

Zmienność wilgotności w dolinie górnej Narwi w okresie 20 lat na podstawie transformacji Tasseled Cap i wskaźników wilgotności

Wetness change detection in the upper Narew valley for 20 years using Tasseled Cap transformation and wetness indices

Anna JAROCIŃSKA, Sylwia NASIŁOWSKA

Słowa Kluczowe: zmienność wilgotności, Tasseled Cap, MSI, NDII, dolina górnej Narwi
Key words: wetness changes, Tasseled Cap, MSI, NDII, Narew valley

Wetness monitoring is very important issue especially on wetlands ecosystems, because they are very vulnerable to changes, particularly those made by human. The upper Narew valley with eminence was analyzed. Described area is in north-eastern Poland and covers the valley from Tykocin to Łazy. This area is unique wetland habitat in Europe. In natural part is an anastomosing river system, whereas second part is covered by agricultural areas (wetlands which were drained in '70 of XX century). The aim of this paper is to demonstrate quantitative multitemporal analyses of changes in this environment by using various wetness indices and comparing them.

To investigate the amount of changes the images from Landsat were used: from TM and ETM+ scanner (available from <http://glovis.usgs.gov/>). They were from two time series: the end of XX century (1989, 1992, 1993 and 1994) and the beginning of XXI century (2006 and 2007). All of the images were from the beginning or the middle of the vegetation season. In addition, meteorological data were used (from www.tutiempo.es), to detect the precipitation influence on analyzed indices.

NDVI was calculated using image from the 2006, then the mask was created to remove all apart from the vegetation (everything under 0,4). After that the Tasseled Cap transformation was made to obtain Wetness band (TCW). Values under -37 on image from 1993 were masked to eliminate cloudy areas. In next step two wetness indices were calculated: Normalized Difference Infrared Index (NDII) and Moisture Stress Index (MSI). TCW is based on visual, near-infrared and mid-

dle infrared electromagnetic radiation, because of that it could depend on atmospheric conditions. NDII and MSI are calculated only from 4th and 5th Landsat bands. Scattering from aerosols in that part of wavelength is weaker and doesn't have big impact on indices values. Three describing indices are used when atmospheric correction isn't possible or needed.

Values of the three parameters were mapped by dividing into four classes: higher, medium, lower and the lowest wetness. Maps were averaged in the two time series (end of XX and beginning of XXI century). They were reclassified into tree difference maps to show the differences in wetness conditions and between various indices. Three maps showing changes in wetness were classified into five categories: much more wet, more wet, no changes, drier and much drier.

These set of data could be compared. The results show that about 55% of analyzing area is stable. Table 3 present that about 2% of all changes were big. About 30% of total amount of transformation are connected with drainage areas. Areas which were more wet cover about 10%. Drained areas are getting extremely wet based on TCW, but opposite tendency can be noted on MSI and NDII maps.

Big discrepancy between the maps of changes was discovered. TCW showed that the natural valley is getting drier and eminences are getting wet, but the results are different for the other two analyzed indices. Apart from that, some of the results are different for the parameters.

In further research this kind of analysis should be compared with land cover and field measurements.

Cel badań

Zróznicowanie warunków środowiskowych, w tym zmienna wilgotność, wpływa na rozwój roślinności, na jej stan i kondycję. Im lepsze warunki wilgotnościowe, tym lepsza produktywność oraz mniejsza podatność na niebezpieczeństwo pożarów. Szczególnie istotna jest analiza wilgotności na terenach podmokłych, które pozostają w bardzo delikatnej równowadze. Na takich obszarach wszelkie przekształcenia i ingerencje w stosunki wodne powodują zmiany, często nieodwracalne, zarówno w składzie roślinności jak i samym użytkowaniu danego terenu. Tereny bagienne na terenie Europy podlegają ochronie, dlatego istotne jest monitorowanie tego typu środowisk, szczególnie ważne są badania zmierzające do lepszego poznania przekształceń w nich zachodzących. Analiza pikselowa na podstawie zdjęć satelitarnych pozwala na szczegółowe określenie tendencji zmian tego typu w relatywnie długim okresie czasu.

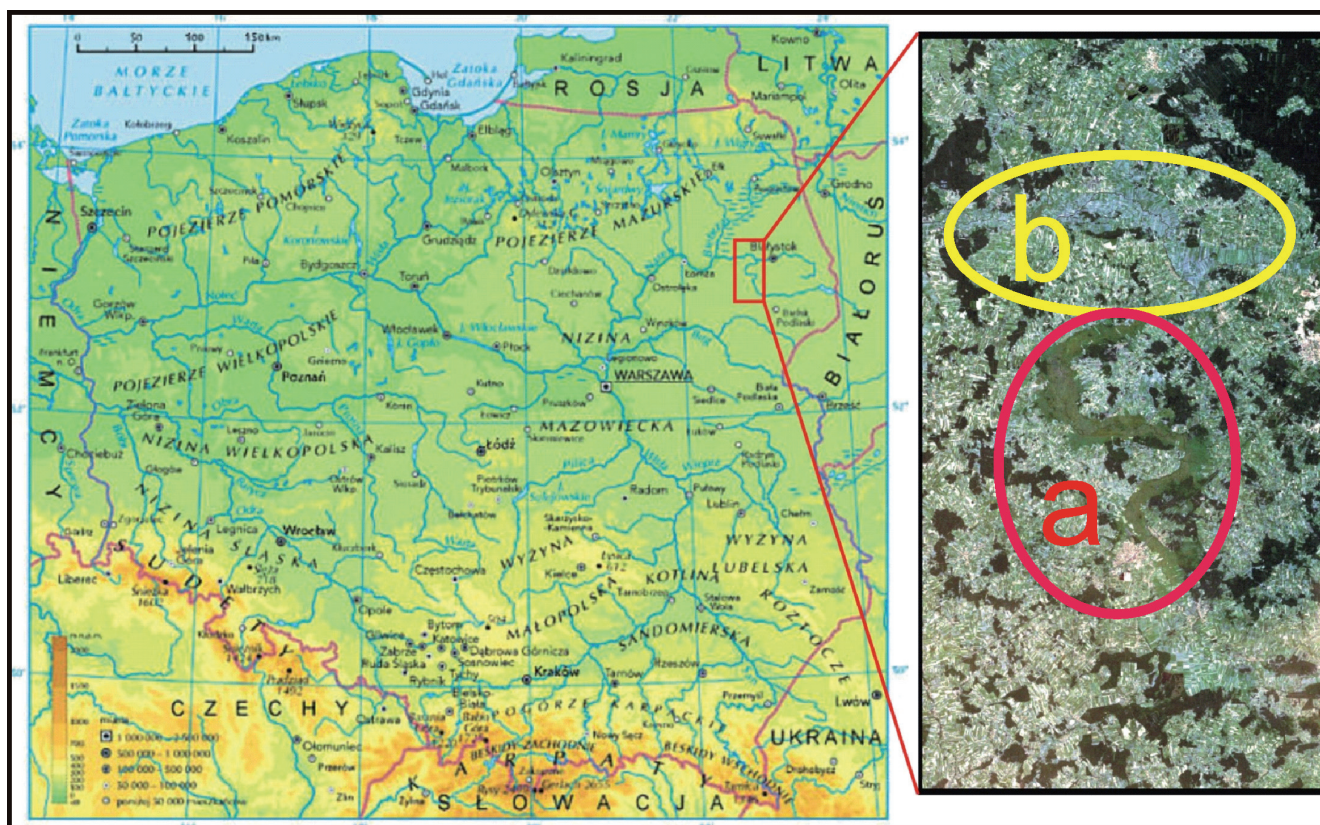
Cel pracy to określenie tendencji zmian wilgotności na terenach bagiennych, zmeliorowanych oraz otaczających je terenów wykorzystywanych rolniczo, przy użyciu serii obrazów satelitarnych Landsat. Analizy dokonano dla najdłuższego możliwego okresu, który następnie, ze względu na niejednorodność danych (TM i ETM+), podzielono na dwie grupy. Opracowano metodkę otrzymywania porównywalnych informacji na temat zmian wilgotności. Następnym krokiem było po-

równanie wyników przeprowadzonej transformacji Tasseled Cap z wynikami analogicznych analiz wykonanych na podstawie wybranych wskaźników wilgotnościowych. Ostatecznym celem było przeanalizowanie wpływu różnic w konstrukcji samych wskaźników na wyniki przestrzennej analizy zaistniałych przekształceń.

Teren badań

Do analizy wybrano fragment Doliny Górnej Narwi począwszy od Łaz Małych, obejmującej okolice Tykocina, Łap aż po Samułki Duże. Obszar wybrany do analizy zawiera anastomozujący odcinek rzeki, jej zmeliorowane obszary oraz otaczające wysoczyzny (ryc. 1). Tereny te charakteryzują się dużą różnorodnością siedlisk oraz ich kontrastowością głównie ze względu na stosunki hydrologiczne. Jest to obszar wymagający monitorowania i ochrony: z jednej strony ze względu na cenne walory przyrodnicze, z drugiej na duży stopień antropopresji w niegdyś naturalnej i wyjątkowej sieci rzecznej.

Wybrany obszar można podzielić na dwie części. Środkowa obejmuje naturalny fragment, łącznie z anastomozującą doliną rzeki wchodzącą w skład Narwiańskiego Parku Narodowego. Północna i południowa – przedstawiają ten fragment rzeki, który w latach '70-ych XX wieku został zmeliorowany i od tego czasu jest wykorzystywany rolniczo.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań: dolina górnej Narwi (a – część naturalna i b – zmeliorowana) wraz z otaczającymi wysoczyznami.

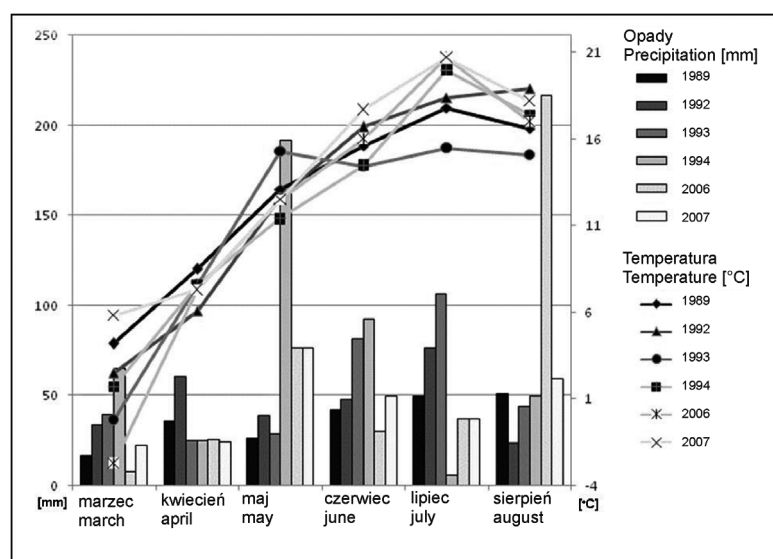
Fig. 1. Area of interest (a – natural and b – dried part).

Charakterystyka materiałów

W opracowaniu wykorzystano dwa typy materiałów: dane satelitarne jako źródło informacji oraz meteorologiczne, użyteczne do przeanalizowania wpływu pogody na wartość wskaźników wilgotności.

Zobrazowania satelitarne zostały pobrane z przeglądarki Glovis USGS (<http://glovis.usgs.gov/>). Do analiz wybrano cztery obrazy ze skanera Thematic Mapper z: 3 czerwca 1989, 30 sierpnia 1992, 21 maja 1993 i 25 czerwca 1994. Wykorzystano dwie sceny pochodzące ze skanera *Enhanced Thematic Mapper+* z 26 czerwca 2006 oraz 13 czerwca 2007. Obrazy oceniano pod względem dostępności, niskiego zachmurzenia (poniżej 10%), jakości oraz terminu wykonania. Istotne było, aby termin był w pełni okresu wegetacyjnego jak najbliższej czerwca. W tym miesiącu wszystkie rośliny są w pełni sezonu wegetacyjnego, jednocześnie np. łąki nie są jeszcze koszone. Zgromadzone obrazy charakteryzują dwa okresy, które były porównywane: przełom lat 80 i 90 XX wieku (1989-1994) oraz początek wieku XXI (2006-2007).

Podczas analiz wieloczasowych opartych na danych satelitarnych wykonane w różnych terminach, istotna jest analiza pogody poprzedzającej dzień rejestracji. Dla poprawnej interpretacji wskaźników wilgotności niezbędna jest informacja o opadach atmosferycznych. Analizę tę umożliwiły dane z portalu www.tutiempo.es. Dane uśrednione dla miesięcy z półrocza ciepłego dla poszczególnych analizowanych lat, przedstawia rycina 2. Pokazuje on, że dla maja, czerwca i sierpnia pogoda była stabilna i porównywalna we wszystkich 6 latach. Co więcej, w żadnym z analizowanych dni nie zanotowano opadów na dzień lub dwa przed rejestracją zastosowanego w pracy obrazu.



Ryc. 2. Dane uśrednionych parametrów meteorologicznych dla półrocza ciepłego dla analizowanych lat (źródło: Tutiempo. www.tutiempo.es).

Fig. 2. Average meteorological parameters for warm half-year (source: Tutiempo. www.tutiempo.es).

Analizowane wskaźniki – charakterystyka

Wskaźnik Wilgotności z Transformacji *Tasseled Cap*. Wybrana do analizy transformacja *Tasseled Cap* (TC) jest narzędziem pozwalającym na kompresję informacji, jakie niesie ze sobą rejestrowane spektrum w kilka tematycznych kanałów. Każdy z nich charakteryzuje wybrany aspekt środowiska przyrodniczego (Crist, Cicone, 1984). Pierwotnie konstruktorzy chcieli wyekstrahować ze spektrum informacje przydatne do badań upraw zbożowych (Kauth, Thomas, 1976). Obecnie główne zastosowanie transformacji jest w analizie szeroko rozumianej struktury lasów (Dymond i in., 2002; Wilsona, Sader, 2001).

Wyróżniamy dwa typy transformacji. Pierwszy powstał na podstawie analiz wartości piksela (DN) na obrazach satelity Landsat. Drugi na podstawie współczynnika refleksyjności, którego obliczanie było wsparte pomiarami terenowymi, dlatego też stosowanie jego wymaga przeprowadzenia korekcji atmosferycznej (Crist, 1985). Transformacja TC oparta na analizie DN jest wskazana dla regionów gdzie korekcja atmosferyczna jest problematyczna. W sytuacji, gdy zdjęcia są dobrej jakości i z bardzo małą ilością chmur, tego typu transformacja daje dobre wyniki (Huang i in., 2002).

TC dla TM dostarcza 3 kanały, które reprezentują największe zróżnicowanie na obrazie. Trzeci kanał „Third”, *Wetness* (TCW) jest w szczególności wrażliwy na wilgotność gleby i roślinności oraz strukturę roślinności. TCW kontrastuje ze sobą sumę kanałów NIR oraz VIS z sumą kanałów MIR uwypukla zarazem rolę kanałów piątego oraz siódmego wg wzoru:

$$TCW = 0,1509 \times b_1 + 0,1973 \times b_2 + 0,3279 \times b_3 + 0,3406 \times b_4 - 0,7112 \times b_5 - 0,4572 \times b_7$$

Znormalizowany Wskaźnik Podczerwieni – Normalized Difference Infrared Index

Odbicie w środkowej podczerwieni (MIR) wzrasta wraz z malejącą zawartością wilgoci w roślinności. Powoduje to, że im bardziej wysuszona roślina, tym większe odbicie w tym przedziale spektrum elektromagnetycznego. Właściwości te są wykorzystywane przy konstrukcji różnych wskaźników bazujących na kanałach spektralnych satelitów rejestrujących zarówno w bliskiej (NIR) jak i średniej podczerwieni. Przykładem jest NDII, obliczany wg następującego wzoru:

$$NDII = (b_5 - b_4) / (b_5 + b_4)$$

M. A. Hardisky i inni (1983) wykazali że Znormalizowany Wskaźnik Podczerwieni jest wysoko skorelowany z zawartością wody w roślinach ($g\ H_2O/m^2$). W literaturze podkreśla się, że wskaźniki kontrastujące ze sobą SWIR i NIR są wrażliwe na masę albo objętość wody, a nie na procentową jej zawartość (Gao, 1996, Ceccato *et al.*, 2002 a, b).

Właściwość ta sprawia, że można zauważyć wysoką korelację z LAI – wskaźnikiem opisującym powierzchnię liści na m², a tym samym wysokie wartości NDII np. dla obszarów leśnych.

Wskaźnik Stresu Wodnego – Moisture Stress Index. Kolejnym przykładem wskaźnika opartego na kanałach rejestrujących obraz w przedziałach NIR i MIR jest Wskaźnik Stresu Wodnego obliczany według wzoru:

$$MSI = b4/b5$$

Jego właściwości są analogiczne do NDII, gdyż wykorzystuje ten sam zakres spektrum elektromagnetycznego. Wskaźnik MSI został po raz pierwszy opisany przez B. N Rock'a i współautorów (1985) w celu rozróżnienia zdewastowanych lasów iglastych na młode i stare drzewostany. Kolejne prace potwierdziły, iż jest on wrażliwy na całkowitą zawartość wody w roślinach.

Rozpraszanie atmosferyczne w zakresie spektrum wykorzystanym do obliczeń NDII czy też MSI jest niewielkie w porównaniu do rozpraszania w przedziale światła widzialnego. Dlatego też wskaźniki te są mniej wrażliwe na zmiany atmosferyczne niż NDVI, a tym samym mogą stanowić dużo lepszy materiał do analiz wieloczynowych zmian. Właściwość ta powoduje, iż przeprowadzanie korekcy atmosferycznej nie jest tak niezbędne jak w przypadku analiz wykorzystujących zakres widzialny.

Metody badań

Teren badań został wycięty z wyselekcjonowanych obrazów satelitarnych. W celu usunięcia z obrazu obszarów nie pokrytych roślinnością utworzono obrazy Znormalizowanego Wskaźnika Zieleni (NDVI) i porównano obrazy ze wszystkich lat. Wybrano obraz wskaźnika z 26.06.2006 roku ze względu na odpowiedni okres rozwoju wegetacji, nieskoszone tereny łąkowe, dobrą jakość zdjęć oraz brak zachmurzenia i utworzono maskę dla wartości powyżej 0,4, która określa wartości minimalne dla roślinności w naszej strefie klimatycznej (Montandon, Small, 2008).

Na wszystkich obrazach przeprowadzono transformację *Tasseled Cap* wg procedury dla skanera *Tematic*

Mapper 5, która tworzy trzy nowe kanały, w tym tzw. *Third* odpowiadający kanałowi *Wetness*. Dla obrazów z 2006 i 2007 roku nie utworzono TC wg procedury dla ETM+, aby ujednoczyć obrazy i umożliwić porównanie. Podczas przeprowadzania obliczeń związanych z transformacją *Tasseled Cap* zastosowano wzór dla skanera TM. Wzór 1 przedstawia szczegółowo jego schemat, gdzie wartości DN dla kolejnych kanałów oznaczone są za pomocą symbolu „b” (wzór 1). Obliczając pozostałe dwa wskaźniki (NDII, MSI) użyto jedynie wartości odbicia w kanale 4 (b4) i 5 (b5). Utworzono obrazy wskaźników wilgotności: Znormalizowanego Wskaźnika Podczerwieni (NDII) oraz Wskaźnika Stresu Wodnego (MSI) według wzorów zamieszczonych powyżej.

Część obrazu z roku 1993 była zaburzona przez chmury i ich cienie, dlatego też wycięto je dzięki stworzeniu maski dla obszarów o wartościach TCW powyżej wartości -37. Następnie nałożono ją na obrazy pozostałych wskaźników.

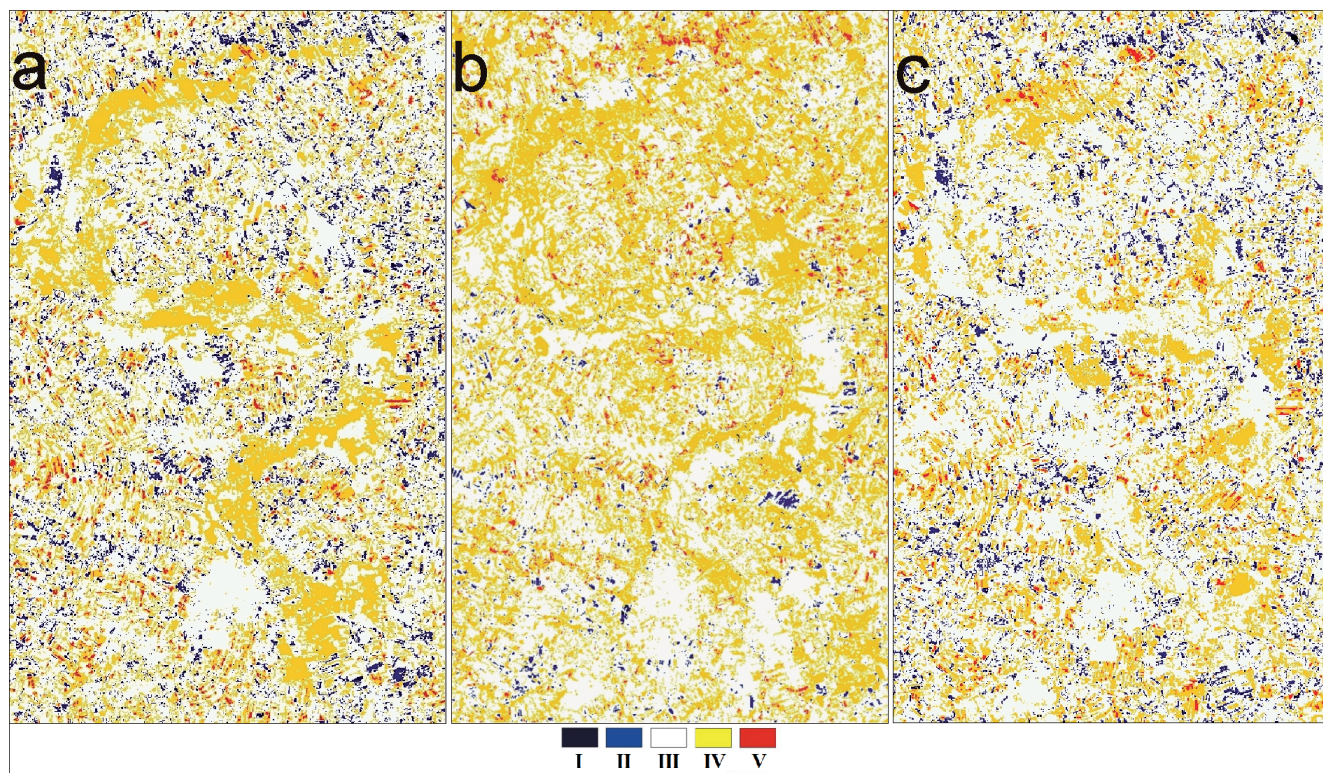
Kolejnym krokiem było obliczenie średniej dla lat 1989, 1992 i 1994, pomijając rok 1993 oraz średniej dla wszystkich obrazów z pierwszego okresu badawczego (wliczając w to 1993). Wymaskowano chmury i ich cienie na obrazie średniej z 4 lat. Następnie połączono te obraz z uśrednionym zobrazowaniem z trzech lat i powstała mozaika dla pierwszego okresu badawczego – przełomu lat 80- i 90-tych XX wieku. Dla obrazów z lat 2006 i 2007 uśredniono wartości za pomocą średniej arytmetycznej. W ten sposób powstał obraz dla drugiego okresu badawczego – początku XXI wieku. Wartości wskaźników na wszystkich analizowanych mapach przedstawia tabela 1. Wskaźnik TCW przybiera najmniejsze wartości dla obszarów gdzie wilgotność jest największa, odwrotna sytuacja jest w przypadku NDII oraz MSI.

Następnym etapem było utworzenie kartogramów dla obrazów trzech wskaźników z dwóch okresów tak, aby wyniki dla trzech wskaźników były porównywalne. Dla wszystkich obrazów utworzono tło, czyli maskę o wartościach równych 0. Następnie podzielono obrazy obliczonych wskaźników na 4 kategorie: obszary o większej, średniej, mniejszej i najmniejszej wilgotności. Przedziały dla poszczególnych klas zostały zamieszczone w tabeli 1. Kolejnym krokiem było utworzenie dwóch map zmian dla każdego ze wskaźników, jako obraz początkowy określono okres 1989-1994, natomiast końcowy 2006-2007. Porównując dwa wynikowe obrazy dla

Tabela 1. Przedziały wartości dla klas wilgotności dla trzech wskaźników: TCW, NDII oraz MSI.

Table 1. The description of classes based on values of three indices: *Tasseled Cap Wetness*, *Normalized Difference Infra-red Index* and *Moisture Stress Index*.

Nr klasy / Class number	Opis klasy / Class name	Zakres wartości / Values		
		TCW	NDII	MSI
1	Większa wilgotność / Higher wetness	-56 : -37	-0,225 : -0,400	0,75 : 0,40
2	Średnia wilgotność / Medium wetness	-75 : -56	-0,050 : -0,225	1,10 : 0,75
3	Mniejsza wilgotność / Lower wetness	-94 : -75	0,125 : -0,050	1,10 : 1,45
4	Najmniejsza wilgotność / The lowest wetness	-113 : -94	0,125 : 0,300	1,45 : 1,80



Ryc. 3. Fragment mapy zmian dla część naturalnej doliny górnej Narwi dla wskaźników TCW (a), NDII (b) oraz MSI (c); I – Zdecydowanie bardziej wilgotne; II – Bardziej wilgotne; III – Bez zmian; IV – Bardziej suche; V – Zdecydowanie bardziej suche.

Fig. 3. Map of indices changes TCW (a), NDII (b) and MSI (c) for dried valley; I – Much more wet; II – More wet; III – No changes; IV – More dry; V – Much more dry.

każdego wskaźnika utworzono 5 klas: 1 – zdecydowanie bardziej wilgotne, 2 – bardziej wilgotne, 3 – bez zmian, 4 – bardziej suche, 5 – zdecydowanie bardziej suche. Kategorie 3 i 4 oznaczają, że zmiany są niewielkie (różnica jednej klasy), natomiast przedziały skrajne wyznaczają obszary o bardzo dużych przekształceniach (przejście dwóch lub większej liczby klas).

Ostatnim etapem było zestawienie map zmian opracowanych na podstawie różnych wskaźników. Pozwoliło to na analizę procentowego udziału poszczególnych kategorii, a także zmiany, jakie zanotowano między obrazami dla każdej z klas.

Wyniki

Analizując mapy zmian dla wszystkich wskaźników można stwierdzić, że na przeważającym obszarze wil-

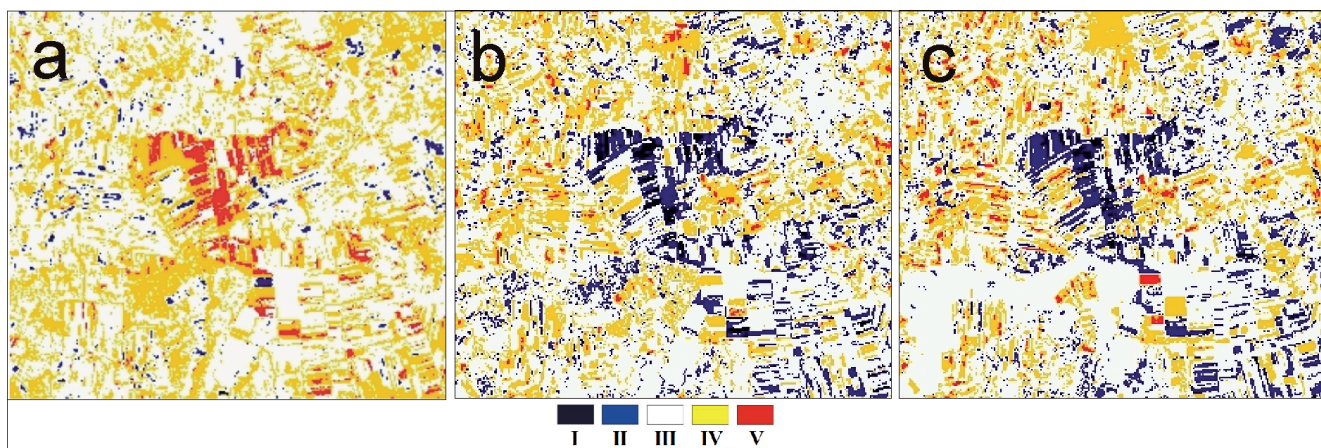
gotność nie uległa zmianom – między 50 a 60% całości. Tabela 2 przedstawia wyniki bez uwzględnienia obszaru wymaskowanego, który to stanowi około 12% analizowanego terenu. Zamieszczone w tabeli 3 dane pokazują, iż przeważają zmiany w kierunku osuszania terenu (między 34 a 22% powierzchni w zależności od wskaźnika). Zmiany w kierunku bardziej i zdecydowanie bardziej wilgotnym nie przekraczają 10%. Bardzo mały obszar (około 2%) zajmują tereny, na których bardzo zmieniły się stosunki wodne, zarówno w kierunku osuszania jak i uwilgotnienia.

Na podstawie wskaźnika TCW można stwierdzić, że wyraźnie dominują zmiany w kierunku osuszania terenu. Zwiększająca się wilgotność występuje jedynie na wysoczyznach. Zdecydowanie bardziej suche obszary pojawiają się w ogromnej większości na obszarach zmeliorowanych. Zarówno w naturalnej dolinie jak i w otaczających wysoczyznach zachodzą procesy o podobnym

Tabela 2. Rozkład poszczególnych klas zmian dla trzech wskaźników: TCW, NDII oraz MSI.

Table 2. The difference classes for three indices: Tasseled Cap Wetness, Normalized Difference Infrared Index and Moisture Stress Index.

	Zdecydowanie bardziej wilgotny / Much more wet	Bardziej wilgotny / More wet	Bez zmian / No changes	Bardziej suchy / More dry	Zdecydowanie bardziej suchy / Much more dry
TCW	0,1%	2,2%	61,2%	34,7%	1,8%
NDII	0,2%	6,9%	69,1%	22,0%	1,7%
MSI	0,2%	7,5%	67,3%	22,6%	2,4%



Ryc. 4. Fragment mapy zmian dla okolic stawów Kozi Przeskok na terenie zmeliorowanej doliny Narwi dla wskaźników TCW (a), NDII (b) oraz MSI (c); I – Zdecydowanie bardziej wilgotne; II – Bardziej wilgotne; III – Bez zmian; IV – Bardziej suche; V – Zdecydowanie bardziej suche.

Fig. 4. Map of indices changes TCW (a), NDII (b) and MSI (c) for area surrounding Kozi Przeskok lakes; I – Much more wet; II – More wet; III – No changes; IV – More dry; V – Much more dry.

charakterze. Obraz wskaźnika NDII wykazuje również znaczne zróżnicowanie przestrzenne. Występuje także większe zróżnicowanie w kierunkach zmian. Odwrotna tendencja dla obszarów zmeliorowanych w porównaniu do TCW – tereny stają się bardziej wilgotne. Na podstawie wskaźnika MSI stwierdzono duże zróżnicowanie w kierunkach zmian, podobnie jak w przypadku NDII. Przeważała tendencja do osuszania terenu. Widoczne jest wyraźne osuszenie doliny Narwi, kontrastujące z otaczającym ją terenem.

Występują wyraźne różnice między poszczególnymi fragmentami terenu. Porównując zmiany na terenie naturalnej doliny Narwi widoczne są inne tendencje zmian wilgotności na tych samych obszarach. Na podstawie wskaźnika TCW można stwierdzić, że zarówno tereny naturalnych łąk w dolinie, jak i otaczające je tereny wysoczyzn uległy osuszeniu (ryc. 3a). Tereny bardziej wilgotne wystąpiły na bardzo niewielkim obszarze. Wskaźnik NDII wykazał inną tendencję: niewielkie fragmenty doliny na obrzeżach uległy osuszeniu, dno doliny nie zmieniło poziomu wilgotności, natomiast wysoczyzny raczej stały się nieco bardziej wilgotne (ryc. 3b). W przypadku ostatniego wskaźnika MSI bardzo wyraźnie zarysowuje się osuszająca się naturalna dolina. Natomiast zmiany na wysoczyznach zachodzą, tak jak w przypadku poprzedniego wskaźnika NDII (ryc. 3c).

Równie niespójne są tendencje zmian w okolicach stawów Kozi Przeskok na zmeliorowanej części doliny Narwi. Na obrazie utworzonym przy pomocy wskaźnika TCW widoczne jest osuszenie tego obszaru: na większości terenu jest ono znaczne (ryc. 4a). Natomiast pozostałe dwa wskaźniki pokazują odwrotny kierunek: cały obszar jest bardziej wilgotny w końcowym okresie badawczym (ryc. 4b i c).

Zanotowano bardzo duże różnice pomiędzy wskaźnikami wilgotności. Generalnie można stwierdzić, że według wskaźnika TCW znaczny obszar uległ osusze-

niu. Natomiast pozostałe dwa wskaźniki wskazują na nieco mniej drastyczne zmiany. Na ogół zakres zmian waha się od zmian w kierunku bardziej wilgotnych do bardziej suchych. Raczej nie ma tendencji skrajnych. Różnice między wskaźnikami także nie są bardzo znaczące, ale zmiany kierunki zmian TCW a NDII i MSI są często przeciwne.

Podsumowanie

Istotne różnice między wynikami dla poszczególnych wskaźników wskazują na istotność wielokrotnych prób, aby możliwe było zróżnicowanie metodologii. Przeprowadzona analiza nie dała spodziewanych rezultatów. Nie można z pewnością stwierdzić, iż na terenach zmeliorowanych warunki z biegiem lat się pogarszają. Nie jest możliwe określenie, który z wymienionych wskaźników najlepiej odzwierciedla zaistniałe przekształcenia. Wnioski, które wynikają z powyższych badań dotyczą metodologii. Zauważono, że szczegółowość takich analiz powinna odbywać się na dość znacznym poziomie uogólnienia. Potwierdza to wybór tylko 5 przedziałów. Zbyt duże rozdrobnienie, nie pozwala na dedukcję procesów, które dotyczą poszczególnych siedlisk. Dane reprezentujące powierzchnię Ziemi z dokładnością 30 metrów nie pozwalają na analizę drobnych jednostek geograficznych, jak np. łąki koszone czy nie. Pozwalają natomiast na analizę w makroskali, jaką np. mogą reprezentować jednostki pokrycia terenu. Dlatego też uzupełnieniem oraz kontynuacją powyższych badań będzie porównanie ich z mapą pokrycia terenu.

Literatura:

Ceccato P., Flasse S., Gregoire J., 2002b, Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote

- sensing data: Part 2. *Validation and applications, Remote Sensing of Environment*. nr. 82, s. 198–207.
- Crist E. P., Cicone, R. C., 1984, A physically-based transformation of Thematic Mapper data – the TM Tasseled Cap, *IEEE Trans. on Geosciences and Remote Sensing*, nr. 22, s. 256-263.
- Crist E. P., 1985, A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment*, Nr. 17, s. 301-306.
- Daymond C. C., Mladenoff D. J., Radeloff V. C., 2002, Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification. *Remote Sensing of Environment*, Nr. 80, s. 460-472
- Gao B., 1996, NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, Nr. 58, s. 257–266.
- Kauth R. J., Thomas G. S., 1976, The tasseled cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat, *Proceedings on the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, West Lafayette, Indiana, June 29 – July 1, (West Lafayette, Indiana: LARS, Purdue University), s. 41-51.
- Hardisky M. A., Klemas V., Smart R. M., 1983, The influence of soft salinity, growth form, mad leaf moisture on the spectral reflectance of *Spartina alterniflora* canopies, *Photogrammetry Engineering Remote Sensing*. Nr. 49. s.77-83.
- Huang C., Wylie B., Yang L., Homer C., Zylstra G., 2002, Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance, *International journal of remote sensing*, Nr. 23(8), s. 1741-1748.
- Motandon L. M., Small E. E., 2008, The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI, *Remote Sensing of Environment*, Nr. 112, s. 1835-1845.
- Rock B. N., Williams D. L., Vogehmann J. E., 1985, Field and airborne spectral characterization of suspected acid deposition damage in red spruce (*Picea rubens*) from Vermont. *Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*, Purdue University, Lafayette, IN, s. 71-81.
- Wilson E. H., Sader S. A., 2002, Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, Nr 80, s. 385-396.
- Tutiempo: www.tutiempo.es
Przeglądarka Glovis USGS: <http://glovis.usgs.gov/>



Mgr Anna Jarocińska absolwentka studiów magisterskich na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji. Obecnie uczestniczka Studium Doktoranckiego w macierzystej jednostce. Adres do korespondencji: ajarocin@gmail.com telefon: 606491444, fax: + 48 22 5521521.



Mgr Sylwia Nasilowska absolwentka studiów magisterskich na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji. Obecnie uczestniczka Studium Doktoranckiego w macierzystej jednostce. Adres do korespondencji: sylwianasilowska@gmail.com, telefon: + 48 22 5521507, fax: + 48 22 5521521.