



## Wielospektralne dane satelitarne w interpretacji mgieł i niskich chmur warstwowych

KAROLINA KRAWCZYK, IRENEUSZ WINNICKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, [kkrawczyk@wat.edu.pl](mailto:kkrawczyk@wat.edu.pl), [ireneusz.winnicki@wat.edu.pl](mailto:ireneusz.winnicki@wat.edu.pl)

**Streszczenie.** Artykuł jest kontynuacją prezentacji wyników analiz zdjęć satelitarnych wykonywanych przez satelity Meteosat Drugiej Generacji (MSG). W opracowaniu wykorzystano obrazy pozyskiwane w pojedynczych kanałach spektralnych do detekcji mgieł i niskich chmur warstwowych oraz omówiono najczęściej wykorzystywane w tym aspekcie obrazy różnicowe i kompozycje barwne utworzone z danych MSG.

**Słowa kluczowe:** meteorologia, mgły, niskie chmury warstwowe, *Stratus*, obrazy różnicowe, kompozycje barwne RGB

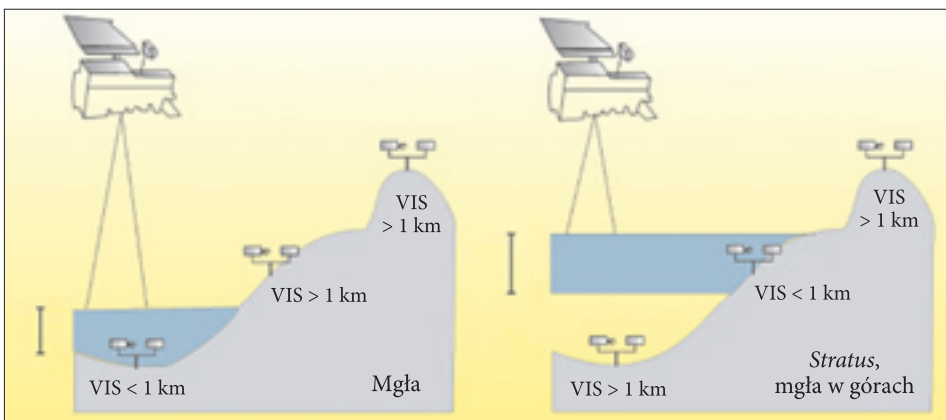
### 1. Wstęp

Mgła jest zjawiskiem atmosferycznym, które ma wpływ na wiele dziedzin życia człowieka. Ograniczona widzialność spowodowana występowaniem mgły może powodować utrudnienia w ruchu drogowym, morskim i lotniczym.

Dane, które pochodzą z naziemnego systemu pomiarów meteorologicznych, dotyczą warunków atmosferycznych mierzonych i obserwowanych w danym punkcie. Obserwacje synoptyczne wykonywane na stacjach meteorologicznych dają tylko lokalny obraz sytuacji. Mgła jest złożonym zjawiskiem atmosferycznym. Jej powstanie zależy od wielu mezoskalowych procesów, takich jak pionowa wymiana turbulencyjna w warstwie granicznej i wypromieniowanie z powierzchni gruntu. Proces ten zależy również od wpływów regionalnych środowiska, a także od sytuacji synoptycznej, czyli czynników makroskalowych. Na tworzenie się mgły oddziałują poza tym procesy mikrofizyczne, które powodują kondensację pary wodnej [4]. Złożoność procesu powstawania oraz znaczne przestrzenne

i czasowe zróżnicowanie mgieł powodują, że do analizy tego zjawiska powszechnie wykorzystuje się dane satelitarne. Pozwala na to szerokie spektrum rejestrowanego promieniowania oraz wysoka rozdzielczość przestrzenna oraz czasowa obrazów. To ostatnie kryterium spełniają obrazy wykonane przez geostacjonarne satelity meteorologiczne. W przeszłości ich rozdzielczość przestrzenna była jednak ograniczeniem w praktycznym wykorzystaniu. SEVIRI (*The Spinning-Enhanced Visible and Infrared Image*), skaner drugiej generacji satelitów geostacjonarnych MSG, ma obecnie wielokrotnie większą rozdzielczość przestrzenną (do 1 km w punkcie podsatelitarnym dla kanału wysokorozdzielczego HRV i 3 km dla pozostałych) i jest w stanie wykonywać zdjęcia co 15 minut.

Zgodnie z definicją ustaloną przez Międzynarodową Organizację Meteorologiczną, mgła jest zawiesiną bardzo małych kropelek wody lub cząstek lodu, zmniejszającą widzialność poziomą w warstwie atmosfery przylegającej do powierzchni gruntu tak, że na wysokości oczu obserwatora widzialność pozioma jest mniejsza niż 1 km. Podstawa mgły znajduje się zatem przy powierzchni ziemi. Odróżnia to mgłę od niskich chmur warstwowych *Stratus*, których podstawa znajduje się kilkadziesiąt (lub kilkaset) metrów nad gruntem. Na podstawie obrazów satelitarnych trudno jednak odróżnić te dwa przypadki (rys. 1), dlatego problem identyfikacji mgieł i niskich chmur warstwowych traktuje się łącznie [2]. W opracowaniu podjęto próbę wyznaczenia tych elementów na obrazach wykonanych w pojedynczych kanałach spektralnych, na obrazach różnicowych oraz na wybranych kompozycjach barwnych RGB opracowanych na podstawie kilku kanałów spektralnych.



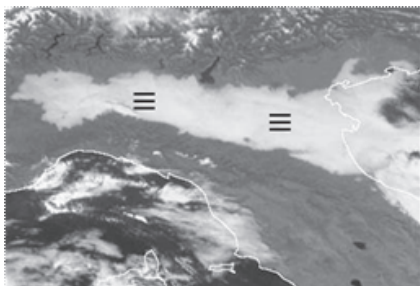
Rys. 1. Schematyczne przedstawienie problemu związanego z odróżnieniem mgieł od niskich chmur warstwowych na podstawie danych satelitarnych (opracowano na podstawie [2])

## 2. Interpretacja obrazów w pojedynczych kanałach spektralnych MSG

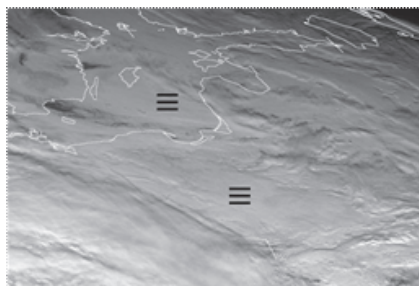
Chmury *Stratus* i mgła widoczne są na obrazach satelitarnych w postaci powierzchni o zróżnicowanym zasięgu poziomym. Dane satelitarne można wykorzystać do detekcji tych elementów, których wymiary przestrzenne wynoszą od kilku do nawet kilkuset tysięcy kilometrów kwadratowych (ograniczeniem jest tutaj rozdzielczość przestrzenna sensora satelity). Górna część mgły i chmur *Stratus* na obrazach wykonanych przez satelity geostacjonarne (np. w kanałach 1-11 MSG) ma wygląd jednolitej powierzchni. Na wysokorozdzielczych obrazach satelitarnych (np. w kanałach HRV-MSG) mogą być widoczne pewne elementy związane ze zróżnicowaniem strukturalnym ich górnej części.

Powyżej wspomniano o trudnościach występujących przy odróżnianiu mgieł od chmur *Stratus* na zdjęciach satelitarnych. Są jednak pewne własności, które ułatwiają stwierdzenie, czy dominuje mgła czy chmury warstwowe. W nawiązaniu do warunków, w których te elementy powstały, wyróżnia się następujące cechy możliwe do zaobserwowania na obrazach satelitarnych, które ułatwiają detekcję mgieł i niskich chmur warstwowych [1, 7, 15]:

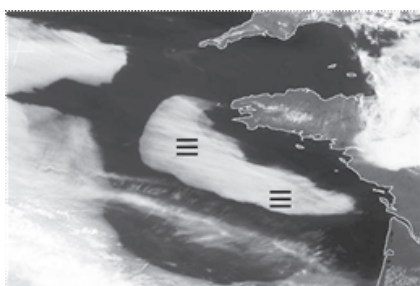
- brzegi mgieł pochodzenia radiacyjnego mogą przyjmować bardziej nieregularny i wyraźnie zarysowany kształt w porównaniu do chmur *Stratus*, ze względu na dopasowanie mgieł do form ukształtowania terenu (rys. 2),
- mgły i *Stratus* powstałe w dolinach również mogą być widoczne jako elementy współkształtne do form rzeźby terenu (rys. 5); z tego względu są łatwe do wyróżnienia; poza tym jeśli w dolinach zalega mgła, w ich częściach osiowych na obrazach wykonanych w zakresie widzialnym mogą być widoczne jasne pasma (rys. 6); ma to związek z większą grubością warstwy mgły w tych częściach doliny, a zatem z większą odbiciowością; wykorzystanie wysokorozdzielczych obrazów wykonanych przez satelity okołobiegunowe dostarcza w tym zakresie bardziej szczegółowych informacji (rys. 7),
- mgły i *Stratus*, które powstały nad morzem lub oceanem, zobrazowane są w postaci gładkiej powierzchni o wygładzonych brzegach (rys. 4),
- mgły i chmury pochodzenia adwekcyjnego zobrazowane są zazwyczaj w postaci warstwy o regularnych konturach (rys. 3),
- jest większe prawdopodobieństwo, że przemieszczanie się struktur widoczne na animacji serii zobrazowań satelitarnych związane jest z chmurami *Stratus*.



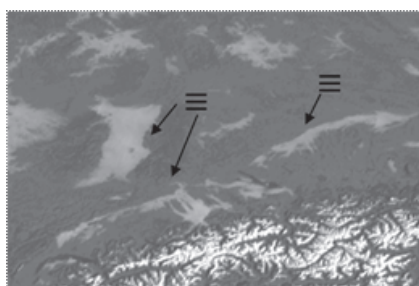
Rys. 2. Mgły/*Stratus* pochodzenia radiacyjnego widoczne na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale HRV, 20 listopada 2011 r. 12.00 UTC



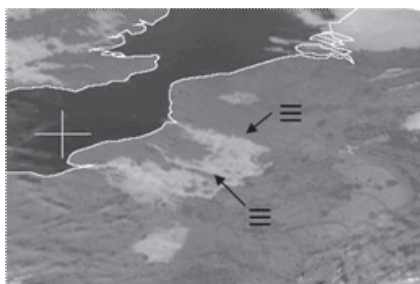
Rys. 3. Mgły/*Stratus* pochodzenia adwekcyjnego widoczne na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale HRV, 13 stycznia 2011 r. 12.00 UTC



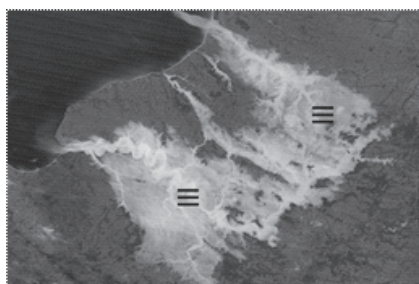
Rys. 4. Mgły/*Stratus* powstałe nad oceanem widoczne na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale HRV, 8 czerwca 2007 r. 12.00 UTC



Rys. 5. Mgły/*Stratus* w dolinach widoczne na obrazie z satelity MSG-1 wykonanym w kanale HRV, 5 listopada 2003 r. 8.45 UTC



Rys. 6. Mgły w dolinach widoczne na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale HRV, 20 listopada 2011 r. 12.00 UTC

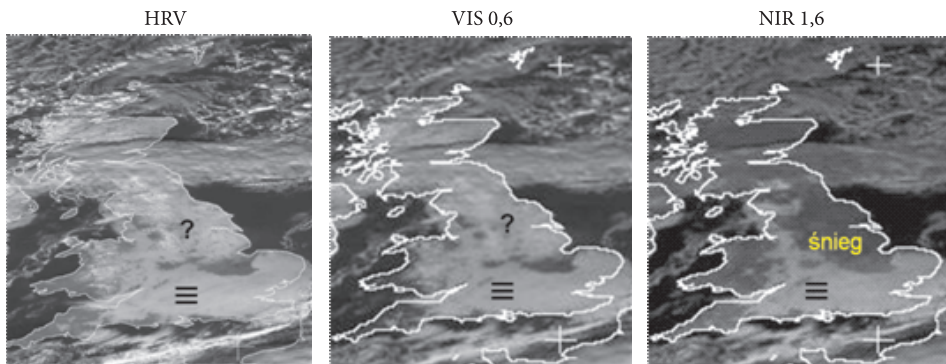


Rys. 7. Mgły w dolinach widoczne na kompozycji barwnej utworzonej z obrazów wykonanych przez spektrometr MODIS, 20 listopada 2011 r. 10.49 UTC

Dostępność zdjęć wykonanych w kilkunastu kanałach spektralnych (12 w przypadku satelitów MSG) stwarza szerokie możliwości analizy właściwości mgieł i niskich chmur warstwowych oraz relacji między tymi właściwościami a procesami, które doprowadziły do utworzenia danej struktury. Do detekcji mgieł i chmur *Stratus*

wykorzystuje się następujące ich właściwości radiacyjne w zakresie widma promieniowania widzialnego, dalekiej i bliskiej podczerwieni [1, 5, 6, 7, 11, 14, 15]:

- wielkość odbiciowości w zakresie promieniowania widzialnego jest wprost proporcjonalna do grubości i wodności chmur/mgieł; zatem im większa wodność i miąższość zobrazowanej struktury, tym większa jej jasność; niskie chmury warstwowe i mgły na obrazach satelitarnych w tym zakresie spektralnym są zazwyczaj białe lub jasnoszare i dobrze widoczne (zwłaszcza na obrazach w wysokiej rozdzielczości, takich jak HRV-MSG); istnieje natomiast problem w zakresie rozpoznawania tych struktur nad pokrywą śnieżną, która również charakteryzuje się dużą odbiciowością w zakresie promieniowania widzialnego (rys. 8);
- w zakresie bliskiej podczerwieni (np. kanał NIR 1.6 MSG — 1,50-1,78  $\mu\text{m}$ ) rejestrowane jest promieniowanie słoneczne rozproszone od chmur i powierzchni Ziemi; chmury zbudowane z mniejszych kropelek wody odbijają więcej promieniowania słonecznego niż chmury zbudowane z kryształków lodu lub z większych kropelek wody; kanał ten wskazuje zatem na wielkość cząstek chmury i ich stan skupienia; podobnie jak na obrazach VIS, mgły/*Stratus* przedstawione są zatem jako białe lub jasnoszare; ze względu na większą absorpcję promieniowania przez cząstki lodu, śnieg i złodzone części chmur przyjmują natomiast ciemne odcienie szarości, co ułatwia identyfikację mgieł i niskich chmur warstwowych nad pokrywą śnieżną (rys. 8);



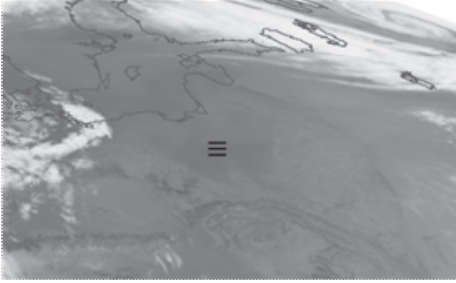
Rys. 8. Mgły/*Stratus* nad pokrywą śnieżną widoczne na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale NIR 1,6, 6 grudnia 2010 r. 12.00 UTC

- w zakresie podczerwieni termalnej (np. kanał IR 10.8) rejestrowane jest promieniowanie emitowane przez powierzchnię Ziemi i atmosferę; pozwala to na ocenę temperatury i wysokości wierzchołków struktur znajdujących się w atmosferze; ze względu na niewielką wysokość górnych powierzchni

mgieł i chmur *Stratus* (a przez to wyższą temperaturę radiacyjną) elementy te zobrazowane są na zdjęciach IR (przedstawionych zgodnie z konwencją przyjętą dla zobrazowań w zakresie widzialnym) jako szare lub ciemnoszare (z tego względu są trudne do identyfikacji na tle powierzchni ziemi (rys. 9 i 11)); należy podkreślić, iż detekcja mgieł i niskich chmur warstwowych na podstawie zdjęć wykonanych w wymienionym zakresie spektralnym jest praktycznie niemożliwa w sytuacjach niewielkiej różnicy temperatury radiacyjnej między podłożem a obszarami z mgłą i chmurami *Stratus*; poza tym górne powierzchnie tych struktur mogą charakteryzować się w pewnych warunkach wyższą temperaturą w porównaniu z sąsiednimi bezchmurnymi obszarami (mgły te nazywane są jako tzw. „black fog”); tego typu sytuacje występują najczęściej w wysokich szerokościach geograficznych w porze zimowej w warunkach silnej inwersji temperatury na niskich wysokościach; górne powierzchnie mgieł są wówczas „cieplejsze” w porównaniu z sąsiednimi obszarami (zobrazowane jako czarne lub ciemnoszare);

- w zakresie podczerwieni 3,9  $\mu\text{m}$  rejestrowane jest promieniowanie słoneczne (odbite i rozproszone) oraz promieniowanie emitowane przez Ziemię i atmosferę; w porze nocnej sensory satelitów odbierają tylko ten drugi rodzaj promieniowania; w zakresie IR 3.9 powierzchnia Ziemi w odróżnieniu od chmur i mgieł emituje jak ciało doskonale czarne; podczas konwersji radiancji na temperaturę zakłada się, że wszystkie zobrazowane obiekty, od których pochodzi promieniowanie, są ciałami doskonale czarnymi, dlatego niższe wartości radiancji chmur/mgieł w tym przypadku związane są z niższymi wartościami temperatury tych obiektów niż są w rzeczywistości; własność tę wykorzystuje się do rozróżniania łądu i wody od chmur/mgieł; różnice te nie zawsze są jednak na tyle znaczące, aby można było stwierdzić, iż zobrazowania wykonane w tym kanale są właściwe do detekcji mgieł i niskich chmur warstwowych w porze nocnej w każdej sytuacji (rys. 10); lepiej sprawdza się w tej kwestii wykorzystanie obrazów z zakresu IR 3.9 do identyfikacji obszarów z mgłami lub chmurami *Stratus* w porze dziennej, w której rejestrowane jest również promieniowanie słoneczne; wielkość odbiciowości w tym zakresie zależy od fazy i wielkości cząstek, z których zbudowane są mgły/chmury; większą odbiciowością charakteryzują się cząstki wody niż kryształki lodu oraz cząstki mniejsze niż większe; mgły i niskie chmury warstwowe charakteryzują się zatem znaczną odbiciowością w tym zakresie i zobrazowane są na zdjęciach negatywowych (przedstawionych zgodnie z konwencją przyjętą dla zobrazowań w zakresie widzialnym) jako szare lub ciemnoszare powierzchnie (rys. 12).

## PORA NOCNA

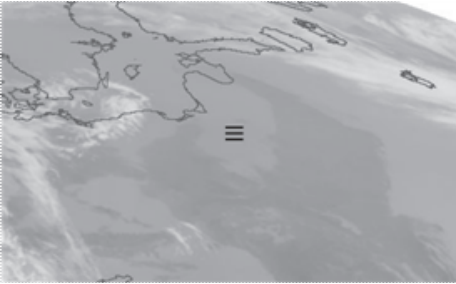


Rys. 9. Mgły/*Stratus* trudne do detekcji na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale IR 10.8, 3 listopada 2011 r. 2.00 UTC



Rys. 10. Mgły/*Stratus* trudne do detekcji na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale IR 3.9, 3 listopada 2011 r. 2.00 UTC

## PORA DZIENNA



Rys. 11. Mgły/*Stratus* trudne do detekcji na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale IR 10.8, 3 listopada 2011 r. 9.30 UTC



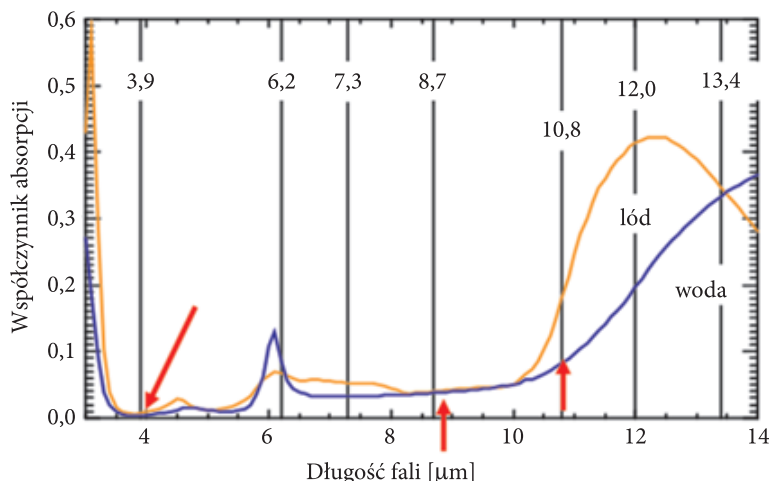
Rys. 12. Mgły/*Stratus* możliwe do detekcji na obrazie z satelity MSG-2 wykonanym w kanale IR 3.9, 3 listopada 2011 r. 9.30 UTC

Podsumowując, detekcja mgieł i niskich chmur warstwowych na podstawie obrazów wykonanych w pojedynczych kanałach spektralnych jest możliwa zwłaszcza w przypadku występowania tych elementów w porze dziennej. Jednoczesna analiza wysokorozdzielczych zobrazowań z zakresu VIS i zdjęć wykonanych w podczerwieni ułatwia rozpoznawanie własności mgieł i niskich chmur warstwowych, które na każdym z zobrazowań z osobna nie mogą być jednoznacznie zinterpretowane. Problematiczna jest natomiast kwestia detekcji tych elementów w porze nocnej.

### 3. Interpretacja obrazów różnicowych MSG

Uwzględniając charakterystyki rozpraszania i emisji przez różne rodzaje podłoża, chmur oraz wiedzę o absorpcji promieniowania w atmosferze w pojedynczych kanałach spektralnych istnieje możliwość utworzenia obrazów różnicowych. Mogą

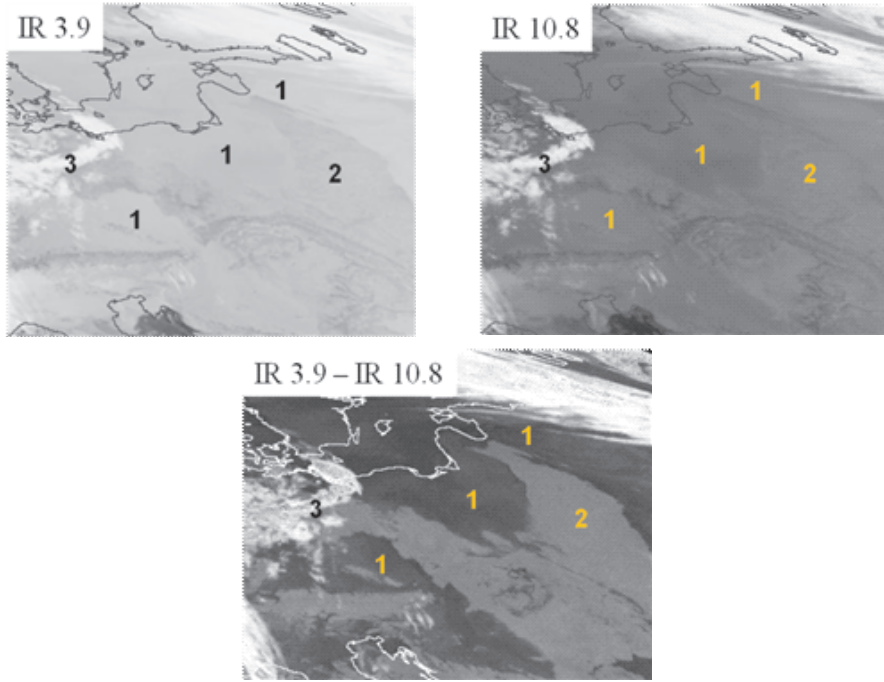
one być źródłem dodatkowych informacji o określonym zjawisku pogodowym, które często nie są dostępne w przypadku podstawowych kanałów.



Rys. 13. Współczynnik absorpcji promieniowania elektromagnetycznego przez kropelki wody i kryształki lodu w różnych kanałach spektralnych satelity MSG-2 (opracowano na podstawie [35])

Do detekcji mgieł i niskich chmur warstwowych w porze nocnej wykorzystuje się obrazy różnicowe utworzone na podstawie zdjęć wykonanych w kanale IR 3.9 oraz IR 10.8. Zgodnie z prawem Kirchoffa, mniejszej absorpcji odpowiada mniejsza zdolność emisyjna danego obiektu. Zdolność emisyjna chmur/mgieł zbudowanych z małych kropelek wody w zakresie spektralnym rejestrowanym w kanale 3,9 μm jest w porze nocnej mniejsza niż w zakresie kanału 10,8 μm [5, 6, 7]. Z tą własnością związana jest metoda wyznaczania mgieł i chmur *Stratus*. Wykorzystuje się w tym celu różnice temperatury radiacyjnej między dwoma kanałami i tworzy obrazy różnicowe IR 3.9-IR 10.8 (rys. 14). Wartości tej różnicy w przypadku mgieł/chmur *Stratus* są ujemne i wynoszą kilka stopni. W kanale IR 3.9 rejestrowane jest promieniowanie z zakresu 3,48-4,36 μm. Obejmuje on zatem również zakres absorpcji promieniowania przez CO<sub>2</sub> (ok. 4,2 μm), co ma wpływ na wielkość radiancji mierzonej w kanale IR 3.9. W związku z tym, przy wyznaczaniu temperatury radiacyjnej, powinno się uwzględnić poprawkę na absorpcję promieniowania przez CO<sub>2</sub> [3]. Z tego powodu trudno przyjąć uniwersalne zakresy różnicy temperatury radiacyjnej IR 3.9-IR 10.8, które wskazywałyby na występowanie mgieł/chmur *Stratus* na danym obszarze i które można byłoby odnieść do powierzchni całego globu.



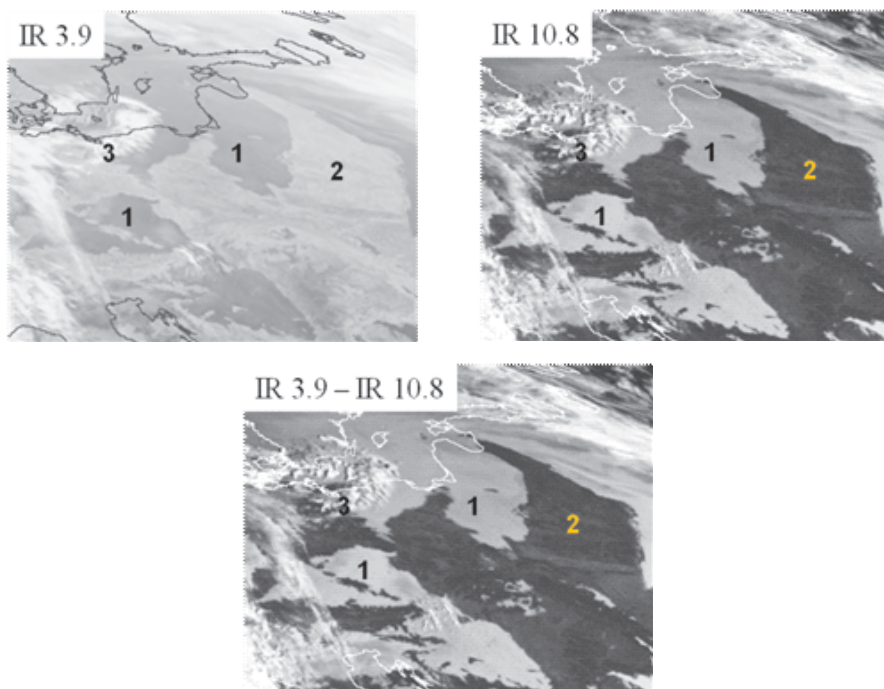


Rys. 14. Wykorzystanie obrazów różnicowych IR 3.9-IR 10.8 do detekcji mgieł/chmur *Stratus* w porze nocnej, MSG-2, 3 listopada 2011 r. 2.00 UTC: 1 — mgła/*Stratus*; 2 — grunt; 3 — cienkie chmury piętra wysokiego

W porze dziennej w zakresie podczerwieni 3,9  $\mu\text{m}$  rejestrowane jest między innymi promieniowanie słoneczne (odbite i rozproszone). Różnice temperatury w wymienionych dwóch kanałach spektralnych zależą wówczas od kąta padania promieni słonecznych (rosną wraz ze wzrostem kąta i przyjmują wartości dodatnie) (rys. 15) [10].

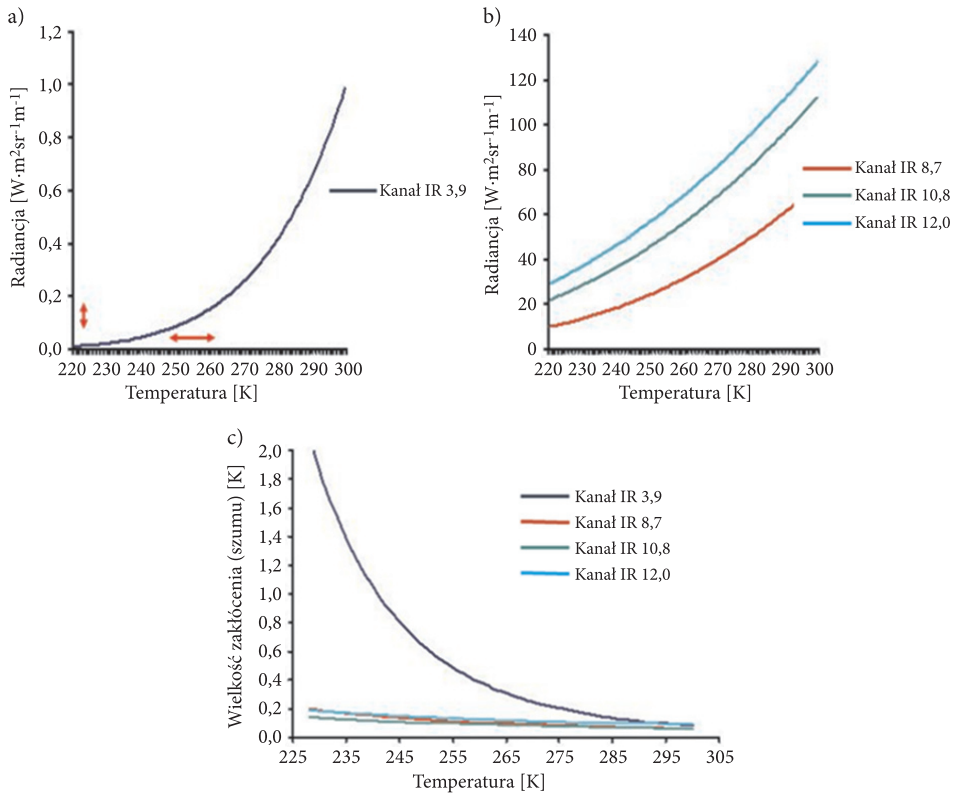
Warto zwrócić uwagę na jeszcze jedną kwestię związaną z wykorzystaniem obrazów wykonanych w kanale IR 3.9. W przypadku niskich wartości temperatury radiacyjnej (czyli np. w porze zimowej, zwłaszcza w wysokich szerokościach geograficznych) w tym zakresie spektralnym zależność radiancji zobrazowanych obiektów od ich temperatury jest silnie nieliniowa (rys. 16a). Niewielka zmiana radiancji oznacza znaczną zmianę temperatury radiacyjnej, w odróżnieniu od zmian tych wielkości w innych zakresach spektralnych (np. IR 8.7, IR 10.8, IR 12.0) (rys. 16b). Oznacza to, że w takich warunkach atmosferycznych, w kanale IR 3.9, radiometr SEVIRI mierzy temperaturę radiacyjną z mniejszą dokładnością niż w innych kanałach spektralnych. Błędy te (ang. *noise*) wpływają na ograniczenie możliwości wykorzystania obrazów wykonanych w tym zakresie do detekcji mgieł i niskich chmur warstwowych. Wielkość tego zakłócenia może dochodzić

w przypadku bardzo niskiej temperatury do 2 K (rys. 16c). Wpływa to na zmniejszenie kontrastu między obszarami bezchmurnymi a mgłą czy chmurami *Stratus*, co utrudnia detekcję tych elementów na obrazie [5].

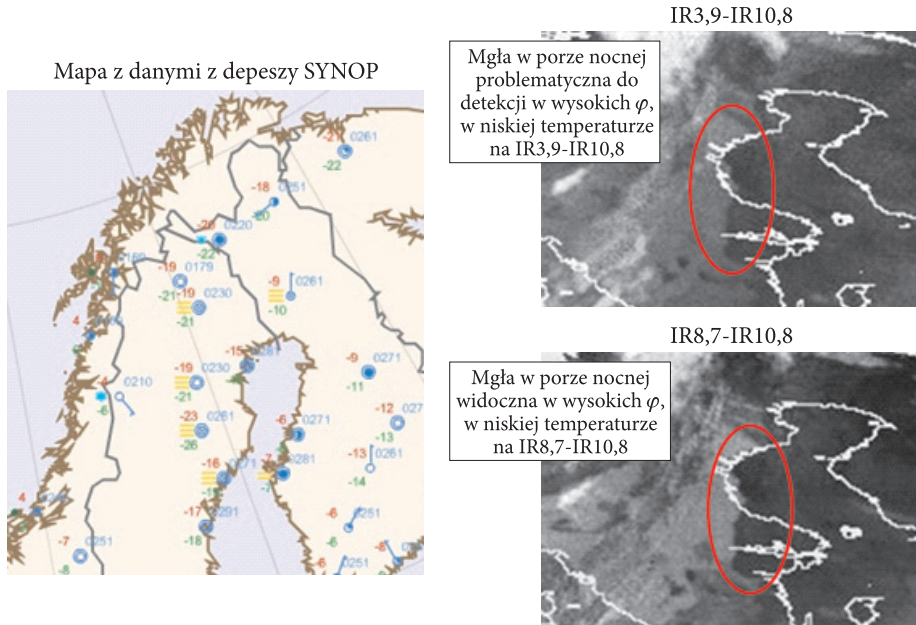


Rys. 15. Wykorzystanie obrazów różnicowych IR 3.9-IR 10.8 do detekcji mgieł/chmur *Stratus* w porze dziennej, MSG-2, 3 listopada 2011 r. 9.30 UTC: 1 — mgła/*Stratus*; 2 — grunt; 3 — cienkie chmury piętra wysokiego

W sytuacji wystąpienia opisanych wyżej warunków do tworzenia obrazów różnicowych zamiast kanału IR 3.9 wykorzystuje się kanał IR 8.7 [5, 7]. Różnice temperatury radiacyjnej między obrazami wykonanymi w tych dwóch zakresach dla mgieł/chmur *Stratus* nie będą tak znaczne jak w przypadku obrazów IR 3.9-IR 10.8. Do detekcji tych elementów bardziej właściwe będzie wówczas wykorzystanie kompozycji barwnej RGB, w której do jednej ze składowych barw głównych przyporządkuje się obraz różnicowy powstały na podstawie kanałów IR 8.7 oraz IR 10.8 [5]. Metoda ta bardziej szczegółowo opisana została w następnym rozdziale.



Rys. 16. Zależność radiancji od temperatury radiacyjnej w kanale IR 3.9 (a) oraz w kanałach IR 8.7, IR 10.8, IR 12.0 (b), a także wielkość szumu w wymienionych zakresach spektralnych (c) (opis w tekście) [5]



Rys. 17. Wykorzystanie obrazów różnicowych IR 8.7-IR 10.8 do detekcji mgieł/chmur *Stratus* w warunkach niskiej temperatury powietrza, MSG-2, 21 stycznia 2011 r. 2.00 UTC













#### 4. Interpretacja kompozycji barwnych MSG

Operacja tworzenia kompozycji barwnych polega na transparentnym łączeniu obrazów, którym przyporządkowuje się barwy składowe RGB. Proces ten dotyczy łączenia obrazów wykonanych w pojedynczych kanałach spektralnych lub powstałych z nich obrazów różnicowych. Jest jedną z technik, która pozwala na pozyskanie, uwdatnienie i zoptymalizowanie informacji o wybranych zjawiskach pogodowych. Europejska Organizacja Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), obsługująca satelity Meteosat, zaleca stosowanie określonych kompozycji barwnych, umożliwiających interpretację mgieł i niskich chmur warstwowych. W tabeli 1 zestawiono wybrane kompozycje barwnie, które można wykorzystać do detekcji tych elementów na podstawie obrazów MSG. Warto dodać jedną kwestię. Większości tych kompozycji nie można utworzyć we własnym zakresie bez dostępu do zaawansowanego oprogramowania, które umożliwiłoby spełnienie wszystkich kryteriów proponowanych przez EUMETSAT do opracowywania danej kompozycji. Kompozycje te można wykorzystać tylko w przygotowanej i udostępnionej przez EUMETSAT formie (np. ze strony <http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/>). Dane te nie są jednak archiwizowane. Rozwiązaniem jest utworzenie kompozycji barwnych, których algorytmy są zbliżone do tych proponowanych

przez EUMETSAT, na podstawie ogólnodostępnych, archiwizowanych danych z pojedynczych kanałów spektralnych (również na podstawie obrazów odbieranych i archiwizowanych w Zakładzie Systemów Informacji Geograficznej).

TABELA 1

Wybrane kompozycje barwne do detekcji mgieł i niskich chmur warstwowych, utworzone z obrazów wykonanych przez satelity MSG w różnych kanałach spektralnych [7, 8, 9, 12, 13, 15]

Nazwa kompozycji RGB	Nazwa kanału spektralnego przyporządkowanego do składowej (lub kanałów tworzących obraz różnicowy)			Barwa mgieł/niskich chmur warstwowych	Pora dnia
	R (red)	G (green)	B (blue)		
03,02,01 Natural Colour	NIR 1.6	VIS 0.8	VIS 0.6	 	dzień
02,04 <sup>r1</sup> ,09 Day Micro-physics	VIS 0.8	IR 3.9r	IR 10.8	 	dzień
02,03,04 <sup>r</sup> Day Solar	VIS 0.8	NIR 1.6	IR 3.9r	 	dzień
10-09,09-04,09 Night Micro-physics	IR 12.0- IR 10.8	IR 10.8- IR 3.9	IR 10.8	 	noc
3,12,12 HRV Fog	NIR 1.6	HRV	HRV	 	dzień
12,12, 9i <sup>2</sup>	HRV	HRV	IR 10.8	 	dzień

<sup>1</sup> *r* — uwzględniono tylko składową związaną z promieniowaniem słonecznym odbitym i rozproszonym (bez promieniowania emitowanego przez Ziemię i atmosferę).

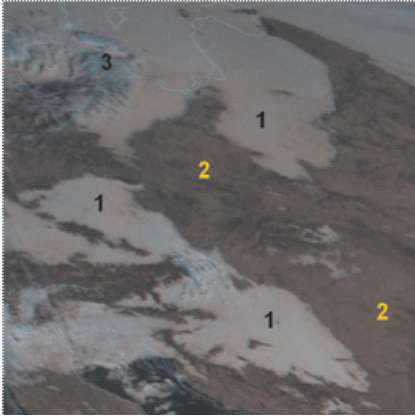
<sup>2</sup> Symbol *i* oznacza „inverted” — obraz odwrócony — czyli wartości pikseli rosną wraz ze wzrostem temperatury obrazowanego obiektu.

W ramach niniejszego opracowania utworzono w aplikacji Readmsg.exe (bezpłatnie udostępnianej przez EUMETSAT [16]) dwie kompozycje:

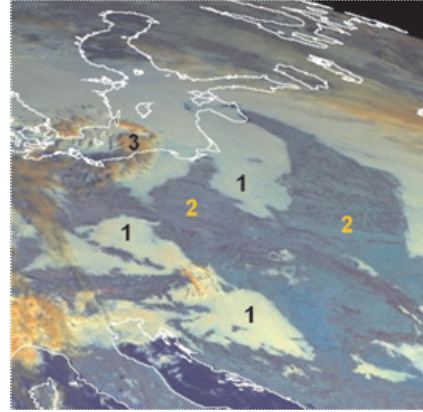
1. Na podstawie obrazów wykonanych w kanale 3 (NIR 1.6) oraz 12 (HRV), czyli kompozycję bazującą na RGB 03, 12, 12 (tab. 1). Wykorzystano w tym przypadku całe zakresy poszczególnych kanałów, a nie ich wybrane przedziały, jak proponuje EUMETSAT (w przypadku kanału 3 EUMETSAT zaleca uwzględnienie tylko 70% zakresu danych rejestrowanych w tym spektrum).
2. Na podstawie obrazów wykonanych w kanale 2 (VIS 0.8), 3 (NIR 1.6) oraz 4 (IR 3.9), czyli kompozycję bazującą na Day Solar RGB 02,03,04r (tab. 1). Różnica jest podobna do opisanej wyżej. W opracowaniu wykorzystano całe zakresy poszczególnych kanałów, a nie ich części (w kompozycji Day Solar zaleca się uwzględnienie w kanale IR 3.9 tylko składowej związanej z promieniowaniem słonecznym odbitym i rozproszonym, stąd oznaczenie *r* (*reflectance*, czyli odbiciowość), pomija się natomiast promieniowanie emitowane przez Ziemię i atmosferę).

Powierzchnia mgły/chmur *Stratus* odbija podobną ilość promieniowania we wszystkich składowych tworzących kompozycję RGB wymienioną w pierwszym punkcie. Duża jasność w kanale HRV związana jest ze znaczną grubością i dużą wodnością tych elementów. Są one zbudowane z kropelek wody, co zwiększa odbiciowość również w kanale NIR 1.6. Ze względu na silniejszą absorpcję promieniowania w tym zakresie przez kryształki lodu, kanał ten umożliwia rozróżnienie chmur wodnych i lodowych. W rezultacie powierzchnia mgły/chmur *Stratus* przyjmuje na obrazach barwę białą z lekkim odcieniem różowym (rys. 18). Właściwości tego kanału pozwalają również na odróżnienie tych elementów od pokrywy śnieżnej.

W przypadku drugiej wymienionej kompozycji barwnej, oprócz własności radiacyjnych chmur/mgiew w zakresie promieniowania widzialnego, wykorzystuje się również własności zakresu IR 3.9. Wielkość odbiciowości w tym zakresie zależy od fazy i wielkości cząstek, z których zbudowane są mgły/chmury. Większą odbiciowością charakteryzują się cząstki wody niż kryształki lodu oraz cząstki mniejsze niż większe. Mgły i niskie chmury warstwowe charakteryzują się zatem znaczną odbiciowością w tym zakresie i zobrazowane są na zdjęciach pozytywnych jako jasnoszare lub białe powierzchnie (znacznie jaśniejsze niż chmury piętra wysokiego, które są zbudowane z kryształków lodu). Mgły lub *Stratus* przyjmują na obrazach w tej kompozycji wygląd gładkiej jasnej powierzchni z lekkim odcieniem zieleni (rys. 19). Wyraźnie odróżniają się od gruntu (barwa niebieska), śniegu (barwa różowa) i chmur piętra średniego i wysokiego (odcienie barwy pomarańczowej).



Rys. 18. Mgły/*Stratus* na kompozycji barwnej utworzonej z obrazów MSG-2 wykonanych w kanałach NIR 1.6, HRV, HRV, 3 listopada 2011 r. 9.30 UTC



Rys. 19. Mgły/*Stratus* na kompozycji barwnej utworzonej z obrazów MSG-2 wykonanych w kanałach VIS 0.8, NIR 1.6, IR 3.9, 3 listopada 2011 r. 9.30 UTC

1 — mgła/*Stratus*; 2 — grunt; 3 — cienkie chmury piętra wysokiego

## 5. Podsumowanie

Optymalne wykorzystanie obrazów satelitarnych do wyznaczania obszarów występowania mgieł i niskich chmur warstwowych wymaga dobrego poznania charakterystyk poszczególnych kanałów spektralnych. Z całego widma promieniowania wybierane są takie przedziały spektralne, w których obserwuje się oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego z cząsteczkami chmur, molekułami powietrza czy powierzchnią Ziemi. Metody analizy chmur *Stratus* czy mgieł na obrazach satelitarnych polegają na analizie odbiciowości i temperatury radiacyjnej poszczególnych pikseli obrazu. Informacje o tych elementach można uzyskać również na podstawie charakterystycznych ich kształtów, rozmiarów, wewnętrznej struktury, a także relacji położenia względem powierzchni Ziemi. W porze dziennej wykorzystuje się w tym celu obrazy wykonane w kanale widzialnym. Powszechnie stosuje się zwłaszcza obrazy wysokorozdzielcze (np. HRV — MSG). Do detekcji mgieł/chmur *Stratus* nad pokrywą śnieżną stosuje się obrazy wykonane w zakresie bliskiej podczerwieni (np. NIR 1.6).

Uwzględniając charakterystyki rozpraszania i emisji przez różne rodzaje podłoża, aerozoli, chmur oraz wiedzę o absorpcji promieniowania w atmosferze, tworzy się również inne produkty, takie jak obrazy różnicowe czy kompozycje barwne, które ułatwiają detekcję różnych zjawisk oraz obserwację ich cech. Dane te są źródłem dodatkowych informacji, które często nie są dostępne/widoczne w przypadku obrazów wykonanych w pojedynczych kanałach spektralnych.

Powyższe przedstawienie możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych MSG do interpretacji mgieł i niskich chmur warstwowych jest jedynie wstępem do kolejnych, bardziej szczegółowych badań, które można odnieść do określonych obszarów. Ich rozwój umożliwi odbiór i archiwizacja źródłowych danych satelitarnych w Zakładzie Systemów Informacji Geograficznej Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji WAT.

Artykuł wpłynął do redakcji 8.03.2012 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2012 r.

#### LITERATURA

- [1] J. BADER, G.S. FORBES, J.R. GRANT, R.B.E. LILLEY, A.J. WATERS, *Images in weather forecasting*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [2] J. BENDIX, J. CERMAK, B. THIES, *New perspectives in remote sensing of fog and low Stratus — TERRA/AQUA-MODIS and MSG*, Third International Conference on Fog, Cape Town, 11-15 października 2004.
- [3] J. CERMAK, J. BENDIX, *Dynamical nighttime fog/low Stratus detection based on Meteosat SEVIRI data: a feasibility study*, Pure and Applied Geophysics, 164, 2007, 1179-1192.
- [4] P.J. CROFT (i in.), *Fog forecasting for the Southern Region: a conceptual model approach*, Weather and Forecasting, 12, 1997, 545-556.
- [5] A. ERONN, *Fog detection in cold winter situations at high latitudes*, sprawozdanie z „EUMETSAT Graduate Trainee”, 2007.
- [6] J. KERKMANN, *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) — Meteorological use of the SEVIRI IR3.9 channel*, EUMETSAT, Darmstadt 2004.
- [7] J. KERKMANN (red.), *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) — Fog detection*, EUMETSAT, 2004.
- [8] J. KERKMANN, *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) — RGB images, part 04: RGB composites with channels 01-11 and their interpretation*, EUMETSAT, 2005.
- [9] J. KERKMANN, *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) — RGB images, part 05: RGB composites with channel 12 and their interpretation*, 2005, EUMETSAT.
- [10] LEE JUNG-RIM, CHUNG CHU-YONG, OU MI-LIM, *Automatic fog detection algorithm with application of dynamic thresholds*, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Bath, Wielka Brytania, 21-25 września 2009.
- [11] D. ROSENFELD, *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) — Cloud processes*, EUMETSAT, 2004.
- [12] User Service Division, *Best practices for RGB compositing of multi-spectral imagery*, 2004, EUMETSAT.
- [13] A. WIRTH, B. ZEINER, V. ZWATZ-MEISE, *Fog detection and convective cell life cycle evaluation from MSG images*, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Austria, 2005.
- [14] V. ZWATZ-MEISE, *Introduction into the Solar Channels*, Darmstadt 2004, EUMETSAT.
- [15] <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/>.
- [16] <http://www.eumetsat.int/Home/Main/DataAccess/SupportSoftwareTools/index.htm>.



K. KRAWCZYK, I. WINNICKI

**Multispectral satellite data for interpretation of fogs and low clouds**

**Abstract.** The article is continuation of a presentation of the results of MSG satellite imagery interpretation. This paper presents application of single spectral channels' images for interpretation of fogs and low clouds and it discusses the most commonly used for this purpose differential images and colour compositions.

**Keywords:** meteorology, remote sensing, RGB composite imagery, differential imagery, fog, *Stratus*

