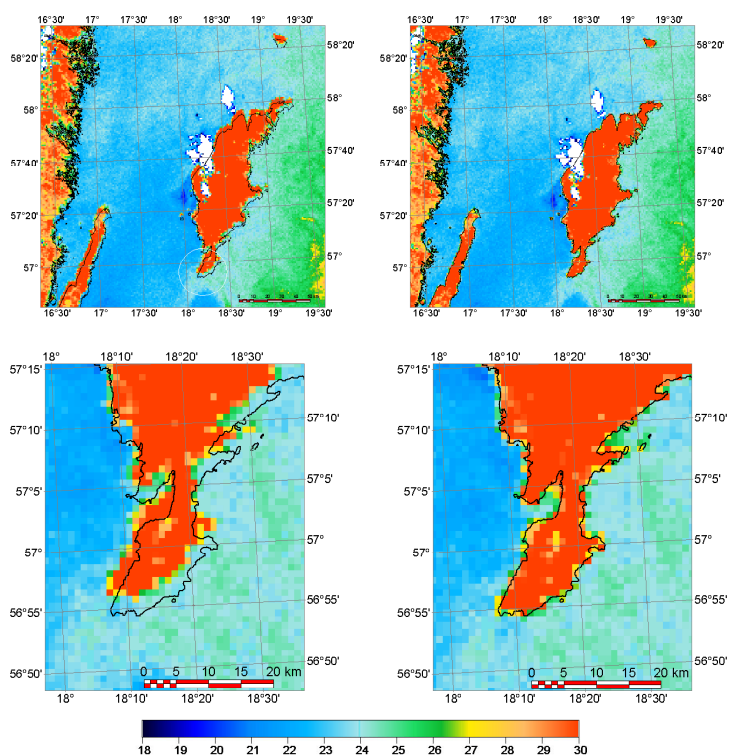
Błędy dowiązania geograficznego zdjęć satelitarnych widoczne są przede wszystkim dla strefy wybrzeży, wysp i jezior. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe zdjęcie satelitarne, przedstawiające rejon Gotlandii (Morze Bałtyckie), dowiązane za pomocą standardowej metody oraz za pomocą systemu ASDIK. Średni błąd dowiązania geograficznego w pierwszym przypadku wynosił 3,5 km, a po zastosowaniu systemu zmniejszył się do 0,5 km.

Przeprowadzono również dowiązanie i korekcję 288 zdjęć AVHRR rejonu Bałtyku pochodzących z satelity NOAA 12 oraz 663 obrazów z NOAA 16. Dane z NOAA 16 obejmowały cały rok 2002, natomiast dostępne zdjęcia z NOAA 12 obejmowały rok 2002 z wyjątkiem okresu od połowy kwietnia do końca lipca. W przypadku NOAA 12 średni błąd standardowego dowiązania geograficznego wynosił 8,8 km, a po zastosowaniu systemu ASDIK zmniejszył się do 0,9 km. Dla danych z NOAA 16 błąd dowiązania zmniejszył się odpowiednio z 5,4 km do 1,0 km. Dla obu satelitów system ASDIK znacząco obniżył średni błąd dowiązania do, najczęściej, przedziału od 0,5 do 1 km (rys. 5).

Dokładność otrzymanego dowiązania geograficznego zależy od liczby i równomierności rozmieszczenia obszarów kontrolnych, co z kolei zależy od stopnia zachmurzenia (rys. 6). Dla bardzo kontrastowych zdjęć przy niewielkim zachmurzeniu dokładność metody może być lepsza niż wielkość pojedynczego piksela (tj. 1,1 km). W przypadku niewielkiej liczby poprawnie zidentyfikowanych obszarów kontrolnych błędy są znacznie większe i osiągają kilkanaście kilometrów, gdyż optymalizacja przeprowadzana jest tylko dla niektórych parametrów: w pierwszej kolejności dla zegara satelitarnego (gdy liczba obszarów jest większa niż 3), następnie dla ustawienia satelity.

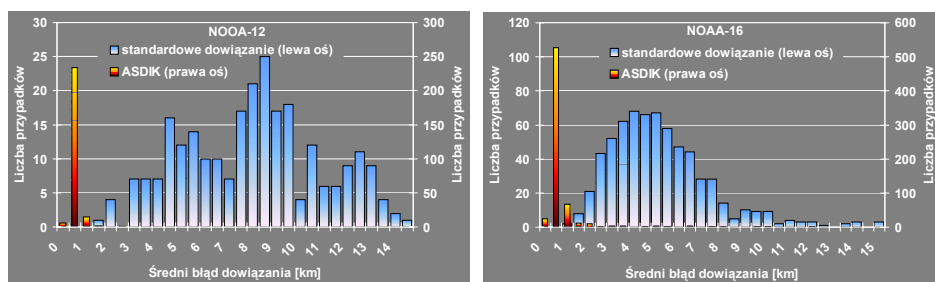


Rys. 3. Schemat ilustrujący automatyczne poszukiwanie na zdjęciu satelitarnym obszarów kontrolnych oraz wyznaczanie wektorów błędów dowiązania geograficznego  
 Fig. 3. Scheme of automatic searching of control areas and finding errors of geographical registration



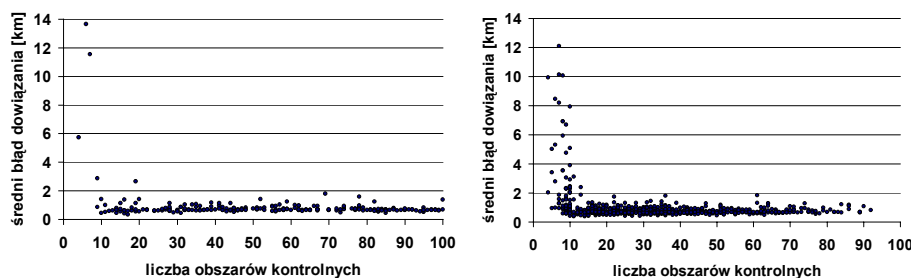
Rys. 4. Fragment mapy temperatury powierzchniowej Morza Bałtyckiego wokół Gotlandii w odwzorowaniu UTM33N otrzymanej na podstawie danych AVHRR. Po lewej stronie standardowe dowiązanie geograficzne; po prawej przy użyciu ASDIK

Fig. 4. Excerpt of satellite derived sea surface temperature map around Gotland (Baltic Sea) in UTM33N projection. Standard geographical registration performed (left) and ASDIK (right)



Rys. 5. Porównanie histogramu błędów standardowego dowiązania geograficznego i dokonanego za pomocą systemu ASDIK dla satelitów NOAA 12 i NOAA 16

Fig. 5. Histograms of standard errors of geographical registration performed with TLE (blue bars) and ASDIK (red bars) for NOAA 12 and NOAA 16 satellites



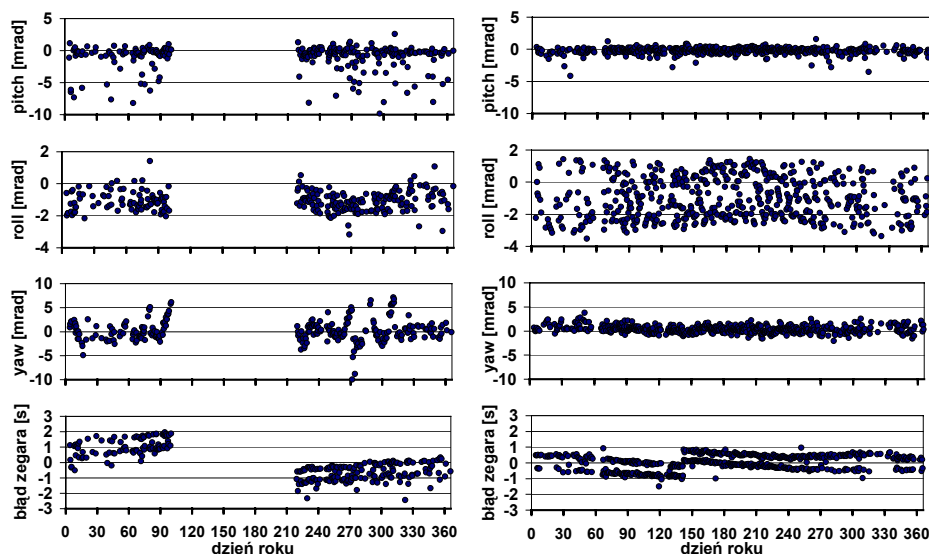
Rys. 6. Zależność średniego błędu dowiązania od liczby zidentyfikowanych obszarów kontrolnych dla satelitów NOAA 12 (po lewej) i NOAA 16 (po prawej)

Fig. 6. Dependence of mean registration error on number of identified control areas for NOAA 12 (left) and NOAA 16 (right)

Dla satelitów NOAA 12 i 16 przeprowadzono analizę błędów ustawienia i zegara w funkcji czasu (rys. 7). Błędy nachylenia wzdłużnego były znacznie większe w przypadku NOAA 12 i osiągały 10 mrad (średni błąd:  $-1,1$  mrad, odchylenie standardowe: 2,2 mrad), podczas gdy dla NOAA 16 nie przekraczały 3,5 mrad (średni błąd:  $-0,3$  mrad, odchylenie standardowe: 0,9 mrad). Inaczej było w przypadku nachylenia bocznego, gdyż dla NOAA 12 odnotowano podobny błąd średni ( $-1,1$  mrad), lecz znacznie mniejsze odchylenie standardowe (0,6 mrad) niż dla NOAA 16 (odpowiednio  $-1,0$  i 1,3 mrad). Błąd zboczenia był znacznie większy dla NOAA 12, a ponadto wykazywał systematyczne fluktuacje w ciągu roku, czego nie odnotowano dla NOAA 16.

Błędy zegarów pokładowych wykazywały zmiany systematyczne w ciągu 2002 roku – rosły dla NOAA 12 i malały dla NOAA 16 (rys. 7). Były one wyższe w przypadku NOAA 12 do ok. 2 s, a dla NOAA 16 nie przekraczały 1 s. W obu przypadkach zauważyć można, iż odchyłki zegara układają się w dwie równoległe linie przesunięte o ok. 0,7 s, które odpowiadają przelotom dziennym i nocnym. Jest to prawdopodobnie związane z niedokładnością obliczenia trasy przelotu satelity za pomocą modelu SGP4. Dla NOAA 16 widać moment przestawienia zegara przez zespół kontroli naziemnej.





Rys. 7. Zmiany błędów: nachylenia wzdłużnego (pitch), boczego (roll) i zбочzenia (yaw) oraz błędów zegara satelity NOAA 12 (po lewej) i NOAA 16 (po prawej) w 2002 roku  
 Fig. 7. Changes of errors of satellite positioning (pitch, roll, yaw and time) for NOAA 12 (left) and NOAA 16 (right) in 2002

#### 4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie Automatycznego Systemu Dowiązania i Korekcji (ASDIK) danych AVHRR pozwoliło w istotny sposób zwiększyć dokładność dowiązania geograficznego obrazów rejestrowanych przez radiometr AVHRR satelitów serii NOAA. Średni błąd dowiązania zmniejszył się z 8,8 km do 0,9 km w przypadku satelity NOAA 12 i z 5,4 km do 1,0 km dla NOAA 16. Dokładność precyzyjnego dowiązania wykonywanego przez system ASDIK zależy głównie od liczby prawidłowo zidentyfikowanych obszarów kontrolnych. Najlepsze rezultaty otrzymano, gdy liczba była większa niż 15.

Porównanie błędów ustawienia satelitów NOAA 12 i NOAA 16 wykazało, iż drugi z nich – nowocześniejszy ma znacznie mniejsze błędy nachylenia wzdłużnego i zбочzenia. Natomiast NOAA 12 wykazywał mniejsze błędy nachylenia boczego. Błędy ustawienia satelity NOAA 16 spełniały założoną przez system ADACS dokładność (3,5 mrad). W przypadku NOAA 12 znacznie ją przekraczały i były także większe niż obliczone dla tego satelity błędy dla lat 1996–1997 (Brunel i Marsouin, 2000). Ponadto stwierdzono systematyczne fluktuacje zбочzenia w ciągu roku dla NOAA 12, które nie były obserwowane w latach 1996–1997.

Błędy pokładowego zegara satelity NOAA 12 były większe niż NOAA 16 i w obu przypadkach miały charakter systematyczny. Odnotowano ponadto systematyczną

różnicę odchyłki czasu pomiędzy dziennymi i nocnymi przelotami satelitów, której prawdopodobną przyczyną są niedokładności wyznaczenia pozycji satelitów za pomocą modelu NORAD SGP4 (Hoots i Roehrich, 1988) dla satelitów krążących blisko Ziemi.

## 5. PODZIĘKOWANIA

Praca powstała w ramach realizacji grantu Komitetu Badań Naukowych nr PBZ-KBN 056/P04/2001/01 pt.: *Analizy dopływu energii promieniowania słonecznego i rozkładów temperatury na powierzchni Morza Bałtyckiego na podstawie danych satelitarnych.*

## PIŚMIENNICTWO

- Brunel P., Marsouin A., 2000, Operational AVHRR navigation result, *Int. J. Remote Sensing*, 21, 951–972.
- Hoots, F. R. Roehrich R. L., 1988, Spacetrack Report No. 3, Models for propagations of NORAD elements set, <http://ecco.bsee.swin.edu.au/chronos/metsat/spacetrak/spacetrak.html>
- Huggett S., Opie C., 2002, A fresh approach to automatic navigation of AVHRR images, *Int. J. Remote Sensing*, 18, 3783–3794.
- Marcal A. R. S., 1999, A new method for high accuracy navigation of NOAA AVHRR imagery, *Int. J. Remote Sensing* 20, 3273–3280.
- NOAA 1998, NOAA Polar Orbiter Data User's Guide, <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/podug>
- NOAA 2001, KLM user guide, <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/>
- Parada M. Millan A., Lobato A., Hermosilla A. 2000, Fast coastal algorithm for automatic geometric correction of AVHRR images, *Int. J. Remote Sensing* 21, 2307–2312.

## SYSTEM OF AUTHOMATIC REGISTRATION AND GEOMETRIC CORRECTION OF AVHRR DATA

### S u m m a r y

A procedure of geographical registration of AVHRR data working on the basis of standard bulletins produces significant errors. It is due to poor knowledge of exact position of the NOAA series satellites in its orbit and lack of exact information about variations in the sensor's attitude – roll, pitch and yaw. Because of these reasons, errors in determining of geographical co-ordinates of pixels are of some kilometers order and in some cases can increase up to 20–30 km. The main reason of preparing of presented in this paper automatic system of registration and geometric correction of AVHRR data (ASDIK) was to make possible to use these data in fully operational mode (without any human supervising). The system starts with searching on satellite picture characteristic areas like islands, peninsulas, lakes etc. of known co-ordinates (so called control areas). Then, the exact position of satellite on orbit is calculated with the use of orbit prediction model SGP4.

Accuracy of geographical registration made by ASDIK depends on number of properly identified control areas. The best result was achieved when this number was greater than 15.

---

The method was verified for the 288 and 663 pictures taken in 2002 by NOAA 12 and NOAA 16 respectively. It was found, that the second one, much more up-to-dates, had much lower errors of pitch and yaw. The use of ASDIK decreased mean error of non-supervised, automatic registration from 8.8 km to 0.9 km for NOAA 12 and from 5.4 km to 1.0 km for NOAA 16

KEY WORDS: AVHRR geographical registration, HRPT

Recenzent: dr inż. Maria Gruszczyńska, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa