

Wstępne wyniki klasyfikacji siedlisk łąkowych pod względem odwodnienia w rejonie kopalni węgla brunatnego Bełchatów przy użyciu statystyk strefowych oraz danych satelitarnych

Preliminary results of grassland habitats classification
in terms of moisture conditions in the area of Bełchatów
lignite mine using zonal statistics and satellite imageries

Karol Przeździecki¹, Jarosław Zawadzki¹, Zygmunt Miatkowski²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska,
Zakład Informatyki i Badań Jakości Środowiska

² Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach,
Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

**Słowa kluczowe: siedliska łąkowe, wilgotność gleby, metoda trójkąta, teledetekcja,
klasyfikacja odwodnienia**

Keywords: grasslands, soil moisture, triangle method, remote sensing, moisture conditions
classification

Wstęp

Problem zmian warunków wodnych powodowanych odwadnianiem górotworów przy wydobywaniu surowców mineralnych metodą odkrywkową nie jest odosobniony i nie dotyczy tylko opisywanego obiektu i jego otoczenia. W każdym miejscu na świecie gdzie wydobywa się surowce mineralne metodą odkrywkową niezbędne jest odwadnianie złóż przed rozpoczęciem wydobywania (Zhang, Li, 2013; Li i in., 2014). Przeobrażenia powodowane odwadnianiem są tym dotkliwsze im większy jest obiekt oraz im bardziej czułe i wymagające są siedliska.

Degradacja terenów łąkowych w analizowanym obszarze powodowana jest długotrwałym odwodnieniem powstałym na skutek odwadniania złóż KWB (Kopalni Węgla Brunatnego) Bełchatów. W analizowanym obszarze od wielu lat, na zlecenie kopalni, prowadzone są przez Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego (KPOB ITP) w Falentach, badania terenowe przeobrażenia siedlisk łąkowych oraz strat

w plonowaniu. Na podstawie tych prac wypłacane są odszkodowania dla rolników. Kampanii terenowej w tym zakresie nie można zastąpić całkowicie, jednak klasyfikacja obszarów pod względem odwodnienia metodami teledetekcyjnymi mogłaby znacząco pomóc i umożliwiłaby wstępną ocenę warunków wilgotnościowych jeszcze przed przystąpieniem do badań terenowych.

W celu wykonania takiej klasyfikacji autorzy zdecydowali się wykorzystać tzw. metodę trójkąta i wskaźnik TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*). W przypadku, gdy celem opracowania rozkładu TVDI było wykorzystanie jego wyników jako informacji wspomagającej przy planowaniu badań terenowych, należało określić czy na konkretnym obszarze wartość wskaźnika jest wysoka czy też nie, i na tej podstawie dokonać klasyfikacji.

Obszar badań

Obszar badań obejmuje głównie Kotlinę Szczercowską, będącą południowo-wschodnią częścią Niziny Południowowielkopolskiej. Teren Kotliny Szczercowskiej jest równiną położoną na wysokości od 160 do 180 m n.p.m. Powierzchniowe warstwy utworów czwartorzędowych to piaski eoliczne i osady rzeczne z okresu zlodowacenia północnopolskiego (Miatkowski i in., 2006). We wschodniej części kotliny znajduje się Odkrywkowa Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów.

Analizowany obszar obejmuje zakres szerokości geograficznych od 18,858°E do 19,561°E oraz długości geograficznych od 51,084°N do 51,432°N. Na rysunku 1 przedstawiono fragment zdjęcia satelitarne Landsat 8 OLI (kompozycja barwna z pasm 2, 3 i 4) omawianego obszaru z zaznaczonymi zwałowiskami wewnętrznymi i zewnętrznymi pól Bełchatów oraz Szczerców, należących do Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów, która jest największym tego typu obiektem w Polsce i jednym z największych w Europie. Szacowane rezerwy węgla wynoszą 1930 milionów ton. Roczne wydobycie węgla to około 25 milionów ton. Pokłady węgla znajdują się na dwóch polach węglowych – Bełchatów i Szczerców. W centralnej części (pomiędzy złożami) znajduje się wysad solny, który jest chroniony przed naruszeniem przez sposób eksploatacji złóż: na Polu Bełchatów ze wschodu na zachód natomiast na Polu Szczerców z zachodu na wschód (Motyka i in., 2007).

Przed odwodnieniem, a więc przed rokiem 1975, trwałe użytki zielone w Kotlinie Szczercowskiej występowały prawie wyłącznie w dolinach rzecznych i obniżeniach terenowych, zasilanych trwale lub okresowo wodami gruntowymi. Przed odwodnieniem siedliska tych użytków charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem warunków wodnych i glebowych oraz zbiorowisk roślinnych. Po odwodnieniu terenu, na obszarze leja depresji nastąpiła zmiana typu gospodarki wodnej tych siedlisk na opadowo-retencyjną, w której jedynym źródłem zasilania są opady atmosferyczne (Grzyb, 1990).

Dane

Dane satelitarne

W celu klasyfikacji siedlisk łąkowych pod kątem odwodnienia, zdecydowano się na wykorzystanie bezpłatnych danych pochodzących z misji Landsat. Metodę klasyfikacji opracowano dla danych Landsat 7 ETM+, jednak przy odpowiednich modyfikacjach można

wykorzystać ją do danych Landsat 5TM oraz Landsat 8 OLI/TIRS, nad czym autorzy prowadzą dalsze prace.

W niniejszej pracy autorzy przedstawiają wstępne wyniki klasyfikacji na podstawie następujących zobrażeń Landsat 7 ETM+:

- LE71890242000215SGS00 z dnia 02.08.2000 r.,
- LE71890242003111ASN00 z dnia 21.04.2003 r.,
- LE71890242005180ASN00 z dnia 29.06.2005 r.

W tabeli 1 znajdują się kanały spektralne zdjęć Landsat ETM+ i ich zakresy. Do obliczenia wskaźnika roślinności NDVI zostały wykorzystane pasma 3 i 4. Natomiast do obliczenia temperatury powierzchni zostało wykorzystane dodatkowo pasmo 6.

Tabela 1. Kanały spektralne Landsat 7 ETM+

Kanały spektralne	Długość fali [mikrometry]	Rozdzielczość [metry]
Pasmo 1 – niebieskozielone	0,45-0,52	30
Pasmo 2 – zielone	0,52-0,61	30
Pasmo 3 – czerwony	0,63-0,69	30
Pasmo 4 – bliska podczerwień	0,76-0,90	30
Pasmo 5 – średnia podczerwień	1,55-1,75	30
Pasmo 6 – termalne	10,40-12,50	60
Pasmo 7 – średnia podczerwień	2,08-2,35	30
Pasmo 8 – panchromatyczne	0,52-0,90	15

Dane o pokryciu terenu

W pracy jako źródło danych o pokryciu terenu wykorzystano bazę danych Corine Land Cover 2006 (CLC2006). Do wyodrębnienia z obszaru badań siedlisk łąkowych wykorzystano klasę o kodzie 231 i nazwie „Łąki i pastwiska”.

Dane o zasięgu oddziaływania leja depresji

Dane o zasięgu oddziaływania leja depresji zostały udostępnione przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy. Eksperti ITP od kilkunastu lat prowadzą badania terenowe mające na celu określanie zasięgu ujemnego oddziaływania leja depresyjnego wokół kopalni. Badania prowadzone są metodą fitoindykacyjną wykorzystującą rośliny siedlisk łąkowych jako bioindykatory warunków wilgotnościowych (Oświt, 1992). Dane zostały udostępnione w postaci plików shapefile.

Metodyka badawcza

Wstępne przetwarzanie zdjęć satelitarnych odbyło się przy użyciu programów GRASS GIS oraz Quantum GIS (QGIS). Przetwarzanie objęło, korekcję radiometryczną i korekcję atmosferyczną (metoda *Dark Object Selection*), obliczenie temperatury powierzchni, wskaźnika roślinności NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) oraz geometryzację. Zobrażenia Landsat zostały również przycięte do obszaru przedstawionego w rozdziale „Obszar badań”.

Metoda trójkąta

Stosowaną w niniejszej pracy metodykę obserwacji wilgotności gleby oraz stanu uwilgotnienia siedlisk, wykorzystywaną w dalszym etapie do klasyfikacji odwodnienia, opracowano stosując tzw. metodę trójkąta (ang. *Triangle Method*) (Sandholt i in., 2002; Yang i in.,

2008). Na podstawie metody trójkąta wyznaczany jest temperaturowo-roślinny wskaźnik suszy (ang. *Temperature Vegetation Dryness Index*) TVDI służący do łączenia informacji o temperaturze i stanie roślinności w jednym wskaźniku. Korzyścią płynącą z połączenia obydwu informacji, a zarazem ideą metody, jest zniesienie opóźnienia czasowego, jakie wykazują wartości wskaźników roślinnych pomiędzy wystąpieniem stresu wodnego i zmianą wartości wskaźnika roślinnego, a więc zmianą odpowiedzi spektralnej roślin w paśmie czerwieni i bliskiej podczerwieni. Temperatura powierzchni, która jest skorelowana z wilgotnością gleby, jest też zależna od gęstości i kondycji pokrywy roślinnej. Zmniejsza się ona na skutek ewapotranspiracji. Kiedy intensywność parowania wzrasta, temperatura gruntu spada na skutek pobierania ciepła przez parującą wodę. Podobny efekt wywołuje ewapotranspiracja na terenach pokrytych roślinnością, której intensywność zależy od stopnia pokrycia terenu roślinnością, jej rodzaju, stanu, dostępności wody, warunków meteorologicznych itd. W literaturze metoda trójkąta była i jest wykorzystywana w analizach wilgotności gleby oraz monitorowaniu suszy (np. Wan i in., 2004; Wang i in., 2004; Li i in., 2008; Mallick i in., 2009; Miatkowski i in., 2013).

Na rysunku 2 znajduje się teoretyczny schemat wykresu rozrzutu temperatury powierzchni (ang. *Land Surface Temperature*) i wskaźnika roślinności VI (ang. *Vegetation Index*) obrazujący zasadę działania metody trójkąta.

Wykres rozrzutu, tworzący w przybliżeniu trójkąt, ograniczony jest dwiema prostymi i na podstawie ich parametrów określa się wzór TVDI. Pierwsza z nich nazywana „mokrą” przedstawia sytuację, w której wilgotność gleby jest „maksymalna”, a więc reprezentuje ona stan pełnego nasycenia. Druga z nich nazywana „suchą” przedstawia sytuację, w której wilgotność gleby osiąga „minimum”, w rozumieniu braku wody dostępnej dla roślin. Wskaźnik suszy TVDI nie jest liczony piksel po pikselu, jest on wynikiem obserwacji stanów temperatury i wartości wskaźnika roślinności występujących w całym badanym obszarze. W związku z powyższym piksele znajdujące się na krawędzi „mokrej” posiadają wartość 0 i odpowiadają miejscom o największej wilgotności na analizowanym obszarze dla pewnego przedziału wartości wskaźnika wegetacyjnego. Natomiast piksele znajdujące się na krawędzi „suchej” odnoszą się do miejsc o najmniejszej wilgotności i posiadają wartość 1. Co ważniejsze, stan suszy opisywanej przez indeks TVDI jest sytuacją braku wody dostępnej dla roślin, co jest szczególnie ważne w przypadku podejmowanego tematu. W związku z powyższym wilgotność gleby określana przez wskaźnik nie jest wilgotnością na konkretnej głębokości lecz jest to wilgotność w strefie korzeniowej.

W celu wyliczenia wskaźnika suszy TVDI na badanym obszarze należy najpierw policzyć współczynniki kierunkowe prostych „suchej” i „mokrej”. Wskaźnik wyliczono z poniższych wzorów (wg Wang i in., 2004):

$$TVDI = \frac{LST - LST_{\min}(VI)}{LST_{\max}(VI) - LST_{\min}(VI)} \quad (1)$$

gdzie:

- LST – wartość temperatury [°K] powierzchni dla danego piksela,
- VI – wartość wskaźnika roślinności dla tego piksela,
- $LST_{\min}(VI)$ – funkcja liniowa przedstawiająca krawędź „mokrą”,
- $LST_{\max}(VI)$ – funkcja liniowa przedstawiająca krawędź „suchą”,

$$LST_{\max}(VI) = a_{\max} + b_{\max} \cdot VI \quad (2)$$

$$LST_{\min}(VI) = a'_{\min} + b'_{\min} \cdot VI \quad (3)$$

gdzie:

a_{\min} , b_{\min} , a'_{\max} , b'_{\max} we wzorach 2 i 3 oznaczają odpowiednio współczynniki kierunkowe prostej „mokrej” i „suchej”.

W niniejszej pracy jako wskaźnik roślinności wykorzystano NDVI.

Statystyki strefowe

Statystyki strefowe (ang. *zonal statistics*) są jedną z funkcji strefowych, których podstawowym zadaniem jest charakteryzowanie stref wyznaczonych na obszarze badań (Urbański, 2008). W pracy do klasyfikacji użyto średniej wartości pikseli TVDI. Obliczenia statystyk strefowych wykonano w programie Quantum GIS. W tym celu użyto modułu Zonal Statistics z bazy geoalgorytmów QGIS. W programie użyto warstwy rastrowej TVDI z obszarów łąkowych oraz warstw wektorowych zawierających obszary Łąkowe i Pastwiska o kodzie 231 z Corine Land Cover 2006 podzielonych kwadratami o boku 200 m, 1 km oraz 5 km. Warstwy wyjściowe to warstwy wektorowe poligonowe, które w tabeli atrybutów zawierają statystyki policzone dla poszczególnych stref.

Klasyfikacja pod względem odwodnienia

Do klasyfikacji siedlisk łąkowych pod względem odwodnienia wykorzystane zostały progi procentowe znormalizowanego TVDI. Autorzy zdecydowali się na normalizację TVDI w celu usunięcia wartości odstających. Normalizację obliczono stosując następujący wzór:

$$TVDI_n = \frac{(TVDI - TVDI_2)}{(TVDI_{98} - TVDI_2)} \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie:

$TVDI_n$ – znormalizowana wartość wskaźnika *TVDI* wyrażona w procentach,

$TVDI_2$ – 2. percentyl *TVDI*,

$TVDI_{98}$ – 98. percentyl *TVDI*.

W celu ustalenia wartości progu procentowego *TVDI* zdecydowano się na wykorzystanie statystyk strefowych, liczonych w warstwie zawierającej poligony będące iloczynem klasy 231 CLC2006, z warstwą zawierającą poligony w kształcie kwadratów o boku 5 km dla lat, w których autorzy byli w posiadaniu danych referencyjnych – o zasięgach oddziaływania leja depresji określonych przez ITP. Były to lata 2000, 2003 i 2005. Wybór poligonów o boku 5 km podyktowany był chęcią przestrzennego uśrednienia warunków wilgotnościowych w poligonach wyznaczonych do obliczeń. Jak widać na rysunku 3 nie są to poligony w kształcie kwadratów o dużej powierzchni, ale są bardzo nierówne do kształtów podłużnych, co uwarunkowane jest występowaniem siedlisk łąkowych głównie w pobliżu cieków wodnych. W celu wyznaczenia wartości, która stanowi granicę pomiędzy obszarami będącymi pod wpływem odwodnienia a nieodwodnionymi, do obliczenia wartości progowej

Tabela 2. Klasyfikacja obszarów łąkowych pod względem odwodnienia

Lp.	Klasa	Zakres procentowy	Kolor
1	Łąki odwodnione	62,3–100	czerwony
2	Łąki umiarkowanie odwodnione	50,4–62,3	zielony
3	Łąki nieodwadnione	0–50,4	niebieski

sy zostały wyznaczone tak, jak to przedstawiono w tabeli 2.

TVDI wybrano tylko te poligony, które przecinały się z granicą leja określoną przez ITP (przykład na rysunku 3). Jako próg górny wybrano ten, który reprezentował wartość minimalną, a więc wartość z roku 2000, natomiast jako dolny ten, który reprezentował wartość maksymalną, a więc ten z roku 2003. Wartość z roku 2005 była pomiędzy. W związku z powyższym klasyfikacji

Wyniki

Wyniki klasyfikacji

Klasyfikacja terenów łąkowych po względem odwodnienia, jak opisano w metodyce, została wykonana na podstawie wyników statystyk strefowych. Statystyki te zostały policzone w oryginalnych poligonach CLC2006 oraz w poligonach podzielonych siatkami kwadratowymi trzech wielkości dla zdjęć z trzech terminów.

Na rysunkach od 4 do 6 przedstawiono wyniki klasyfikacji dla 3 analizowanych lat, w postaci poligonów na podkładzie z kompozycji barwnej RGB ze zdjęć Landsat, dla poligonów CLC2006 podzielonych siatką 1 km.

Wpływ dysagregacji poligonów na klasyfikację

Na dokładność klasyfikacji w znaczący sposób wpływa dysagregacja oryginalnych poligonów CLC2006 na poligony podzielone siatkami o różnych wielkościach oczek (200 m, 1 km oraz 5 km). Sytuację obrazuje rysunek 7, na którym z lewej strony znajduje się poligon o id pl-90178, którego powierzchnia wynosi 3358 ha. Jest on symetrycznie rozmieszczony po obu stronach granicy leja. W oryginalnych poligonach jest on, w roku 2003, sklasyfikowany jako umiarkowanie odwodniony.

Z drugiej strony, w przypadku malejącej wielkości siatki obserwujemy rosnące wartości procentowe terenów odwodnionych poza lejem. Jest to widoczne przy wielkości siatki 200 m. Taka sytuacja może być powodowana tym, że przy dużej fragmentaryzacji poligonów statystyki liczone w małych obszarach mogą wprowadzać szum informacyjny. Ponadto może to wynikać ze zmian użytkowania terenu oraz olbrzymiego rozdrobnienia działek, których liczba wynosi na obszarze leja oraz na jego obrzeżach około 65 000. Jakkolwiek podział oryginalnych poligonów CLC2006 niesie za sobą zmiany w klasyfikacji, to nie można jednoznacznie stwierdzić, że któryś podział jest najlepszy. Wybór najlepszego podziału w dużej mierze byłby uwarunkowany celem badań.

Analiza obszaru charakterystycznego – Doliny Niecieczy

Dolina Niecieczy, znajdująca się w północno-zachodniej części zasięgu oddziaływania leja depresji, jest charakterystycznym obszarem głównie z tego powodu, iż została ona odwodniona po roku 2000. W tym właśnie roku rozpoczęto eksploatację systemu odwodnienia

wgłębnego pola Szczerców. Powierzchnia leja depresji wód gruntowych zwiększyła się wówczas z około 470 km² w 2002 roku do około 711 km² w 2003 roku, osiągając swoje maksimum w roku 2004 wynoszące 756 km². Największy przyrost powierzchni leja depresji wystąpił między rokiem 2001 i 2002, w zachodniej części strefy jego oddziaływania (Jończyk, Szczepiński, 2004; Miatkowski i in., 2006; Motyka i in., 2007). Opisana sytuacja wyraźnie widoczna jest na rysunku 8.

Kompleks leżący w dolinie Niecieczy, oznaczony numerem 1 na rysunku 8, został odwodniony po roku 2000. Jest to wyraźnie widoczne na scenie z roku 2003. Na scenie z roku 2000 jedynie obszary leżące na wschodnich obrzeżach tego kompleksu, w okolicy wsi Kopy oraz Marcelin zostały sklasyfikowane jako odwodnione lub umiarkowanie odwodnione.

Na obu zdjęciach satelitarnych (z 2000 i 2003 roku) widać, iż kompleks łąkowy oznaczony numerem 2 na rysunku 8 jest odwodniony. Są to siedliska łąkowe w dolinie Krasówki. Kompleks ten został odwodniony już w latach 1984-1986. Z biegiem lat ulegał postępującej degradacji i w 1999 roku zaliczono go do jednych z najbardziej przeobrażonych.

Podsumowanie i wnioski

W ramach tej pracy, do klasyfikacji siedlisk łąkowych pod kątem odwodnienia wykorzystano obserwacje satelitarne w paśmie widzialnym, bliskiej podczerwieni i podczerwieni termalnej. Jako główną metodę badawczą wykorzystano metodę trójkąta oraz statystyki strefowe.

Wstępne wyniki klasyfikacji terenów łąkowych za pomocą statystyk strefowych oraz TVDI są obiecujące i wykazują dużą zgodność względem granicy oddziaływania leja depresji wyznaczonych przez ITP metodami terenowymi.

Ponadto klasyfikacja okazała się skuteczna na obszarach leżących na krawędziach zasięgu oddziaływania, bardzo dokładnie ilustrując zmianę klasy odwodnienia przy przejściu przez granice oddziaływania leja depresji określone przez ITP w badaniach terenowych. Analiza obszaru charakterystycznego, jakim jest dolina Niecieczy odwodniona po roku 2000, również wskazuje na poprawność działania zaproponowanej metody klasyfikacji.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że roślinność łąkowa jest bardzo czułym na odwodnienie elementem środowiska oraz, że doskonale nadaje się do wykorzystania w badaniach odwodnienia stosując odpowiednie metody satelitarne.

Wyniki klasyfikacji, jako informacja dodatkowa, mogą być pomocne przy planowaniu badań terenowych. Ponadto, ogromną zaletą klasyfikacji stopnia odwodnienia gleby opisaną metodą teledetekcyjną w porównaniu do badań terenowych, jest możliwość przeprowadzenia badań na relatywnie dużym obszarze, przy niewielkim nakładzie pracy.

Literatura

- Grzyb S., 1990: Użytki zielone przed i po powstaniu leja depresyjnego KWB Belchatów. [W:] *Możliwości i sposoby przywrócenia użyteczności produkcyjnej użytków zielonych oraz zasady gospodarowania w leju depresyjnym KWB Belchatów*. Wydawnictwo Spółki z o.o. Ekoterra.
- Jończyk I., Szczepiński J., 2004: Czynniki rozwoju leja depresyjnego w rejonie KWB Belchatów, Materiały sympozjum, Belchatów, 2-4 czerwca 2004 r.: 159-168.
- Li Z., Wang Y., Zhou Q., Wu J., Peng J., 2008: Spatiotemporal variability of land surface moisture based on vegetation and temperature characteristics in Northern Shaanxi Loess Plateau, China. *Journal of Arid Environments* 72: 974-985.

- Li Y., Zhang F., Han Z., Wang P., Chen H., Zhang Z., 2014: Evolution characteristics and influence factors of deep groundwater depression cone in North China Plain. China – A case study in Cangzhou region. *Journal of Earth Science* 25: 1051-1058.
- Mallick K., Bhattacharya B., Patel N., 2009: Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1327-1342.
- Miatkowski Z., Lewiński S., Kowalik W., Sołtysik A., Turbiak J., 2006: Przydatność zdjęć satelitarnych Landsat TM do identyfikacji intensywnie odwodnionych siedlisk hydrogenicznych w rejonie KWB Bełchatów. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie nr 16, Rozprawy naukowe i monografie. IMUZ, Falenty.
- Miatkowski Z., Przędziecki K., Zawadzki J., 2013: Obserwacje zróżnicowania przestrzennego warunków wodnych trwałych użytków zielonych w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni w regionie oddziaływania kopalni odkrywkowej węgla brunatnego. *Roczniki Geomatyki* t. 11, z. 4(61): 59-66, PTIP, Warszawa.
- Motyka J., Czop M., Jończyk W., Stachowicz Z., Jończyk I., Martyniak R., 2007: Wpływ głębokiej eksploatacji węgla brunatnego na zmiany środowiska wodnego w rejonie kopalni „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* r. 31, z. 2: 477-487, AGH.
- Oświt J., 1992: Identyfikacja warunków wilgotnościowych w siedliskach łąkowych za pomocą wskaźników roślinnych (metoda fitoindykacji). *Bibl. Wiad. IMUZ* 79: 39-68.
- Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J., 2002: A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment* 79(2-3): 213-224.
- Urbański J., 2008: GIS w badaniach przyrodniczych. Centrum GIS, Uniwersytet Gdański.
- Wan Z., Wang P., Li X., 2004: Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing* 25: 61-72.
- Wang C., Qi S., Niu Z., Wang J., 2004: Evaluating soil moisture status in China using the temperature-vegetation dryness index (TVDI). *Canadian Journal of Remote Sensing* 30: 671-679.
- Yang X., Wu J. J., Shi P. J., Yan F., 2008: Modified triangle method to estimate soil moisture status with MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) products. *The International Archives of the Photogrametry* 37: 555-560.
- Zhang Y., Li G.M., 2013: Influence of south-to-north water diversion on major cones of depression in North China Plain. *Journal Environmental Earth Sciences* 71: 3845-3853.

Streszczenie

Wydobycie surowców mineralnych metodami odkrywkowymi niesie za sobą konieczność odwadniania złóż mineralnych. Na skutek działania systemu odwadniającego na dużym obszarze powstaje lej depresji wód podziemnych, który ujemnie oddziałuje na środowisko. Na skutek obniżenia zwierciadła wód podziemnych w środowisku zachodzą często nieodwracalne zmiany. Sytuacja ta jest szczególnie widoczna w przypadku siedlisk hydrogenicznych, które ze swojej natury są zależne od wody. Zasięg leja depresji wyznaczony za pomocą pomiarów w studniach piezometrycznych nie zawsze daje informacje na temat jego faktycznego oddziaływania na zbiorowiska roślinne. Dzieje się tak ponieważ wiele zależy od głębokości ukorzenia roślin.

W pracy autorzy przedstawiają metodykę klasyfikacji terenów łąkowych pod względem odwodnienia oraz uzyskane przy jej zastosowaniu wstępne wyniki z obszaru Kotliny Szczercowskiej znajdującej się pod wpływem systemu odwadniającego kopalni węgla brunatnego PGE GiEK S.A. O/KWB Bełchatów. Analizy zostały wykonane na podstawie zdjęć misji Landsat (5TM, 7ETM oraz 8 OLI/TIRS). Do najważniejszych etapów opisywanej metodyki należy zaliczyć tzw. metodę trójkąta pozwalającą na wyznaczenie wskaźnika TVDI (ang. Temperature-Vegetation Dryness Index) oraz zastosowanie statystyk strefowych. Jako źródło danych o pokryciu terenu wykorzystano bazę Corine Land Cover 2006. Wyniki uzyskane za pomocą metodyki teledetekcyjnej zostały porównane z danymi o zasięgu oddziaływania leja depresji otrzymanymi z pomiarów naziemnych przez specjalistów z Kujawsko-Pomor-

skiego Ośrodka Badawczego Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach. Wyniki są obiecujące i dobrze dopasowują się do przebiegu zasięgu oddziaływania leja depresji. Umożliwia to stosowanie opisywanej metodyki do systematycznej klasyfikacji siedlisk łąkowych badanego terenu, przy niewielkich nakładach finansowych.

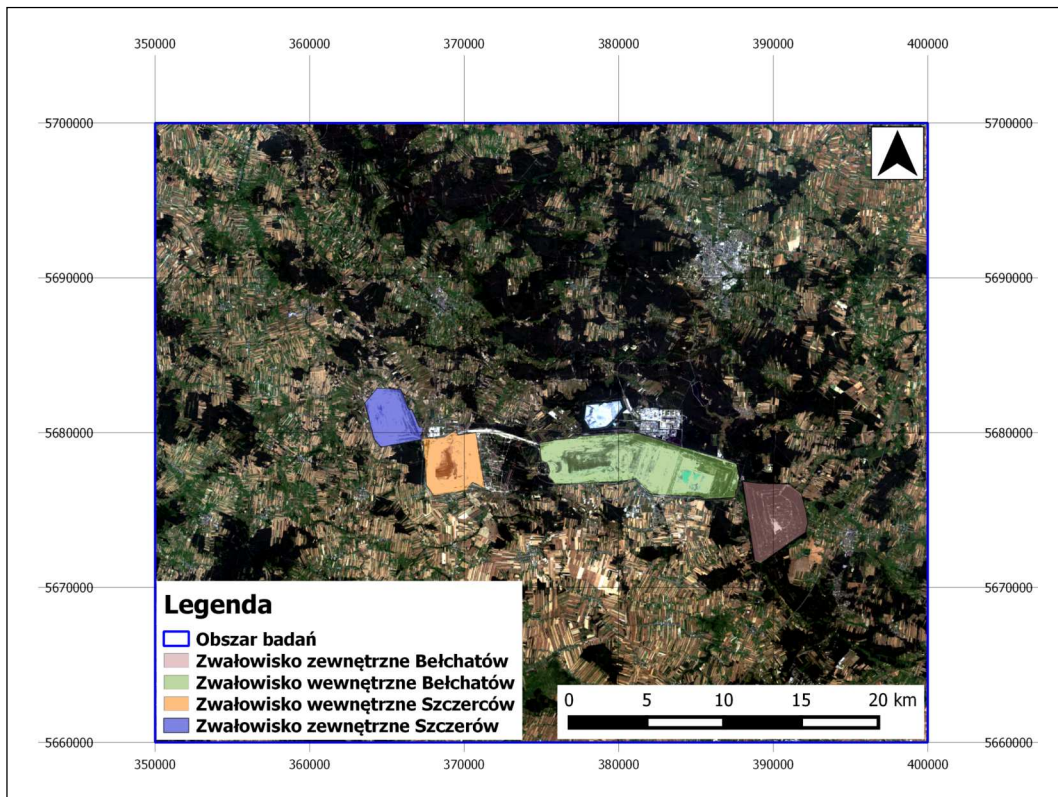
Abstract

Mineral extraction in open-cast mines entails the necessity of dewatering mineral deposits. As a result of operations of a drainage system over a large area a depression cone of groundwater is formed which adversely affects the environment. Lowering of the groundwater table results in environmental changes which frequently could be irreversible. This situation is particularly evident in the case of hydrogenic habitats which by their nature are dependent on water. The range of the depression cone determined by measuring in piezometric wells does not always provide information on its actual impact on plant communities. This is caused by the high influence of the rooting depth of plants. The authors present a methodology for the classification of grassland areas in terms of moisture conditions and obtained preliminary results from the Szczercowska Valley influenced by the drainage system of the lignite mine GiEK PGE SA O / KWB Bełchatów. The analysis were made on the basis of Landsat 7 ETM+ images. The most important part of the described methods is the, so-called, triangle method which is used to calculate TVDI (ang. Temperature-dryness Vegetation Index) and zonal statistics. Corine Land Cover 2006 data was used as a source of land cover data. The results obtained by means of remote sensing methods were compared with the data describing the range of the influence of the depression cone obtained from field measurements performed by experts from the Kujawsko-Pomorskie Research Centre of the Institute of Technology and Life Sciences in Falenty. The results are promising and they coincide with the impact range of the depression cone established by field measurements. This allows to use the described methodology for systematic and inexpensive classification of grassland habitats in the studied area.

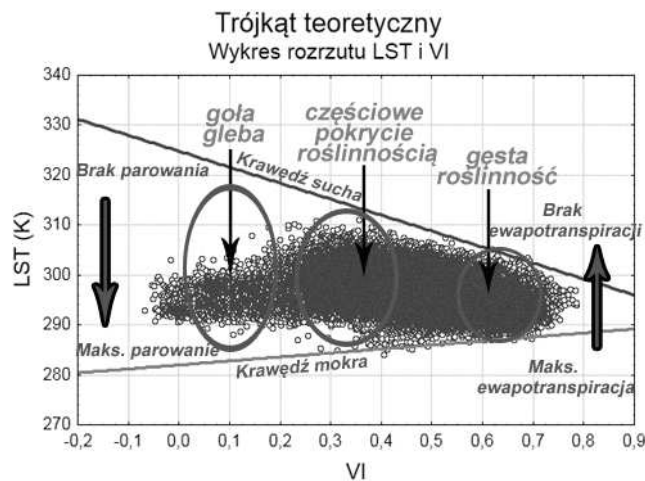
dr inż. Karol Przeździecki
karol_przedziecki@is.pw.edu.pl

prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki
j.j.zawadzki@gmail.com

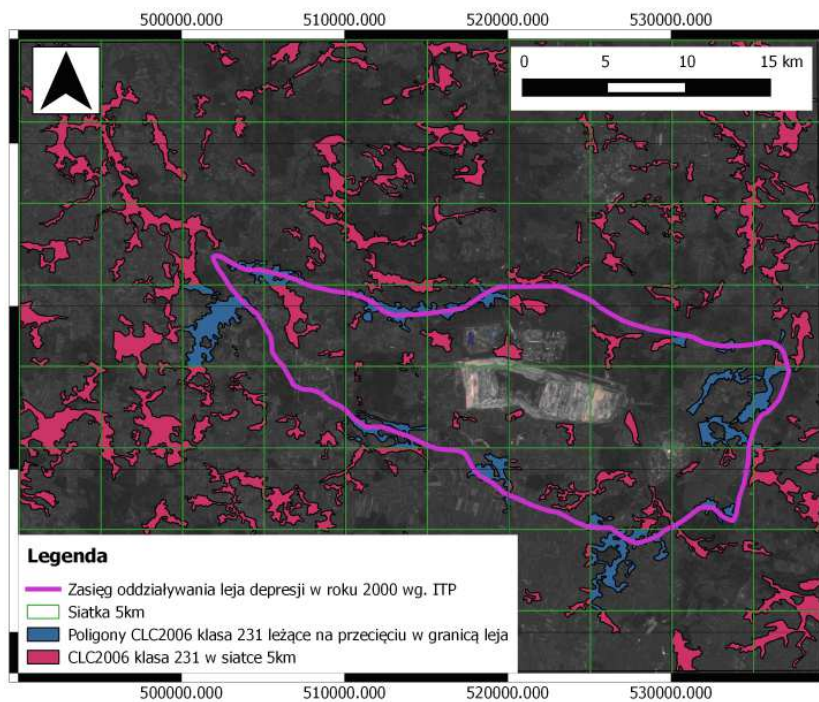
dr hab. inż. Zygmunt Miatkowski, prof. ITP
z.miatkowski@itep.edu.pl



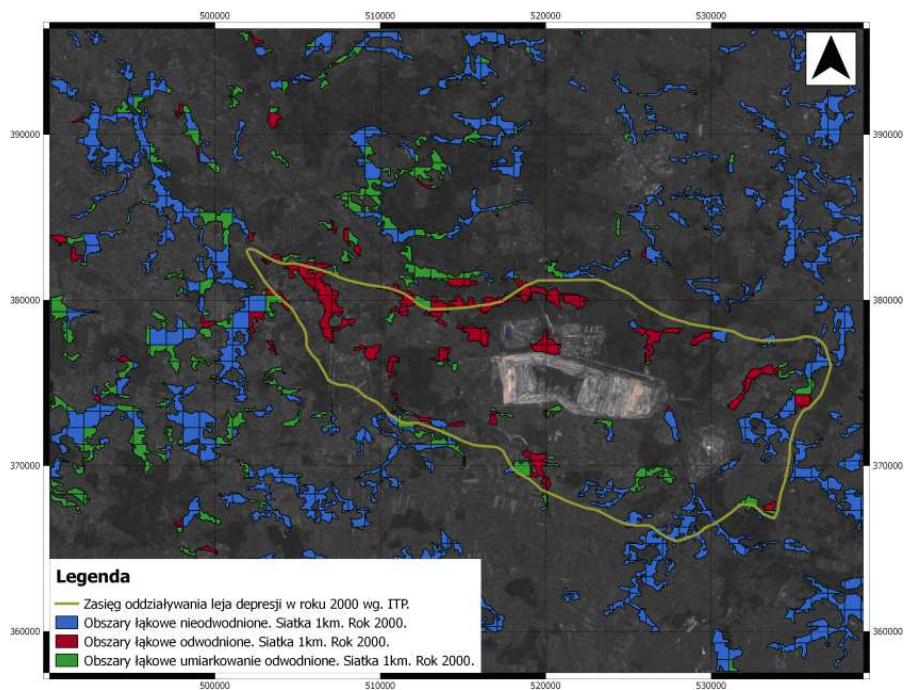
Rysunek 1. Fragment zdjęcia satelitarnego Landsat 8 OLI z 29.07.2014r. przedstawiający obszar badawczy z zaznaczonymi zwałowiskami zewnętrznymi oraz wewnętrznymi pól Bełchatów i Szczerców



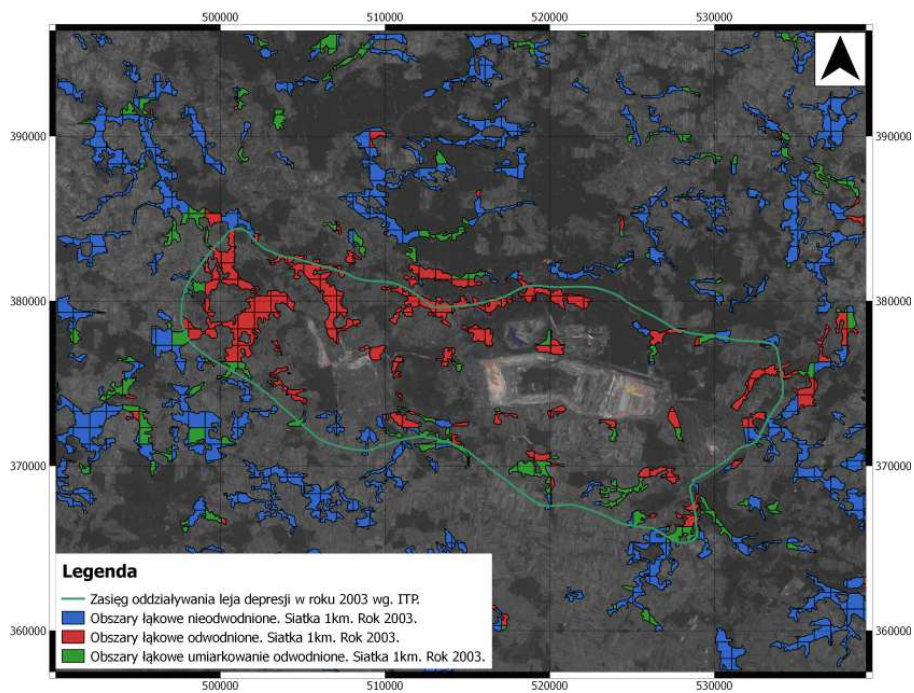
Rysunek 2. Schemat metody trójkąta (opracowanie własne)



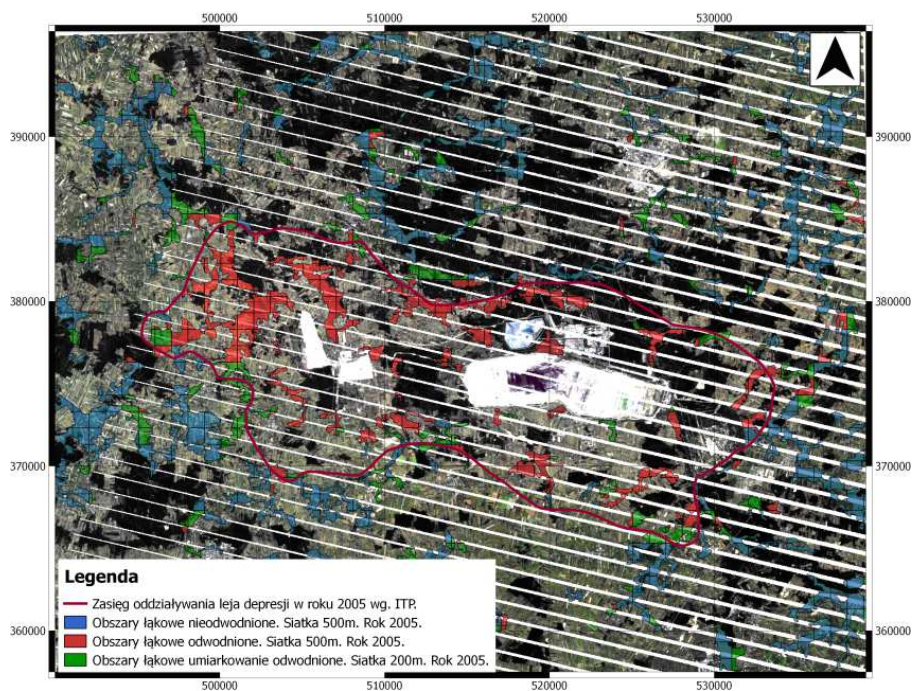
Rysunek 3. Wybór poligonów przecinających się z granicą leja depresji wyznaczoną przez ITP w roku 2005



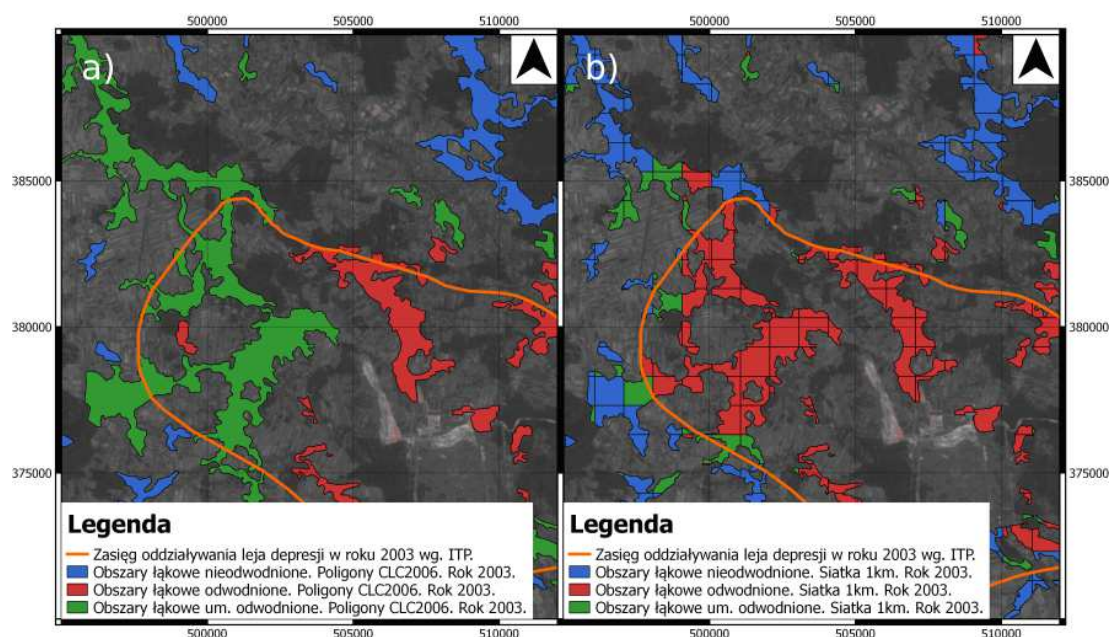
Rysunek 4. Obszary łąkowe z CLC2006 podzielone siatką 1000 m sklasyfikowane na 3 kategorie odwodnienia dla roku 2000 z nałożonym zasięgiem oddziaływania leja według ITP z roku 2000



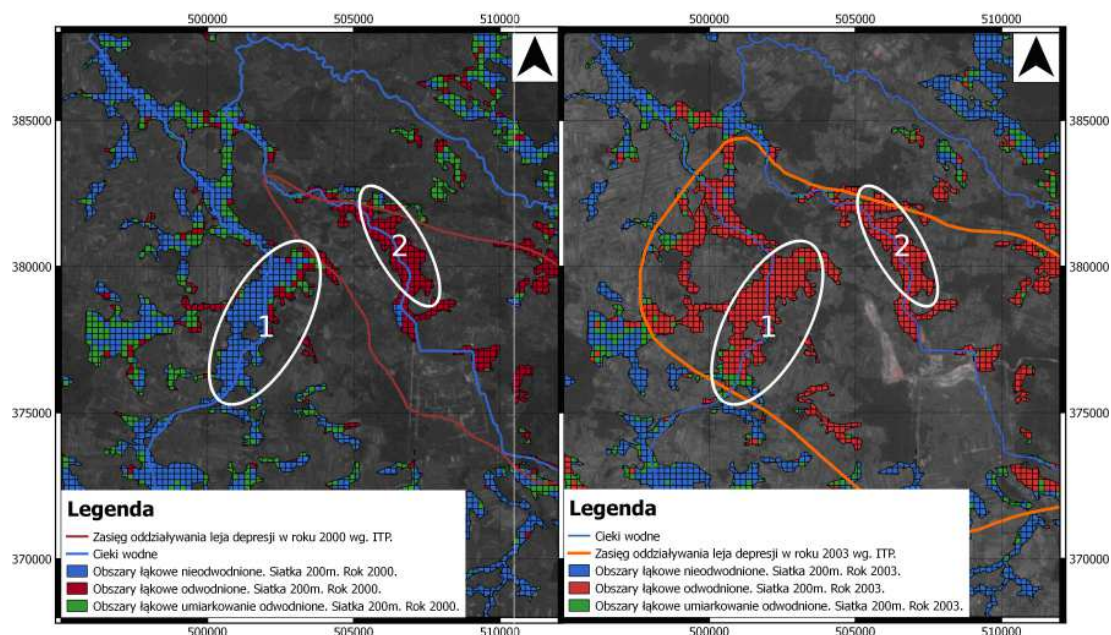
Rysunek 5. Obszary łąkowe z CLC2006 podzielone siatką 1000 m sklasyfikowane na 3 kategorie odwodnienia dla roku 2003 z nałożonym zasięgiem oddziaływania leja według ITP z roku 2003



Rysunek 6. Obszary łąkowe z CLC2006 podzielone siatką 500 m sklasyfikowane na 3 kategorie odwodnienia dla roku 2005 z nałożonym zasięgiem oddziaływania leja według ITP z roku 2005



Rysunek 7. Porównanie klasyfikacji obszarów łąkowych w północno-wschodniej części oddziaływania leja depresji wykonanej przy użyciu a) oryginalnych poligonów CLC2006, oraz b) poligonów CLC2006 podzielonych siatką 1 km



Rysunek 8. Klasyfikacja pod względem odwodnienia w roku 2000 (strona lewa) oraz roku 2003 (strona prawa) z zaznaczonymi kompleksami łąkowymi w dolinie Niecieczy (nr 1) oraz w dolinie Krasówki (nr 2)