

Wykorzystanie darmowych danych teledetekcyjnych do analizy rozmieszczenia młak (na przykładzie zachodniego Podhala)

The use of free remote sensing data for the analysis of bog-springs distribution (exemplified by the western Podhale region)

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań nad możliwością wykorzystania darmowych danych teledetekcyjnych w postaci obrazów Landsat 7 oraz numerycznego modelu terenu Aster GDEM do analizy rozmieszczeniem młak w zachodniej części Podhala. W przeprowadzonych badaniach wykorzystano metody nadzorowanej klasyfikacji satelitarnych obrazów wielospektralnych oraz teledetekcyjne wskaźniki wilgotności (TWI, TCWI oraz NDWI) do wyznaczenia obszarów zajętych przez młaki. Na podstawie kartowania terenowego młak dokonano również oceny dokładności wyznaczenia rozmieszczenia młak w zależności od zastosowanej metody delimitacji obszarów podmokłych.

Słowa kluczowe: młaki, podmokłości, teledetekcja, obrazy satelitarne, NMT

Key words: bog-springs, wetlands, remote sensing, satellite images, DEM

WPROWADZENIE

Dane teledetekcyjne stanowią cenne i coraz powszechniejsze źródło informacji w badaniach hydrologicznych, w tym m.in. w analizach obszarów podmokłych. Numeryczne modele terenu o coraz wyższej rozdzielczości terenowej umożliwiają m.in. lokalizację terenów predysponowanych orograficznie do powstawania podmokłości. Wykorzystanie wielospektralnych zdjęć satelitarnych pozwala natomiast na odróżnienie tego typu obszarów od pozostałych klas pokrycia terenu oraz umożliwia czasowo-przestrzenną analizę dynamiki zmian ich wielkości czy też poziomu wilgotności. Tego rodzaju analizy dotyczą jednak najczęściej zabagnionych terenów na obszarach nizinnych (Lunetta i Balogh, 1999; Kulawardhana i in., 2007; Jarocińska i Nasiłowska, 2009). Zdecydowanie rzadziej metody teledetekcyjne stosuje się chociażby do analizy podmokłości w obszarach źródłiskowych na terenach górskich.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań nad rozmieszczeniem obszarów podmokłych w formie młak w zachodniej części Podhala z wykorzystaniem darmowych danych w postaci satelitarnych obrazów wielospektralnych serii Landsat 7 oraz numerycznego modelu terenu Aster GDEM. Przeprowadzone badania zmierzały przede wszystkim do określenia możliwości wykorzystania wybranych metod klasyfikacji obrazów wielospektralnych oraz teledetekcyjnych wskaźników wilgotności do analizy rozmieszczenia młak na badanym obszarze.

TEREN BADAŃ

Obszar badań obejmował teren o kształcie prostokąta i powierzchni 422 km² ograniczony od południa stokami Tatr, natomiast od północy - pienińskim pasem skałkowym oraz fragmentem Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Wschodnią granicę obszaru badań wyznaczała w przybliżeniu dolina Białego Dunajca, natomiast zachodnią – granica polsko-słowacka (Ryc.1).

Obecność na badanym obszarze młak będących strefami rozlewnego, powierzchniowego wypływu wód podziemnych (Pazdro, 1983) w literaturze hydrogeologicznej wiązano m.in. z występowaniem odciętych wód zwietrzelinowych tworzących się w miejscach gdzie płytko w podłożu zalegają utwory nieprzepuszczalne (Ziemońska, 1966). Ponadto genezę podmokłości cechujących się liniową rozciągłością wiązano z przecięciem warstw wodonośnych fliszu podhalańskiego przez powierzchnię terenu (Gołąb, 1947) bądź z obecnością dyslokacji tektonicznych sprzyjających migracji wód w kierunku powierzchni terenu (Macioszyk, 1959; Małecka, 1973).



Ryc. 1. Obszar badań na tle cieniowanego modelu ASTER GDEM (źródło: opracowanie własne).

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

Dane teledetekcyjne wykorzystane na potrzeby tego opracowania zostały pozyskane z internetowych zasobów United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Do analiz wykorzystano m.in. trzy sceny satelitarne Landsat 7 zarejestrowane przez skaner ETM+ w dniach: 20 sierpnia 2000, 23 października 2000 oraz 30 kwietnia 2003. Wybrano sceny satelitarne z trzech różnych pór roku (wiosny, lato oraz jesień) obejmujące swoim zasięgiem obszar zachodniego Podhala, cechujące się minimalnym pokryciem chmurami. Do dalszych analiz wykorzystano obrazy zarejestrowane we wszystkich kanałach spektralnych z wyłączeniem kanału termalnego i panchromatycznego – tym samym wszystkie obrazy cechowała identyczna rozdzielczość terenowa równa 30 m. Przykładowy obraz satelitarny terenu badań zarejestrowany w kanale bliskiej podczerwieni przedstawia rycina 2. Numeryczny model terenu dla analizowanego obszaru powstał na podstawie danych wysokościowych pozyskanych ze stereopar zobrazowań zarejestrowanych przez skaner Aster, umieszczony na satelicie Terra. Model Aster GDEM (Ryc.1) dla analizowanego obszaru obejmował dwie sceny, których połączenia w jeden raster dokonano w oprogramowaniu Global Mapper. Ta sama aplikacja posłużyła także do przycięcia pobranych scen satelitarnych oraz NMT do obrazów

o wymiarach 652 x 719 pikseli odpowiadających w terenie powierzchni 422 km². W przypadku modelu Aster, którego rozdzielczość terenowa wynosi również 30 m, konieczne było dokonanie resamplingu wartości pikseli i osadzenie ich geometrycznie w ten sposób aby pokrywały się z pikselami zobrazowań Landsat.

Optymalne wykorzystanie obrazów satelitarnych do dalszych analiz wymagało również przeprowadzenia ich korekcji radiometrycznej (Landsat 7 Science Data Users Handbook, 2003; Dworak i in. 2011), którą dla każdego obrazu wykonano w oprogramowaniu ArcGIS. W pierwszym etapie korekcji polegającym na kalibracji detektorów (z wykorzystaniem parametrów dostarczonych wraz z obrazami) dokonano przeliczenia wartości odpowiedzi spektralnej na wartość radiancji. W kolejnym kroku przeprowadzono korekcję słoneczną mającą na celu usunięcie wpływu położenia słońca na jasność pikseli w momencie rejestracji danych i w efekcie wyznaczenie wartości współczynnika odbicia na górnej granicy atmosfery dla każdego piksela obrazu. Ostatni etap korekcji radiometrycznej stanowiła korekcja topograficzna. Ten etap korekcji był szczególnie istotny dla obszaru Podhala ze względu na urozmaiconą rzeźbę terenu na tym obszarze. Korekcję topograficzną eliminującą wpływ ukształtowania terenu na wartość współczynnika odbicia przeprowadzono metodą korekcji C (C-correction) (Taillet i in. 1982, Richter i in. 2009) z wykorzystaniem map rastrowych: spadków terenu i ekspozycji stoków utworzonych wcześniej na podstawie modelu Aster. W procesie korekcji radiometrycznej pominięto korekcję atmosferyczną, mającą na celu ograniczenie niekorzystnego wpływu atmosfery na sygnał odbierany przez detektory satelity, pozwalającą na przeliczenie wartości współczynnika odbicia z górnej granicy atmosfery na powierzchnię terenu.

KLASYFIKACJA OBRAZÓW WIELOSPEKTRALNYCH

Przeprowadzenie klasyfikacji nadzorowanej zobrazowań wielospektralnych wymaga w pierwszej kolejności doboru pól treningowych dla każdej z wyróżnianych klas pokrycia terenu (Adamczyk i Będkowski, 2007). W celu ułatwienia procesu rozpoznania obszarów podmokłych na analizowanych obrazach satelitarnych w oprogramowaniu Ilwis utworzono szereg kompozycji barwnych powstałych w wyniku nałożenia trzech wybranych obrazów zarejestrowanych w różnych kanałach promieniowania elektromagnetycznego. Obszary podmokłe znane autorowi z badań terenowych prowadzonych w różnych rejonach Podhala, bądź oznaczone na mapach topograficznych i tematycznych najlepiej zaznaczały się na kompozycjach w barwach fałszywych utworzonych z obrazów zarejestrowanych w kanałach bliskiej (NIR) oraz środkowej (MIR) podczerwieni. Kanał NIR w teledetekcji powszechnie wykorzystywany jest bowiem do określania poziomu wilgotności gleby natomiast kanał MIR służy m.in. do monitorowania zawartości wody w roślinach.

Zaobserwowano również, że tereny podmokłe najłatwiej dają się odróżnić od pozostałych klas pokrycia terenu na scenie zarejestrowanej w okresie wiosennym. Z kolei w przypadku zdjęć zrobionych w okresie jesiennym a zwłaszcza letnim obszary podmokłe pod względem kolorystycznym niezależnie od zastosowanej kompozycji barwnej nie różniły się już tak zdecydowanie od terenów reprezentujących przede wszystkim nieużytki. W obrębie kompozycji barwnych utworzonych ze sceny

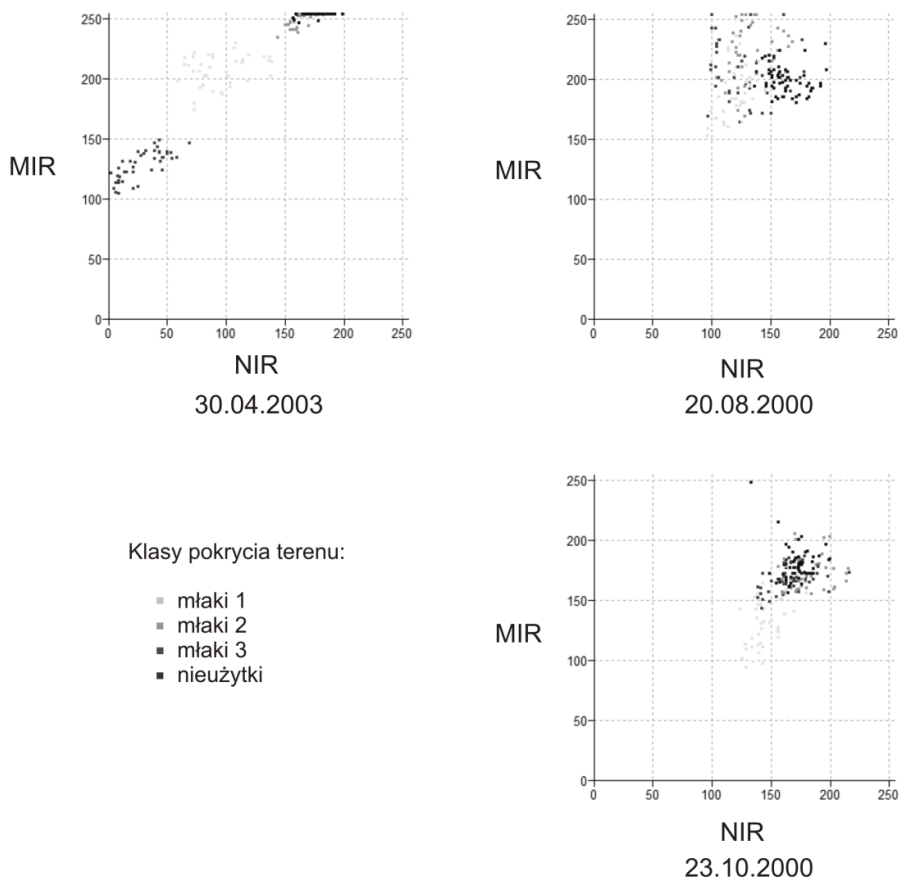
satelitarnej zarejestrowanej 30 kwietnia 2003 możliwe stało się nie tylko rozróżnienie młak od nieużytków ale i wyróżnienie trzech podklas obszarów zajętych przez młaki. W procesie klasyfikacji zdefiniowano więc cztery klasy użytkowania terenu (trzy podklasy młak oraz nieużytki).



Ryc. 2. Położenie pól weryfikacyjnych na tle obrazu satelitarnego Landsat 7 zarejestrowanego w kanale bliskiej podczerwieni 30 kwietnia 2003 r. (źródło: opracowanie własne).

W następnym kroku wskazano piksele pól treningowych dla każdej z utworzonych klas i dokonano wizualizacji położenia tych samych pikseli pól treningowych w wybranych dwukanałowych przestrzeniach spektralnych dla wszystkich scen satelitarnych zarejestrowanych w różnych porach roku (Ryc.3). Wyróżnione cztery klasy pokrycia terenu dla sceny satelitarnej z okresu wiosennego tworzyły najbardziej wyraźne skupiska pikseli w przypadku wykresu opartego o jasności pikseli z obrazów zarejestrowanych w kanałach NIR oraz MIR. Dla obszarów zajętych przez nieużytki rolne odbicie w kanale MIR było minimalne wskazując tym samym na minimalną zawartość wilgoci w roślinach na tych obszarach. Również w przypadku kanału NIR najniższe wartości odbicia mogące świadczyć o niewielkiej zawartości wody w glebie odnotowano dla tej samej klasy pokrycia terenu. Usytuowanie na tym samym wykresie pikseli reprezentujących trzy podklasy młak wskazywało na większy poziom

wilgotności gleby oraz porastającej jej roślinności aniżeli w przypadku nieużytków jak również na spore zróżnicowanie poziomu wilgotności między rozpoznanymi podklasami podmokłości. W przypadku analogicznych wykresów dla obrazów satelitarnych zarejestrowanych w sierpniu oraz w październiku opisywane wyżej skupiska pikseli, świadczące o zróżnicowaniu wilgotnościowym terenów podmokłych były już dużo słabiej widoczne w obrębie tych samych pól treningowych. Ponadto zaobserwowano zbliżoną charakterystykę spektralną dla obszarów podmokłych i nieużytków o czym świadczyło wymieszanie pikseli tych dwóch klas na wykresie zwłaszcza dla sceny satelitarnej zarejestrowanej w sierpniu.



Ryc. 3. Położenie pikseli pól treningowych w dwuwymiarowej przestrzeni spektralnej (źródło: opracowanie własne).

Klasyfikację nadzorowaną obrazów wielospektralnych przeprowadzono w oprogramowaniu Ilwis z wykorzystaniem dwóch metod: największego prawdopodobieństwa oraz metodą prostopadłościaków (Adamczyk i Będkowski, 2007). Dla metody największego prawdopodobieństwa klasyfikację przeprowadzono przy różnych ustawieniach odległości progowej (Threshold Distance) wyszukiwania pikseli wokół środków klas natomiast w przypadku metody prostopadłościaków przyjęto różne wielkości mnożnika (Multiplication Factor) określającego krotność odchylenia standardowego, wyznaczającego zasięg poszczególnych klas (Ryc.4).

Metoda największego prawdopodobieństwa

Metoda prostopadłościaków

30.04.2003



23.10.2000



20.08.2000



Ryc. 4. Rozmieszczenie młak wyznaczonych na podstawie klasyfikacji nadzorowanej obrazów wielospektralnych (źródło: opracowanie własne).

W obrębie rastrów wynikowych procesu klasyfikacji dokonano agregacji pikseli reprezentujących poszczególne podklasy młak i usunięcia pikseli odpowiadających nieużytkom.

TELEDETEKCYJNE WSKAŹNIKI WILGOTNOŚCI

Pierwszym z teledetekcyjnych wskaźników jaki wykorzystano do analizy rozmieszczenia młak na badanym obszarze był Normalized Difference Water Index (NDWI) (Ryc.5). Wskaźnik ten został stworzony na podstawie wartości współczynnika odbicia dla powierzchni ziemi dla kanałów NIR oraz MIR (Gao, 1996) jednak ze względu na trudności w przeprowadzeniu kalibracji atmosferycznej obrazów satelitarnych do jego wyznaczania powszechnie stosuje się wartości współczynnika odbicia dla górnej granicy atmosfery (DeAlwis i in., 2007). Wskaźnik ten obliczany jest według następującego wzoru:

$$NDWI = \frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5}$$

gdzie: ρ_4 to wartość współczynnika odbicia dla kanału NIR
 ρ_5 to wartość współczynnika odbicia dla kanału MIR

Kolejnym wskaźnikiem wykorzystanym na potrzeby niniejszej pracy był Tasseled-cap Wetness Index (TCWI) (Huang i in., 2002). Wskaźnik ten wyznaczany jest na podstawie wartości współczynnika odbicia na górnej granicy atmosfery dla wszystkich kanałów zobrazowania Landsat 7 z wyjątkiem kanału termalnego i panchromatycznego. Największy wpływ na jego wielkość ma wartość współczynnika odbicia dla kanałów środkowej podczerwieni, dla których współczynnik równania ma największe wartości. Wskaźnik ten wyznacza się według wzoru:

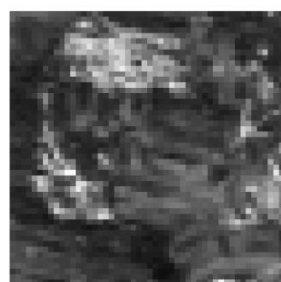
$$TCWI = \rho_1 * 0.2626 + \rho_2 * 0.2141 + \rho_3 * 0.0926 + \rho_4 * 0.0656 - \rho_5 * 0.7629 - \rho_7 * 0.5388$$

gdzie: ρ_1 to wartość współczynnika odbicia dla kanału niebieskiego
 ρ_2 to wartość współczynnika odbicia dla kanału zielonego
 ρ_3 to wartość współczynnika odbicia dla kanału czerwonego
 ρ_4 to wartość współczynnika odbicia dla kanału NIR
 ρ_5 to wartość współczynnika odbicia dla kanału MIR
 ρ_7 to wartość współczynnika odbicia dla kanału MIR

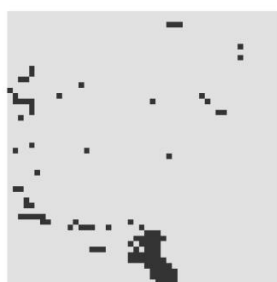
Ostatnim ze wskaźników przy pomocy, którego starano się określić rozmieszczenie młak w zachodniej części Podhala był Topograficzny Indeks Wilgotności (Topographic Wetness Index - TWI). Znajomość przestrzennego zróżnicowania wielkości tego wskaźnika pozwala na lokalizację obszarów, które ze względów topograficznych powinny charakteryzować się zwiększoną wilgotnością powierzchni terenu (Urbański, 2008). Indeks ten oblicza się korzystając ze wzoru:

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right)$$

gdzie: A_s - właściwa lokalna powierzchnia zlewni, czyli powierzchnia obszaru zasilającego daną komórkę podzielona przez bok komórki
 β - kąt nachylenia powierzchni terenu



NDWI



Raster do weryfikacji
NDWI < - 0.12



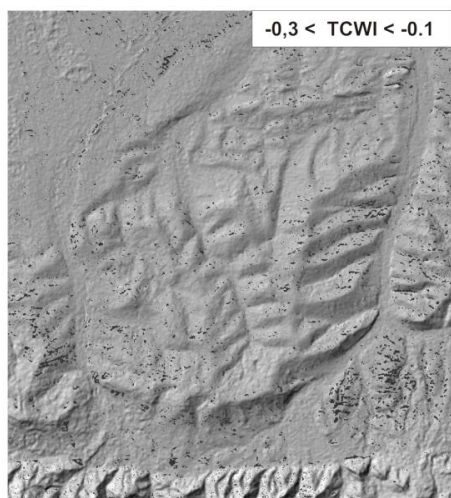
Raster
weryfikacyjny

Ryc. 5. Wartości wskaźnika NDWI wyznaczone dla obszaru zachodniego Podhala na podstawie zobrazowania Landsat 7 zarejestrowanego 30 kwietnia 2003 r. (źródło: opracowanie własne).

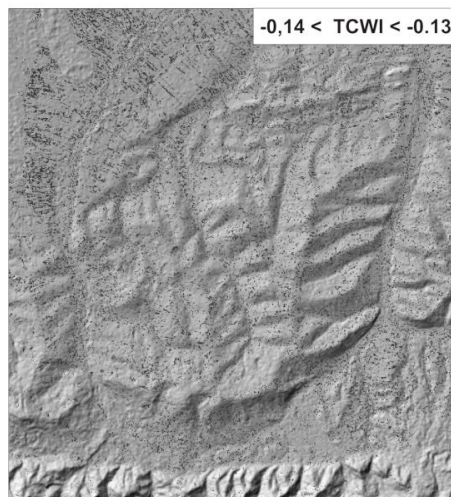
30.04.2003



23.10.2000



20.08.2000



Ryc. 6. Rozmieszczenie młak wyznaczonych na podstawie wyliczonych wartości wskaźników NDWI oraz TCWI (źródło: opracowanie własne).

Do obliczenia wielkości tego wskaźnika wykorzystano NMT Aster, na podstawie którego utworzono mapy rastrowe nachylenia stoków oraz akumulacji spływu (flow accumulation).

Wielkości wszystkich wykorzystanych na potrzeby tego opracowania wskaźników zostały obliczone w oprogramowaniu ArcGIS. Następnie dokonano analizy zróżnicowania wartości wyliczonych wskaźników w obrębie rozpoznanych młak. Na tej podstawie wyznaczono te zakresy ich wartości, które najlepiej odpowiadają terenom podmokłym. W efekcie końcowym dokonano eksportu pikseli o wartościach charakterystycznych dla młak do osobnych warstw rastrowych (Ryc.6).

WERYFIKACJA POPRAWNOŚCI KLASYFIKACJI

Kolejnym etapem przeprowadzonych analiz była weryfikacja poprawności wyznaczenia rozmieszczenia młak w zależności od przyjętej metody. W tym celu wybrano trzy pola weryfikacyjne, odpowiadające obszarom, w obrębie których przeprowadzono w październiku 2013 roku kartowanie terenowe młak. Pola weryfikacyjne o regularnym kształcie kwadratów o boku długości 1,5 km obejmowały obszary usytuowane w różnych rejonach Pogórza Gubałowskiego (Ryc.2): górny odcinek doliny potoku Chochołowskiego w miejscowości Ciche, dolinę potoku Chrobaków w Witowie oraz górny odcinek doliny potoku Strzępów usytuowany na pograniczu Zębu, Bustryka i Czerwiennego. W każdym z pól weryfikacyjnych skartowano przynajmniej jedną dużą młakę o powierzchni kilku hektarów oraz kilka mniejszych. Skartowane w trakcie prac terenowych młaki zostały następnie zwektoryzowane z wykorzystaniem ortofotomapy udostępnionej na stronach rządowego geoportalu (<http://geoportal.gov.pl/>) w postaci usługi WMS (Ryc.5). Po konwersji warstwy wektorowej na rastrową przemnożono wartości pikseli rastra weryfikacyjnego z rastrami reprezentującymi rozmieszczenie młak, wyznaczonymi w efekcie zastosowania kolejnych metod delimitacji. Tym samym utworzono macierz błędów wyznaczenia młak dla każdej z metod i okresu rejestracji obrazów. Następnie obliczono wartości błędów niedoszacowania i przeszacowania klasyfikacji. Błąd niedoszacowania określa procentowy udział liczby pikseli, które w świetle procesu weryfikacji reprezentują młaki, ale które nie zostały zaklasyfikowane do tej klasy pokrycia terenu, do całkowitej liczby pikseli odpowiadających młakom na rastrze weryfikacyjnym. Błąd przeszacowania pozwala natomiast określić procentowy stosunek liczby pikseli, które zostały błędnie zaklasyfikowane jako młaki, do całkowitej liczby pikseli zaklasyfikowanych do tej klasy pokrycia terenu.

WYNIKI

Wyniki weryfikacji poprawności wyznaczenia rozmieszczenia młak na drodze procesu klasyfikacji nadzorowanej satelitarnych obrazów wielospektralnych bądź wyznaczenia wartości teledetekcyjnych wskaźników wilgotnościowych wskazują na znaczne wielkości zarówno błędów przeszacowania jak i niedoszacowania. Wartości tych błędów w zdecydowanej większości przypadków znacznie przekraczają poziom 50% (Tab.1;2). Najlepsze wyniki wyznaczenia zasięgów obszarów zajętych przez młaki zostały osiągnięte przy wykorzystaniu wskaźnika NDWI dla sceny satelitarnej zarejestrowanej w okresie wiosennym. W tym przypadku błąd niedoszacowania

wyniósł 66% przy błędzie przeszacowania na poziomie 46%. Spośród trzech wykorzystanych teledetekcyjnych wskaźników wilgotnościowych zdecydowanie najgorsze wyniki delimitacji obszarów podmokłych zostały osiągnięte dla wskaźnika TWI. W przypadku wykorzystania metod klasyfikacji nadzorowanej zobrazowań wielospektralnych dla wyznaczenia rozmieszczenia młak lepsze rezultaty zostały osiągnięte przy wykorzystaniu metody prostopadłościaków – zwłaszcza dla sceny zarejestrowanej 30 kwietnia 2003 roku, w przypadku której błąd przeszacowania wyniósł 51%, przy błędzie niedoszacowania równym 70%. Analiza dokładności pokazuje również, że obliczone wartości błędów przyjmowały najmniejsze wartości dla obrazów zarejestrowanych wiosną (z wyjątkiem wykorzystania wskaźnika TCWI), natomiast największe dla obrazów pozyskanych w okresie letnim.

Tab. 1. Wyniki weryfikacji poprawności wyznaczania rozmieszczenia młak na podstawie wskaźników teledetekcyjnych (źródło: opracowanie własne).

Wskaźnik	Zakres wartości	Data rejestracji obrazów	Błąd niedoszacowania (%)	Błąd przeszacowania (%)
NDWI	< -0,12	30.04.2003	66	46
	0,26 – 0,29	20.08.2000	70	88
	< 0.01	23.10.2000	64	55
TCWI	-0,31 – -0,29	30.04.2003	87	84
	-0,14 – -0,13	20.08.2000	85	85
	-0,3 – -0,1	23.10.2000	70	70
TWI	> 8		80	94

Tab. 2. Wyniki weryfikacji poprawności wyznaczania rozmieszczenia młak na podstawie metod nadzorowanej klasyfikacji obrazów wielospektralnych (źródło: opracowanie własne).

Metoda klasyfikacji	Odległość progowa / wartość mnożnika	Data rejestracji obrazów	Błąd niedoszacowania (%)	Błąd przeszacowania (%)
Największego prawdopodobieństwa	3	30.04.2003	75	54
	2.5	20.08.2000	58	83
	2.7	23.10.2000	73	65
Prostopadłościaków	1.8	30.04.2003	70	51
	1.5	20.08.2000	60	82
	1.6	23.10.2000	73	62

DYSKUSJA WYNIKÓW

Pomimo istotnych wielkości błędów wyznaczenia zasięgów młak na analizowanym obszarze można zaobserwować, że w przypadku chociażby wykorzystania wskaźnika NDWI czy klasyfikacji metodą prostopadłościaków dla

obrazów zarejestrowanych w okresie wiosennym rozmieszczenie większości dużych podmokłości opisanych w literaturze naukowej i przedstawionych na mapach topograficznych lub tematycznych zostało wyznaczone poprawnie. Dotyczy to nie tylko dużych młak w obrębie pól weryfikacyjnych i w innych obszarach Pogórza Gubałowskiego ale także chociażby podmokłości w obrębie Kotliny Orawsko-Nowotarskiej gdzie otaczają one m.in. torfowiska (Bór za lasem Kaczmarka) lub stanowią ich pozostałości (Kosarzyska i Bacuch). Występowanie podmokłości na obszarze Kotliny Orawsko-Nowotarskiej najczęściej wiąże się z obecnością płytko w podłożu warstwy nieprzepuszczalnych glin, które warunkują nasycenie wodą przepowierzchniowej warstwy gruntu (Łajczak, 2009).

Z drugiej strony większość młak o niewielkiej powierzchni lub małej szerokości nie została rozpoznana poprawnie co najprawdopodobniej jest pochodną niewielkiej rozdzielczości terenowej obrazów Landsat 7. Analogicznie niska rozdzielczość przestrzenna modelu ASTER mogła również wpłynąć na obniżenie dokładności delimitacji młak z wykorzystaniem wskaźnika TWI. Z drugiej jednak strony bardzo wysokie wartości błędów przy wyznaczaniu położenia młak tą metodą w świetle analizy literatury hydrogeologicznej dla obszaru Podhala (Gołąb, 1947; Macioszczyk 1959; Małecka, 1973, Majewski, 2013), mogą stanowić potwierdzenie przewagi czynnika geologicznego nad morfologicznym przy kształtowaniu rozmieszczenia młak na badanym obszarze.

Przeprowadzone analizy pozwalają również stwierdzić, że zdjęcia satelitarne zarejestrowane w okresie wiosennym stanowią zdecydowanie lepszy materiał do teledetekcyjnych analiz rozmieszczenia młak aniżeli obrazy pochodzące z okresu letniego. Charakterystyka odpowiedzi spektralnych dla obszarów reprezentujących młaki w okresie wiosennym wyraźnie odróżnia je od innych klas użytkowania terenu. Zwiększona wilgotność gleby oraz większa zawartość wody w roślinach hydrofilnych porastających młaki znajduje swój wyraz w odpowiedziach spektralnych zwłaszcza na obrazach zarejestrowanych w kanałach NIR oraz MIR, pozwala na ich odróżnienie od nieużytków pokrytych w tym czasie wysuszoną roślinnością. Stopniowe zarastanie młak w kolejnych miesiącach czyni je jednak bardziej podobnymi pod względem spektralnym do nieużytków i zdecydowanie bardziej utrudnia stosowanie metod teledetekcyjnych do analizy ich rozmieszczenia.

W przypadku analizy obrazów satelitarnych zarejestrowanych w okresie wczesno-wiosennym należy również wziąć pod uwagę istotny wpływ ablacji pokrywy śnieżnej na kształtowanie warunków wilgotnościowych podłoża. Być może część obszarów, które w świetle analizy zobrazowań z 30 kwietnia 2003 zaklasyfikowane zostały błędnie jako młaki, w rzeczywistości odpowiada terenom, na których pokrywa śnieżna zalegała najdłużej. Późniejsza ablacja śniegu mogła wpłynąć na zwiększenie wilgotności gruntu na tych obszarach co znalazło swoje odzwierciedlenie w wynikach klasyfikacji i wielkościach wyznaczanych wskaźników wilgotnościowych. Nie można również wykluczać, że zróżnicowanie spektralne obszarów podmokłych wyraźnie zaznaczające się na scenie zarejestrowanej 30 kwietnia, stanowiące podstawę wydzielenia trzech podklas młak, jest również następstwem nierównomiernego tempa ablacji pokrywy śnieżnej na tych obszarach.

Należy również pamiętać, że obrazy satelitarne wykorzystane na potrzeby niniejszego opracowania zostały zarejestrowane kilka lat wcześniej aniżeli przeprowadzone kartowanie terenowe, na podstawie którego dokonano weryfikacji poprawności wyznaczenia rozmieszczenia młak. Stąd też pewne ujawnione błędy delimitacji młak mogą w rzeczywistości wynikać ze zmiany sposobu użytkowania terenu, a także ze zmiennego zasięgu lub poziomu wilgotności wybranych młak w zależności od chociażby warunków meteorologicznych.

WNIOSKI

W świetle przeprowadzonych analiz należy stwierdzić, że zobrażenia wielospektralne serii Landsat 7 mogą stanowić jedynie pomocnicze źródło informacji o rozmieszczeniu młak. Wykorzystanie kompozycji barwnych opartych zwłaszcza o obrazy zarejestrowane w kanałach z zakresu bliskiej i średniej podczerwieni, stosowanie metod klasyfikacji nadzorowanej obrazów wielospektralnych a zwłaszcza wskaźnika NDWI ułatwia rozpoznanie przede wszystkim wielkopowierzchniowych młak. Niemniej jednak jak pokazują wyniki weryfikacji poprawności półautomatycznego wyznaczania młak na podstawie zobrażeń Landsat 7 obarczone jest dużym błędem. Stosowanie obrazów Landsat 7 i wspomnianych metod teledetekcyjnych nie może więc stanowić jedyne, wiarygodnego źródła informacji o rozmieszczeniu młak. Przeprowadzone analizy potwierdziły wyższą przydatność scen satelitarnych zarejestrowanych w okresie wiosennym aniżeli jesiennym a zwłaszcza letnim do analizy rozmieszczenia młak. Wiosną bowiem młaki zdecydowanie bardziej odróżniają się pod względem spektralnym od pozostałych klas pokrycia terenu. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w niższych wartościach błędów wyznaczenia młak zarówno na podstawie wskaźnika NDWI jak i w procesie klasyfikacji nadzorowanej. Wysokie błędy delimitacji młak przy zastosowaniu wskaźnika TWI mogą być nie tylko pochodną niskiej rozdzielczości modelu ASTER, ale również wskazywać na niski wpływ czynnika topograficznego na rozmieszczenie młak na badanym obszarze.

LITERATURA

Adamczyk, J., Będkowski, K. (2007). *Metody cyfrowe w teledetekcji*. Warszawa, Wydawnictwo SGGW.

DeAlwis, D., Easton, Z., Dahlke, H., Philopt, W., Steenhuis, T. (2007). Unsupervised classification of saturated areas using a time series of remotely sensed images. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 1663-1696.

Dworak, T., Hejmanowska, B., Pyka, K. (2011). *Problemy teledetekcyjnego monitoringu środowiska. Tom II: Teledetekcja wód i powierzchni ziemi*. Kraków, Wydawnictwa AGH.

Gao, B. (1996). NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257–266.

Gołąb, J. (1947). Hydrogeologia zachodniego Pasma Gubałowskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 149, 225–239.

Huang, Ch., 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*, 23(8), 1741-1748.

Jarocińska, A, Nasiłowska, S. (2009). Zmienność wilgotności w dolinie górnej Narwi w okresie 20 lat, na podstawie transformacji Tasseled Cap i wskaźników wilgotności, *Teledetekcja Środowiska*, 41.

Kulawardhana, R. W., Thenkabail, P. S., Vithanage, J., Biradar, C., Islam, Md. A., Gunasinghe, S., Alankara, R. (2007). Evaluation of the Wetland Mapping Methods using Landsat ETM+ and SRTM Data. *Journal of Spatial Hydrology*, 7(2), 62-96.

Landsat 7 Science Data Users Handbook (2003). NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt Maryland: Landsat Project Science Office.

Pozyskano z http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf

Lunetta, R., Balogh, M. (1999). Application of Multi-temporal Landsat 5 TM imagery for wetland identification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(11), 1303-1310.

Łajczak, A. (2009). Warunki rozwoju i rozmieszczenie torfowisk w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej. *Prz. Geol.*, 57, 694-702.

Macioszczyk, T. (1959). Niektóre problemy hydrogeologii źródeł zachodniego Podhala. *Prz. Geol.* 8, 372-375.

Majewski, K. (2013). Wpływ budowy geologicznej na występowanie źródeł w zachodniej części Podhala. W: S. Buczyński, S. Staśko, B. Huszcza (red.), *Geothermic. IV International Field Workshop For Young Hydrogeologists*. Wrocław, ARGl.

Małecka, D. (1973). Analiza związków hydraulicznych środkowego Podhala na tle budowy geologicznej regionu. *Biul. Geol. UW.* 15, 87-147.

Pazdro, Z. (1983). *Hydrogeologia ogólna*. Warszawa, Wyd. Geol.

Richter, R., Kellenberger, T., Kaufmann, H. (2009), Comparison of Topographic Correction Methods. *Remote Sensing of Environment*, 1 (3), 184-196.

Teillet, P. M., Guindon, B., Goodenough, D. G. (1982). On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8 (2), 84-106.

Urbański, J. (2008). *GIS w badaniach przyrodniczych*, Gdańsk, Wydawnictwo UG.

Ziemońska, Z. (1966). *Obieg wody w obszarze górskim na przykładzie górnej części dorzecza Czarnego Dunajca*. Warszawa, Wyd. Geol.

cytacja:

Majewski K. (2013). Wykorzystanie darmowych danych teledetekcyjnych do analizy rozmieszczenia młak (na przykładzie zachodniego Podhala): *Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Darmowe dane i open source w badaniach środowiska.*, 2, 76-89.