

INFORMACJA Z SATELITÓW METEOROLOGICZNYCH W STANACH ZAGROŻEŃ NATURALNYCH

INFORMATION FROM METEOROLOGICAL SATELLITES FOR NATURAL HAZARD MANAGEMENT

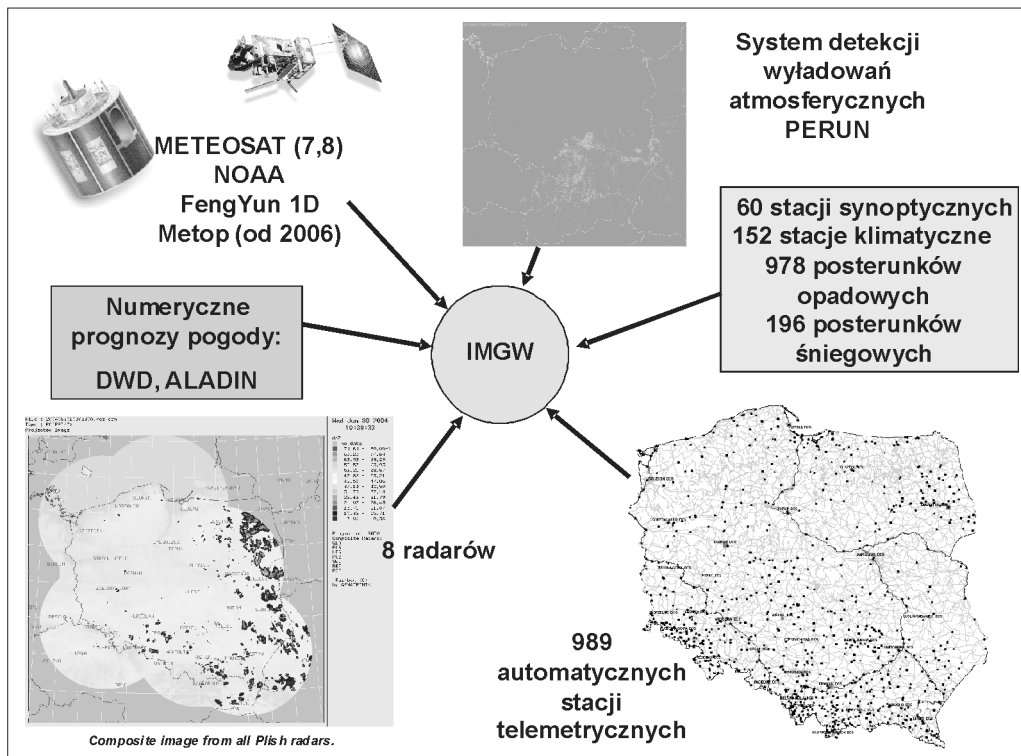
Piotr Struzik

Zakład Badań Satelitarnych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Kraków

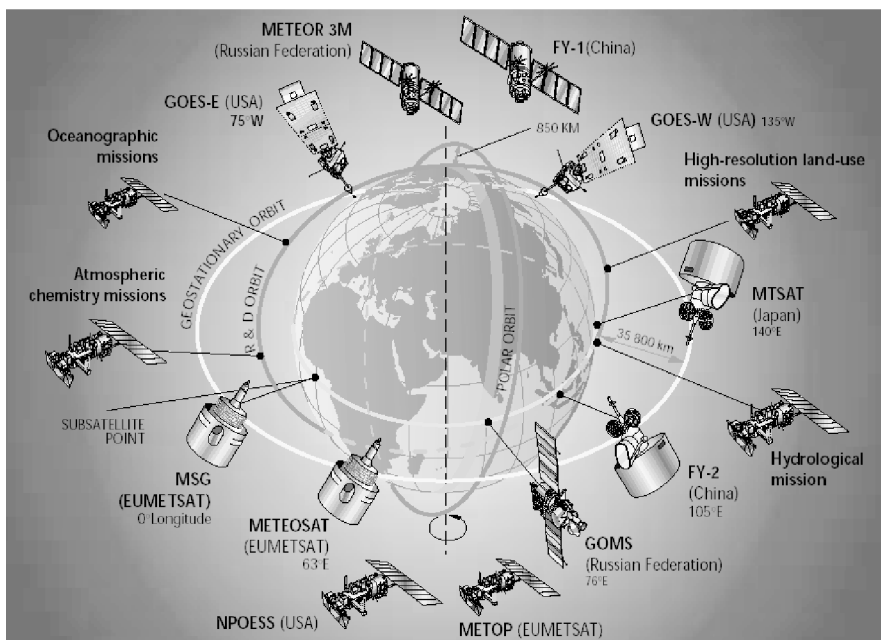
Słowa kluczowe: satelity meteorologiczne, teledetekcja, klęski żywiołowe
Keywords: meteorological satellites, remote sensing, natural disasters

System satelitów meteorologicznych jako źródło informacji w IMGW

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w ramach swoich statutowych zobowiązań prowadzi osłonę meteorologiczną i hydrologiczną w Polsce. Przez wydawanie ostrzeżeń oraz monitorowanie sytuacji wspomaga zarządzanie kryzysowe i ściśle współpracuje z innymi organami oraz społecznościami lokalnymi w sytuacjach ekstremalnych. W operacyjnej pracy biur prognoz meteorologicznych i hydrologicznych wykorzystywane są informacje z systemów obserwacyjno-pomiarowych, zarówno naziemnych jak i teledetekcyjnych, takich jak: stacje obserwacyjno-pomiarowe (synoptyczne, klimatyczne i posterunki opadowe), około 1000 automatycznych stacji telemetrycznych, 8 radarów meteorologicznych, 2 modele mezoskalowe (ALADIN i COSMO-DWD), system detekcji wyładowań atmosferycznych, a w końcu operacyjny dostęp do danych z 3 systemów satelitarnych (rys. 1). Aktualnie odbierane są dane z 7 satelitów geostacjonarnych (z 2 bezpośrednio) i 7 okołobiegunowych. System satelitów meteorologicznych rozwijany jest od 1960 roku, kiedy umieszczono na orbicie pierwszego satelitę do tego celu. Równoległe z rozwojem satelitów meteorologicznych doskonalone są w IMGW metody i środki do odbioru, przetwarzania i interpretacji informacji satelitarnej. Aktualny stan systemu satelitów meteorologicznych przedstawiono na rysunku 2. Spośród przedstawionych satelitów najważniejsze dla osłony hydrometeorologicznej Polski są aktualnie METEOSAT-8 oraz cały system NOAA, a w najbliższej przyszłości METEOSAT-9 i Metop-1 (VIII-X.2006). Podstawową zaletą systemu satelitarnego jest wysoka rozdzielczość czasowa – 10 min Rapid Scan, 15 min Meteosat-8,9. Również rozdzielczość spektralna danych jest niezwykle ważna dla właściwej diagnozy i identyfikacji zjawisk – 12 kanałowy radiometr SEVIRI/Meteosat, czy najnowszy hyperspektralny przyrząd IASI na satelicie Metop posiadający 8461 kanałów. Rozdzielczość przestrzenna danych stale wzra-



Rys. 1. Podstawowe źródła informacji meteorologicznej w IMGW wykorzystywane do prognozowania i ostrzegania



Rys. 2. System satelitów meteorologicznych – stan aktualny

sta, chociaż w zastosowaniach meteorologicznych nie jest aż tak istotna, jak w przypadku monitorowania powierzchni ziemi do innych celów.

Nadzwyczajne zagrożenia i wykorzystanie informacji satelitarnej

Najważniejsze zastosowania danych z satelitów meteorologicznych odbieranych w IMGW to przede wszystkim: analiza aktualnej sytuacji meteorologicznej, wspomaganie wykrywania zagrożeń, sondaż atmosfery (3D), monitoring ozonu stratosferycznego. Dodatkowe możliwości związane z analizą zagrożeń naturalnych to: monitoring zasięgu pokrywy śnieżnej i zlodzenia Bałtyku, temperatury powierzchni, stanu pokrycia roślinnego oraz bilans promieniowania. Szczególnie cenne jest wykorzystanie informacji satelitarnej do analizy zjawisk o dużej dynamice czasowej (np. burze) czy też zjawisk typowo obszarowych, trudnych do analizy przy wykorzystaniu obserwacji punktowych (np. susza). Również obserwacje satelitarne obszarów nie objętych pomiarami konwencjonalnymi, jak np. Morza Bałtyckiego, są ważne dla wczesnego wykrywania zagrożeń. Stały rozwój czujników i systemów instalowanych na satelitach meteorologicznych pociąga za sobą konieczność doskonalenia zarówno systemów odbioru i przetwarzania tych danych jak i tworzenia produktów pozwalających na coraz lepszą analizę sytuacji w atmosferze, na lądzie i na morzu.

Burze i związane z nimi zjawiska

Informacja satelitarna rejestrowana bezpośrednio z meteorologicznych systemów satelitarnych stanowi ważne narzędzie do diagnozy i ultra-krótkoterminowej prognozy zjawisk zachodzących w atmosferze (Kerkmann J, 1999). Spośród wielu zjawisk pogodowych jednymi z najgroźniejszych i powodujących największe straty są zjawiska burzowe. Wiązą się one często z:

- opadami nawałnymi,
- silnym wiatrem, często huraganowym,
- wyładowaniami atmosferycznymi,
- gradobiciami,
- trąbami powietrznymi.

Efektom bezpośrednim wyżej wymienionych zjawisk są bardzo często:

- powódzie natychmiastowe (wodne i błotne),
- pożary domów, zabudowań gospodarczych, infrastruktury technicznej,
- zniszczenia zabudowań i lasów wskutek huraganowych wiatrów,
- zniszczenia pól (mienia) przez gradobicia.

W skrajnych przypadkach zdarzenia te kumulują się na stosunkowo niewielkim obszarze, prowadząc do olbrzymich strat materialnych, a nawet do ofiar w ludziach. Oczywiście ludzkość nie dysponuje techniką pozwalającą na całkowitą eliminację tych zagrożeń. Niemniej możliwość wczesnego wykrywania i monitorowania zjawisk burzowych jest przydatna zarówno celem ostrzeżenia jak i poprawnego modelowania zjawisk zachodzących na Ziemi i ich konsekwencji. Przykładem tego są modele hydrologiczne wymagające poprawnego określenia pola opadu (Więzik, Struzik, 1994; Scofield, 1998). W przypadku zjawisk burzowych,

często opad nie jest w ogóle rejestrowany, lub jego rozkład jest błędny, ze względu na stosunkowo rzadką sieć posterunków opadowych na ziemi. Polska znajduje się na obszarze częstego występowania burz w okresie od kwietnia do września. Zjawiska trąb powietrznych (tornad), w ostatnich latach są również notowane w Polsce coraz częściej. Rocznie występuje ich około 5–7, a są bezpośrednio powiązane ze zjawiskami burzowymi.

Obecny poziom technik teledetekcyjnych pozwala na wykorzystanie ich na wszystkich etapach cyklu jakiemu podlega komórka burzowa, poczynając od prawdopodobieństwa jej powstania (Struzik, 2004; Koenig et al., 2006), przez ocenę jej zasięgu, trajektorii i fazy (Senesi, 1998) do oceny zasięgu strefy opadu i jego intensywności (Struzik, Więzik, 1995). Spośród technik teledetekcyjnych najważniejsze znaczenie do badania zjawisk burzowych mają:

- 8 radarów meteorologicznych,
- system detekcji wyładowań atmosferycznych PERUN,
- satelita geostacjonarny Meteosat,
- satelity okołobiegunowe NOAA.

Przykładowe produkty satelitarne do prognozy zjawisk burzowych i zlokalizowane burze wykryte przez system detekcji wyładowań przedstawiono na rysunku 3.

Monitoring zmienności czasowej i przestrzennej pokrycia roślinnego – anomalie związane z klęskami naturalnymi i działalnością człowieka

Bazując na właściwościach spektralnych roślin wykorzystujemy kanały radiometrów satelitarnych do określania wskaźnika roślinności dostarczającego informacji o gęstości pokrycia roślinnego (ilości masy zielonej). Często stosowane są wskaźniki obliczane jako funkcja wartości zmierzonych przez radiometr satelity w paśmie widzialnym i bliskiej podczerwieni, takie jak: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), SR (*Simple Ratio*), ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Obserwujemy prawie liniową zależność pomiędzy wskaźnikiem roślinności NDVI a absorbowanym promieniowaniem fotosyntetycznie czynnym oraz pomiędzy wskaźnikiem SR a indeksem liściowym LAI (*Leaf Area Index*).

Badając czasową i przestrzenną zmienność szaty roślinnej przy użyciu obrazów satelitarnych możemy zaobserwować anomalie związane z suszą oraz zmiany zachodzące w środowisku leśnym wskutek bezpośredniej działalności człowieka, jak i wpływu zanieczyszczeń powietrza na stan kompleksów leśnych, czy też w przypadku katastrof ekologicznych (Struzik, 1991; Struzik, Widawski, 2000). Również zmiany zachodzące w środowisku w trakcie powodzi, czy związane z pożarami kompleksów leśnych mogą być monitorowane przy wykorzystaniu informacji satelitarnej. Stosunkowo niewielka zdolność rozdzielcza satelitów meteorologicznych jest rekompensowana przez bezpośredni dostęp do informacji kilka razy na dobę (satelity okołobiegunowe NOAA) oraz minimalny koszt pozyskiwania informacji.

Związek wskaźnika roślinności z stanem fizjologicznym roślin pozwala na wykrywanie obszarów objętych suszą. Dla tych rejonów obserwujemy wyraźne zmniejszanie się wartości NDVI, w tych okresach roku, dla których wystąpił niedostatek wody w powierzchniowej warstwie gleby. Katastrofalna susza na obszarze Polski w latach 1992–1993 oraz 2000 znalazła odbicie na obrazach satelitarnych. Szczególnie wyraźnie zjawisko to wystąpiło na obszarze Wielkopolski gdzie wartości NDVI w okresie sierpnia i początku września 1993 zbliżyły się do zera (rys. 4).

Do badania obszarów zalewowych szczególnie cenne są obrazy z satelitów środowiskowych: Landsat, SPOT, ERS o rozdzielczości rzędu 10–30 m. Niestety czas repetycji tych satelitów (16–24 dni) oraz uzależnienie czujników optycznych od zachmurzenia często uniemożliwia wykorzystanie obrazów w sposób operacyjny. Właściwym narzędziem do badania powodzi i ich skutków w czasie jest wspólne wykorzystanie obrazów optycznych z obrazami mikrofalowymi (ERS, Radarsat), niezależnymi od zachmurzenia. Duże obszary zalane wodą, takie jak w czasie powodzi w 1997 roku, są dobrze widoczne nawet na obrazach NOAA.

Pożary lasów

Pożary lasów mogą być wykrywane przy pomocy radiometru AVHRR/NOAA lub radiometru SEVIRI/MSG w przypadku sytuacji bezchmurnej lub o niewielkim zachmurzeniu. Właściwości radiometru AVHRR satelitów NOAA pozwalają na wykrywanie pożarów już o rozmiarach ok. 40x40 m, znajdujących się wewnątrz piksela o średnicy ok. 1 km. Metoda ta jest operacyjnie stosowana na terenie Afryki i w rejonie śródziemnomorskim, gdzie w porze suchej występują setki pożarów, nieraz o zasięgu kilku tysięcy hektarów. Na obszarze Polski obserwujemy również zmiany zachodzące w środowisku pod wpływem pożarów lasów. Szczególnie rok 1992 obfitował w katastrofalne pożary takie jak: Kuźnia Raciborska, Potrzebowice w rejonie Puszczy Noteckiej czy też część Puszczy Bydgoskiej. Dane satelitarne pozwalają na identyfikację obszarów zniszczonych oraz monitorowanie zmian w powracającym do równowagi ekosystemie w latach późniejszych (Struzik, 1998, 2001).

Monitoring sytuacji prowadzących do zagrożeń w transporcie drogowym i morskim

Zgodnie z *Załoženiami Polityki Transportowej Państwa na lata 2000–2015 dla realizacji zrównoważonego rozwoju kraju*, Ministerstwa Transportu i Gospodarki Morskiej z 5 listopada 1999, aktualne tendencje można scharakteryzować następująco:

- dynamiczny przyrost liczby samochodów osobowych,
- zdecydowaną większość przewozów towarów przejął transport samochodowy,
- znacznie wzrosły natężenia ruchu na drogach krajowych,
- przewozy pasażerów w transporcie lotniczym wzrosły kilkukrotnie,
- wzrosła wypadkowość na drogach publicznych.

Zadanie utrzymania bezpieczeństwa transportu lądowego, morskiego i powietrznego nie będzie możliwe do wykonania bez uwzględnienia dobrej i dostępnej informacji meteorologicznej oraz ostrzegania. Szczególnie zjawiska stanowiące zagrożenia powinny być poprawnie i szybko wykrywane, a informacja o nich ma docierać do potencjalnych uczestników ruchu. Wykorzystanie informacji z bieżących oraz przyszłych satelitów meteorologicznych daje możliwości rozwoju metod identyfikacji i ultra-krótkoterminowego prognozowania takich zjawisk jak: burze, intensywne opady, mgła, pokrywa śnieżna i lodowa itp. (Struzik, 1995, 1998) (rys. 5). Informacja ta wspomaga pracę służby synoptycznej uzupełniając informację z radarów meteorologicznych i modeli mezoskalowych. Podstawową zaletą metod interpretacji informacji satelitarnej jest możliwość częstego dostępu do niej (obecnie co 15 min.), co daje unikatową możliwość śledzenia rozwoju zjawisk szybkozmiennych zachodzących w atmosferze, a trudnych do precyzyjnego prognozowania.

Zastosowanie informacji satelitarnej do określania aktualnego stanu i dynamiki średniej i górnej troposfery oraz stratosfery

Zgodnie z ratyfikowaną w 1985 roku Konwencją Genewską w sprawie transgranicznego transportu zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości, strona Polska zobowiązała się do ochrony człowieka i jego środowiska przed zanieczyszczeniem powietrza oraz podejmowania działań mających na celu ograniczenie, a także stopniowe zmniejszanie i zapobieganie zanieczyszczeniu powietrza, włączając w to transgraniczne zanieczyszczanie powietrza na dalekich odległościach. Istotnym elementem tych działań jest prognozowanie transportu zanieczyszczeń w oparciu o dane o stanie atmosfery. Prognoza taka pozwala na rozpoznanie terenów zagrożonych oraz podjęcia odpowiednich środków mających na celu przeciwdziałanie szkodliwym skutkom zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Unia Europejska przyjęła, w większości na podstawie artykułu 31 Traktatu ustanawiającego Euratom, szereg dyrektyw i rozporządzeń ustalających normy ochrony zdrowia pracowników i ludności przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego. Prawo to bazuje na dyrektywie ramowej: Dyrektywie 96/29/Euratom, zwanej Dyrektywą „Podstawowych norm bezpieczeństwa”.

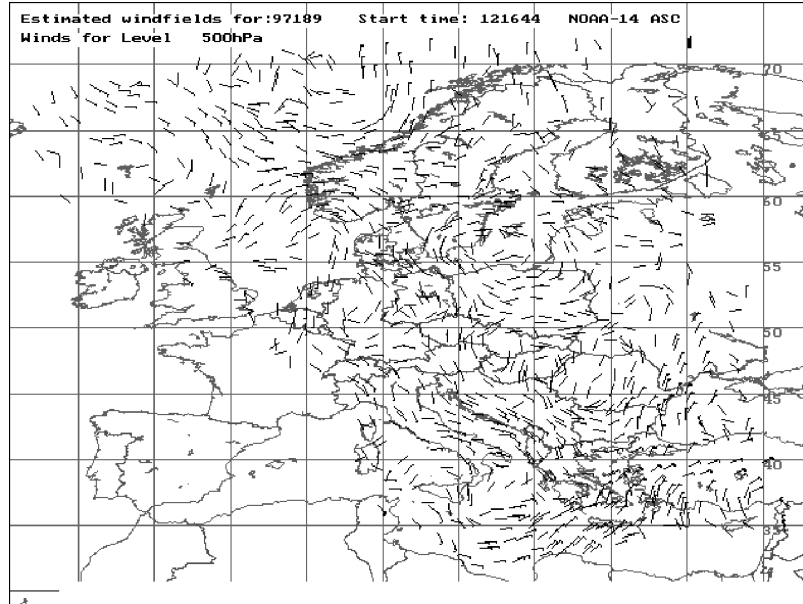
Wczesna wymiana informacji w przypadku zagrożenia radiologicznego ustanawia system powiadomien Unii Europejskiej, który dotyczy zagrożeń nuklearnych. Nakazuje on państwom członkowskim rozpowszechnienie w odpowiednim czasie informacji dotyczących zagrożenia. Towarzysząca Dyrektywa o informowaniu społeczeństwa wymaga, by w normalnych okolicznościach państwa członkowskie dostarczyły z wyprzedzeniem informację społeczeństwu o zagrożeniu; w sytuacjach zagrożenia ludność bezpośrednio narażona na niebezpieczeństwo musi otrzymać bezzwłoczne informacje. Ze względu na lokalizację wokół Polski wielu przestarzałych technologicznie elektrowni atomowych (rys. 6), istnieje niebezpieczeństwo awarii prowadzących do wyniesienia substancji radioaktywnych nawet do stratosfery. Powoduje to możliwość transportu ich na bardzo duże odległości, co już zdarzyło się w przypadku awarii elektrowni w Czarnobylu. W takich sytuacjach niezbędny jest dostęp do precyzyjnej i aktualnej informacji o możliwych kierunkach i prędkości transportu groźnych dla zdrowia i życia ludzi substancji w górnych warstwach atmosfery. W obecnej sytuacji politycznej istnieje realne zagrożenie wybuchem jądrowym na powierzchni ziemi, co może prowadzić do wyniesienia substancji radioaktywnych do górnej troposfery i stratosfery. Sieć sondaży balonowych nie

pozwała na precyzyjny i częsty monitoring górnych warstw atmosfery. Informacja satelitarna staje się tu ważnym narzędziem diagnozy i krótkoterminowej prognozy kierunków transportu tych substancji.

W IMGW został uruchomiony i wdrożony do pracy operacyjnej w 1999 roku system satelitarnego sondażu atmosfery. Transmisje odbierane z satelitów NOAA pozwalają na wyznaczenie pól temperatury, temperatury punktu rosy, wysokości geopotencjału, wiatru geostroficznego, a także zawartości pary wodnej w kolumnie powietrza. Pola wysokości geopotencjału (mapy topografii bezwzględnej) oraz wiatru geostroficznego niosą informację o kierunku i prędkości poruszania się mas powietrza i



Rys. 6. Lokalizacja elektrowni jądrowych w Europie



Rys. 7. Przykładowe pole wiatru określone z danych satelitarnych TOVS/NOAA na poziomie 500 hPa

tym samym mogą być przydatne w badaniu cyrkulacji atmosfery oraz transportu zanieczyszczeń (rys. 7).

Podsumowanie

Ze względów wydawniczych nie było możliwe zamieszczenie większej liczby przykładów wykorzystania informacji satelitarnej w sytuacjach zagrożeń naturalnych i kryzysowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że operacyjnie generowane produkty satelitarne są wykorzystywane we wspomaganiu procesów prognozowania i monitorowania, szczególnie istotnych w sytuacjach zagrożeń i klęsk żywiołowych.

Najważniejsze zalety wykorzystania informacji satelitarnej są następujące.

1. Dane satelitarne, pokrywające obszar całej Europy są generowane z dużą częstotliwością. Rozdzielczość czasowa i spektralna jest adekwatna do obszaru ich wykorzystania, rozdzielczość przestrzenna stale się poprawia.

2. Istnieje wiele zastosowań operacyjnego wykorzystania informacji satelitarnej do monitorowania zjawisk zachodzących w atmosferze, na lądzie i na morzu celem ostrzegania i wspomagania zarządzania w sytuacjach kryzysowych.

3. Dzięki współpracy międzynarodowej produkty satelitarne są tańsze od konwencjonalnych sieci pomiarowych i w wielu przypadkach lepiej nadają się do monitorowania środowiska.

Ograniczenia w wykorzystaniu informacji satelitarnej wynikają z następujących powodów:

1. Czujniki satelitarne mierzą właściwości spektralne obiektów a nie bezpośrednio wielkości fizyczne – stale uczymy się jak interpretować tą informację.

2. Bezpośrednie porównanie produktów satelitarnych z pomiarami naziemnymi jest trudne, a często niemożliwe – zazwyczaj trudno przekonać potencjalnego odbiorcę tych danych o ich jakości i użyteczności.

Istnieje potrzeba większej współpracy pomiędzy operatorami satelitarnymi a operacyjnymi służbami odpowiedzialnymi za wczesne ostrzeżenie i zarządzanie kryzysowe.

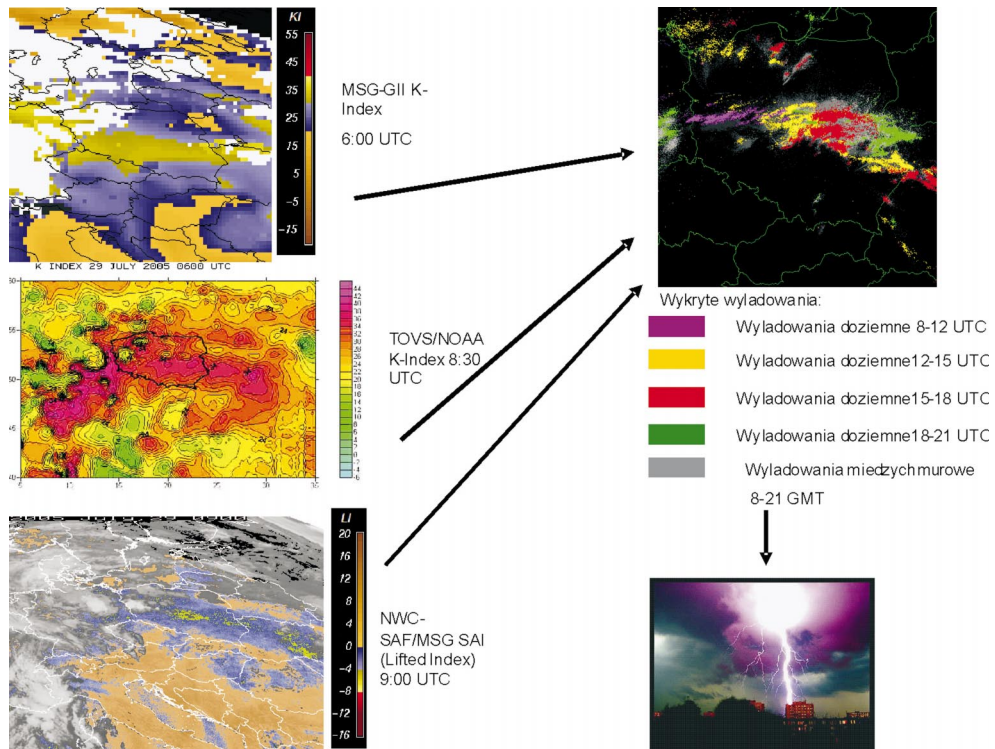
Literatura

- Kerkman J., 1999: Instability indices retrieved from satellite data”, SAF Training Workshop Nowcasting and Very Short Range Forecasting, 1998, EUMETSAT 1999, s. 136-147.
- Scofield R., 1999: Forecasting and Nowcasting flash floods and heavy precipitation from a satellite perspective”, SAF Training Workshop Nowcasting and Very Short Range Forecasting, 9-11 Dec. 1998, EUMETSAT 1999, s. 85-96.
- Senesi S., 1999: MSG and nowcasting of convective systems: Relevance of instability indices and other convection-related diagnostics, SAF Training Workshop Nowcasting and Very Short Range Forecasting, 9-11 Dec. 1998, EUMETSAT 1999, s. 64-74.
- Struzik P., 1998; Wykorzystanie informacji z satelitów meteorologicznych w stanach klęski żywiołowej, mat. z Konferencji Zagrożenie Klęskami Żywiołowymi, Bielsko Biała, 14-16.10.1998, s. 133-141.
- Struzik P., 2001: Technika i technologia satelitarna w nadzwyczajnych zagrożeniach, Współczesne problemy ekstremalnych zagrożeń środowiska, III Ogólnopolska Szkoła Jachranka 2001, IMGW Warszawa 2001, s. 113-128.
- Struzik P., 1991: Seasonal changes of the NDVI over Poland, Proceedings of Fifth AVHRR Data Users Meeting, Tromso 25-28 June 1991, EUMETSAT P 09, ISBN 92-9110-003-X, s. 77-82.
- Struzik P., 1995: Snow cover detection using AVHRR/NOAA satellite information, Proc. Meteorological Satellite Users' Conf., 4-9.09.1995, Winchester, Anglia, s. 185-192.
- Struzik P., Więzik B., 1995: Application of Satellite Information for Effective Rainfall Determination, Hydrological Processes in the Catchment – Proc. Int. Conf. 24-26 Apr 1995, Cracow, University of Technology, s. 179-188.
- Struzik P., Widawski A., 2001: Analiza stanu roślinności w Polsce w 2000 roku w świetle informacji satelitarnej NOAA/AVHRR, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia*, Vol. LV/LVI, 38, Sectio B, 2000/2001.
- Struzik P., 1998: Meteosat imagery helped forecast Poland's. floods, *Image*, No. 9/1998, EUMETSAT.
- Struzik P., 2004: Storm early detection and monitoring with use of satellite data at the IMWM, The 2004 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Praga 30.05-4.06.2004, EUMETSAT 2004, EUP-P41 s. 209-217.
- Więzik B., Struzik P., 1994: Prognozowanie odpływu ze zlewni przy wykorzystaniu danych satelitarnych. Politechnika Krakowska, Kraków, Monografia Nr 181.
- König M., Pajek M., Struzik P., 2006: Use of MSG global instability indices (GII) for storm prediction in Poland – validation study, Proc. 2006 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Helsinki, 2006 (w druku).

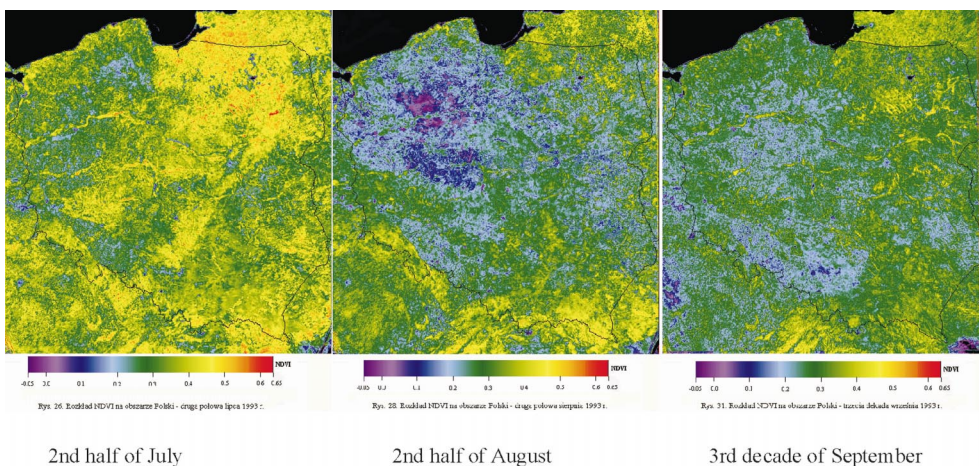
Summary

The paper presents possibilities for monitoring current state of atmosphere and Earth surface, thanks to information from meteorological satellites recorded by Krakow Branch Office of the Institute of Meteorology and Water Management. Such an information is operationally used by hydrological and meteorological forecasting offices, among other purposes for early detection of natural hazards. Fast development of meteorological satellite data processing and interpretation technology allows for use of that information in disaster analysis and monitoring. High temporal resolution of registered data (15 min) and satellite information processing and interpretation methods developed at the IMWM are of basic importance for the use of those data in emergency situations. The IMWM operationally use satellite information from: METEOSAT, NOAA and Feng Yun satellite systems. Special attention is paid to such use of the information as detection of storm initiation area and storm development monitoring, rainfall intensity and range, snow and ice covered area, vegetation state and its anomalies related to drought, fires, floods and human activity. Another important issue in the nuclear threat era is possibility to monitor directions of long-distant contamination transport (including radioactive) into mid/upper troposphere and stratosphere. Current possibilities and limitations of satellite information use were also presented.

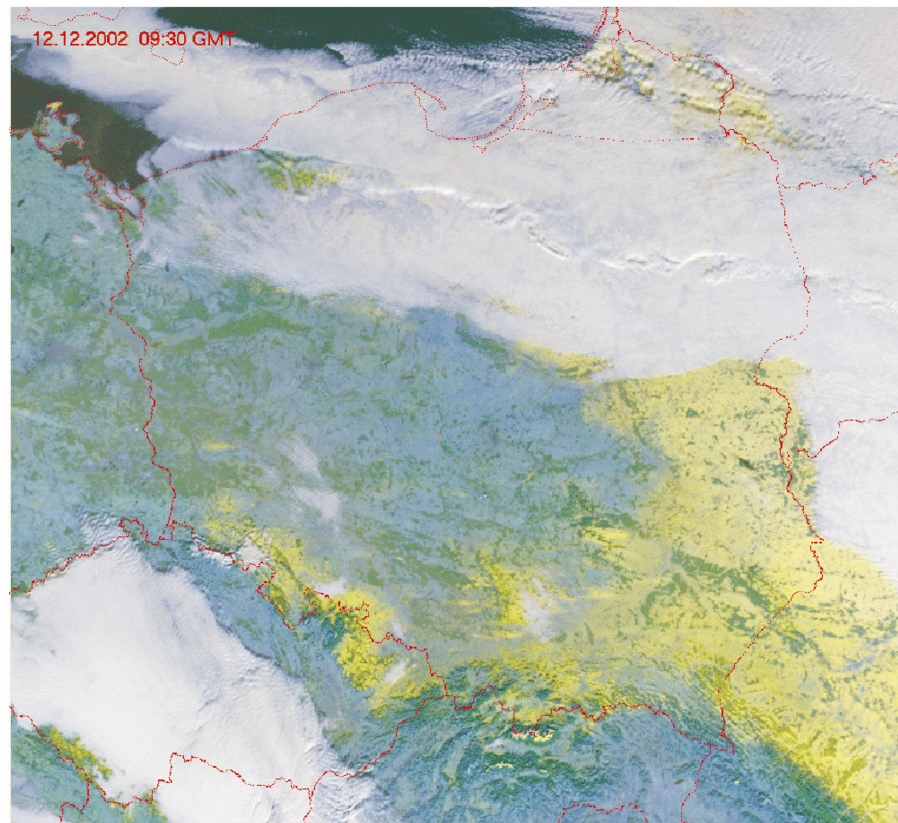
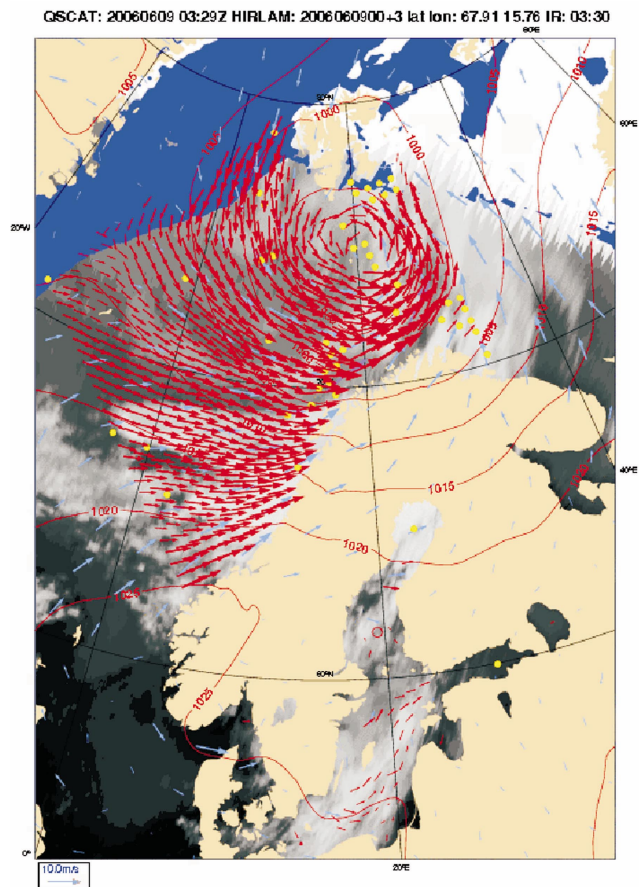
dr Piotr Struzik
piotr.struzik@imgw.pl



Rys. 3. Satelitarne produkty do krótkoterminowego prognozowania burz i zlokalizowane burze w dniu 29.07.2005.



Rys. 4. Wskaźniki roślinności określone z danych satelitarnych NOAA w okresie występowania suszy na obszarze Polski (1993 r.)



Rys. 5. Przykładowe produkty wspomagające bezpieczeństwo na morzu i lądzie – kierunek i siła wiatru na powierzchni morza (po lewej) oraz zasięg pokrywy śnieżnej (kolor żółty) po prawej