

Nabarath BANIYA¹, Tomasz ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI¹, Curt MAJUNKE¹,
Mirko HAUSWIRTH²

ZDJĘCIA SATELITARNE LANDSAT TM W OCENIE GRADACJI BRUDNICY MNISZKI

LANDSAT TM SATELLITE IMAGES IN NUN MOTH OUTBREAK ESTIMATION

Abstract. *The article describes methodological aspects of the use of Landsat Thematic Mapper satellite images to estimate the range and intensity of nun moth outbreak in Schorfheide forests (Brandenburg). The high values of correlation coefficient was derived for relation of defoliation with biomass, damages and NDVI indices (0.693, 0.704 and – 0.691 respectively). There were four classes of defoliation in surveyed stands distinguished by using the multi-channels analyses: up to 30%, 30–50%, 50–70% and over 70%.*

Key words: *remote sensing, Landsat TM, outbreak, nun moth.*

¹ Fachhochschule Eberswalde, Fakultät für Forstwissenschaft, Alfred-Möller-Str. 1,
D-16225 Eberswalde, Deutschland ; tzawila@fh-eberswalde.de

² Forstliches Forschungsinstitut in Eberswalde, Abteilung Waldschutz, Alfred-Möller-Str. 1,
D-16225 Eberswalde, Deutschland.

WSTĘP

Brudnica mniszka (*Lymantria monacha* L.) jest uznawana od wielu lat za jednego z najgroźniejszych szkodników lasów Europy środkowej. Szczególnie duże zniszczenia spowodowane były przez nią na przełomie dekad 1970 i 1980, również obecnie notowany jest corocznie lokalnie wzrost populacji tego szkodnika.

Zachodnia granica masowych pojawów brudnicy przebiega przez lasy Brandenburgii w północnych Niemczech (Majunke i Möller 2003). W 2002 r. uszkodziła ona tam drzewostany na powierzchni około 21 000 ha, a w 2003 r. – 32 000 ha. Szczególnie groźna sytuacja miała miejsce w lasach Schorfheide (centralna Brandenburgia, około 80 km na północ od Berlina) w 2003 r. Pomimo gradacji, trwającej na tym obszarze od kilku lat, zwlekano z podjęciem decyzji o zwalczaniu chemicznym ze względu na wysoki status ochrony przyrody tego terenu. Szkody były tak dotkliwe (szereg drzewostanów było zdefoliowanych w ponad 90%) i rozległe obszarowo, że nawet na zdjęciach satelitarnych o średniej rozdzielczości z łatwością można było obserwować zasięg żerowania szkodnika.

Stało się to przesłanką do przeanalizowania możliwości zastosowania zdjęć satelitarnych do wizualizacji zasięgu i natężenia szkód powodowanych przez brudnicę mniszkę. Nie była to pierwsza praca w tym zakresie, gdyż stosowanie teledetekcji do monitorowania zasięgu i nasilenia gradacji owadźch ma już długą tradycję sięgającą lat 1970 (Bychawski i Iracka 1978, Iracka i Bychawski 1980, Bychawski et al. 1988).

MATERIAŁY I METODA

Do badań wykorzystano zdjęcie wykonane 30 lipca 2003 roku skanerem Thematic Mapper (TM) przez satelitę Landsat (wielkość piksela – 30×30 m, co daje obszar 900 m² rejestrowany przez pojedynczy element obrazu). Opracowywane zdjęcie zarejestrowane zostało w 7 zakresach spektralnych (tab. 1).

Analizowano nie tylko 7 kanałów TM, ale także szereg wskaźników, które obliczono na podstawie wartości odpowiedzi spektralnych poszczególnych drzewostanów. Były to: wskaźnik biomasy (który wyliczono poprzez wagowanie kanałów TM4/TM3), wskaźnik uszkodzeń (TM5/TM4) oraz znormalizowany różnicowy wskaźnik roślinności $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$.

Wartości spektralne charakteryzujące poszczególne drzewostany w 7 zakresach TM oraz 3 wskaźnikach odniesiono do wartości defoliacji drzewostanów otrzymanych z Zakładu Ochrony Lasu Brandenburgskiego Instytutu Badawczego Leśnictwa w Eberswalde (Landesforstanstalt Eberswalde, Abteilung Waldschutz).

Procentowe szacunki defoliacji wykonane były na 204 powierzchniach w obrębie drzewostanów gradacyjnych. Schemat rozmieszczenia powierzchni próbnych i drzew na wybranych powierzchniach przedstawia rycina 1. Na każdej po-

Tabela 1. Parametry poszczególnych zakresów spektralnych Thematic Mapper

Table 1. The parameters of Thematic Mapper bands

Oznaczenie kanału Channel definition	Rejestrowany zakres Registered range (μm)	Rozdzielczość terenowa Ground resolution (m)
TM 1	niebieski blue	0,45–0,52
TM 2	zielony green	0,52–0,60
TM 3	czerwony red	0,63–0,69
TM 4	bliska podczerwień near infrared	0,76–0,90
TM 5	średnia podczerwień mid infrared	1,55–1,75
TM 6	podczerwień termalna thermal infrared	10,4–12,5
TM 7	średnia podczerwień mid infrared	2,08–2,35

**Ryc. 1. Przykład rozmieszczenia powierzchni próbnych i usytuowania ocenianych drzew na tle zdjęcia satelitarnego oraz wydruku tabeli defoliacji dla 10 drzew ocenianych na jednej z powierzchni**

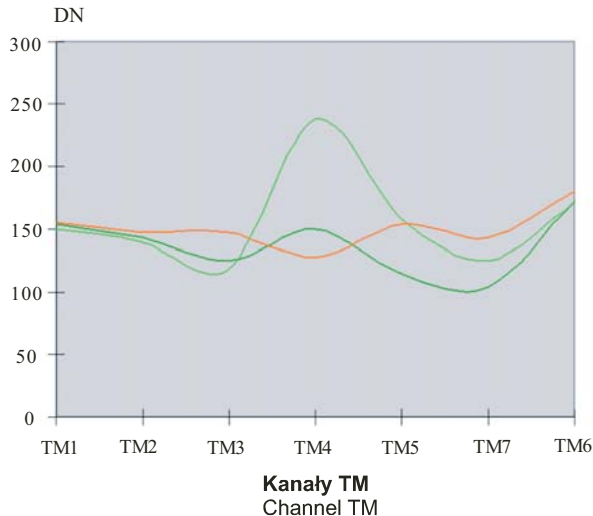
Fig. 1. Distribution of sample plots and estimated trees against a background of satellite image and defoliating table for 10 studied on one plot trees

wierzchni szacowano ubytek aparatu asymilacyjnego kilku do kilkunastu drzew. Obliczono także średnią wartość defoliacji dla każdej powierzchni. Zakres defoliacji w drzewostanach uszkodzonych wynosił od 30 do 92%, przy średniej defoliacji dla wszystkich powierzchni wynoszącej 67%. Ponadto, dla celów referencyjnych, założono 49 powierzchni w drzewostanach, które na zdjęciu satelitarnym nie wykazywały wyraźnych cech uszkodzeń, a które po weryfikacji terenowej mieściły się w przedziale defoliacji 0–20%.

Do określenia zależności pomiędzy odpowiedziami i wskaźnikami spektralnymi a defoliacją stosowano oprogramowanie SPSS, a do analiz obrazowych i przestrzennych – ArcView 3.3 i Erdas Imagine 8.7.

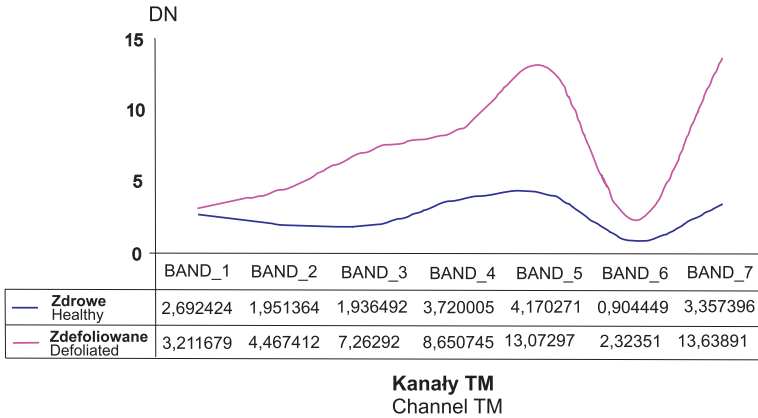
WYNIKI

Ogólne porównanie odpowiedzi spektralnych drzewostanów zdrowych i zdefoliowanych, zarejestrowanych na zdjęciu satelitarnym, pokazuje ich wyraźne zróżnicowanie (ryc. 2 i 3) w kanałach TM 3, 4, 5 i 7. W zakresie niebieskim (TM 1) ich charakterystyki spektralne są prawie identyczne, co może być skutkiem tego, że ten właśnie zakres promieniowania elektromagnetycznego jest najsilniej rozpraszany przez atmosferę. Dużo mniejsze, lecz niekiedy też istotne rozpraszanie promieniowania zielonego jest zapewne powodem braku wyraźnego zróżnicowania zdrowych i uszkodzonych drzewostanów w kanale TM 2. Natomiast brak



Ryc. 2. Odpowiedzi spektralne drzewostanów liściastych (linia jasno zielona), sosnowych zdrowych (linia ciemno zielona) i zdefoliowanych (linia czerwona), zarejestrowane przez skaner Thematic Mapper

Fig. 2. The spectral reflectances of broadleaved stands (bright green line), healthy pine stands (dark green line) and defoliated ones (red line) registered by Thematic Mapper scanner



Ryc. 3. Porównanie odchyleń standardowych średnich odpowiedzi spektralnych drzewostanów sosnowych zdrowych (linia niebieska) i zdefoliowanych (linia czerwona)

Fig. 3. The comparison of standard variations of mean spectral answers of healthy pine stands (blue line) and defoliated ones (red line)

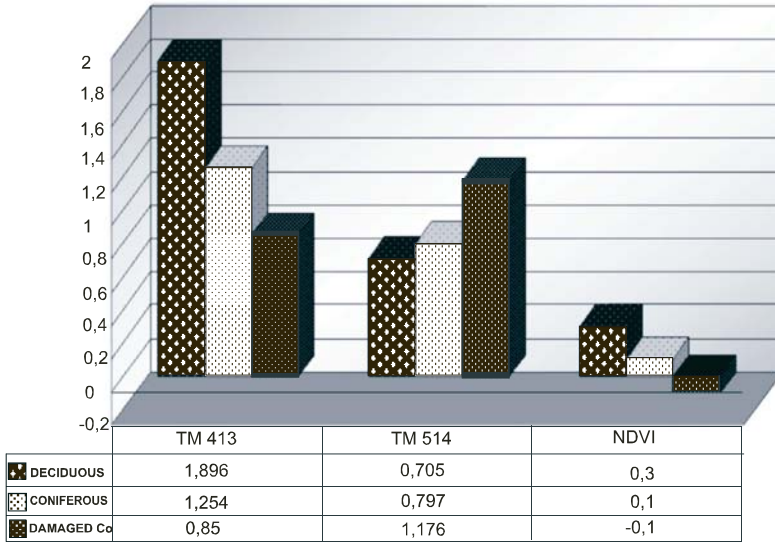
wyraźnego zróżnicowania w kanale TM 6, rejestrującym emisję promieniowania termalnego, można tłumaczyć wielkością piksela (120×120 m, co daje powierzchnię 14400 m^2 , czyli aż $1,44 \text{ ha}$), a także porą wykonania zdjęcia (godzina 10:30), kiedy to bezpośrednia operacja promieni słonecznych wpływa na zafałszowanie wartości emisji drzewostanów rejestrowanej przez skaner satelity.

Wyniki obliczeń wskaźników korelacji odpowiedzi spektralnych rejestrowanych przez skaner TM z poziomem defoliacji wskazują, że najwyższej skorelowanymi z defoliacją są zakresy TM 5 ($0,551$ przy $s < 0,01$), TM 7 ($0,567$), TM 3 ($-0,579$) i TM 4 ($-0,602$). Natomiast ze słabego związku wskaźników defoliacji z odpowiedziami spektralnymi drzewostanów zaliczonych do grupy „nieuszkodzonych” wynika, że zdjęcia TM nie mogą być wykorzystywane do określania stref niskich uszkodzeń.

Wysokie wartości współczynników korelacji uzyskano dla relacji defoliacji ze wskaźnikami biomasy, uszkodzeń i NDVI (odpowiednio $0,693$, $0,704$ i $-0,691$). Pomijając kanały, z których zostały one wyliczone, wskaźniki te są także w silnym związku z niektórymi kanałami TM, co może świadczyć o ich użyteczności w analizach uszkodzeń lasu: wskaźnik biomasy jest istotnie skorelowany z TM 5, 6 i 7, wskaźnik uszkodzeń – z TM 3, 6 i 7, a NDVI – z TM 5, 6 i 7.

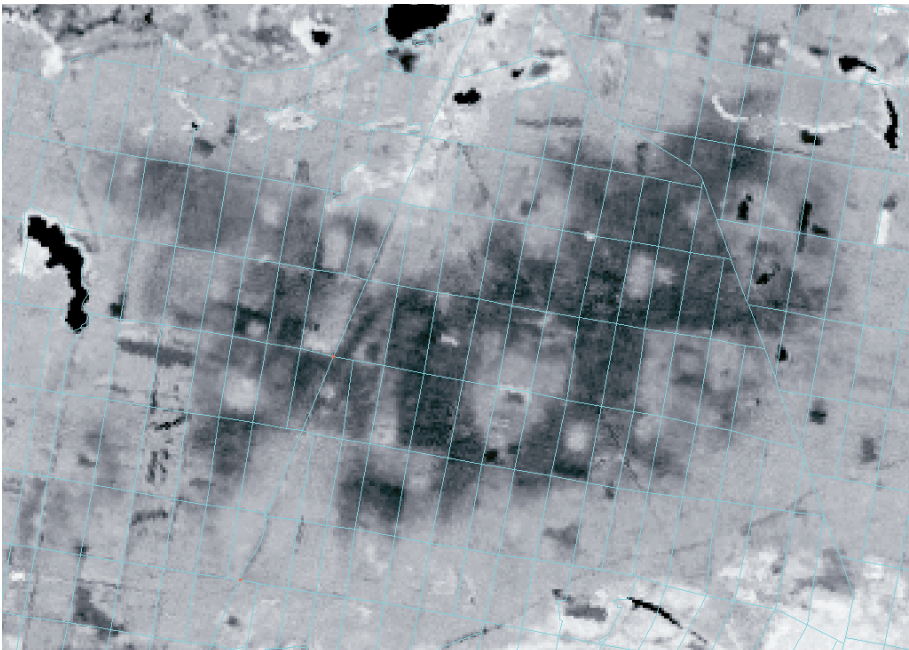
Warto też zwrócić uwagę na bardzo silną korelację pomiędzy wskaźnikiem biomasy a wskaźnikiem uszkodzeń ($0,877$), a także pomiędzy wskaźnikiem uszkodzeń a NDVI ($0,878$). Świadczy to o tym, że te wskaźniki (mimo, że wyliczane na podstawie różnych zakresów spektralnych TM) w przypadku silnie zdefoliowanych drzewostanów dostarczają podobnej informacji (ryc. 4), a w związku z tym wystarczy zastosować jeden z nich dla zobrazowania rozkładu uszkodzeń. Ze względu na łatwość wizualizacji zalecane jest stosowanie NDVI (ryc. 5).

Na podstawie powyższych wyników, do nadzorowanej klasyfikacji zdjęcia satelitarne stosowano kanały TM 3, 4, 5 i 7 (przykłady kompozycji barwnych



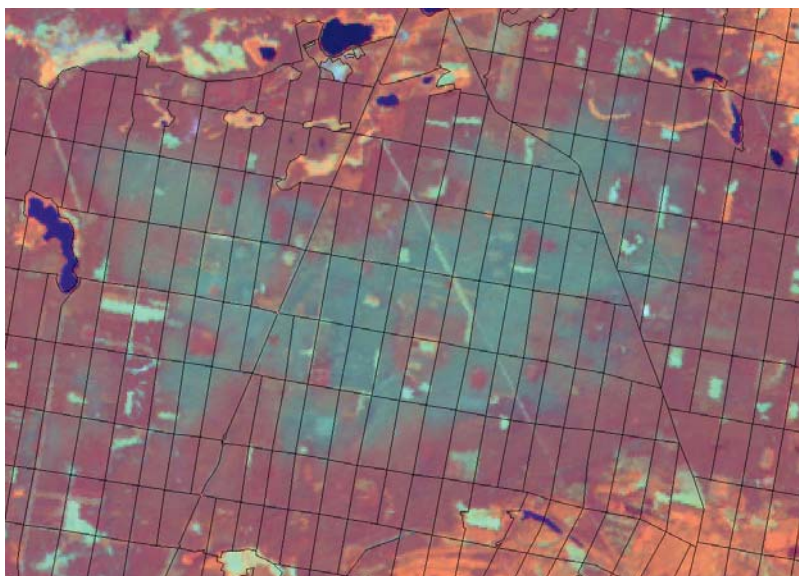
Ryc. 4. Porównanie wartości wskaźników biomasy, uszkodzeń i NDVI obliczonych dla drzewostanów liściastych, iglastych zdrowych i zdefoliowanych

Fig. 4. Biomass, damage and NDVI indices values calculated for broadleaved stands, healthy pine stands and defoliated ones



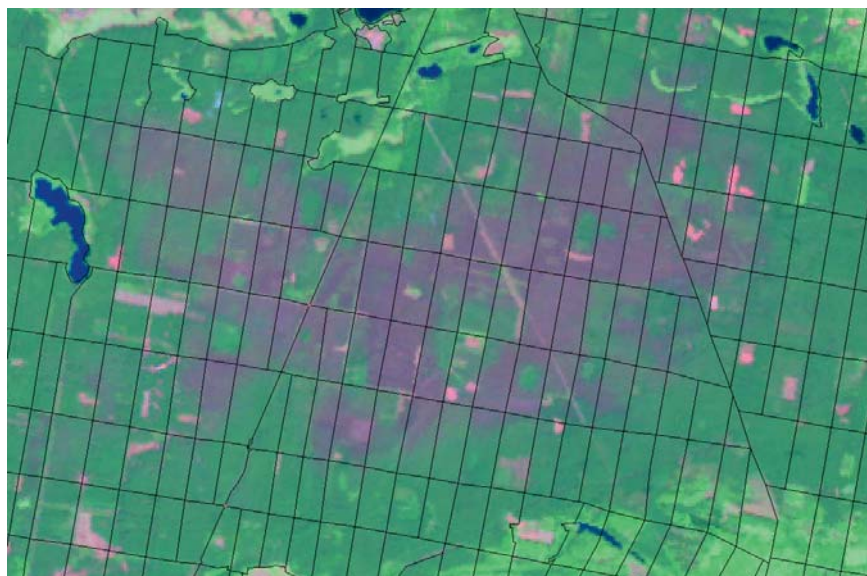
Ryc. 5. Obraz przedstawiający NDVI – w centrum obrazu widoczny ciemny (niska wartość wskaźnika) obszar gradacji brudnicy mniszki

Fig. 5. The picture depicts NDVI. In the middle of the picture the dark area of nun moth outbreak is visible (low value of the coefficient)



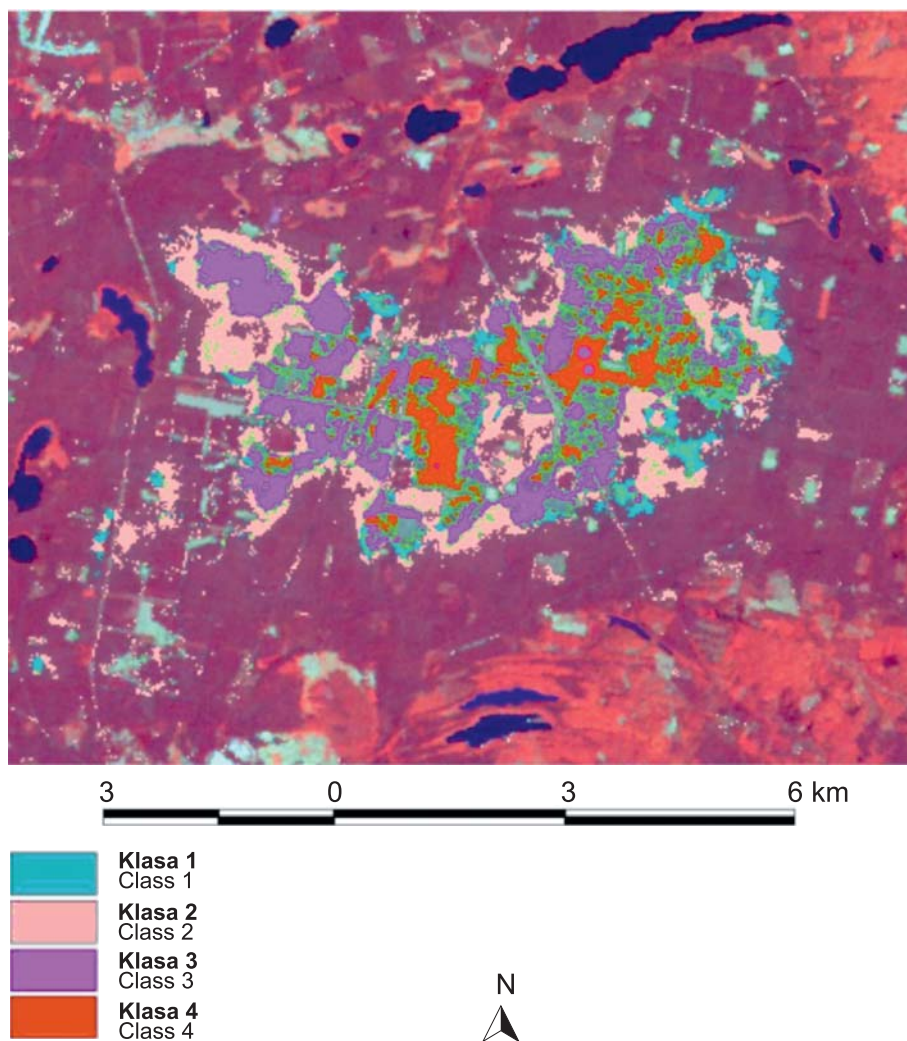
Ryc. 6. Przykład kompozycji barwnej utworzonej z kanałów TM 4, 5, 3 (RGB) – w centrum obrazu widoczny obszar gradacji brudnicy mniszki

Fig. 6. Colour composite derived from TM 4, 5, 3 (RGB) channels; in the middle of the picture nun moth outbreak area



Ryc. 7. Przykład kompozycji barwnej utworzonej z kanałów TM 7, 4, 3 (RGB) – w centrum obrazu widoczny obszar gradacji brudnicy mniszki

Fig. 7. Colour composite derived from TM 7, 4, 3 (RGB) channels; in the middle of the picture nun moth outbreak area



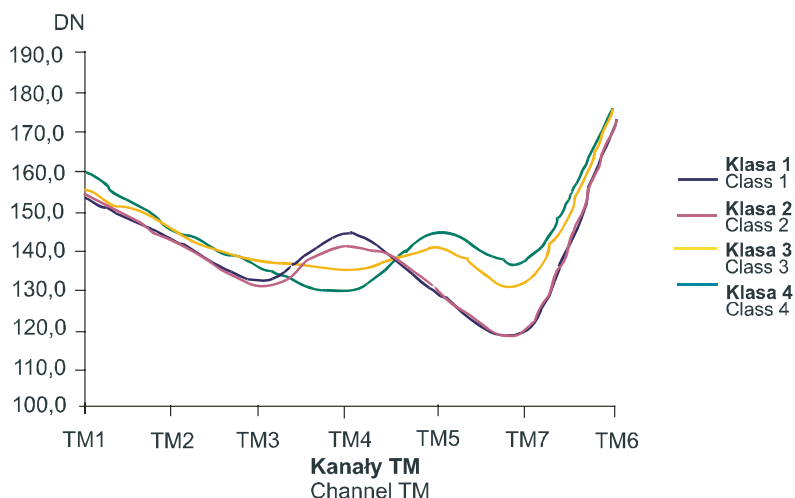
Ryc. 8. Mapa klasyfikacyjna obszaru gradacji brudnicy mniszki

Fig. 8. Classification map of nun moth outbreak area

utworzonych z tych kanałów przedstawiają ryciny 6 i 7) oraz NDVI. Na ich podstawie udało się wyróżnić cztery klasy defoliacji (ryc. 8):

- 1 – do około 30% defoliacji (na powierzchni 140 ha),
- 2 – 30–50% (na powierzchni 510 ha),
- 3 – 50–70% (na powierzchni 700 ha),
- 4 – powyżej 70% (na powierzchni 270 ha).

Klasę 1 tworzą drzewostany lekko uszkodzone, ale bardzo trudno jest określić granicę pomiędzy tą klasą a drzewostanami zdrowymi. Trudności te wynikają z niewielkiego zróżnicowania spektralnego drzewostanów o niskim stopniu defo-



Ryc. 9. Charakterystyki spektralne klas uszkodzeń przedstawionych na mapie klasyfikacyjnej
 Fig. 9. Spectral features of damage classes presented in classification map

liacji (należy przy tym pamiętać, że jeden piksel zdjęcia TM obejmuje 900 m²), ale także z dokładności oceny defoliacji drzew, która wszak jest tylko szacunkowa. Na podstawie obserwacji terenowych i wizualnej interpretacji zdjęcia satelitarne można uznać, że wartością graniczną jest defoliacja rzędu 15–20%. Również podane powyżej granice defoliacji poszczególnych klas należy traktować jedynie jako orientacyjne wartości.

Jak wynika z ryciny 9 przedstawiającej charakterystyki spektralne wydzielonych klas defoliacji, zróżnicowanie klas 1 i 2 jest niewielkie i ich rozróżnienie było możliwe jedynie w bliskiej podczerwieni (TM 4).

DYSKUSJA WYNIKÓW

Osiągnięte wyniki analiz są zbieżne z pracami innych autorów (Deckson et al. 1999, Ardo 1998, Kim et al. 2000, Zawila-Niedźwiecki 1994, Wiśniewska i Zawila-Niedźwiecki 2003).

W miarę postępu defoliacji (zwłaszcza, gdy jest to proces wieloletni, jak to miało miejsce na obszarze lasów Schorfheide) istnieje ryzyko, iż rozwój niższych pięter lasu, a szczególnie roślinności trawiastej, może radykalnie zmienić wartości odpowiedzi spektralnej drzewostanów, co może zafałszować obraz stanu defoliacji oceniany na podstawie zdjęcia satelitarne (Campbell 2002, Lambert et al. 1995, Zawila-Niedźwiecki 1994). Jednakże nie miało to miejsca na omawianym terenie badań, gdyż wieloletnia gradacja spowodowała, iż z braku igliwia owady żerowały

nawet na roślinach dna lasu. Ponadto suche i ubogie siedlisko nie sprzyjało rozwojowi roślinności.

Niekorzystny wpływ na wyniki analiz zdjęcia satelitarnego mogły mieć cienie drzew (zdjęcie satelitarne zostało wykonane około godziny 10:30). Ich rola jest tym większa, im bardziej drzewostan jest prześwietlony (Asner et al. 2002). Jednakże wagowanie kanałów, jakie zastosowano przy analizie zobrazowania satelitarnego, pozwoliło zminimalizować ten efekt, choć z pewnością nie dało się go w pełni uniknąć.

Analizując współczynniki wagowane (biomasy, uszkodzeń i NDVI) zauważono silną ich korelację z zakresami TM 3, 5, 6 i 7. O ile ścisła korelacja z kanałami 3, 5 i 7 potwierdza ich użyteczność w ocenie kondycji lasu, co wykazano powyżej, to wysoka korelacja z kanałem TM 6 jest zastanawiająca. Podobną zależność prezentowano też w innych pracach (Wiśniewska i Zawila-Niedźwiecki 2003). Jest ona sprzeczna z wynikami analiz spektralnych, które nie wykazały wyraźnego zróżnicowania drzewostanów zdrowych i uszkodzonych w TM 6. Ponadto wielkość piksela w kanale termalnym, wynosząca aż 1,44 ha, powoduje znaczne uśrednianie wartości emisji rejestrowanych przez skaner satelity. Wspomniana istotna zależność wskazuje na konieczność dalszych badań z wykorzystaniem odpowiednich korekcji atmosferycznych oraz termalnych zobrazowań wykonanych nocą, gdy wpływ zewnętrznych czynników termicznych jest zminimalizowany.

Wielu autorów wykorzystuje wskaźniki biomasy, uszkodzeń i NDVI w analizach drzewostanów (Ardo 1992, Foody et al. 2003, Kim et al. 2000, Rock et al. 1992, Vogelmann i Rock 1986, Wiśniewska i Zawila-Niedźwiecki 2003, Zawila-Niedźwiecki 1994). Prezentowane w pracy wyniki pokazują, że wszystkie te wskaźniki są ze sobą skorelowane, a więc dostarczają tej samej lub bardzo podobnej informacji. Należy jednak podkreślić, iż lasy Schorfheide były specyficznym obszarem badań (ubogie siedliska, płaski teren, jednowiekowe monolity sosnowe, silna defoliacja w wyniku kilkuletniej gradacji brudnicy), więc na obecnym etapie ten wniosek należy jedynie traktować jako wynik studium konkretnego przypadku.

Podobnie należy się odnieść do możliwości wydzielenia drzewostanów zdrowych i lekko uszkodzonych o granicznym zakresie defoliacji rzędu 15–20%. Wynik ten dotyczy konkretnego przypadku relacjonowanego w niniejszej pracy i nie znajduje jak dotąd potwierdzenia w literaturze. Dotychczas stwierdzano możliwość granicznego wydzielenia drzewostanów uszkodzonych przy defoliacji od 30 do 50% w zależności od składu gatunkowego drzewostanu (Wiśniewska i Zawila-Niedźwiecki 2003, Zawila-Niedźwiecki 1994).

Wyróżnienie kilku klas defoliacji było możliwe jedynie dzięki analizom wielokanałowym, przy czym niższe stopnie uszkodzeń można było rozpoznać w kanale TM 4, a wyższe – na podstawie TM 3, 4, 5 i 7.

PODSUMOWANIE

Osiągnięte wyniki upoważniają do stwierdzenia, iż w przypadku lasów silnie zdefoliowanych, zastosowanie zdjęć satelitarnych o średniej rozdzielczości terenowej (30 m) w zakresach bliskiej i średniej podczerwieni oraz czerwieni umożliwia wiarygodną wizualizację rozkładu uszkodzeń drzewostanów.

Praca została złożona 27.01.2006 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 29.03.2006 r.

LANDSAT TM SATELLITE IMAGES IN NUN MOTH OUTBREAK ESTIMATION

Summary

In 2003, particularly heavy damages of stands in Schorfheide forests (the central Brandenburg, ca 80 km north from Berlin) were observed. Due to high nature protection status in those areas, the chemical treatment was not decided to apply, in spite of outbreak present there for a few years. However in 2003, the damages were so severe (many stands were defoliated in 90%) and vast that the range of nun moth feeding was easily observed even in medium resolution satellite pictures. It happened to be a driving force to analyse possibilities of satellite picture application in visualization of damages range and intensity caused by the nun moth.

During the study, a picture acquired on July 30, 2003, by scanner *Thematic Mapper* (TM) working in Landsat satellite was used. There were analysed both 7 pure channels TM and a lot of indices calculated from values of spectral reflectances of particular stands: biomass index (TM4/TM3), damage index (TM5/TM4) and normalized difference vegetation index $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$. The spectral values describing particular stands were referred to values of stands defoliation.

According to achieved results, it can be stated that in heavy defoliated forests, application of satellite images in medium ground resolution and of near infrared, and mid infrared and red portions of electromagnetic spectrum, allow to make reliable visualization of stands damages distribution.

(transl. M. T.)

LITERATURA

- Ardo J. 1992: Influence from forest stand parameters on vegetation indices used for coniferous forest damage assessment. Proc. Of the ASPRS/ACSM/RT Conference, Washington, USA, August 2-14: 523-531.
- Ardo J. 1998: Remote Sensing of Forest Decline in the Czech Republic. Lund University Press: 47 pp.
- Asner G. P., Keller M., Pereira R., Zweede J. C. 2002: Remote sensing of selective logging in Amazonia: Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. Remote Sensing of Environment, 80: 483-496.

- Bychawski W., Iracka M. 1978: Przyczyny zróżnicowania barw obrazów koron sosny na spektrostrefowym zdjęciu lotniczym. *Prace IGiK*, t. XXV, 60: 43-56.
- Bychawski W., Ciołkosz A., Iracka M., Zawila-Niedźwiecki T. 1988: Doświadczenia OPOLiS w badaniu degradacji lasów na podstawie teledetekcji lotniczej i satelitarnej. *Prace IGiK*, t. XXXV, 2(81): 59-69.
- Campbell, J. B. 2002: *Introduction to Remote Sensing*. Third Edition. The Guilford Press, New York: 621 pp.
- Deckson E. E., Franklin S. E., Moskal L. M. 1999: *Monitoring of Forest Biodiversity Using Remote Sensing: Regional Landscape (Medium and Low Spatial Resolution) Protocol and Examples*. Department of Geography, University of Calgary.
- Foody G. M., Boyd D. S., Cutler M. E. J. 2003: Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, 85: 463-474.
- Iracka M., Bychawski W. 1980: Badania wpływu spadku żywotności drzew w drzewostanach sosnowych na ich barwę na spektrostrefowych zdjęciach lotniczych. [W:] *Zastosowanie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego*. PWN, 22-34.
- Kim J. B., Park J. H., Jo M. H. 2000: A spectral characteristic analysis of damaged pine wilt disease area in IKONOS image. Department of Urban Information Engineering, Kyungil University, Korea.
- Lambert N. J., Ardo J., Rock B. N., Vogelmann J. E. 1995: Spectral characterization and regression-based classification of forest damage in Norway spruce stands in the Czech Republic using Landsat Thematic Mapper data. *Int. J. Remote Sensing*, 16(7): 1261-1287.
- Majunke C., Möller K. 2003: Die Kiefernwälder Brandenburgs – ein El Dorado für Insekten – Großschädlinge. *Forst und Holz*, 58, 619-622.
- Rock B. N., Greczyński J., Moss D. M., Zawila-Niedźwiecki T. 1992: Spectral characterization of forest decline damage in branch segments of norway spruce (*Picea abies*) in the Sudety Mountains of Poland. *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Meeting*, held in Washington, D. C., August 2-5: 271-280.
- Wiśniewska E., Zawila-Niedźwiecki T. 2003: Ocena zasięgu żeru boreczników w Puszczy Kozienickiej na podstawie zdjęć wykonanych przez satelitę Landsat TM . *Teledetekcja Środowiska*, Warszawa, 33: 1-5.
- Vogelmann, J. E., Rock B. N. 1986: Assessing forest decline in coniferous forest of Vermont using NS-001 Thematic Mapper Simulator data. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 13303-13321.
- Zawila-Niedźwiecki T. 1994: Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. *Prace IGiK*, t. XLI, 90: 84 ss.