

## ZASTOSOWANIE ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH LANDSAT DO BADAŃ NAD ZMIANAMI STANU ROŚLINNOŚCI W OBSZARZE NATURA 2000 „BAGNO CHLEBOWO”

Paweł Czyż<sup>1</sup>✉, Anna Kowalik<sup>2</sup>, Paweł Rutkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nadleśnictwo Pisz  
ul. Gdańska 24, 12-200 Pisz

<sup>2</sup>Katedra Siedliskoznawstwa i Ekologii Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 71F, 60-625 Poznań

### ABSTRAKT

W pracy przedstawiono zróżnicowanie roślinności obszaru Natura 2000 „Bagno Chlebowo” na podstawie analizy zdjęć satelitarnych Landsat 7 i 8. Opracowania teledetekcyjne obejmowały analizy: wskaźników wegetacyjnych NDVI, RVI, zawartości chlorofilu „a” w wodzie, zmian pokrycia roślinności w kompozycjach barw nierzeczywistych i w świetle widzialnym. Analizę obrazowań odniesiono do badań terenowych.

**Słowa kluczowe:** NDVI, RVI, chlorofil „a”, teledetekcja

### WSTĘP

Zakres światła widzialnego stanowi niewielki procent promieniowania elektromagnetycznego docierającego do Ziemi. Wykorzystanie promieniowania z zakresu bliskiej i dalszej podczerwieni oraz innych zakresów promieniowania odbijanego i pochłanianego przez rośliny jest podstawą teledetekcyjnego badania roślinności (m.in. Campbell i Wynne, 2011; Jones i Vaughan, 2010; Wiśniewska, 2013). Teledetekcja wykorzystuje do tego zarówno zobrazenia lotnicze, naziemne, jak i satelitarne. Od momentu umieszczenia na orbicie okołozemskiej pierwszego z satelitów serii Landsat minęło już ponad 40 lat (23 lipca 1972 r.). Satelity tej serii od początku były przeznaczone do monitorowania zmian środowiska ze względu na wykonywanie zobrażeń zarówno w świetle widzialnym, jak i w pasmach wielospektralnych. Ich przydatność wynika także z ogólnej dostępności danych oraz długiego okresu działania, przez co doskonale nadają się

do śledzenia zmian zachodzących w przyrodzie (m.in. Ostapowicz, 2012; Piekarski i Zwoliński, 2012). Celem pracy było sprawdzenie tej przydatności do oceny zmian roślinności zachodzących w obszarze Natura 2000 „Bagno Chlebowo” na podstawie zobrażeń satelitarnych wygenerowanych z satelitów Landsat 7 i Landsat 8.

### OBSZAR BADAŃ

Obszar Natura 2000 „Bagno Chlebowo” (PLH 300016) jest położony w zlewni Kanału Ludomickiego, o długości ok. 10 km, który przez Kanał Kończak uchodzi w pobliżu miejscowości Stobnica do rzeki Warty (rys. 1). Obszar jest położony pomiędzy 52°44'41,82" a 52°43'41,41" stopniem szerokości geograficznej północnej oraz pomiędzy 16°44'18,73" a 16°46'20,92" stopniem długości geograficznej wschodniej. Znaczną

✉czyzpw@poczta.onet.pl

część obszaru liczącego łącznie 465,31 ha (SDF, 2013) zajmują torfowiska, otoczone od północy, zachodu i południa rozległymi ciągami wydm, porośniętych borami sosnowymi, tworzącymi wschodnią krawędź Puszczy Noteckiej.

Analiza materiałów historycznych wskazuje na postępujący w obszarze proces eksploatacji torfu (Wełnicka i in., 2015), który po zakończeniu II wojny światowej nabrał charakteru przemysłowego. Efektem prac wydobywczych są widoczne do dziś kariery, czyli otwarte lustra wody w dołach po wybranych torfie (rys. 2).

Próbą ochrony najcenniejszych fragmentów torfowiska było utworzenie w 1959 roku rezerwatu przyrody „Bagno Chlebowo”, o powierzchni 4,42 ha, stanowiącej w przybliżeniu 1% obecnego obszaru Natura 2000 pod tą samą nazwą.

## MATERIAŁ I METODY

Do analiz wykorzystano dostępne nieodpłatnie zobrazowania z satelitów Landsat 7 i Landsat 8 (http, 2015a; http, 2015b; http 2015c). Wykorzystane do analizy kanały miały rozdzielczość  $30 \times 30$  m i taką wielkość przyjęto do wyliczeń na potrzeby statystyki. Analizy wykonano w oprogramowaniu Open Source: QGIS w wersji 2.12.2 Lyon z darmową wtyczką: Semi-Automatic Classification Plugin. Zobrazowania w procesie pre-procesingu zostały poddane korekcji atmosferycznej algorytmem DOS1, wyostrzone (pan-sharpening) oraz przeliczone dla zobrazowań termicznych ze stopni Kelwina na stopnie Celsjusza.

Ze względu na dużą liczbę indeksów wegetacyjnych stosowanych w teledetekcji, w przeprowadzonych badaniach skupiono się na indeksach najczęściej stosowanych, tj. NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*) oraz RVI (ang. *Ratio Vegetation Index*).

Wskaźnik NDVI jest stosowany do zbierania informacji o natężeniu fotosyntezy oraz do prognozowania plonów lub ilości biomasy wytworzonej przez ekosystem (Campbell i Wynne, 2011; Griffith i in., 2002; Jones i Vaughan, 2010; Wang i in., 2004; Williams i in., 2001). Dostarcza również informacji o zmianach w zawartości chlorofilu i informacji dotyczących stresu wodnego roślin (Piekarski i Zwoliński, 2012). Przyjmuje on wartości od -1 do 1. Wysoka wartość

wskaźnika odpowiada terenom pokrytym bujną roślinnością o dobrej kondycji (Wang i in., 2004).

W wyliczaniu współczynnika NDVI zastosowano formułę (http, 2015c):

$$\text{NDVI} = \frac{[B4_{\text{NIR}} - B3_{\text{RED}}]}{[B4_{\text{NIR}} + B3_{\text{RED}}]}$$

dla Landsat 7 ETM+

$$\text{NDVI} = \frac{[B5_{\text{NIR}} - B4_{\text{RED}}]}{[B5_{\text{NIR}} + B4_{\text{RED}}]}$$

dla Landsat 8 OLI

Wykorzystano także współczynnik RVI, rekomendowany między innymi przez Wiśniewską (2013). Współczynnik RVI, zwany potocznie wskaźnikiem wegetacji, przekracza wartość 1 dla nagiej pokrywy ziemi i ponad 20 dla bardzo gęstej pokrywy roślinnej.

Dla współczynnika RVI zastosowano formułę (http, 2015c):

$$\text{RVI} = B4_{\text{NIR}} / B3_{\text{RED}} \text{ dla Landsat 7 ETM+}$$

$$\text{RVI} = B5_{\text{NIR}} / B4_{\text{RED}} \text{ dla Landsat 8 OLI}$$

gdzie:

$B3_{\text{RED}}, B4_{\text{NIR}}$  – kanały spektralne satelity Landsat 7 ETM+,

$B4_{\text{RED}}, B5_{\text{NIR}}$  – kanały spektralne satelity Landsat 8 OLI.

Fotointerpretacji manualnej poddano kompozycję w barwach nienaturalnych kanałów  $B4_{\text{NIR}}, B3_{\text{RED}}, B2_{\text{GREEN}}$  dla Landsat 7 ETM+ oraz  $B5_{\text{NIR}}, B4_{\text{RED}}, B3_{\text{GREEN}}$  dla Landsat 8 OLI, a także zobrazowań w świetle widzialnym dla Landsat 7 i 8, w okresie od 1984 do 2014 roku.

Na podstawie dostępnych zobrazowań przeanalizowano zawartość chlorofilu „a” w wodzie. Ghezzi i in. (1998) stwierdzili, że w przypadku danych LANDSAT TM odbicie spektralne w zakresie TM3 można odjąć od odbicia spektralnego w kanale TM2 w celu skorygowania wpływu rozpraszania promieniowania przez nieorganiczne cząstki zawieszone w wodzie. Zgodnie z przedstawionym tokiem rozumowania wymienieni autorzy uzyskali następującej postaci zależność ze współczynnikiem determinacji  $R^2 = 0,738$ :

$$\text{Chl-a} [\text{mg}/\text{m}^3] = 40,741 \frac{[\rho\text{TM}2^{\text{atm}} - \rho\text{TM}3^{\text{atm}}]}{\rho\text{TM}1^{\text{atm}}}$$

gdzie:

$\rho_{TM1}^{atm}$ ,  $\rho_{TM2}^{atm}$ ,  $\rho_{TM3}^{atm}$  – odbicie spektralne w kanałach TM1, TM2 i TM3 skorygowane ze względu na wpływ atmosfery.

Ze względu na porównywalne zakresy długości fal dla kanałów Landsat 7 ETM+ i Landsat 8 OLI przyjęto do analizy następujące postacie tego wzoru:

$$Chl-a [mg/m^3] = 40,741 \left[ \frac{\rho_{B2_{GREEN}}^{atm} - \rho_{B3_{RED}}^{atm}}{\rho_{B1_{BLUE}}^{atm}} \right] \text{ dla Landsat 7 ETM+}$$

$$Chl-a [mg/m^3] = 40,741 \left[ \frac{\rho_{B3_{GREEN}}^{atm} - \rho_{B4_{RED}}^{atm}}{\rho_{B2_{BLUE}}^{atm}} \right] \text{ dla Landsat 8 OLI}$$

Jako punkt odniesienia pomiędzy wymienionymi zobrazeniami a stanem na gruncie przyjęto wyniki badań terenowych wykonane przez firmę Apis (2015).

## WYNIKI

### Analiza współczynnika NDVI

Łącznie, dla okresu zimowego (styczeń 2015) i letniego (wrzesień 2014 oraz lipiec, sierpień i wrzesień 2015), dla obszaru objętego obrazem przedstawionym na rysunku 3 wykazano wartości indeksu NDVI w przedziale od  $-0,715$  do  $0,925$ . Wartości te pokrywają się jednocześnie z minimum i maksimum pory letniej. Zimą przedział był węższy (od  $-0,089$  do  $0,795$ ), co jest naturalną konsekwencją zimowego spoczynku roślin. Roślinność obszaru objętego rysunkiem 3 można podzielić na trzy wyraźne grupy:

- bory sosnowe, o zbliżonych zarówno zimą, jak i latem wartościach współczynnika NDVI (wartości w granicach  $0,7$ ), których rozległy kompleks rozciąga się głównie poza granicami obszaru „Bagno Chlebowo” (zajmuje tylko jego część zachodnią)
- torfowiska, łąki i bory na torfach, które zimą wykazują wyraźny stan uśpionia (wartości współczynnika w granicach  $0,2$ ), przechodząc w fazę bujnego rozwoju latem (przy indeksie osiągniętym maksymalne wartości). Odmienne stan borów na torfach, w porównaniu z borami sosnowymi poza obszarem Natura 2000, może wskazywać na wzrastający w tych zbiorowiskach udział brzozy (*Betula pendula* i *B. pubescens*) oraz przekształcanie się tym samym dawnych zbiorowisk *Vaccinio uliginosi-Pinetum* w zespół *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*. Rozważano także możliwość

zamierania tych drzewostanów, co by uzasadniało niski współczynnik zimą, ale duży wzrost indeksu latem wskazuje raczej na zmiany wynikające z faz fenologicznych brzozy

- doły potorfowe wypełnione wodą, które zimą wykazują wyrównany stan, z indeksem zbliżonym do  $0,0$ , różnicując się latem, podczas którego punktowo NDVI osiąga wartości ujemne ( $-0,7$ ), w większości wykazując jednak na rysunku 3 mozaikę barw o wartościach od  $0,0$  do  $0,4$ . Za mozaikę tę odpowiada najprawdopodobniej zmienne pokrycie lustra wody roślinnością – w zależności od zbiornika – z rodzaju *Spirodela* lub *Lemna*.

### Analiza współczynnika RVI

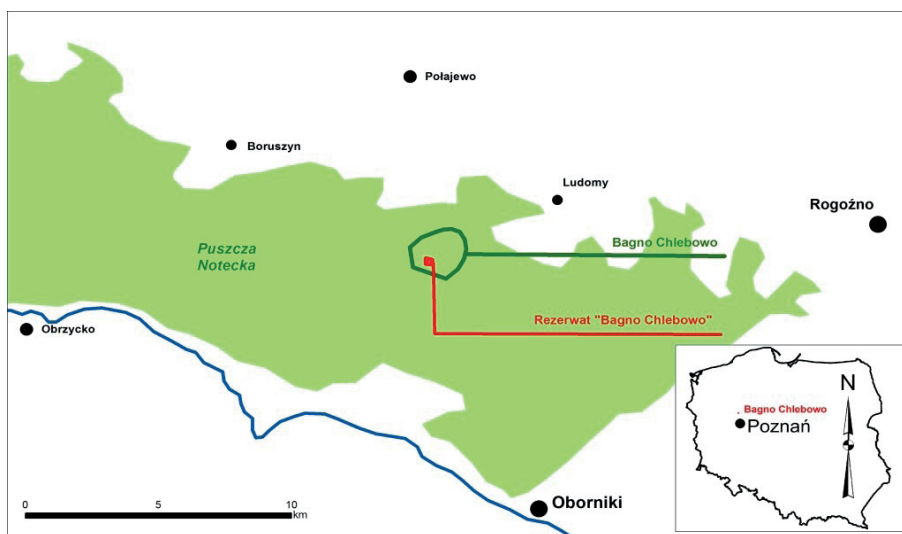
Dla współczynnika RVI uzyskano wyniki w zakresie od  $0,166$  do  $25,704$ . Ich zestawienie przedstawiono w tabeli 2, natomiast na rysunku 5 – rozkład wykazanych wartości dla różnych sezonów pomiarowych.

Współczynnik RVI jeszcze bardziej uwypukla różnice sezonowe między zimą i latem. W styczniu 2015 roku wartości RVI zawierały się w przedziale od  $0,836$  do  $8,743$ , latem odpowiadając wyżej wymienionym wartościom skrajnym. Współczynnik RVI potwierdza zasadność podziału roślinności na trzy opisane przy indeksie NDVI grupy, z interpretacją podobną jak przy współczynniku NDVI. Wydaje się jednak, że współczynnik RVI w lepszy sposób uwypukla obecność sosny (*Pinus sylvestris*). Oprócz borów sosnowych poza obszarem, rozprzestrzenia się ona na terenie „Bagna Chlebowo” w zachodniej części oraz otacza doły potorfowe. W okolicach rezerwatu oraz na wschód od niego, do granic obszaru, wydaje się przeważać brzoza (wartości RVI w lipcu 2015 roku zbliżone do  $15$ ).

### Fotointerpretacja manualna w świetle widzialnym

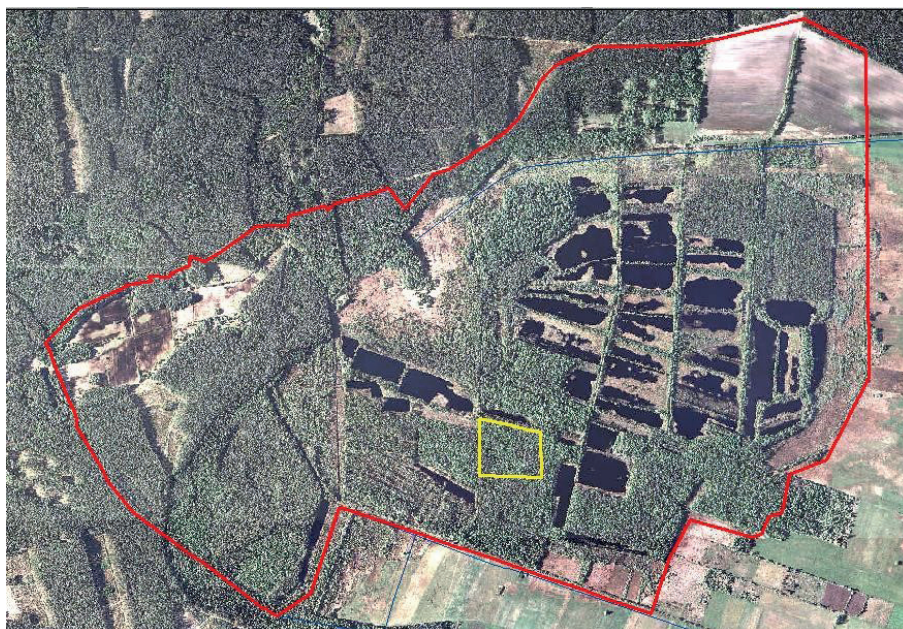
Fotointerpretacja manualna zobrażeń w świetle widzialnym (dostępne od 1984 roku) wskazuje na zwiększającą się powierzchnię zbiorników wypełnionych wodą po wyeksploatowanym torfie, co pokazano na rysunku 7.

Przydatność tego typu danych wzrasta wraz z poprawiającą się jakością zdjęć, co jest widoczne choćby po porównaniu obrazów z 1984 i 2014 roku, ale ich jakość zdecydowanie ustępuje współczesnym ortofotom, dostępnym bezpłatnie (Google®) oraz za opłatą (DigitalGlobe®).



**Rys. 1.** Lokalizacja obszaru Natura 2000 „Bagnó Chlebowo” (ciemnozielona otoczka) i rezerwatu przyrody „Bagnó Chlebowo” (czerwony punkt) na tle Puszczy Noteckiej (obszar jasnozielony)

**Fig. 1.** Location of the “Bagnó Chlebowo” Natura 2000 site (dark green frame) and nature reserve “Bagnó Chlebowo” (red dot) at the base of the Notecka Primeval Forest (light green area)



**Rys. 2.** Obraz satelitarny obszaru „Bagna Chlebowo” (czerwona obwódka) i rezerwatu przyrody (żółta ramka) z widocznymi otwartymi lustrami wody (Apis, 2012)

**Fig. 2.** Satellite image of the “Bagnó Chlebowo” Natura 2000 site (red frame) and nature reserve (yellow frame) with noticeable open water tables (Apis, 2012)

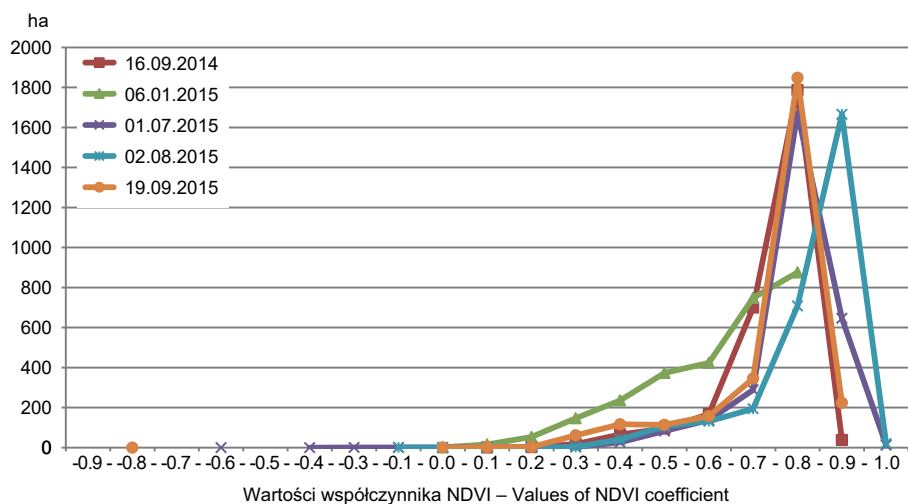
**Tabela 1.** Wyniki analizy współczynnika NDVI dla badanych zobrażeń  
**Table 1.** Analysis results of NDVI coefficient for studied images

Wartość – Value	Zobrazowanie z dnia – Image of				
	2014-09-16	2015-01-06	2015-07-01	2015-08-02	2015-09-19
Wartość minimalna Minimal value	0,011	-0,089	-0,578	-0,262	-0,715
Wartość maksymalna Maximal value	0,848	0,795	0,925	0,924	0,881
Średnia wartość Mean value	0,686	0,579	0,743	0,770	0,695
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,094	0,159	0,101	0,115	0,130
Rozmiar piksela X, m Pixel size X, m	29,992	29,992	29,992	29,992	29,992
Rozmiar piksela Y, m Pixel size Y, m	30,101	30,101	30,101	30,101	30,101



**Rys. 3.** Przykład analizy NDVI – porównanie zobrażeń Landsat 8 OLI z 2015-01-06 oraz 2015- 07-01 (http, 2015a; http, 2015c)

**Fig. 3.** An example of NDVI analysis – comparison for images of 2015-01-06 and 2015-07-01 (http, 2015a; http, 2015c)

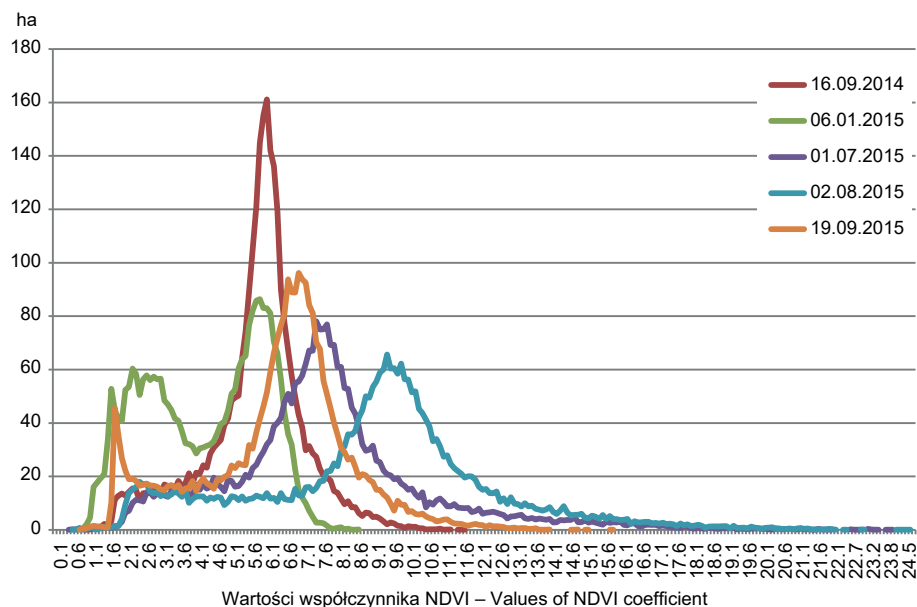


**Rys. 4.** Wykres zestawienia powierzchni indeksu NDVI zobrazowań wybranych do analizy. W celu lepszej czytelności wartości indeksu NDVI pogrupowano w klasy (przedział 0,1)  
**Fig. 4.** Graph of NDVI index area summary for images selected for analysis. In order to make it more legible, the NDVI index values were grouped into classes (interval 0.1)

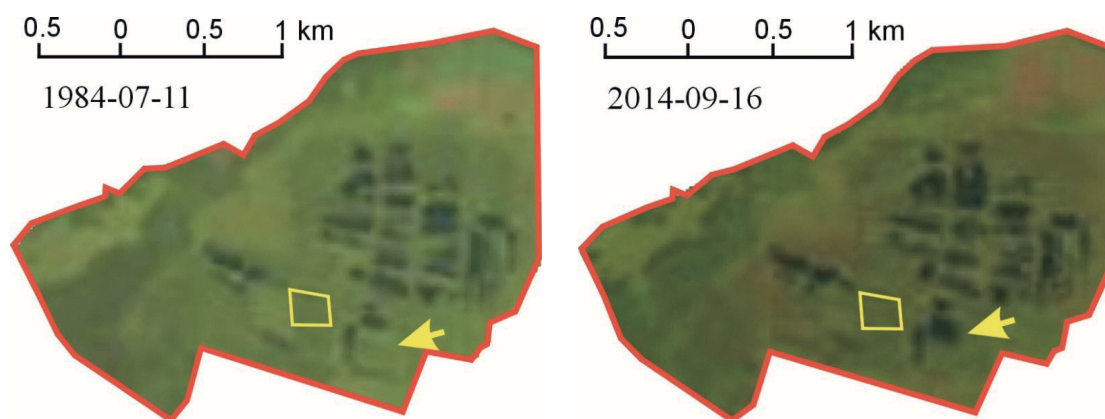


**Rys. 5.** Przykład analizy RVI – porównanie zobrazowań Landsat 8 OLI z 2015-01-06 oraz 2015-07-01 (http, 2015a; http, 2015c)

**Fig. 5.** Example of RVI analysis – comparison for images of 2015-01-06 and 2015-07-01 (http, 2015a; http, 2015c)



**Rys. 6.** Wykres zestawienia powierzchni indeksu RVI zobrażeń wybranych do analizy. W celu lepszej czytelności wartości indeksu RVI pogrupowano w klasy (przedział 0,1)  
**Fig. 6.** Graph of RVI index area summary for images selected for analysis. In order to make it more legible, the RVI index values were grouped into classes (interval 0.1)



**Rys. 7.** Zestawienie zobrażeń w świetle widzialnym z 1984-07-11 (Landsat 4 TM) oraz 2014-09-16 (Landsat 8 OLI) (http, 2015a). Żółtą strzałką zaznaczono miejsce z wyraźnymi zmianami wywołanymi eksploatacją torfu  
**Fig. 7.** Summary of images in visible light for 1984-07-11 and 2014-09-16 (http, 2015a). Areas with distinct changes caused by peat digging were marked with a yellow arrow



**Rys. 8.** Zestawienie przykładowych zobrazowań Landsat 8 OLI w kompozycji NIR (barwy nierzeczywiste) z 2015-01-06 oraz 2015-07-01 ([http, 2015a](http://www.earthdata.nasa.gov/data-access-and-downloads); [http, 2015c](http://www.earthdata.nasa.gov/data-access-and-downloads))

**Fig. 8.** Summary of exemplary images in NIR composition (unreal colours) dated 2015-01-06 and 2015-07-01 ([http, 2015a](http://www.earthdata.nasa.gov/data-access-and-downloads); [http, 2015c](http://www.earthdata.nasa.gov/data-access-and-downloads))



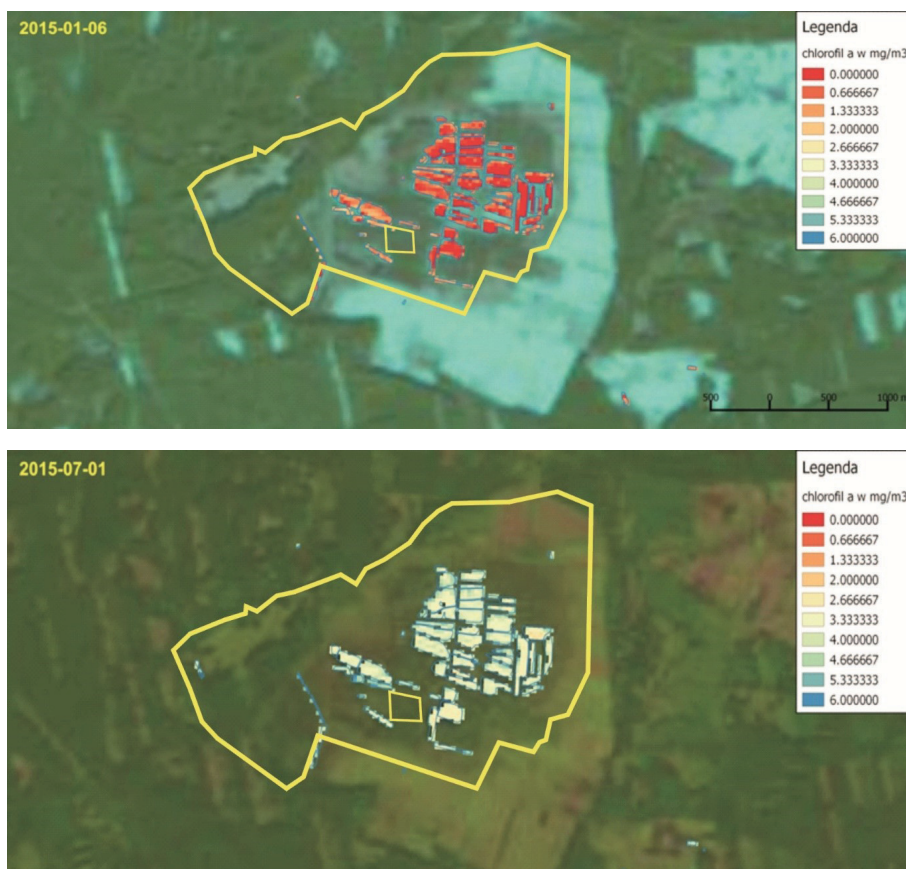
**Tabela 2.** Wyniki analizy współczynnika RVI dla badanych zobrażeń  
**Table 2.** Analysis results of RVI index for studied images

Wartość – Value	Zobrazowanie z dnia – Image of				
	2014-09-16	2015-01-06	2015-07-01	2015-08-02	2015-09-19
Wartość minimalna Minimal value	1,023	0,836	0,267	0,585	0,166
Wartość maksymalna Maximal value	12,173	8,743	25,704	25,486	15,865
Średnia wartość Mean value	5,762	4,355	7,757	9,153	6,383
Odchylenie standardowe Standard deviation	1,437	1,685	2,895	3,388	2,126
Rozmiar piksela X, m Pixel size X, m	29,992	29,992	29,992	29,992	29,992
Rozmiar piksela Y, m Pixel size Y, m	30,101	30,101	30,101	30,101	30,101



**Rys. 9.** Zestawienie udziału procentowego drzew martwych na powierzchniach I–VI. Wartości przed ukośnikiem [%] podają dane z 2014 roku, po ukośniku – z 2015 roku. Na powierzchniach V i VI w latach 2014 i 2015 nie odnotowano drzew martwych. Na rysunku zaznaczono też dodatkową powierzchnię, na której w 2014 i 2015 roku wszystkie drzewa były martwe (czerwony prostokąt)

**Fig. 9.** Summary of percentage of dead trees in the areas I–VI. The values before the slash [%] state the data of 2014, the ones after the slash – that of 2015. In areas V and VI no dead trees were recorded in the years 2014 and 2015. Also the additional area, in which all trees were dead in 2014 and 2015, was marked by red rectangle

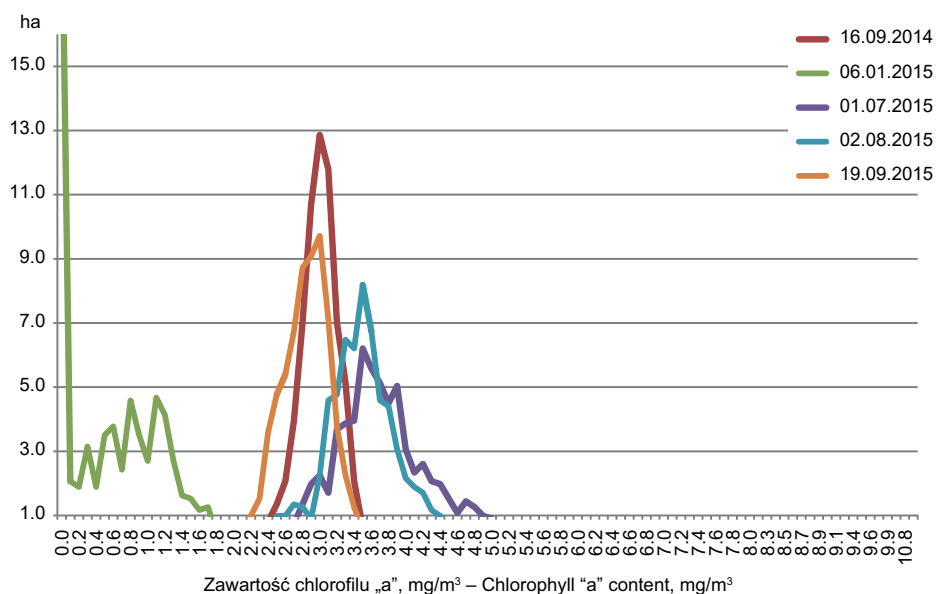


**Rys. 10.** Zestawienie przykładowych analiz zawartości chlorofilu „a” w wodzie na podstawie zobrazowań satelitarnych Landsat 8 OLI z 2015-01-06 oraz 2015-07-01 ([http, 2015a](#); [http, 2015c](#))

**Fig. 10.** Summary of exemplary analyses of chlorophyll “a” content in water according to satellite images dated 2015-01-06 and 2015-07-01 ([http, 2015a](#); [http, 2015c](#))

**Tabela 3.** Wyniki analizy chlorofilu „a” w wodzie dla badanych zobrazowań  
**Table 3.** Results of analysis of chlorophyll “a” in water for investigated images

Wartość – Value mg/m <sup>3</sup>	Zobrazowanie z dnia – Image of				
	2014-09-16	2015-01-06	2015-07-01	2015-08-02	2015-09-19
Wartość minimalna Minimal value	1,366	0,000	2,293	0,230	0,000
Wartość maksymalna Maximal value	4,458	2,134	5,997	5,113	4,695
Średnia wartość Mean value	2,983	0,431	3,746	3,491	2,823
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,270	0,789	0,591	0,487	0,350



**Rys. 11.** Wykres przedstawiający zależność między zawartością chlorofilu „a” w wodzie a powierzchnią wód

**Fig. 11.** Chart showing the dependence between chlorophyll “a” content in water and the water area



**Rys. 12.** Miejsca poboru próbek wody (oznaczone numerami 1–7, 18–25) z 3 maja oraz 18 lipca 2015 roku, na tle analizy danych z satelity Landsat 8, dla kompozycji z 1 lipca 2015 roku

**Fig. 12.** Sampling areas for analyses dated 2015-05-03 and 2015-07-18 against Landsat analysis for the composition of 2015-07-01 (the numbers on the map are numbers of measurement points)



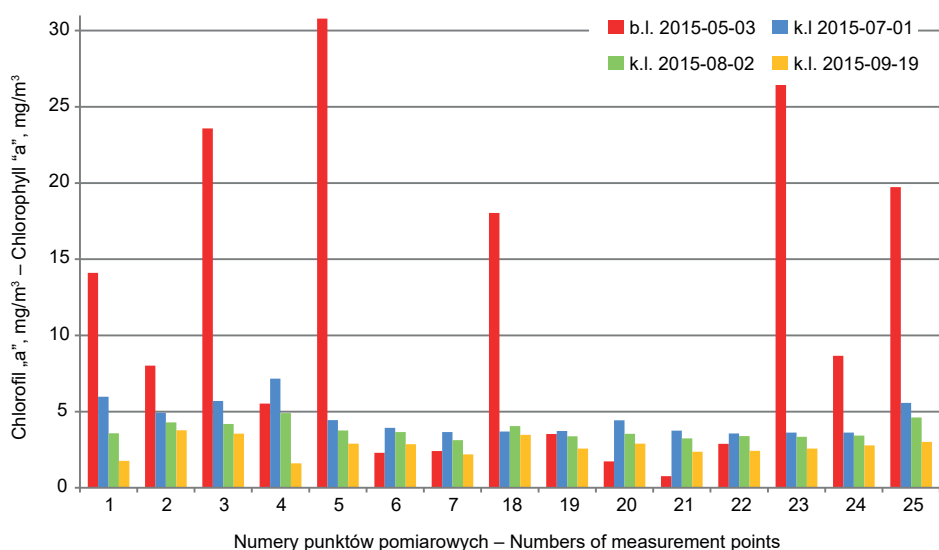
**Rys. 13.** Miejsca poboru próbek wody (oznaczone numerami 1–7, 18–25) z 3 maja oraz 18 lipca 2015 roku, na tle analizy danych z satelity Landsat 8, dla kompozycji z 2 sierpnia 2015 roku

**Fig. 13.** Sampling areas for analyses dated 2015-05-03 and 2015-07-18 against Landsat analysis for the composition of 2015-08-02 (the numbers on the map are numbers of measurement points)



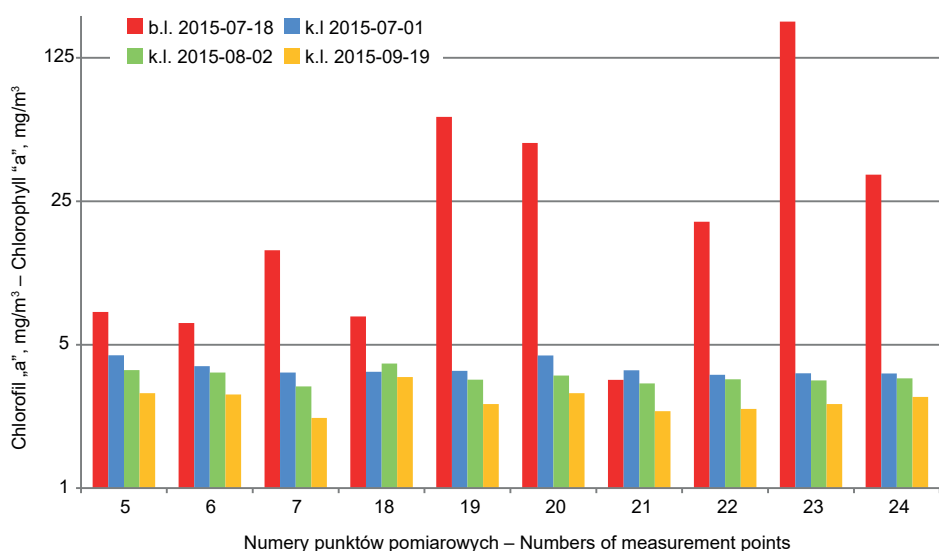
**Rys. 14.** Miejsca poboru próbek wody (oznaczone numerami 1–7, 18–25) z 3 maja oraz 18 lipca 2015 roku, na tle analizy danych z satelity Landsat 8, dla kompozycji z 19 września 2015 roku

**Fig. 14.** Sampling areas for analyses dated 2015-05-03 and 2015-07-18 against Landsat analysis for the composition of 2015-09-19 (the numbers on the map are numbers of measurement points)



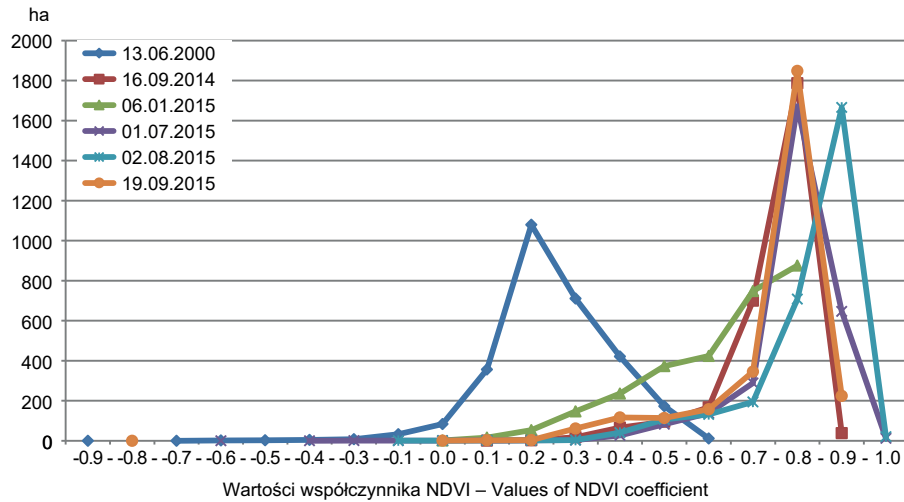
**Rys. 15.** Porównanie danych terenowych z 2015-05-03 z wynikami analizy Landsat 8 OLI dla kompozycji z dni: 2015-07-01, 2015-08-02 oraz 2015-09-19: b.l. – badania laboratoryjne, k.l. – kompozycja Landsat

**Fig. 15.** Comparison of field data of 2015-05-03 with results of Landsat analysis for the composition of the days: 2015-07-01, 2015-08-02 and 2015-09-19: b.l. – laboratory tests, k.l. – Landsat composition

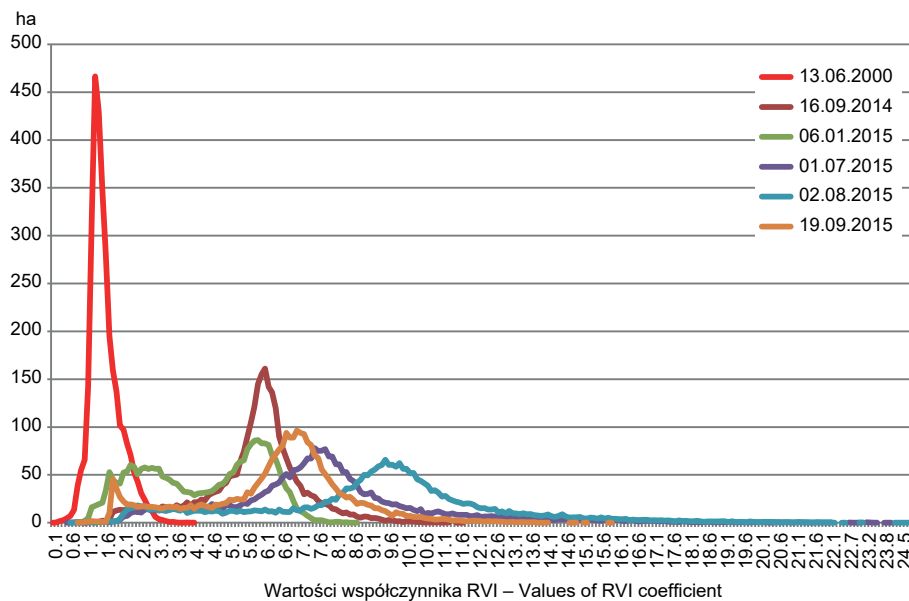


**Rys. 16.** Porównanie danych terenowych z 2015-07-18 z wynikami analizy Landsat 8 OLI dla kompozycji z dni: 2015-07-01, 2015-08-02 oraz 2015-09-19: b.l. – badania laboratoryjne, k.l. – kompozycja Landsat

**Fig. 16.** Comparison of field data of 2015-07-18 with results of Landsat analysis for the composition of the days: 2015-07-01, 2015-08-02 and 2015-09-19: b.l. – laboratory tests, k.l. – Landsat composition



**Rys. 17.** Wykres zestawienia powierzchni indeksu NDVI wybranych do analizy obrazowań z uwzględnieniem danych z 13 czerwca 2000 roku, będący odnośnikiem do rysunku 4  
**Fig. 17.** Chart of summary of NDVI index area for images selected for analysis in view of the data of 13.06.2000, being cross-reference to Figure 4



**Rys. 18.** Wykres zestawienia powierzchni indeksu RVI dla wybranych do analizy obrazowań z uwzględnieniem danych z 13 czerwca 2000 roku, będący odnośnikiem do rysunku 6  
**Fig. 18.** Chart of summary of RVI index area for images selected for analysis in view of the data of 13.06.2000, being cross-reference to Figure 6

### Fotointerpretacja manualna w barwach nienaturalnych (kompozycja NIR – podczerwień)

Fotointerpretacja manualna obrazów w barwach nienaturalnych uwypukla, zwłaszcza zimą, drzewostany wśród innych typów roślinności, różnicując jednocześnie ich stan w okresie letnim (rys. 8). Na zróżnicowanie letnie mogą mieć wpływ zarówno różnice w ich składzie gatunkowym, jak i zdrowotności. W zachodniej części obszaru Natura 2000 zaznaczają się drzewostany sosnowe o kondycji zbliżonej do borów rosnących poza jego granicami, natomiast w rezerwacie „Bagno Chlebowo” i w jego sąsiedztwie jaśniejszą barwą wyróżniają się lasy sosnowo-brzozowe (*Vaccinio uliginosi* – *Betuletum pubescentis*). Ocena stanu zdrowotnego jest trudniejsza. Wydaje się jednak, że różnica barw na rysunku 8, w otoczeniu rezerwatu oraz innych fragmentach obszaru Natura 2000, koresponduje z oceną stanu zdrowotnego wybranych powierzchni badawczych pokazanych na rysunku 9.

### Analiza zawartości chlorofilu „a” w wodzie

Wykorzystany w analizie algorytm opracowano pierwotnie dla dużych zbiorników wodnych (Osińska-Skotak, 2009). Ze względu na małą powierzchnię badanych wód, obrazowania z 6 stycznia 2015 roku pokazały wartości ujemne. Na potrzeby analizy zastąpiono je wartością „0”, oznaczającą w tym konkretnym przypadku brak chlorofilu. Pełny przekrój uzyskanych wartości dotyczących zawartości chlorofilu „a” zestawiono w tabeli 3. Oprócz graficznego zróżnicowania terenu pod kątem badanego wskaźnika, zestawiono powierzchnię zajmowaną przez poszczególne wartości danych, co zilustrowano wykresem przedstawionym na rysunku 11, wskazującym okres letni (lipiec-sierpień) jako maksimum zawartości chlorofilu „a” w wodach badanego obszaru.

Do uzyskanych danych można mieć jednak ograniczone zaufanie, co pokazują zestawienia porównujące zawartości wyliczone z obrazów satelitarnych z danymi z analiz laboratoryjnych (wykresy na rysunkach 15 i 16 odniesione do danych z rysunków 12–14). Zestawienia na rysunkach 15 i 16 wskazują na znaczne rozbieżności pomiędzy wartościami wyliczonymi z obrazowania a pomiarami terenowymi.

### DYSKUSJA

Niewątpliwie coraz większe znaczenie i możliwości mają jakość zdjęć satelitarnych i możliwości ich wykorzystania. Poprawie jakości służą ciągłe porównywanie zebranych przez satelity danych z wynikami obserwacji naziemnych oraz ich interpretacja. Taka sytuacja zaistniała podczas przygotowywania niniejszego opracowania, kiedy wykazano błędy w danych zbieranych przez satelitę Landsat 7 ETM+ w 2000 roku. Po uwzględnieniu danych z 13 czerwca 2000 roku, wykresy indeksu NDVI, przedstawionego na rysunku 4, oraz indeksu RVI przedstawionego na rysunku 6 wyglądałyby jak na rysunkach 17 i 18. Z tak zestawionych danych wynikałoby, że roślinność wykazywała większą aktywność w styczniu (2015 r.), niż w czerwcu (2000 r.), a otrzymany wynik byłby trudny do obrony. Informacje o błędach w funkcjonowaniu satelity Landsat 7 ETM+ w opisanym okresie potwierdzają też inni autorzy (Walawender i in., 2011).

Weryfikowanie danych może mieć też znaczenie w obserwacjach naziemnych. Dobrym tego przykładem są wyniki zawartości chlorofilu „a” w wodach obszaru „Bagno Chlebowo”. W tym wypadku błędem może być obarczone pobieranie prób do analiz laboratoryjnych z jednego punktu zbiornika, który nie odpowiada przeciętnej zawartości chlorofilu w zbiorniku ogółem. Pod tym względem dane satelitarne mogą być bardziej wiarygodne, choć może to zależeć od wielkości zbiornika. Warto bowiem pamiętać, że dane satelitarne stosowane do badania zawartości chlorofilu „a” w wodach powierzchniowych odnosiły się niegdyś tylko do mórz i oceanów, a obecnie opisują także duże powierzchnie wód słodkowodnych. Jedną z przyczyn wykazanych w pracy różnic między wynikami analiz laboratoryjnych a danymi satelitarnymi dotyczącymi chlorofilu „a” może być fakt, iż badane doły potorfowe nie są zbyt duże. Rosnące więc w otoczeniu zbiorników drzewa mogły zaburzyć przejrzystość obrazu przez cień rzucony na taflę wody. Tego typu obserwacje potwierdzają jednak potrzebę badań, którym poświęcono niniejszą pracę.

## WNIOSKI

Niewątpliwie inną wagę ma każde z zobrazowań satelitarnych obejmujących dane dotyczące współczynnika NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), RVI (*Ratio Vegetation Index*), analizy w świetle widzialnym, analizy w bliskiej podczerwieni (NIR) czy zawartości chlorofilu „a” w wodzie. Do oceny zmian zachodzących w obszarze Natura 2000 „Bagno Chlebowo” – np. obejmujących eksploatację torfu – wystarczające są obrazy w świetle widzialnym, choć jakość zdjęć satelitarnych ustępuje ortofotomapie wyróżniającej się większą rozdzielczością. Wykazano jednak zwiększającą się powierzchnię dołów potorfowych, a tym samym malejący udział siedlisk cennych, jakimi są torfowiska.

Analiza współczynnika NDVI wykazała względną stabilność procesu fotosyntezy w drzewostanach sosnowych na glebach mineralnych rosnących poza obszarem Natura 2000 w okresie zarówno zimowym, jak i letnim (NDVI ok. 0,78) oraz znaczące zmiany zachodzące w drzewostanach rosnących w obszarze „Bagno Chlebowo” na torfie, gdzie NDVI w okresie zimowym oscyluje w granicach 0,55, sięgając wartości niemal 1,00 w okresie letnim. Podobną reakcję drzewostanów potwierdza analiza współczynnika RVI, którego wartości dla drzewostanów sosnowych na glebach mineralnych poza obszarem są zbliżone (w przedziale 6–8) zarówno zimą, jak i latem, natomiast drzewostany rosnące na torfach mają rozbieżność od 6–8 w styczniu do 13–15 latem. Może to wynikać z ich większego zróżnicowania gatunkowego (drzewostany z wrażliwym udziałem brzozy brodawkowatej i brzozy omszonej) lub/i ich stanu zdrowotnego.

Do analizy stanu zdrowotności drzewostanów wydają się przydatne zobrazowania w bliskiej podczerwieni (NIR), wykazujące zbieżność z procentowym udziałem drzew martwych w badanych drzewostanach.

W odniesieniu do zobrazowań przedstawiających zawartość chlorofilu „a” w wodach obszaru „Bagno Chlebowo” wykazano znaczne rozbieżności z wynikami analiz laboratoryjnych. Mogą one być rezultatem nakładających się: różnic wynikających z miejsca poboru wód do analiz, różnic w datach wykonania zdjęcia oraz różnic w poborze wody (znaczące nawet przy odstępach kilkudniowych, zwłaszcza latem), czy też cieni drzew otaczających zbiorniki.

## PIŚMIENNICTWO

- Apis (2012). Ekspertyza siedlisk przyrodniczych na potrzeby projektu planu zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000 Bagno Chlebowo PLH300016. Potasze. Niepublikowany maszynopis. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Poznań.
- Apis (2015). Bagno Chlebowo PLH 300016 wyniki badań dotyczących genezy nadmiernego uwodnienia siedlisk przyrodniczych 6410 i 91D0 oraz eutrofizacji siedliska 91D0. Cz. 2 (za okres od maja 2015 r. do października 2015 r.). Potasze. Niepublikowany maszynopis. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Poznań.
- Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. New York, USA: Guilford Press.
- Ghezzi, P., Giardino, C., Pepe, M., Zilioli, E. (1998). Report on the 2nd Salmon joint meeting (s. 10–11). Venice.
- Griffith, J. A., Martinko, E. A., Whistler, J. L., Price, K. P. (2002). Interrelationships among landscapes, NDVI, and stream water quality in the U.S. Central Plains. *Ecol. Applic.*, 6(12), 1702–1718.
- http (2015a). Pobrane 25 grudnia 2015 z: <http://landsat.usgs.gov>
- http (2015b). Pobrane 25 grudnia 2015 z: <http://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html>
- http (2015c). Pobrane 25 grudnia 2015 z: <http://www.igf.fuw.edu.pl/~kasztel/PDF/Tel.pdf>
- Jones, H. G., Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation. Principles, techniques, and applications*. Oxford.
- Osińska-Skotak, K. (2009). Możliwości teledetekcyjnego monitorowania zawartości chlorofilu-a w wodach śródlądowych. *Teledetekcja Środowiska [dawniej Fotointerpretacja w Geografii]*, 42, 60–68.
- Ostapowicz, K. (2012). Detekcja zmian pokrycia terenu z wykorzystaniem obrazów satelitarnych. W: *GIS – teledetekcja środowiska* (s. 21–30). Poznań.
- Piekarski, P., Zwoliński, Z. (2012). Dywersyfikacja odbicia spektralnego i wskaźników vegetacyjnych dla drzewostanów sosnowych i bukowych. *Nizina Szczecińska*. W: *GIS – teledetekcja środowiska* (s. 31–41). Poznań.
- SDF (2013). Standardowy formularz danych dla obszaru Natura 2000 „Bagno Chlebowo”. Pobrano 20 kwietnia 2016 r. z [natura2000.gdos.gov.pl/datafiles/download/PLH300016/sdf](http://natura2000.gdos.gov.pl/datafiles/download/PLH300016/sdf)
- Walawender, J., Hajto, M., Iwaniuk, P. (2011). Zastosowanie algorytmu „pojedynczego okna” do opracowania map temperatury powierzchni ziemi na podstawie



- danych satelitarnych Landsat. *Rocz. Geomat.*, 9, 4(48), 140–150.
- Wang, J., Rich, P. M., Price, K. P., Kettle, W. D. (2004). Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains. *Int. J. Remote Sens.*, 16(25), 3127–3138.
- Welnicka, A., Czyż, P., Rutkowski, P. (2015). Bagno Chlebowo na tle źródeł historycznych. *Stud. Mater. Ośr. Kult. Leśn.*, 14, 317–328.
- Williams, M., Rastetter, E. B., Shaver, G. R., Hobbie, J. E., Carpino, E., Kwiatkowski, B. L. (2001). Primary production of an Arctic Watershed: an uncertainty analysis. *Ecol. Applic.*, 6(11), 1800–1816.
- Wiśniewska, E. (2013). Wprowadzenie do analiz teledetekcyjnych obszarów leśnych. W: K. Okła (red.), *Geomatyka w Lasach Państwowych. Cz. 2. Poradnik praktyczny* (s. 152–167). Warszawa: CILP.

## **APPLICATION OF LANDSAT SATELLITE IMAGES FOR RESEARCH ON CHANGES OF VEGETATION CONDITIONS IN THE “BAGNO CHLEBOWO” NATURA 2000 SITE**

### **ABSTRACT**

On the basis of the analysis of Landsat 7 and 8 satellite images, compared to field researches, differentiation of plant cover of “Bagno Chlebowo” Natura 2000 Site was shown. Vegetation indices NDVI, RVI, the content of chlorophyll “a” in the water, changes of vegetation cover in infrared and natural colour compositions were taken into the consideration.

**Key words:** NDVI, RVI, chlorophyll “a”, remote sensing