

1

WYBRANE METODY TELEDETEKCJI SATELITARNEJ W MONITORINGU ŚRODOWISKA TERENÓW GÓRNICZYCH

1.1 WSTĘP

Badanie procesów zachodzących w środowisku od zawsze nastroczało licznych problemów zarówno teoretycznych jak i praktycznych. W trakcie ostatnich dziesięcioleci, nastąpił olbrzymi postęp w technologiach informacyjnych. Zjawisko to dotyczy również badań teledetekcyjnych i dostępności danych teledetekcyjnych, które obecnie w przeważającej ilości występują w postaci cyfrowej. Równocześnie nastąpił znaczący wzrost poziomu technicznego metod teledetekcyjnych oraz techniki obliczeniowej, co gwałtownie rozszerzyło możliwości zdalnego badania zjawisk zachodzących w środowisku, zarówno naturalnym, jak i antropogenicznym. Również działalność górnicza wywiera negatywne skutki na środowisko, które wymagają monitoringu zarówno w trakcie jak i po zakończeniu prac górniczych. Rodzaj tych skutków różni się zasadniczo w zależności od stosowanych metod wydobycia.

W przypadku wydobycia metodą podziemną zasadniczymi problemami jest osiadanie terenu oraz sejsmiczność indukowana. Problem ten jest tym bardziej dotkliwy im bardziej zurbanizowany jest teren którego on dotyczy [12]. Na przykład dużym wyzwaniem jest monitoring hałd odpadów powęglowych. Hałdy te, w szczególności przy wydobyciu węgla kamiennego, zawierają piryt oraz węgiel kamienny co powoduje zagrożenie pożarami, które wymaga monitoringu w celach prewencyjnych [9].

W przypadku wydobycia węgla metodą odkrywkową, która ma zastosowanie przy wydobyciu węgla brunatnego, głównym problemem jest odwodnienie terenu skutkujące degradacją środowiska oraz wieloprzestrzennymi zmianami użytkowania terenu powodowanymi odwodnieniem jak również zajmowanie znacznych powierzchni gruntów rolnych i leśnych pod zwałowiska wewnętrzne i zewnętrzne [8].

1.2 CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest syntetyczne przedstawienie potencjalnych możliwości zastosowania różnorodnych metod teledetekcyjnych w monitoringu środowiska terenów górniczych. Autorzy skupili się na przedstawieniu metod teledetekcyjnych satelitarnej mogących przynieść potencjalne korzyści finansowe oraz środowiskowe.

Metody zostały podzielone na 3 grupy. Pierwszą z nich jest grupa przedstawiająca metody których zastosowanie może być korzystne w ogólnych badaniach środowiska oraz oddziaływaniu inwestycji na środowisko. Grupa druga to metody odnoszące się do rozwiązywania problemów charakterystycznych dla górnictwa węgla kamiennego wydobywanego metoda podziemną, trzecia natomiast dotyczy problemów charakterystycznych dla górnictwa węgla brunatnego wydobywanego metoda odkrywkową.

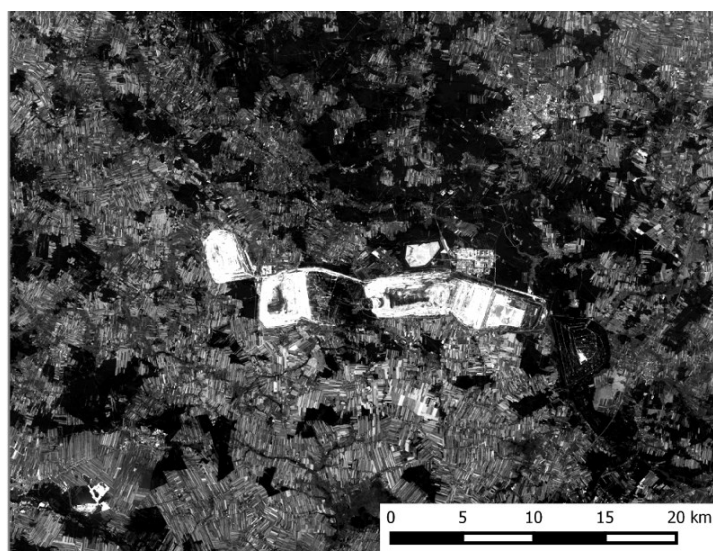
Należy mieć na uwadze, iż celem pracy, m.in. ze względu na jej objętość, nie jest wyczerpujące wyjaśnienie oraz opisanie przedstawionych metod zdalnych, lecz wprowadzenie zainteresowanych czytelników w tematykę możliwości oraz potencjalnych korzyści rozwiązywania problemów leżących na pograniczu inżynierii i ochrony środowiska oraz górnictwa poprzez wykorzystanie badań zdalnych środowiska z użyciem technologii i danych satelitarnych.

1.3 WYBRANE OBSZARY ZASTOSOWAŃ

1.3.1 Zastosowania ogólne

Wizualizacja sytuacji terenowej

Jednym z prostych, ale jednocześnie niezwykle użytecznych zastosowań teledetekcji jest wizualizacja sytuacji w terenie. Do tego celu może posłużyć ortofotomapa lub zgeometryzowane zdjęcie. Tego typu dane są łatwo dostępne i mogą posłużyć do wizualizacji sytuacji terenowej oraz do planowania badań terenowych. Często aktualne zdjęcie, nawet bez zaawansowanych operacji przetwarzających, dostarcza więcej informacji niż stara mapa topograficzna. Co więcej, prosta wizualizacja może okazać się niezwykle przydatna w monitoringu terenów zdegradowanych nawet dla osób nie posiadających specjalistycznej wiedzy z zakresu teledetekcji.



Rys. 1.1 Kompozycja barwna RGB (po desaturacji koloru) z pasm 4,3 i 2 zdjęcia Landsat 8 OLI z dnia 29.07.2014 r. przedstawiająca obszar wokół KWB Bełchatów

Na rysunku 1.1 przedstawiono przykładowe zdjęcie z satelity Landsat 8 OLI

wykonane dnia 29.07.2014 r. dla obszaru wokół kopalni odkrywkowej węgla brunatnego PGE GiEK S.A. O/KWB Bełchatów dla pasm 321 w kompozycji barw zbliżonych do naturalnych, w celu dostosowania obrazów do wymogów artykułu wszelkie kompozycje oraz kolorowe obrazy zostały poddane desaturacji koloru w celu zamiany obrazów oryginalnych na czarnobiałe z możliwie małą utratą informacji.

Obserwacja stanu roślinności

Kolejnym zagadnieniem, które może być i jest opracowywane na podstawie danych satelitarnych jest obserwacja stanu roślinności. Choć zagadnienie to nie jest specyficzne dla terenów górniczych, tym niemniej może być bardzo istotne również w obserwacjach tych terenów. W oparciu o dane satelitarne i metody teledetekcyjne można analizować wiele aspektów dotyczących pokrywy roślinnej. Do najprostszych zadań można zaliczyć wyznaczenie terenów pokrytych i niepokrytych roślinnością, w stosunkowo prosty sposób, stosując kompozycję barwną RGB z pasmami podczerwieni (jako R), czerwieni (jako G) i zieleni (jako B). Na rysunku 1.2 znajduje się obraz kompozycji barwnej False Color, po desaturacji kolorów w celu przedstawienia w postaci czarnobiałej, dla obszaru okolic KWB Bełchatów utworzona na podstawie zdjęcia Landsat ETM+ z 24.08.2002 r. Obszary ciemne reprezentują teren pokryty roślinnością.



Rys. 1.2 Kompozycja barwna RGB (po desaturacji koloru) z pasm 4, 3 i 2 zdjęcia Landsat ETM+ z dnia 24.08.2002 r. przedstawiająca obszar wokół KWB Bełchatów

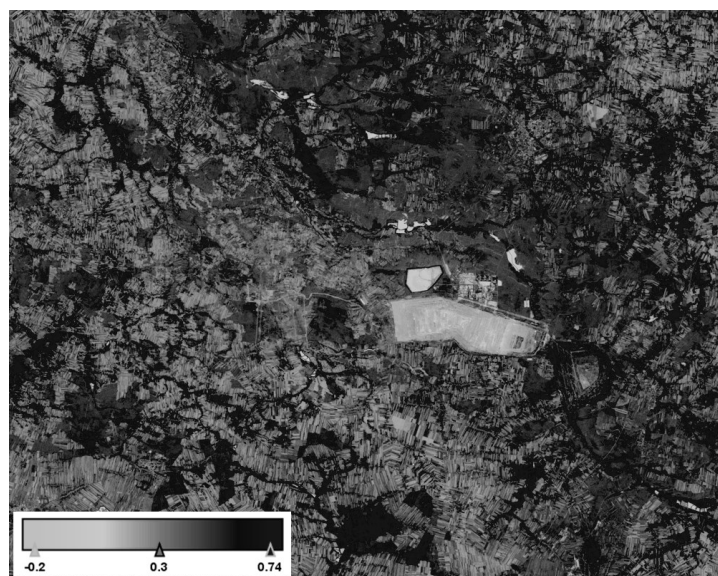
Na rysunku 1.3 znajduje się kompozycja barwna (po desaturacji koloru) wykorzystywana przez [11] do identyfikacji siedlisk łąkowych zdegradowanych długotrwałym odwodnieniem. Do bardziej zaawansowanych metod analiz możemy zaliczyć określanie gęstości biomasy, powierzchni projekcyjnej liści (ang. LAI – Leaf Area Index), aktywności fotosyntetycznej, koncentracji chlorofilu [13] itd. Większość tego typu analiz wykonuje się poprzez obliczanie tak zwanych wskaźników (indeksów) roślinności będących ilościowymi miarami zawartości i stanu roślinności na danym obszarze wyrażanymi poprzez odpowiednie funkcje intensywności pikseli obrazu

w różnych zakresach spektralnych [3].

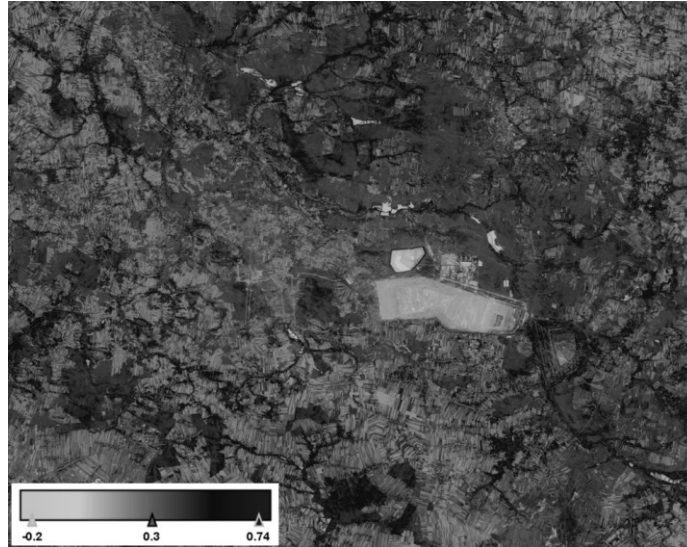


Rys. 1.3 Kompozycja barwna RGB (po desaturacji koloru) z pasm 4, 7 i 2 zdjęcia Landsat ETM+ z dnia 24.08.2002r przedstawiająca obszar wokół KWB Bełchatów

Wskaźniki te mogą być silnie skorelowane nie tylko z ilością biomasy i jej kondycją, ale również z aktywnością fotosyntezy, powierzchnią projekcyjną liści itd., w zależności od rodzaju stosowanego wskaźnika. Na rysunku 1.4 i 1.5 znajdują się rozkłady dwóch szeroko stosowanych indeksów wegetacyjnych NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index) oraz EVI (ang. Enhanced Vegetation Index) dla obszaru i dnia tego samego jak na poprzednich rysunkach.



Rys. 1.4 Rozkład wskaźnika roślinności NDVI wykonany na podstawie zdjęcia Landsat ETM+ z dnia 24.08.2002 r. przedstawiający obszar wokół KWB Bełchatów



Rys. 1.5 Wskaźnik roślinności EVI wykonany na podstawie zdjęcia Landsat ETM+ z dnia 24.08.2002 r. przedstawiający obszar wokół KWB Bełchatów

Skala barw dla indeksów jest od bieli dla terenów bez pokrywy roślinnej do czerni dla terenów niecharakteryzujących się gęstą pokrywą roślinną. Jak można zauważyć, obszar wyrobiska wewnętrznego Bełchatów oraz teren elektrowni (widoczne w centralnej części sceny) przedstawione są w jasnych odcieniach szarości co świadczy o braku pokrywy roślinnej.

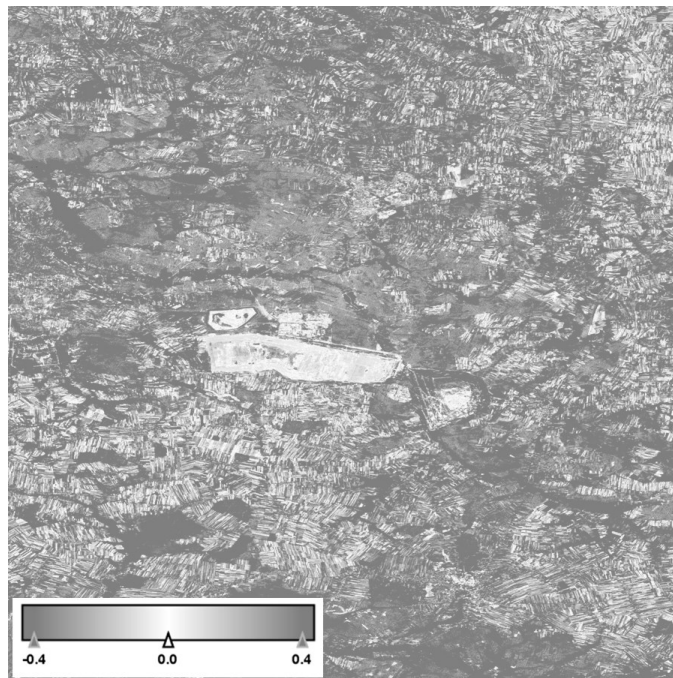
Monitoring zmian

Bardzo istotnym zadaniem, możliwym do wykonania jeżeli posiada się zdjęcia z różnych okresów, jest możliwość monitorowania zmian interesującego nas zjawiska. Mogą to być zmiany różnego rodzaju: np. zmiany pokrycia terenu wynikających z jego użytkowania, ale też zmiany szaty roślinnej w trakcie monitoringu postępu rekultywacji terenów zdegradowanych. Możliwości monitoringu zmian jest znacznie więcej. W szczególności, jak wspomniano już powyżej, istotną korzyścią poza możliwą redukcją czasu i kosztów badań w stosunku do terenowych kampanii pomiarowych jest możliwość precyzyjnych i spójnych analiz historycznych, gdyż kolejne generacje sensorów instalowanych na nowych satelitach, często zapewniają porównywalność danych ze swoimi poprzednikami. Takie dane są niezwykle cenne, gdyż dają możliwość porównania sytuacji w ujęciu przestrzennym, a nie na podstawie ograniczonej liczby pomiarów punktowych wykonywanych w terenie. Śledzenie zmian pokrycia terenu w oparciu o wieloczasowe dane satelitarne staje się powszechną praktyką w kraju i zagranicą [5].

Istnieje wiele metod monitorowania zmian. Jednymi z nich są mapy zmian. Jako podstawowe metody tworzenia takich map wyróżniamy:

1. Metodę odejmowania wartości odbicia spektralnego obrazów nieprzetworzonych,
2. Metodę odejmowania wartości obrazów przetworzonych,
3. Klasyfikacje kolejnych obrazów satelitarnych (metodami nadzorowanymi lub nienadzorowanymi).

Na rysunku 1.6 przedstawiono mapę zmian wartości wskaźnika NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index) dla obszaru wokół KWB Bełchatów pomiędzy sierpniem 2000 i kwietniem 2003.



Rys. 1.6 Mapa zmian NDVI wykonany na podstawie zdjęć Landsat ETM+ z sierpnia 2000 r. i kwietnia 2003 r. przedstawiający obszar wokół KWB Bełchatów

2. Wybrane zastosowania specyficzne dla górnictwa węgla kamiennego *Osiadanie gruntów*

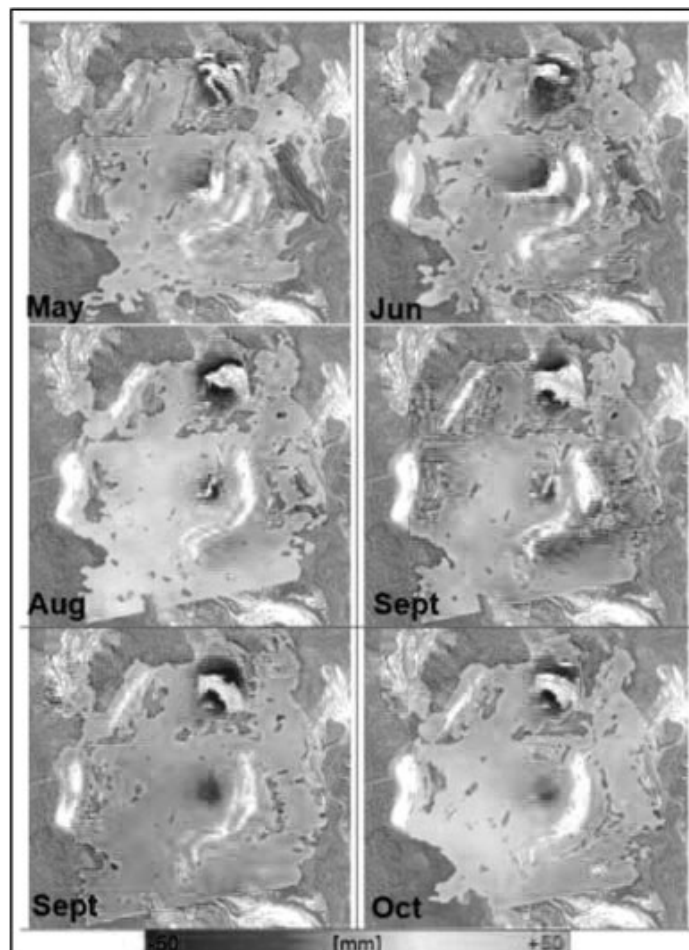
Przy eksploatacji złóż węgla kamiennego metodą podziemną degradacja środowiska przejawia się głównie jako degradacja fizyczna. Występuje ona m.in. jako zmiany ukształtowania powierzchni ziemi, z których wymienić należy: pionowe osiadanie, poziome przesunięcia, nachylenia lub zmianę krzywizny powierzchni. Uciążliwości związane z degradacją fizyczną są niezwykle istotne, gdyż przykładają się na ograniczenia w zagospodarowaniu terenu, szczególnie dotyczącym ograniczeń w zabudowie [20]. Zjawisku subsydencji towarzyszą również wstrząsy sejsmiczne indukowane działalnością górnictwem, które występują w pobliżu miejsc prowadzonej działalności górniczej [18].

Do monitoringu osiadania można wykorzystywać satelitarną interferometrię radarową (ang. InSAR – Synthetic Aperture Radar Interferometry). Jest ona szeroko wykorzystywaną metodą badania deformacji terenu z milimetrową dokładnością.

Technika ta wykorzystuje wzajemne przesunięcia fazy sygnałów radarowych dwóch obrazów SAR. Poprzez przetwarzanie różnic fazowych dwóch obrazów uzyskanych w czasie różnych przelotów satelity tworzy się obraz interferometryczny przedstawiający zmiany wysokościowe, gdzie zmiana fazy o pełny cykl (360°) odpowiada zmianie o połowę długości fali wykorzystywanej przez sensor. Szczegółowy opis zagadnienia można znaleźć w [7].

Interferometria radarowa do monitoringu wpływu górnictwa węglowego jest stosowana w Polsce [10, 12, 17, 19,] i na świecie [6, 15, 25]. Ocenia się, że duży potencjał w monitorowaniu subsydencji przy wykorzystaniu zdjęć satelitarnych mogą mieć metody geostatystyczne [22, 24].

Na rysunku 1.7 przedstawiono przykładowe interferogramy z pracy [16] przedstawiające monitoring deformacji w regionie Carajas w Brazylii, który jest drugim co do wielkości w produkcji rudy żelaza w Brazylii. Interferogramy zostały wygenerowane przy użyciu danych TerraSAR-X na podstawie zdjęć oddalonych od siebie o 11 dni.



Rys. 1.7 Interferogramy przedstawiające deformacje związaną z osiadaniem na składowisku odpadów

Źródło: Zdjęcie z pracy [16].

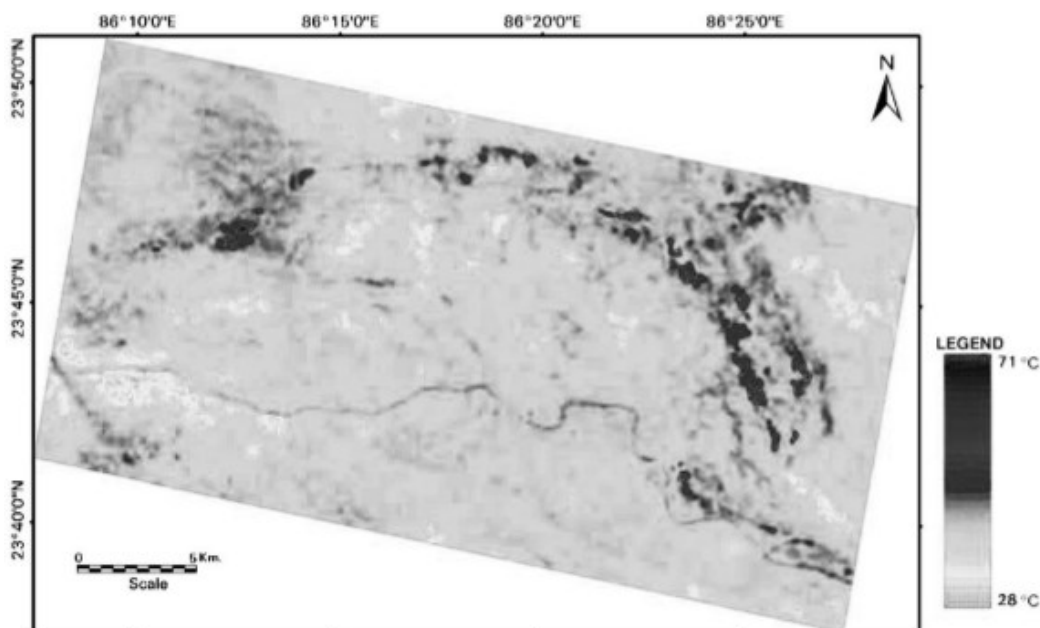
Monitoring aktywności termicznej hałd odpadów powęglowych

Kolejnym zagrożeniem mogącym znaleźć wsparcie metodach teledetekcyjnych jest monitoring aktywności termicznej składowisk powęglowych, które ze względu na zawartość w składowanych odpadach m.in. węgla, pirytu oraz innych związków siarki ulegają pożarom. Pożary składowisk są dużym problemem i w celu ich zapobiegania podejmuje się stosowne działania. Większość tych działań, jak np. zagęszczanie materiału zwałowego metodą wibracyjną lub uszczelnianie zwałowiska za pomocą

materiałów drobnoziarnistych wdraża się na etapie formowania składowiska. Dla obiektów już utworzonych, na których istnieje niebezpieczeństwo pojawienia się pożarów niezwykle istotny jest monitoring procesów termicznych [4].

Teledetekcja satelitarna w zakresie podczerwieni termalnej może być przydatna w zakresie dostarczenia informacji o stanie termicznym składowiska, poprzez dostarczenie informacji o temperaturze jego powierzchni. Zastosowanie danych satelitarnych zmniejsza koszty oraz pracochłonność, gdyż koszty obchodów składowisk w celu oceny ich stanu, są znaczne ze względu na ich powierzchnię oraz objętość. Ponadto zastosowanie teledetekcji zwiększa bezpieczeństwo, gdyż obchody składowisk zapożarowanych są niebezpieczne dla obserwatorów [9].

Do monitoringu stanu termicznego składowisk powęglowych można stosować np. dane misji Landsat czego przykładem może być praca [14]. Ponadto w pracach [1] oraz [21] przedstawione są przykłady wykrywania pożarów węgla znajdującego się na powierzchni. Na rysunku 8 przedstawiono mapę rozkładu temperatury radiacyjnej z pracy [1] otrzymaną na podstawie danych Landsat 5TM przy użyciu prawa Plancka'a dla obszaru pola węglowego Jharia, Jharkland w Indiach (rys. 1.8).



Rys. 1.8 Rozkład temperatury radiacyjnej pola węglowego Jharia w Jharkland w Indiach. Rozkład otrzymany na podstawie danych Landsat 5 TM pasmo 6 w marcu 1992 r.

1.3.3 Wybrane zastosowania specyficzne dla górnictwa węgla brunatnego

Badania wilgotności gleby – odwodnienie terenu

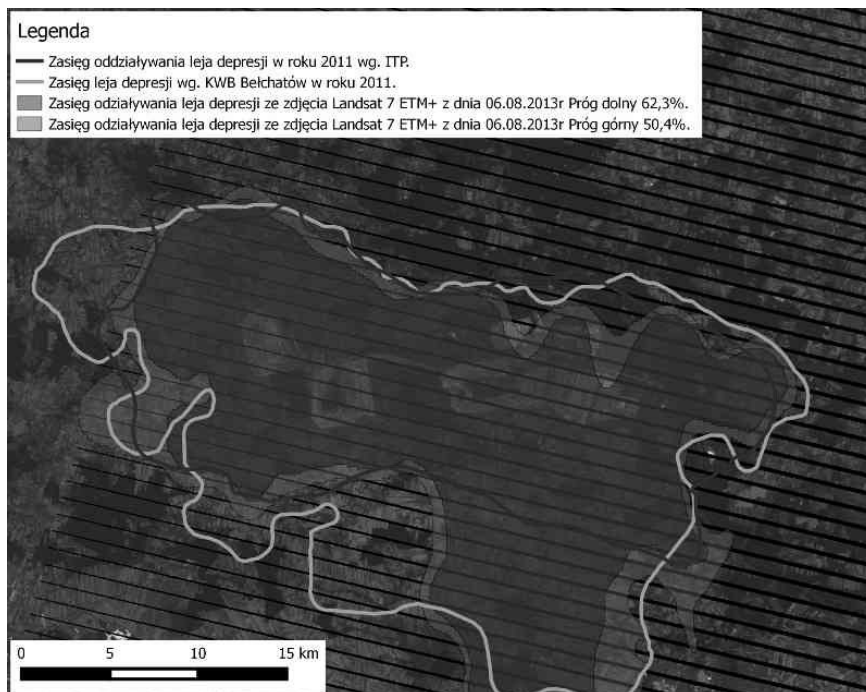
Jednym z głównych negatywnych wpływów na środowisko górnictwa odkrywkowego jest potrzeba intensywnego odwadniania górotworu. Długotrwałe odwodnienie oraz obniżenie się na jego skutek zwierciadła wody prowadzi do przeobrażenia siedlisk, które może okazać się nieodwracalne [11]. W przypadku kopalń odkrywkowych występuje zjawisko nazywane lejem depresji wód podziemnych. Lej depresji spowodowany jest działalnością systemu odwadniającego kopalni. Określenie

zasięgu tego zjawiska odbywa się poprzez sieć piezometrów jako obniżenie zwierciadła wody o 1 m. Takie podejście niekoniecznie jednak musi zgadzać się z zasięgiem oddziaływania tego zjawiska, które powinno określać realne oddziaływanie na środowisko. Różnice wynikają choćby z głębokości systemów korzeniowych roślin.

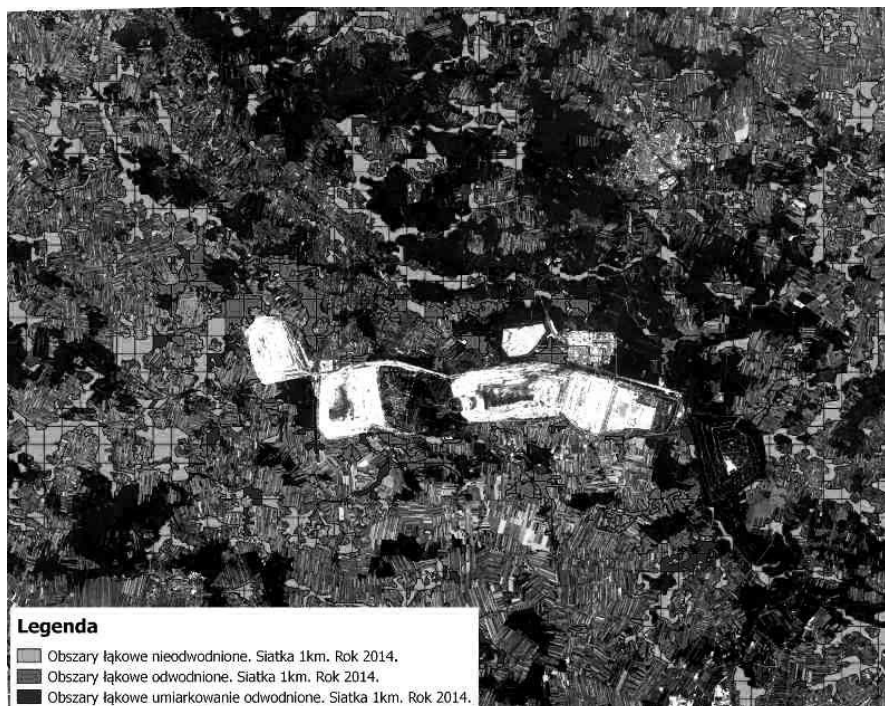
Wilgotność gleby oraz zawartość wody w pokrywie roślinnej są jednymi z kluczowych parametrów w wielu procesach zachodzących na powierzchni ziemi [2]. Terenowe badania wilgotności gleby są zagadnieniem złożonym i w wielu aspektach problematycznym. Jedną z głównych trudności jest duża zmienność wilgotności gleby zarówno w aspekcie czasowym jak i przestrzennym. Zmienność ta, jest głównym powodem trudności związanych z uzyskaniem miarodajnych wyników dla badanego obszaru. Ze względu na zmienność czasową istotna jest duża częstość pomiarów, z kolei ze względu na zmienność przestrzenną – odpowiednio gęsta siatka pomiarowa. Przy zastosowaniu danych satelitarnych uzyskuje się możliwość oceny wilgotności gleby na dużym obszarze w tym samym praktycznie czasie z dyskretyzacją przestrzeni zależną od rozdzielczości przestrzennej wykorzystywanego obrazowania.

Metody teledetekcyjne, z dobrym skutkiem, można wykorzystywać zarówno do badań zasięgu leja depresji [23] jak i uwilgotnienia siedlisk [11].

Na rysunkach 1.9 oraz 1.10 przedstawiono przykładowy zasięg oddziaływania leja depresji wokół KWB Bełchatów oraz przykładową klasyfikację uwilgotnienia terenów łąkowych z pracy [23] oraz własnych wyników.



Rys. 1.9 Zasięgi oddziaływania leja depresji wokół KWB Bełchatów wyznaczone na podstawie danych Landsat 7 ETM+ z dnia 06.08.2013 r., oraz zasięgi oddziaływania leja depresji z roku 2011 wg. ITP oraz wg. KWB



Rys. 1.10 Obszary łąkowe z CLC2006 podzielone siatką 1000 m sklasyfikowane na 3 kategorie uwodnienia dla roku 2014

1.4 PODSUMOWANIE

W pracy zaprezentowano wybrane zastosowania metod teledetekcji satelitarnej w monitoringu środowiska terenów górniczych. Przedstawione zagadnienia zostały podzielone na trzy grupy. W pierwszej z nich zaprezentowano zagadnienia dotyczące ogólnych badań środowiska, możliwych do zrealizowania za pomocą metod teledetekcji satelitarnej i mogących być przydatnymi na terenach na których prowadzi się lub prowadzono działalność górniczą zarówno metodą podziemną oraz metodą odkrywkową. Druga grupa dotyczy specyficznych przykładów wykorzystania teledetekcji satelitarnej w monitoringu terenów na których wydobywa się węgiel kamienny metodą podziemną. Trzecia natomiast odnosi się do zagadnień zdalnych badań wilgotności gleby, oraz obserwacji leja depresji wód podziemnych i jego wpływu na warunki wilgotnościowe, co jest niezwykle istotnym problemem przy eksploatacji węgla brunatnego w kopalniach odkrywkowych.

Przedstawione przykłady dowodzą, że dane satelitarne stanowią bogate źródło informacji dla monitoringu środowiska terenów górniczych. Oczywiście całkowite zastąpienie badań terenowych obserwacjami satelitarnymi nie jest możliwe. Niemniej jednak metody teledetekcyjne mogą służyć jako badania wstępne, stanowić uzupełnienie badań terenowych i często minimalizować je w ogromnym stopniu. Oprogramowanie do analizy obrazów i pakiety GIS dostępne na rynku zawierają wiele wbudowanych funkcji z których użytkownik może skorzystać nie posiadając szczegółowych informacji o zastosowanych w nich algorytmach. Ponadto w wielu przypadkach nie trzeba przeprowadzać skomplikowanych analiz przestrzennych, aby uzyskać satysfakcjonujący efekt.

1.5 WNIOSKI

Z zastosowania zdalnych badań środowiska na terenach górniczych płynie wiele potencjalnych korzyści. Jednymi z najważniejszych są efekty ekonomiczne. Badania zdalne są z reguły tańsze, co wynika m.in. z relatywnie niskiej ceny danych satelitarnych, oraz niewielkiej liczby specjalistów niezbędnych do wykonania analiz. Niekiedy dane satelitarne można również pozyskać bezpłatnie, a nawet użyć do ich analizy bezpłatnego oprogramowania. Przykładami takiego oprogramowania jest GRASS GIS, Quantum GIS, SAGA GIS lub BEAM, oraz języki programowania zawierające wiele darmowych bibliotek do przetwarzania obrazów jak np. R lub Python.

Bardzo istotne jest, że w przypadku badań teledetekcyjnych możliwe jest uzyskanie informacji spójnej przestrzennie, nawet na dużych obszarach, co w praktyce nie jest możliwe przy ograniczonej liczbie punktów pomiarowych w terenie. Liczba obserwacji zależna jest jedynie od rozdzielczości i ewentualnie, w zależności od sensora, warunków meteorologicznych (np. wysokiego zachmurzenia). W przypadku badań zdalnych bardzo często mamy możliwość zwiększenia rozdzielczości czasowej analiz, gdyż zależna jest ona od rodzaju satelity i tego jak często przelatuje on nad tym samym obszarem, przy czym rozdzielczość przestrzenna i czasowa są do siebie odwrotnie proporcjonalne. W związku z tym zdjęcia wysoko rozdzielcze mają niższe czasowe zdolności rozdzielcze, jednocześnie są zazwyczaj płatne i wykonywane na zamówienie. Do zalet badań zdalnych należy zaliczyć brak bezpośredniego zagrożenia, które występuje np. przy obchodzeniu hałd w celu sprawdzenia ew. zapożarowania. Przy wykorzystaniu danych satelitarnych w wielu przypadkach istnieje możliwość analiz historycznych. W zależności od satelity dane historyczne są dostępne od kilku do nawet ponad 20 lat wstecz (w przypadku misji Landsat). Co ważniejsze, sposób pozyskania danych w misji Landsat umożliwia porównanie ich ze sobą przez co możliwe jest tworzenie map zmian. W przypadku badań terenowych najczęściej nie ma możliwości dokładnych analiz historycznych, gdyż nawet jeśli posiada się dane archiwalne, to możliwość ich wykorzystania zależy od jakości i porównywalności tych pomiarów. Dokładność danych z pomiarów terenowych często zależy nie tylko od samego urządzenia, ale również od osoby, która w danym czasie wykonywała te pomiary.

Należy mieć na uwadze, iż badania teledetekcyjne w wielu przypadkach nie zastępują całkowicie badań terenowych. Może to wynikać z ograniczonej ilości informacji o obiekcie przenoszonych w falach elektromagnetycznych, niedostatecznej rozdzielczości przestrzennej lub czasowej. W wielu takich przypadkach, badania zdalne mogą jednak posłużyć jako narzędzie zgrubnej oceny sytuacji lub też jako narzędzie wspomagające planowanie badań terenowych.

LITERATURA

1. R.S. Chatterjee, Coal fire mapping from satellite thermal IR data – A case example in Jharia Coalfield, Jharkhand, India., ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 60, str. 113-128. 2006

2. J. Chen, C. Wang, H. Jiang, L. Mao, Z. Yu, Estimating soil moisture using Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) in the Huang-huai-hai (HHH) plain., *International Journal of Remote Sensing*, 32, str. 1165-1177. 2011
3. K. Dąbrowska-Zielińska, F. Kogan, A. Ciołkosz, M. Gruszczyńska, W. Kowalik, Regional vegetation mapping and direct land surface parametrization from remotely sensed and site data., *International Journal of Remote Sensing*, 8, str. 1109-1125. 2002
4. J. Drenda, Z. Różański, K. Słota, P. Wrona, Zagrożenie pożarowe na zwałowiskach odpadów powęglowych., *Górnictwo i geoinżynieria.*, 31, str. 149-157. 2007
5. W. Drzewiecki, Monitoring zmian pokrycia terenu na podstawie wieloczasowych obrazów teledetekcyjnych., *Roczniki Geomatyki*, 6, str. 132-142. 2008
6. H. Fan, W. Gu, Y. Qin, J. Xue, B. Chen, A model for extracting large deformation mining subsidence using D-InSAR technique and probability integral method, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 24, str. 1242-1247. 2014
7. A. Ferretti, A. Monti-Guarnieri, C. Prati, F. Rocca, *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*, ESA Publications. 2007
8. Z. Kasztelewicz, M. Zajączkowski, Wpływ działalności górnictwa węgla brunatnego na otoczenie., *Polityka Energetyczna*, 13, str. 227-243. 2010
9. J. Korski, Termowizja w monitoringu i zwalczaniu pożarów składowisk pogórnich., *Górnictwo i geologia.*, 5, str. 91-103. 2010
10. A. Leśniak, S. Porzycka, M. Graniczny, Detekcja długookresowych pionowych przemieszczeń gruntu na obszarze terenów górniczych kopalń Zagłębia Dąbrowskiego z zastosowaniem technologii PSInSAR, *WARSZTATY 2007 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie, Materiały Warsztatów*, str. 283-295. 2007
11. Z. Miatkowski, S. Lewiński, W. Kowalik, A. Sołtysik, J. Turbiak, Przydatność zdjęć satelitarnych Landsat TM do identyfikacji intensywnie odwodnionych siedlisk hydrogenicznych w rejonie KWB Bełchatów, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. 2006
12. K. Mirek, Z. Isakow, Wstępna analiza danych satelitarnej interferometrii radarowej z południowo-zachodniej części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego., *Warsztaty Górnicze z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie, Mat. Symp.*, str. 228-234. 2008
13. S. Mishra, D.R. Mishra, Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters, *Remote Sensing of Urban Environments*, 117, str. 394-406. 2012
14. A. Nadudvari, Thermal mapping of self-heating zones on coal waste dumps in Upper Silesia (Poland) - A case study, *International Journal of Coal Geology*, 128-129, str. 47-54. 2014
15. A.H. Ng, L. Ge, Y. Yan, X. Li, H-S. Chang, K. Zhang, C. Rizos, Mapping accumulated mine subsidence using small stack of SAR differential interferograms in the Southern coalfield of New South Wales, Australia., *Engineering Geology*, 115, str. 1-15. 2010
16. W.R. Paradella i in., Mapping surface deformation in open pit iron mines of Carajás Province (Amazon Region) using an integrated SAR analysis, *Engineering Geology*, 193, str. 61-78. 2015
17. Z. Perski, The test of applicability of land subsidence monitoring by InSAR ERS-1 and ERS-2 in the coal mine damaged region (Upper Silesia), *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 22(7), str. 555-558. 1998

18. E. Pilecka, Wstępna analiza związku wysokoenergetycznej sejsmiczności indukowanej z lineamentami na obszarze GZW, Warsztaty 2005 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie, Mat. Symp., str. 447-456. 2005
19. E. Popiołek, R. Hejmanowski, A. Krawczyk, Z. Perski, Application of Satellite Radar Interferometry to the examination of the areas of mining exploitation., Surface Mining Braunkohle & Other Minerals, 54(1), str. 74-82. 2002
20. P. Santorius, B. Białecka, J. Grabowski, Środowiskowe i gospodarcze problemy spowodowane degradacją terenów w górnośląskim zagłębiu węglowym., Prace naukowe GIG górnictwo i środowisko, 1, str. 85-99. 2007
21. Y. Wang, F. Tian, Y. Huang, J. Wang, C. Wei, Monitoring coal fires in Datong coalfield using multi-source remote sensing data, Trans. Nonferrous Met. Soc. China , 25, str. 3421-3428. 2015
22. J. Zawadzki, Metody geostatystyczne dla kierunków przyrodniczych i technicznych, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. 2011
23. J. Zawadzki, K. Przeździecki, Z. Miatkowski, Determining the area of influence of depression cone in the vicinity of lignite mine by means of triangle method and LANDSAT TM/ETM+ satellite images, Journal of environmental management, 166, str. 605-614. 2016
24. J. Zawadzki, Wykorzystanie metod geostatycznych w badaniach środowiska przyrodniczego, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Inżynieria Środowiska, 49, str. 3-134. 2005
25. Z. Zhang, C. Wang, Y. Tang, Q. Fu, H. Zhang, Subsidence monitoring in coal area using time-series InSAR combining persistent scatterers and distributed scatterers, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 39, str. 49-55. 2015

Data przesłania artykułu do Redakcji: 01.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 02.2016

Karol Przeździecki
Politechnika Warszawska,
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
e-mail: karol.przezdziecki@is.pw.edu.pl,

prof. dr hab. inż. Jarosław Zawadzki
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska,
Zakład Informatyki i Badań Jakości Środowiska
e-mail: j.j.zawadzki@gmail.com

WYBRANE METODY TELEDETEKCYJ SATELITARNEJ W MONITORINGU ŚRODOWISKA TERENÓW GÓRNICZYCH

Streszczenie: *Monitoring i ochrona środowiska na terenach górniczych jest złożonym zadaniem obejmującym specyficzne aspekty, będące konsekwencją działalności związanej z wydobywaniem surowców mineralnych. Degradacja środowiska różni się na terenach w których wydobywa się węgiel kamienny od degradacji występującej przy wydobywaniu węgla brunatnego metodą odkrywkową. Do głównych problemów należą m.in. osiadanie terenu, zagrożenie pożarowe na zwałowiskach odpadów powęglowych, zmiany wilgotności gleby, przekształcenie użytkowania terenu oraz złożona degradacja środowiska powodowana powyższymi czynnikami. Monitoring i badanie wyżej wymienionych aspektów środowiska terenów górniczych, szczególnie na dużych obszarach, przy użyciu metod terenowych jest trudne, czasochłonne oraz wymaga dużych nakładów finansowych.*

Zastosowanie systematycznych badań zdalnych, w szczególności teledetekcji satelitarnej, uzupełniających lub niekiedy wręcz praktycznie eliminujących badania terenowe pomaga uzyskać znaczne oszczędności. Niewątpliwym atutem badań zdalnych jest możliwość uzyskania informacji praktycznie w tym samym czasie na dużym obszarze, co zapewnia spójność czasową pomiarów. Jest to bardzo istotne z punktu widzenia zjawisk wykazujących dużą zmienność w czasie i w przestrzeni (np. wilgotność gleby). W przypadku niektórych procesów, które nie wykazują dużej dynamiki, lub gdy ich analiza wymaga oceny stanu początkowego, możliwa jest analiza historyczna w oparciu o dane satelitarne sięgająca wiele lat wstecz. Badania zdalne są również dogodnym narzędziem w planowaniu, nadzorowaniu rekultywacji oraz monitoringu terenów zdegradowanych.

Słowa kluczowe: *monitoring terenów górniczych, teledetekcja satelitarna, osiadanie terenu, wilgotność gleby.*

SELECTED SATELLITE REMOTE SENSING METHODS IN ENVIRONMENTAL MONITORING OF MINING AREAS

Abstract: *Environmental protection and monitoring in mining areas is a complex issue which includes a variety of aspects, as a consequence of complicated activities related to the mining of mineral resources. A degradation of environment is different depending on areas where hard coal is mined and where lignite is mined in open cast mines. Among others, related main environmental problems are: subsidence, fire hazard on heaps of coal wastes, soil moisture changes, land use changes and complex environmental degradation caused by one or more of the above-mentioned factors. Investigating and monitoring of those aspects of environment in the mining areas, especially over the vast areas, using field methods, is difficult, time consuming and expensive.*

Systematic using of remote sensing methods, especially based on satellite data, as supplementary or even as primary methods instead of field measurements can save a lot of money. An undoubted advantage of remote sensing is acquiring of information at virtually the same time, which ensures consistency of time of the measurements. It is very important in monitoring of phenomena with high time variability (such as soil moisture). Another advantage is possibility to analyze initial state of environment using historical data for many years ago. Remote sensing methods are also convenient tools for planning, supervising and monitoring the rehabilitation of degraded areas.

Key words: *mine areas monitoring, satellite remote sensing, subsidence, soil moisture*