

**OBSERWACJE ZRÓŻNICOWANIA PRZESTRZENNEGO
WARUNKÓW WODNYCH
TRWAŁYCH UŻYTKÓW ZIELONYCH
W ZAKRESIE WIDZIALNYM I BLISKIEJ PODCZERWIENI
W REGIONIE ODDZIAŁYWANIA
KOPALNI ODKRYWKOWEJ WĘGLA BRUNATNEGO***

OBSERVATIONS OF SPATIAL DIVERSIFICATION
OF WATER CONDITIONS IN PERMANENT GRASSLANDS
IN THE VISIBLE AND NEAR INFRARED SPECTRUM
IN THE IMPACT AREA
OF BROWN COAL OPENCAST MINE

Zygmunt Miatkowski¹, Karol Przeździecki², Jarosław Zawadzki²

¹Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy,
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

²Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Informatyki i Badań Jakości Środowiska

Słowa kluczowe: wilgotność gleby, metoda trójkąta, teledetekcja, odwodnienie terenu
Keywords: soil moisture, triangle method, remote sensing, terrain drainage

Wstęp

Zawartość wody w glebie i pokrywie roślinnej są kluczowymi parametrami wielu procesów zachodzących na powierzchni ziemi. Dostępność wody jest również czynnikiem limitującym przyrost biomasy (Gruszczynska, 1998). Skutkuje to zmniejszeniem plonów, ich jakości, a zatem przekłada się bezpośrednio na efekty finansowe w produkcji rolniczej i leśnej. Eksploatacja złóż surowców mineralnych wiąże się ze zmianą warunków hydrologicznych na skutek rozległego odwodnienia terenu. Na terenach, na których wskutek głębokiego odwodnienia obniżyło się zwierciadło wód podziemnych może wystąpić zanik zasilania wodą strefy korzeniowej roślin (Dulewski, Uzarowicz, 2004). Taka sytuacja powoduje przeobrażenia siedlisk prowadzące do zmniejszenia ich wartości przyrodniczej i gospodarczej. Zakres

* Praca jest współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, projekt „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej”.

i szybkość tych przekształceń zależy między innymi od pierwotnych warunków wodnych, rodzaju gleb oraz od warunków meteorologicznych. Najbardziej wrażliwe na nagłe zmiany warunków hydrologicznych są ekosystemy zależne od wody, między innymi siedliska hydrogeniczne użytkowane najczęściej jako trwałe użytki zielone. Takie siedliska występują z reguły w dolinach rzek, cieków wodnych oraz lokalnych obniżeniach terenu.

Ocena warunków wodnych i wilgotności gleby na dużych obszarach, zwłaszcza w warunkach dynamicznych zmian wywołanych czynnikami naturalnymi lub antropogenicznymi stanowi współcześnie poważny problem metodyczny, a ze względu na duży nakład pracy – także problem finansowy. Podejmowane są liczne badania zmierzające do zwiększenia precyzji pomiarów naziemnych wilgotności gleby, poprawy dokładności i wiarygodności uogólnienia przestrzennego wyników punktowych pomiarów oraz zmniejszenia nakładu pracy poprzez zastosowanie technik teledetekcyjnych.

W niniejszej publikacji autorzy prezentują metodę oceny wilgotności gleby za pomocą obrazów satelitarnych w paśmie optycznym, bliskiej podczerwieni i podczerwieni termalnej uzyskanych za pomocą sensora ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +) znajdującego się na pokładzie satelity Landsat 7. Obszarem badawczym jest Kotlina Szczercowska znajdująca się pod wpływem systemu odwadniającego kopalni węgla brunatnego PGE GiEK S.A. O/KWB Bełchatów.

Celem badań była ocena przydatności wskaźnika suszy TVDI (z ang. *Temperature-vegetation dryness index*) do analizy teledetekcyjnej przestrzennego zróżnicowaniu warunków wodnych siedlisk łąkowych w rejonie oddziaływania kopalni odkrywkowej węgla brunatnego.

Obszar badań

Obszar badań obejmuje głównie Kotlinę Szczercowską, będącą południowo-wschodnią częścią Niziny Południow Wielkopolskiej. Teren kotliny 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 kopalnia odkrywkowa węgla brunatnego. Kotlina Szczercowska znajduje się w dużej części w zasięgu leja depresji wód gruntowych powstałego wskutek odwadniania odkrywek „Bełchatów” i „Szczerców”. 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). Na rysunku 2 przedstawiono fragment zdjęcia satelitarnego omawianego obszaru.

Problem badawczy

Długotrwałe odwodnienie terenu spowodowane obniżeniem poziomu wody gruntowej wskutek drenującego działania systemu odwadniającego odkrywki stanowi poważny i złożony problem gospodarczy i przyrodniczy regionu. Wieloletnie odwadnianie terenu spowodo-

wało zmianę warunków hydrologicznych na dużych obszarach wokół kopalni oraz zmieniło reżim wodny niektórych gleb i siedlisk. Siedliska te w wyniku gwałtownej zmiany warunków wodnych podlegają złożonym procesom przeobrażeń, prowadzącym z reguły do obniżenia ich dotychczasowej wartości przyrodniczej i gospodarczej. Największym przeobrażeniem uległy siedliska hydrogeniczne i silnie uwodnione ekosystemy, które kształtowały się pod dominującym wpływem wody (Grzyb, 1990).

Zmiana warunków wodnych polegająca na obniżeniu poziomu wody gruntowej oraz trwałego lub okresowego zaniku udziału zasilania gruntowego w bilansie wodnym niektórych siedlisk łąkowych powoduje wzrost wielkości niedoborów wodnych dla roślinności tych siedlisk oraz wzrost częstości i nasilenia suszy glebowej. W efekcie zmienia się skład gatunkowy zbiorowisk roślinnych i zmniejsza się produkcja biomasy na terenach użytkowanych rolniczo.

Takie zmiany, obejmujące duże obszary, są rejestrowane na wielospektralnych obrazach satelitarnych. W pracy przyjęto założenie, że wskaźnik suszy TVDI będzie przydatnym narzędziem do analizy teledetekcyjnej tych zmian, a jego zastosowanie dostarczy nowych, bardziej precyzyjnych informacji o przestrzennym zróżnicowaniu warunków wodnych siedlisk łąkowych znajdujących się pod wpływem leja depresji wód gruntowych kopalni odkrywkowej.

Metodyka badawcza

Przygotowanie danych

Do analiz wybrano obrazy z satelity Landsat 7 ETM+ wykonane w sierpniu w latach: 2000, 2002 i 2010 (tab. 1). Pierwsze dwa lata (2000 i 2002) przypadają na okres najbardziej znaczącego przyrostu zasięgu odwodnienia, który wystąpił w latach 2000-2003 i był spowodowany uruchomieniem systemu odwadniającego na Polu Szczerców. Powierzchnia leja depresji wód gruntowych zwiększyła się wówczas z około 470 km² w 2002 r. do około 711 km² w 2003 r. Największy przyrost powierzchni leja depresji wystąpił między rokiem 2001 i 2002 w zachodniej części strefy jego oddziaływania (Jończyk, Szczepiński, 2004; Miatkowski, i in., 2006). Negatywne skutki odwodnienia terenu dla trwałych użytków zielonych zostały w 2002 r. jeszcze spotęgowane wystąpieniem długotrwałej suszy atmosferycznej. Zobrazowanie z 2010 r. ilustruje już skutki wieloletniego odwodnienia tych siedlisk.

Zobrazowania Landsat ETM+ wykonane po 31.05.2003 r. są niepełnowartościowe z powodu usterki korektora skanowania (rys. 3). Mimo usterki korektora zdecydowano się na wykorzystanie danych z Landsat 7 ETM+, zamiast danych z Landsat 5 TM, ponieważ mają one większą rozdzielczość kanału podczerwieni termalnej, wynoszącej 60 m dla Landsat 7 ETM+ i 120 m dla Landsat 5 TM. W celu eliminacji wpływu fragmentów obrazu, w których był brak danych na wyniki badań, zostały one pominięte w analizach.

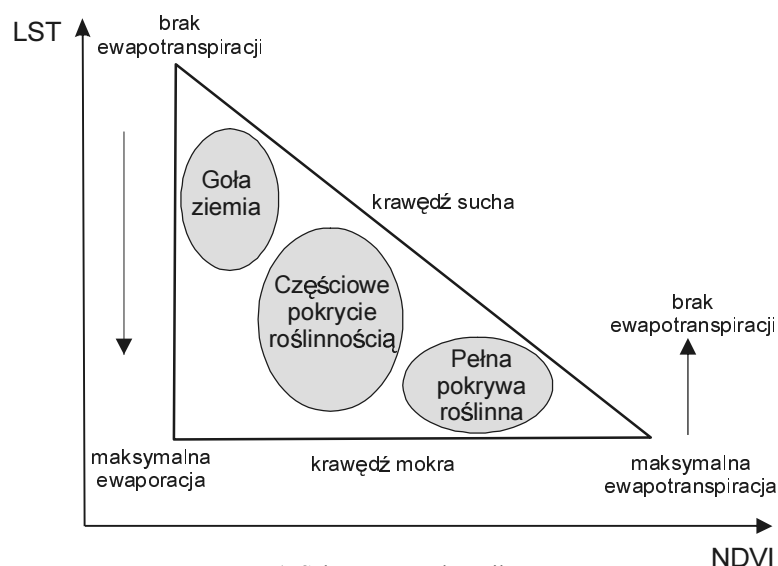
Tabela 1. Dane Landsat ETM+ użyte do analiz

Nazwa produktu	Data zobrazowania	Satelita	Sensor
LE71890242000215SGS00	2000-08-02	Landsat 7	ETM+
LE71890242002236EDC00	2002-08-24	Landsat 7	ETM+
LE71890242010226ASN00	2010-08-14	Landsat 7	ETM+

Wstępne przetwarzanie zdjęć satelitarnych odbyło się przy użyciu programów GRASS oraz Quantum GIS. Przetwarzanie objęło korekcję atmosferyczną, korekcję radiometryczną, obliczenie temperatury powierzchni, wskaźnika roślinności NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) oraz geometryzację. Zdjęcia zostały również przycięte do obszaru zainteresowania, leżącego pomiędzy $18,86^\circ$ a $19,56^\circ$ długości geograficznej wschodniej oraz $51,08^\circ$ a $51,43^\circ$ szerokości geograficznej północnej.

Metoda trójkąta i wskaźnik TVDI

Obserwacje wilgotności gleby oraz stanu uwilgotnienia siedlisk w paśmie optycznym i podczerwonym prowadzi się stosując tzw. metodę trójkąta (z ang. *triangle method*) (Sandholt i in., 2002; Yang i in., 2008). Metoda trójkąta, na podstawie której wyznaczany jest temperaturowo-vegetacyjny wskaźnik suszy (z ang. *Temperature Vegetation Dryness Index*, TVDI) służący do połączenia informacji o temperaturze i kondycji roślinności w jednym wskaźniku. Korzyścią płynącą z połączenia obydwu informacji, a zarazem ideą metody jest zniesienie opóźnienia czasowego, jakie wykazują wartości wskaźników vegetacyjnych pomiędzy wystąpieniem stresu wodnego i zmianą wartości wskaźnika, a więc zmianą odpowiedzi spektralnej roślin w paśmie czerwieni i bliskiej podczerwieni. Temperatura powierzchni również jest skorelowana z wilgotnością gleby, jest też zależna od gęstości i kondycji pokrywy roślinnej. Temperatura powierzchni zmniejsza się na skutek ewaporacji, jak i transpiracji. Kiedy intensywność ewaporacji 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, kondycji itd., dostępności wody glebowej i warunków meteorologicznych. W literaturze istnieje wiele prac wykorzystujących ten wskaźnik (Wan i in., 2004; Wang i in., 2004; Li i in., 2008; Mallick i in., 2009; Sun i in., 2008; Wang i in., 2010; Chen i in., 2011). Na rysunku 1 znajduje się teoretyczny schemat wykresu rozrzutu LST (z ang. *Land surface temperature*) i VI (z ang. *Vegetation index*) obrazujący zasadę działania metody trójkąta.



Rys. 1. Schemat metody trójkąta

Wykres rozrzutu, tworzący w przybliżeniu trójkąt, ograniczony jest dwiema prostymi i na podstawie ich parametrów określa się wzór wskaźnika TVDI. Pierwsza z nich nazywana „mokrą” przedstawia sytuację, w której wilgotność gleby jest maksymalna. Druga z nich nazywana „suchą” przedstawia sytuację, w której wilgotność gleby osiąga minimum. Autorzy zdecydowali

się na zastosowanie metody trójkąta właśnie ze względu na jej unikatowość, spowodowaną między innymi definicją owego minimum i maksimum. Wskaźnik TVDI nie jest liczony piksel po pikselu, jest statystyką powstałą na bazie obserwacji stanów, występujących w całym badanym obszarze. W związku z powyższym piksele znajdujące się na krawędzi „mokrej” 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, co ważniejsze stan suszy opisywanej przez indeks 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 krawędzi „suchej” i „mokrej”. Wskaźnik wyliczamy z poniższych wzorów:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}(VI)}{T_{smax}(VI) - T_{smin}(VI)}$$

gdzie: T_s jest wartością temperatury powierzchni dla danego piksela, VI jest wartością wskaźnika wegetacyjnego dla tego piksela, $T_{smin}(VI)$ oznacza funkcję liniową krawędzi „mokrej”, $T_{smax}(VI)$ oznacza funkcję liniową krawędzi „suchej”:

$$T_{smax} = a_{max} + b_{max} \times VI$$

$$T_{smin} = a'_{min} + b'_{min} \times VI$$

gdzie: a_{min} , b_{min} , a'_{max} , b'_{max} we wzorach oznaczają odpowiednio współczynniki kierunkowe krzywej „mokrej” oraz krzywej „suchej”.

Wyliczenie prostych suchej i mokrej w celu wyznaczenia równania wskaźnika TVDI wykonano na podstawie skryptu napisanego w programie MATLAB. Mapy rozkładu wskaźnika TVDI wykonano w programie Quantum GIS 1.8.

Wyniki

Rysunek 3 przedstawia rozkład przestrzenny wskaźnika TVDI z 14.08.2010 roku na trwałych użytkach zielonych i obszarach leśnych, w rejonie oddziaływania leja depresji. Z wstępnej analizy tego zobrazowania wskaźnika TVDI wynika, że jego wartość zależna jest zarówno od uwilgotnienia, jak również od rodzaju użytku. Przykładowo łąki zarówno odwodnione, jak i nieodwodnione wykazują wyższe wartości tego wskaźnika niż lasy. Wynika stąd wniosek, że analizy porównawcze wartości wskaźnika TVDI do oceny zróżnicowania uwilgotnienia powinny być wykonywane w obrębie tych samych użytków lub rodzajów zbiorowisk roślinnych, na przykład trwałych użytków zielonych lub lasów. Jeszcze bardziej złożona może być interpretacja wskaźnika TVDI na gruntach ornych, które podlegają wpływom zabiegów agrotechnicznych i zróżnicowanym czasowo, cyklicznym zmianom pokrywy roślinnej.

W celu sprawdzenia czy dla wybranych dwóch klas, lasów i łąk, rzeczywiście występuje statystycznie istotna różnica wartości TVDI między siedliskami w zależności od położenia w stosunku do leja depresji, w programie STATISTICA zostały policzone podstawowe staty-

Tabela 2. Statystyki opisowe wartości TVDI dla analizowanych obszarów leśnych

Data	Kategoria	Liczba pikseli	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch. Std.
02.08.2000	Las odwodniony	12616	0,37	0,35	0,21	0,81	0,08
	Las nieodwodniony	9908	0,31	0,30	0,15	0,68	0,07
24.08.2002	Las odwodniony	12616	0,34	0,31	0,13	0,77	0,10
	Las nieodwodniony	9908	0,27	0,25	0,12	0,71	0,09
14.08.2010	Las odwodniony	11100	0,39	0,37	0,22	0,75	0,07
	Las nieodwodniony	9156	0,35	0,32	0,17	0,62	0,06

styki oraz wykonana analiza wariancji. W tabeli 2 przedstawiono wybrane statystyki opisowe dla lasów.

W celu weryfikacji hipotezy o przydatności wskaźnika TVDI w rozróżnieniu siedlisk łąkowych, znajdujących się w zasięgu leja i poza nim, zostały wybrane siedliska znajdujące się w zasięgu leja od lat 80. XX w. (dolina Jeziorki) i będące poza jego zasięgiem (dolina Kręcicy). Ponadto, w celu analizy zachodzących pod wpływem odwodnienia zmian wskaźnika TVDI, wybrano również obszar łąk, który uległ odwodnieniu dopiero po roku 2001 (dolina Niecieczy) i porównano wyniki statystyk z roku: 2000, 2002 i 2010 (tab. 3).

Wyniki analiz na trwałych użytkach zielonych wykazują dużą zgodność z oczekiwaniami. W 2000 roku średnia wartość wskaźnika TVDI na łąkach nieodwodnionych wyniosła 0,34, a na łąkach w dolinie Niecieczy, wówczas znajdujących się poza zasięgiem leja – 0,36, natomiast na łąkach odwodnionych wartość tego wskaźnika wynosiła średnio 0,51.

Interesujący wynik wykazało porównanie wartości wskaźnika TVDI użytków zielonych w pierwszym i w ósmym roku po odwodnieniu. W pierwszym roku po odwodnieniu wartość średnia tego wskaźnika była równa 0,77, a w ósmym roku po odwodnieniu – 0,58. Taki wynik sugeruje, że w początkowym okresie odwodnienia te siedliska charakteryzowały się gorszym uwilgotnieniem niż po upływie 8 lat, co znalazło potwierdzenie w analizie przebiegu

Tabela 3. Statystyki opisowe wartości TVDI dla analizowanych obszarów łąkowych

Data	Kategoria	Liczba pikseli	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odch. std.
02.08.2000	Łąki odwodnione	2524	0,51	0,51	0,19	0,78	0,08
	Łąki nieodwodnione	5578	0,34	0,35	0,07	0,58	0,06
	Łąki odwodnione po 2001 r.	3494	0,36	0,36	0,09	0,72	0,12
24.08.2002	Łąki nieodwodnione	5578	0,48	0,49	0,14	0,82	0,09
	Łąki odwodnione	2524	0,58	0,60	0,13	0,85	0,13
	Łąki odwodnione po 2001 r.	3494	0,77	0,78	0,27	1,02	0,10
14.08.2010	Łąki odwodnione	2031	0,58	0,57	0,29	0,89	0,09
	Łąki nieodwodnione	4462	0,50	0,50	0,22	0,78	0,07
	Łąki odwodnione po 2001 r.	3370	0,58	0,60	0,06	0,88	0,12

warunków meteorologicznych. W analizowanym przypadku obydwa zobrazowania zostały zarejestrowane w sierpniu, jednak w 2002 r. było to w okresie silnej suszy, a w 2010 r. po okresie suszy atmosferycznej, w czasie opóźnionego (na obszarze odwodnionym) II odrostu, który rozpoczął się po opadach w III dekadzie lipca.

Na rysunku 4 przedstawione są histogramy wartości wskaźników w roku 2000 i 2010.

Wynik wstępnej analizy wartości TVDI w powyższym przypadku wskazuje, że jego interpretacja na takich terenach jest złożona i powinna uwzględniać: przebieg warunków meteorologicznych, fazę rozwoju roślin i ewentualne przeobrażenia zbiorowisk roślinnych po zmianie warunków wodnych. Jednocześnie wskazuje na duże potencjalne możliwości zastosowań tego wskaźnika w identyfikacji siedlisk odwodnionych i analizach przestrzennego zróżnicowania ich reżimu wodnego i aktualnego uwilgotnienia.

Podsumowanie

Analiza wilgotności gleby w paśmie widzialnym, bliskiej podczerwieni i podczerwieni termalnej, dała obiecujące wyniki i wykazała, że może zostać wykorzystana do określania zróżnicowania warunków wodnych trwałych użytków zielonych w zasięgu odwodnienia, wywołanego odkrywkową eksploatacją złóż surowców mineralnych. Dane z satelity Landsat 7 z sensora ETM+ posiadają rozdzielczość 30 m w pasmach widzialnych i 60 m w podczerwieni termalnej. Dla zastosowań środowiskowych w celu oceny uwilgotnienia siedlisk na obszarze badań jest to rozdzielczość satysfakcjonująca. Niewątpliwym plusem wykorzystania tych danych jest możliwość analiz historycznych od lat 80. ubiegłego wieku, kiedy to został wystrzelony Landsat 4 wyposażony w sensor TM (*Thematic Mapper*). Od tego czasu kolejne generacje satelitów Landsat są wyposażane w instrumenty o rozdzielczościach spektralnych, umożliwiające porównywanie zdjęć uzyskanych w różnych okresach. Przedłużeniem misji Landsat było wprowadzenie w lutym bieżącego roku na orbitę nowego satelity Landsat 8 (LDCM, *Landsat Data Continuity Mission*). Ma on zapewnić ciągłość obserwacji w następnych latach (NASA, 2013).

Metoda trójkąta, służąca do wyznaczania wskaźnika suszy TVDI, w przypadku wykorzystania jej do analiz na terenach o dużych przekształceniach hydrologicznych, wymaga walidacji danymi naziemnymi. Analizy porównawcze tego wskaźnika powinny być prowadzone w obrębie jednorodnych rodzajów użytków i zbiorowisk roślinnych.

Planowane jest dalsze udoskonalanie metody i rozszerzenie jej zastosowań w monitorowaniu zróżnicowania warunków wodnych trwałych użytków zielonych i określania zasięgu leja depresji w obrębie tych użytków od początku lat 80. XX wieku. W tym celu autorzy zamierzają wykorzystać kriging wskaźnikowy w celu stworzenia map zasięgu leja depresyjnego wraz z mapami rozkładu prawdopodobieństwa.

Literatura

- Chen J., Wang C., Jiang H., Mao L., Yu Z., 2011: Estimating soil moisture using Temperature–Vegetation Dryness Index (TVDI) in the Huang-huai-hai (HHH) plain. *International Journal of Remote Sensing* 32(4): 1165-1177.
- Dulewski J., Uzarowicz R., 2004: Wpływ odkrywkowych zakładów górniczych wydobywających węgiel brunatny na środowisko. Materiały sympozjum Belchatów 2-4 czerwca 2004 r.: 89-96.
- Gruszczyńska M., 1998: Zastosowanie zdjęć mikrofalowych z satelitów ERS-1 i ERS-2 do określania wilgotności gleby pod zbożami. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*: 117-135.

- 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*. 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., Chang H., 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.
- 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 hydrogenicznnych w rejonie KWB Belchatów. *Falenty: Woda Środowisko Obszary Wiejskie*.
- Minet J., Bogaert P., Vanclooster M., Lambot S., 2012: Validation of ground penetrating radar full-waveform inversion for field scale soil moisture mapping. *Journal of Hydrology*: 112-123.
- NASA, 2013: Landsat Data Continuity Mission. Pobrano z lokalizacji <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/>
- 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.
- Sun W., Wang P., Zhang S., Zhu D., Liu J., Chen J., Yang H., 2008: Using the vegetation temperature condition index for time series drought occurrence monitoring in the Guanzhong Plain, PR China. *International Journal of Remote Sensing* 29: 5133-5144.
- 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.
- Wang H., Li X., Long H., Xu X., Bao Y., 2010: Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote-sensing data: a case study in China's Yongding River basin. *Catena* 82: 135-145.
- 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.

Abstract

In this paper, the authors describe problems associated with remote sensing of soil moisture using satellite imagery in visible and infrared bands. The area of research is Szczercowska Valley in where Belchatow brown coal mine is located. Research area is particularly interesting in terms of the dynamics of soil moisture changes caused by deep and extensive terrain drainage. This gives the opportunity to compare the results and to achieve potential profit through the integration of results from both methods. Imaging in the visible and infrared bands allows to monitor the condition of vegetation cover, water contained in vegetation and soil moisture. In this paper, the authors decided to use Temperature Vegetation Dryness Index obtained using triangle method based on Landsat 7 ETM+ data. The results are consistent with expectations and confirm rationality of using triangle method in soil moisture changes monitoring and its potential to identify changes in depression cone area in a multi-year period.

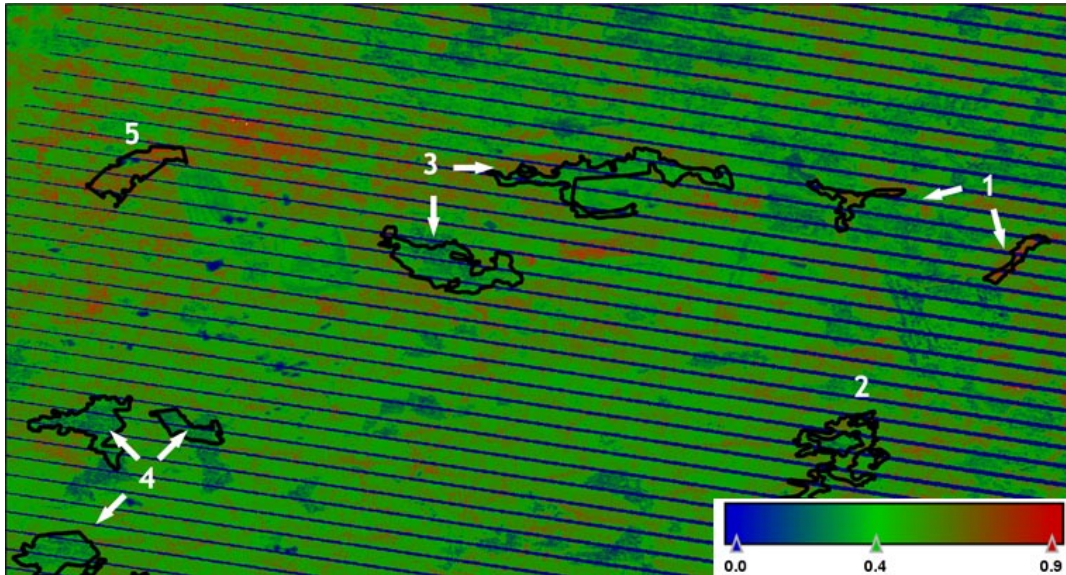
dr hab. inż. Zygmunt Miatkowski, prof. ITP
itepbyd@by.onet.pl

mgr inż. Karol Przeździecki
karol.przezdziecki@is.pw.edu.pl

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

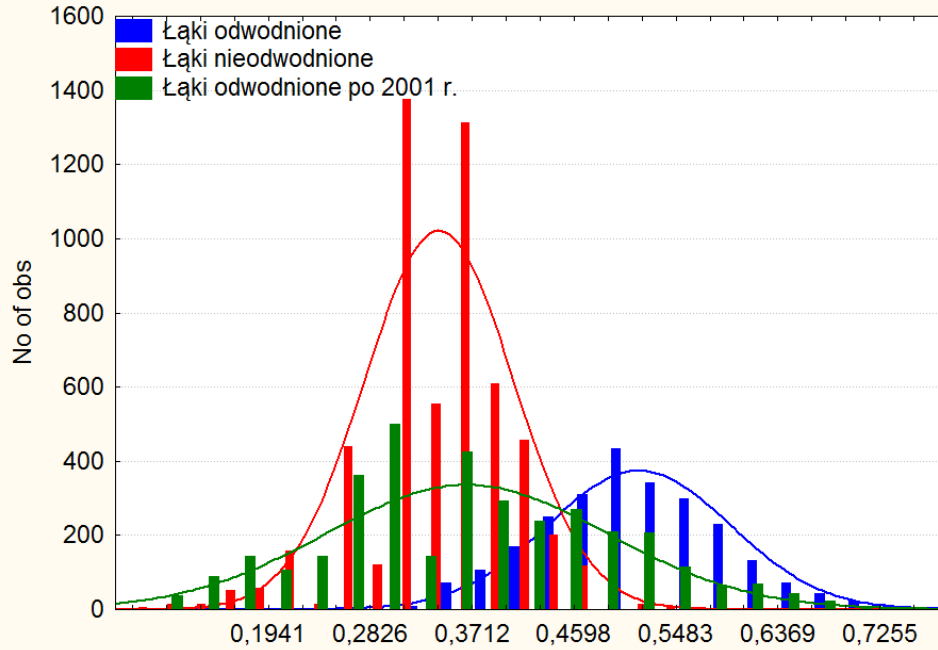


Rys. 2. Fragment zdjęcia satelitarne przedstawiający omawiany w pracy obszar (źródło: mapy Google)

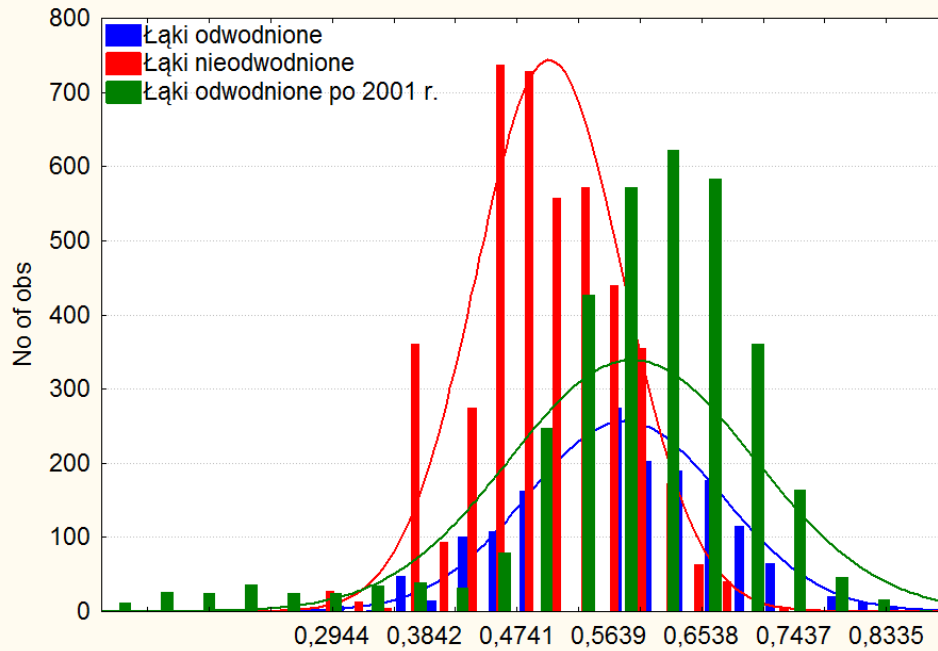


Rys. 3. Mapa rozkładu TVDI dla badanego obszaru, otrzymana na podstawie zdjęcia LANDSAT ETM+ z 14.08.2010 r.: 1 – Łąki odwodnione, 2 – Łąki nieodwodnione, 3 – Lasy odwodnione, 4 – Lasy nieodwodnione, 5 – Łąki odwodnione po 2001 roku

Histogram rozkładu wartości TVDI dla 02.08.2000r



Histogram rozkładu wartości TVDI dla 14.08.2010r



Rys. 4. Histogramy rozkładu wartości wskaźnika TVDI analizowanego obszaru określone na podstawie zdjęć zarejestrowanych 02.08.2000 r. oraz 14.08.2010 r.