

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM

Czasopismo naukowe założone w 2001 roku przez polskie uczelnie rolnicze

Geodesia et Descriptio Terrarum

Geodezja i Kartografia

Geodesy and Cartography

9 (2) 2010



Bydgoszcz Kraków Lublin Olsztyn
Poznań Siedlce Szczecin Warszawa Wrocław

Rada Programowa *Acta Scientiarum Polonorum*

Kazimierz Banasik (Warszawa), Janusz Falkowski (Olsztyn),
Florian Gambuś (Kraków), Franciszek Kluza (Lublin), Edward Niedźwiecki (Szczecin),
Janusz Prusiński (Bydgoszcz), Jerzy Sobota (Wrocław) – przewodniczący,
Stanisław Socha (Siedlce), Waldemar Uchman (Poznań)

Rada Naukowa serii *Geodesia et Descriptio Terrarum*

Andrzej Borkowski (Wrocław) – przewodniczący, Wojciech Dach – sekretarz,
Roman Galas (Berlin), Wolfgang Keller (Stuttgart),
Andrzej Kramkowski (Olsztyn), Josef Weigel (Brno)

Opracowanie redakcyjne i korekta:

Janina Szydłowska

Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie

Halina Sebzda

Projekt okładki

Daniel Morzyński

ISSN 1644–0668

*Wydanie publikacji dofinansowane ze środków
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
Wrocław 2010

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel./fax 71 328–12–77
e-mail: wyd@up.wroc.pl <http://www.up.wroc.pl>

Nakład 200 + 16 egz. Ark. wyd. 2,9. Ark. druk. 2,5
Druk i oprawa: F.P.H. „ELMA”

ADWENT METOD TELEDETEKCJI AKTYWNEJ DO MONITOROWANIA ZJAWISK PRZYRODNICZYCH

Kazimierz Bęcek

Universiti Brunei Darussalam

Streszczenie. Ostatnie dwudziestolecie rozwoju technologii pozyskiwania danych o zjawiskach przyrodniczych można uznać za advent metod teledetekcji aktywnej. Niezwykle spektakularnym wytworem tego okresu jest globalny numeryczny model pokrycia obszarów lądowych naszej planety, znany pod angielskim skrótem SRTM. SRTM powstał przy wykorzystaniu instrumentu zainstalowanego na pokładzie amerykańskiego wahadłowca Endeavour i z wykorzystaniem metody interferometrii radarowej. Metoda ta jest jedną z metod teledetekcji aktywnej, która bazuje na wykorzystaniu promieniowania mikrofalowego emitowanego i odbieranego przez satelitę. Pomiary mogą być dokonywane w każdych warunkach meteorologicznych i niezależnie od oświetlenia słonecznego. Powodzenie programu SRTM oraz unikalny charakter dostarczanych danych stały się poważnym czynnikiem stymulującym rozwój systemów teledetekcji aktywnej w krajach takich jak Japonia, Kanada, Niemcy, USA i Włochy. Mimo że w wielu sytuacjach metody teledetekcji aktywnej są nadal na etapie eksperymentów, już teraz można z całą pewnością stwierdzić, że obecnie orbitujące satelity takie jak ALOS PALSAR, TerraSAR-X, TanDEM-X, RADARSAT, ERS, ENVISAT-ASAR oraz szereg planowanych misji dostarczają i będą dostarczały cennych danych, pozwalających na uzupełniające, a czasami i nowe spojrzenie na zjawiska przyrodnicze. Wążąc powyższe, wydaje się pożytecznym dokonanie przeglądu najważniejszych zagadnień i metod teledetekcji aktywnej. Jest to celem niniejszego opracowania.

Słowa kluczowe: teledetekcja aktywna, SAR, InSAR, DInSAR, PolInSAR, RWR, radar

WSTĘP

Termin teledetekcja pojawił się w języku polskim w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwowzorem słowa teledetekcja jest angielski termin *remote sensing*. Został on wprowadzony do użytku w połowie lat pięćdziesiątych minionego wieku przez panią Evelyn Pruitt. Pracowała ona wtedy jako geograf i oceanograf w amerykańskim biurze badań morskich (Office of Naval Research) [Short 2010].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Kazimierz Bęcek, Geography & Development and Environmental Studies Programme, Faculty of Arts and Social Science, Universiti Brunei Darussalam, Jalan Tungku Link, Gadong, BE 1410, Brunei Darussalam

Teledetekcja określa zbiór technik pozyskiwania danych o oddalonym obiekcie na podstawie analizy własności fal elektromagnetycznych, emitowanych lub odbitych od tego obiektu. Zasadnicza różnica pomiędzy teledetekcją a znacznie od niej starszą fotointerpretacją polega na tym, że w teledetekcji obiekt podlega identyfikacji na podstawie badania intensywności odbicia fali elektromagnetycznej w kilku wąskich zakresach długości. Kształt, rozmiary, kolor, odcień szarości, tekstura, długość cienia oraz relacje przestrzenne pomiędzy obiektami stanowią kluczowe cechy wykorzystywane do identyfikacji obiektu za pomocą fotointerpretacji. Ważną cechą odróżniającą teledetekcję od fotointerpretacji jest do minimum ograniczone zaangażowanie człowieka. Właściwie wykorzystuje się wyłącznie wyspecjalizowane oprogramowanie komputerowe. Rola człowieka ogranicza się do ustalenia warunków początkowych dla algorytmu oraz weryfikacji wyników.

Pierwotne rozumienie teledetekcji, która polegała na identyfikacji obiektów na podstawie własności spektralnych odbitej lub emitowanej fali elektromagnetycznej, uległo znacznemu rozszerzeniu wraz z wprowadzeniem do użycia metody iluminacji obiektów za pomocą sztucznego źródła fali elektromagnetycznej. Przykładem takiego źródła oświetlenia jest radar. Teledetekcyjne opracowanie obrazów uzyskanych dzięki iluminacji obiektu radarem przypomina fotointerpretację, ponieważ opracowaniu podlega obraz uzyskany w jednym wąskim zakresie fali elektromagnetycznej. Zastosowanie radaru w teledetekcji stało się możliwe dzięki odkryciu techniki wielokrotnego powiększania rozdzielczości przestrzennej radaru zwanej w języku angielskim *Synthetic Aperture Radar* (SAR) [Cutrona i in. 1966]. Podejmując próbę przetłumaczenia tej nazwy na język polski powinno się brać pod uwagę główną cechę SAR, tj. wysoką rozdzielczość przestrzenną. Stąd, proponuje się, że polskim odpowiednikiem SAR powinien być przetłumaczony funkcjonalnie jako „radar wysokiej rozdzielczości” (RWR). Obecne w języku polskim tłumaczenie „radar z anteną syntetyzowaną” ma charakter tłumaczenia dosłownego. Zostało ono jednak dokonane bez wzięcia pod uwagę skrótu w oryginalnej nazwie angielskiej. Pełna nazwa SAR w języku angielskim brzmi bowiem „*synthetic (antenna) aperture radar*”, co można rozumieć jako „radar z anteną o przysłonie wirtualnej”.

Fakt wykorzystania RWR do pozyskiwania obrazów do celów teledetekcji spowodował powstanie nowej gałęzi teledetekcji zwanej teledetekcją aktywną dla podkreślenia, że źródło fali elektromagnetycznej jest częścią systemu pozyskiwania obrazu. W teledetekcji pasywnej wykorzystuje się obrazy oświetlone za pomocą promieniowania słońca lub naturalnego promieniowania obiektów.

Planowane liczne przedsięwzięcia w tym zakresie uzasadniają pogląd, że teledetekcja aktywna jest w początkowej fazie rozwoju, czyli znajduje się w okresie adwentu.

Teledetekcja aktywna rozpoczęła swój rozwój w 1978 r. po umieszczeniu na orbicie ziemskiej amerykańskiego satelity SEASAT [Curlander i McDonough 1991]. RWR na pokładzie SEASAT pracował w paśmie L (fala o długości 23.5 cm). Od tego momentu obserwuje się pogłębione zainteresowanie teledetekcją aktywną w trzech podstawowych obszarach, tj.:

- a) zastosowań,
- b) źródeł danych do opracowań teledetekcyjnych i gotowych opracowań teledetekcyjnych,
- c) rozwoju metod.

Wcześniejsze, tj. przed 1978 r. próby z techniką RWR miały głównie wojskowy charakter. Stąd też były one ściśle tajne. RWR zastosowano w czasie wojny wietnamskiej z niezadowalającymi wynikami.

Jednym z głównych czynników ograniczających stosowanie techniki RWR była optyczna metoda przetwarzania danych odbieranych z anteny radaru [Cutrona i in. 1960]. Sytuacja uległa radykalnej zmianie dzięki rozwojowi zminiaturyzowanych systemów komputerowych, co nastąpiło mniej więcej w połowie lat 70. ubiegłego wieku.

Wydaje się, że na tym wczesnym etapie rozwoju teledetekcji aktywnej istnieje potrzeba omówienia i usystematyzowanie kluczowych pojęć, metod, zastosowań i kierunków jej rozwoju. W niniejszym opracowaniu wykorzystuję jedynie niektóre czasopisma naukowe znane z publikowania prac związanych z teledetekcją aktywną, na czele z IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Prezentacja dotyczy danych pozyskiwanych za pomocą fal elektromagnetycznych z zakresu mikrofalowego, tj. o długości od około 1 mm do około 1 m. Z uwagi na fakt, że radary wykorzystują pasmo mikrofalowe, często teledetekcję aktywną nazywa się teledetekcją radarową. Określenie to będzie się przewijało w niniejszym tekście jako synonim teledetekcji aktywnej. W pracy pomijam całkowicie pomiar techniką laserową, zwaną LiDAR, mimo że niektóre źródła zaliczają tę technologię do teledetekcji aktywnej. Moim zdaniem nie jest to uzasadnione. Pogląd ten wyprowadza się z faktu, że technologia LiDAR ma na celu wyznaczanie współrzędnych (x, y, z) punktów obiektów znajdujących się w przestrzeni, przez co jest tożsama z pomiarem za pomocą np. tachymetru elektronicznego. Oznacza to, że LiDAR wykorzystuje się do całkiem innej klasy zadań obserwacji środowiskowych (precyzyjne pomiary) niż teledetekcja aktywna (identyfikacja obiektów). Ponadto, pasmo fal elektromagnetycznych wykorzystywanych w LiDAR nie ma zdolności penetrowania chmur, co jest jedną z fundamentalnych cech teledetekcji aktywnej.

RADAR

Jedną z podstawowych części systemu wykorzystywanego w teledetekcji aktywnej jest radar [Skolnik 1988] iluminujący obiekt na powierzchni Ziemi. Odbiera odbity od obiektu sygnał. Dokonuje obliczeń odległości i położenia. Rejestruje intensywność powracającego sygnału. Radar do celów teledetekcji został pierwszy raz użyty w końcu lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku podczas przedwcześnie zakończonej w wyniku awarii misji satelity SEASAT. Niepowodzenie tego programu nie spowolniło prac nad kolejnymi projektami wykorzystującymi radar instalowany na pokładach statków powietrznych i kosmicznych. Fakt ten należy przypisać niewielkiej absorpcji mikrofal przez atmosferę Ziemi, co oznacza, że nawet pokrywa chmur nie stanowi przeszkody, by odbierać odbite od powierzchni Ziemi mikrofałe. Para wodna i tlen są głównymi składnikami atmosfery Ziemi, odpowiedzialnymi za absorpcję mikrofal. Pochłanianie mikrofal w atmosferze rozpoczyna się od częstotliwości większych od 2.7GHz (~11 cm). Absorpcja przez parę wodną stromo zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości, podczas gdy absorpcja przez tlen pozostaje prawie na takim samym poziomie w zakresie częstotliwości mikrofal wykorzystywanych w teledetekcji [Skolnik 1988]. Mikrofałe w zależności od częstotliwości są z różną intensywnością odbijane od tego samego obiektu. Mikrofałe o tej samej częstotliwości są różnie odbijane przez różne materiały. Właśność ta jest szczególnie ważna w teledetekcji, bo umożliwia podstawowe rozróżnienie rodzaju materiału (woda, las, minerały itp.). Mikrofałe o niższych częstotliwościach (300 MHz – 1 GHz) mają własność odbijania się z różną intensywnością od materiału w zależ-

ności od zawartości w nim wody. Pozwala to na określanie zawartości wody w gruncie [Müllenhoff 2003].

Do charakterystyki radaru potrzebnych jest wiele parametrów technicznych. Częstotliwość mikrofal wykorzystywanej przez radar jest jednym z nich. W tabeli 1 przedstawiono częstotliwości mikrofal najczęściej wykorzystywanych w teledetekcji. Warto wspomnieć, że do 2010 r. nie powstała platforma satelitarna wykorzystująca pasmo P do celów teledetekcyjnych, co nie oznacza, że nie powstanie ona w przyszłości.

Tabela 1. Częstotliwości i równoważne im długości fal i pasma używane w teledetekcji aktywnej
Table 1. Frequencies and corresponding wavelengths and microwave bands used in the active remote sensing

Częstotliwość Frequency band [GHz]	Długość fali Wavelength [cm]	Pasmo Band
0.3–1	100–30	P
1–2	30–15	L
4–8	7.5–3.75	C
8–12	3.75–2.5	X

Zaleca się zainteresowanym teledetekcją aktywną zapamiętanie danych z tabeli 1, ponieważ stanowią one istotną część terminologii obowiązującej w tej dziedzinie.

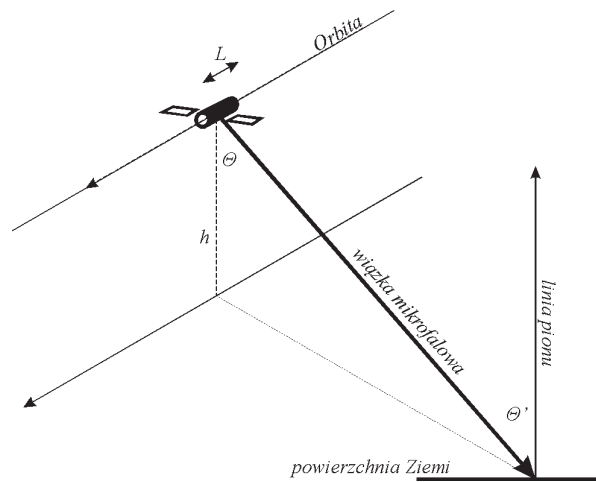
Ważną częścią radaru jest antena. Służy do emisji, krótkich, trwających t [s] porcji energii, w odstępach o trwaniu T [s]. W odstępach T radar oczekuje i odbiera sygnał odbity od obiektu. Z tego wynika, że odstępy między sygnałami muszą być dłuższe niż czas trwania nadawanego sygnału plus czas potrzebny na powrót sygnału do radaru – τ [s], czyli $T \geq t + \tau$. Łatwo zauważyć, że ze związku $r = c \tau/2$, gdzie c [km/s] oznacza prędkość światła w próżni, wylicza się odległość obiektu od radaru. Należy zwrócić uwagę, że rozwiązanie polegające na dodaniu dodatkowej anteny przeznaczonej tylko do odbierania sygnału nie rozwiązuje problemu, ponieważ wysyłane impulsy muszą być możliwie krótkie, by uniknąć „zamazywania” obrazu w wyniku szybkiego przemieszczania się satelity. Wynika stąd, że kolejnego pomiaru nie można dokonać wcześniej niż pomiar poprzedzający nie został całkowicie zakończony (sygnał odbity od powierzchni Ziemi nie został odebrany).

Wskaźnikiem charakteryzującym radar jest rozdzielczość, czyli zdolność do dostarczenia odpowiednich danych pozwalających rozróżnić dwa podobne obiekty, położone w pewnej krytycznej odległości, zwanej właśnie rozdzielczością radaru. Rozdzielczość radaru odnosi się do kierunku lotu i dlatego jest nazywana rozdzielczością podłużną (ang. *azimuth resolution*) R_{az} . Wylicza się według (1):

$$R_{az} = \frac{h\lambda}{L \cos \Theta} \quad (1)$$

gdzie: h – wysokość radaru nad powierzchnią Ziemi,
 λ – długość mikrofal,
 L – długość anteny,
 Θ – kąt padania mikrofal na powierzchnię Ziemi.

Rysunek 1 przedstawia widok perspektywiczny typowej instalacji radaru na pokładzie satelity.



Rys. 1. Podstawowe elementy geometryczne radaru umieszczonego na pokładzie satelity
Fig. 1. Geometry of the side-looking radar installed on board of a satellite

Warto zauważyć, że rozdzielczość podłużna radaru jest zmienna w zależności od wysokości. Przykład: rozdzielczość podłużna radaru zainstalowanego na satelicie obiegającego Ziemię na wysokości 600 km, przy założeniu, że długość anteny wynosi 3 m, kąt padania 60° , radar wykorzystuje mikrofałe o długości 5.6 cm, wynosi około 24 km. Niewielka rozdzielczość podłużna radaru czyniła to urządzenie mało przydatnym w teledetekcji.

Intensywność odbitego od powierzchni Ziemi sygnału wyraża się za pomocą współczynnika odbicia, najczęściej wyrażanego jako stosunek mocy sygnału odebranego (P_1) do mocy sygnału nadanego (P_0), który najczęściej oznacza się jako σ_0 i wylicza według wzoru (2):

$$\sigma_0 = 10 \log_{10} (P_1 / P_0) \quad (2)$$

Jednostką tak zdefiniowanego współczynnika odbicia σ_0 jest decybel [dB] [Kingsley i Quegan 1993].

RADAR WYSOKIEJ ROZDZIELCZOŚCI (RWR)

Radar wysokiej rozdzielczości (ang. *Synthetic Aperture Radar – SAR*) konstrukcyjnie nie różni się istotnie od radaru omówionego powyżej. Ogromna zaleta RWR wynika z faktu, że kluczową dla rozdzielczości podłużnej radaru (patrz wzór (1)) długość anteny (albo przysłone) udało się „wygenerować” do rozmiarów daleko przekraczających możliwości współczesnych materiałów i ograniczeń konstrukcyjnych satelity czy samo-

lotu. Cel ten osiągnięto za pomocą złożonego procesu numerycznego przetwarzania wielu sygnałów wyemitowanych (i odbieranych) z (przez) poruszającą się antenę. Dzięki tym obliczeniom uzyskuje się bardzo wysoką rozdzielczość podłużną systemu RWR.

Znajomość położenia źródła promieniowania mikrofal (antenę radaru) w przestrzeni umożliwia obliczanie współrzędnych fragmentu Ziemi odbijającego sygnał z radaru. Rejestruje się również intensywność odbitego sygnału (patrz wzór (2)).

Radar może być tak skonstruowany, że fala elektromagnetyczna zostanie wyemitowana w określonej płaszczyźnie. Najczęściej jest to płaszczyzna pozioma, oznaczana (H – ang. *horizontal*), lub pionowa (V – ang. *vertical*). Odbity sygnał może zostać zarejestrowany przez antenę odbierającą tylko część energii sygnału znajdującej się w płaszczyźnie poziomej (H) lub pionowej (V). Ten rodzaj wybiórczej aktywności radaru nazywa się polaryzacją. Możliwych jest kilka kombinacji w nadawaniu i odbieraniu sygnału. Na przykład: tryb HH pracy radaru oznacza emisję H i odbiór H. Tryb VH oznacza emisję V i odbiór H. W praktyce wykorzystywane bywają wszystkie cztery możliwe kombinacje emisji i odbioru sygnału. Są to: HH, HV, VH i VV. Udowodniono, że istnieje związek pomiędzy własnościami fizycznymi obiektów a własnościami spolaryzowanej fali elektromagnetycznej odbitej od obiektu. Zjawisko to znacznie poszerza liczbę charakterystyk radarowych obiektu, co przyczynia się do poprawy identyfikacji i pozyskania niektórych własności obiektów.

Podsumowując, można zauważyć, że obiekt na powierzchni Ziemi może być charakteryzowany za pomocą RWR przy wykorzystaniu następujących parametrów tego systemu:

- a) Długość (częstotliwość lub pasmo) fali elektromagnetycznej.
- b) Rozdzielczość przestrzenna (wielkość piksela).
- c) Położenie obiektu w przestrzeni.
- d) Polaryzacja fali emitowanej i polaryzacja anteny odbierającej.
- e) Kąt padania wiązki radarowej.
- f) Szerokość/długość pasa na powierzchni Ziemi podlegające pomiarowi.

W dalszej części omówię przykłady zastosowań RWR w teledetekcji.

Pierwszym satelitą wyposażonym w system RWR był amerykański SEASAT, który został umieszczony na orbicie w 1978 r. SEASAT pracował w paśmie L (1.275 GHz/~23.5 cm) i pojedynczej polaryzacji (HH). Rozdzielczość przestrzenna wynosiła 25 m. Akwizycja danych dokonywana była w pasie o szerokości ok 100 km. Z uwagi na ograniczenia technologiczne w rejestracji danych czas akwizycji mógł być dłuższy niż 10 minut na pojedynczej orbicie. RWR w misji SEASAT wykorzystano do badania falowania powierzchni oceanów, pomiarów siły i kierunku wiatrów, monitorowania pokrywy lodowej akwenów podbiegunowych oraz obserwacji pokrywy lądów. Mimo że misja SEASAT została zakończona po nieco ponad 100 dniach, dostarczyła ona wystarczająco dużo danych, by ostatecznie przekonać sceptyków do podejmowania kolejnych eksperymentów z RWR [McCandles 2003].

Dzięki SEASAT i późniejszym satelitom wyposażonych w RWR stało się możliwe przygotowywanie aktualnych map pól lodowych w obszarach pokrytych chmurami i/lub pograżonych w ciemnościach nocy polarnej, co niewątpliwie znacznie podniosło bezpieczeństwo żeglugi oraz umożliwiło optymalne planowanie szlaków dla statków [Curlander i in. 1985, Lipa i in. 1986, Nichols i in. 1986].

Wykorzystanie obrazów RWR do badania powierzchni łądów wymaga ustalenia związków pomiędzy rodzajem pokrywy powierzchni Ziemi a cechami odbitej mikrofal. Znajomość tych związków jest niezbędna do rozróżnienia np. roślinności od innych typów pokrycia terenu (woda, gleba, beton, asfalt, itp.).

Przeszło trzydziestoletnia historia prac nad wykorzystaniem RWR w badaniach zjawisk przyrodniczych została udokumentowana w postaci 1520 publikacji, licząc tylko te, które ukazały się w sekcji Nauka o Ziemi (ang. *Geoscience*) jednego z najpoważniejszych czasopism naukowych w zakresie teledetekcji, tj. "IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing". Oto krótki przegląd zastosowań RWR w badaniach przyrodniczych.

Stwierdzono, że współczynnik odbicia mikrofal z RWR (pasmo L – 25 cm) koreluje się z poziomem wilgotności gleby do 30 cm głębokości. Eksperyment przeprowadzono na wolnych od pokrywy roślinnej polach uprawnych. Wykorzystanie tej metody do wyznaczenia wilgotności gleby związane jest z kłopotliwą kalibracją danych z RWR [Chang i in. 1980]. Mapy pokazujące różnice wilgotności gleby mogłyby okazać się przydatne w rolnictwie [Ulaby i in. 1983].

W 1979 roku podjęto próbę poszukania związków pomiędzy przyrostem ilości trawy a zmianami współczynnika odbicia (pasmo X, polaryzacja VV). W tym celu wykorzystano symulowane obrazy radarowe przygotowane dla kilku stadiów wzrostu trawy. Błąd wyznaczenia przyrostu masy trawy wahał się w granicach od 5 do 20% [Smit 1979]. Eksperymenty z obrazami uzyskanymi w paśmie X, C i L w celu zbadania możliwości identyfikacji różnych upraw wykazały, że współczynniki odbicia tej samej uprawy uzyskane w różnych pasmach zależą od własności dielektrycznych roślin. Badania przeprowadzono na szeregu polach testowych na terenie Niemiec z pokładu samolotu [Sieber i Trevett 1983].

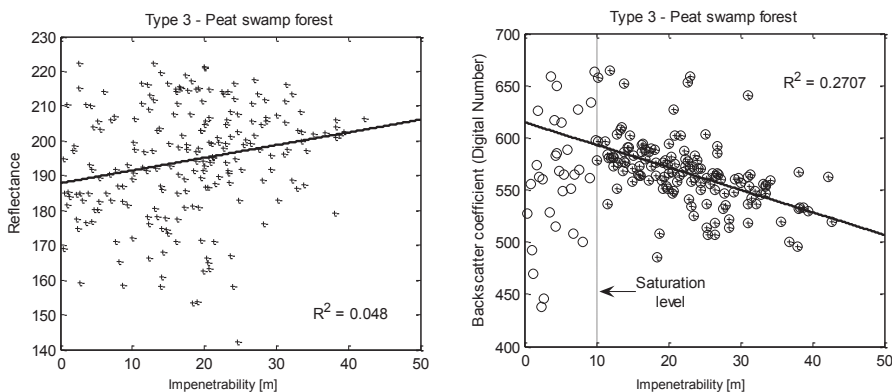
Pierwsze próby wykorzystania RWR (pasmo L) do oceny stanu lasów zostały przeprowadzone z danymi uzyskanymi z misji SIR-B. Okazało się, że penetracja lasu radarem jest znaczna i nie zależy od kąta padania wiązki radarowej. Spekulowano, że sygnał może zawierać informacje dotyczące struktury lasu [Imhoff i in. 1986].

W innym eksperymencie stwierdzono, że najbardziej wrażliwe na biomasę są pasma P i L (niskie częstotliwości) naprzemiennie spolaryzowane (HV i VH). Znacznie mniejsze znaczenie w zakresie oceny ilości biomasy ma pasmo C, a szczególnie pasmo X [Le Toan i in. 1992].

Zagadnieniem, któremu poświęcono szereg prac, było ustalenie granicznej ilości biomasy, powyżej której sygnał nie ulega zmianom wynikającym z przyrostu biomasy. Poziom ten zwany jest punktem nasycenia sygnału. Punkt nasycenia sygnału dla kilku pasm zestawiono w tabeli 2 [Imhoff 1995]. Wyszczególnione gęstości graniczne biomasy są stosunkowo nieduże, bo gęstość biomasy (lasów) w wielu miejscach na świecie osiąga poziom wyższy niż 500 t ha^{-1} . Oznacza to, że RWR nie nadaje się do oceny ilości biomasy w każdych warunkach, a w szczególności w gęstych lasach.

Konsekwencją zjawiska wysycenia sygnału jest brak możliwości oceny stopnia degradacji lasu za pomocą RWR, szczególnie w paśmie X. Stąd, należy uznać za nieporozumienie wykorzystanie danych z niemieckiego satelity TerraSAR-X, pracującego w paśmie X, do oceny pokrywy i stanów lasu, która prowadzona jest na potrzeby Organizacji Narodów Zjednoczonych do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) przez jeden z uniwersytetów w Niemczech. Problem polega na tym, że RWR identyfikuje pokrywę jako las nawet wtedy, gdy jest on bardzo poważnie zdegradowany (niska gęstość bio-

masy). Na brak wyraźnego związku pomiędzy gęstością biomasy a współczynnikiem odbicia mikrofal w paśmie X (TerraSAR-X) wskazuje lewy diagram na rysunku 2. Prawy diagram ujawnia związek z danymi z pasma L (PALSAR). Warto zwrócić uwagę, że pasmo L zaczyna być wrażliwe na gęstość biomasy, poczynając od pewnego poziomu i nie wykazuje zjawiska nasycenia sygnału przy wzrastającej gęstości biomasy. Obserwacja ta jest sprzeczna z danymi podanymi w tabeli 2. Problem ten jest przedmiotem szczegółowych badań prowadzonych przez autora opracowania. Temat pomiaru biomasy za pomocą wskaźnika nazwanego nieprzenikalność (ang. *impenetrability*) dyskutowany jest w publikacji Bęcka [2010].



Źródło – Source: [Bęcek 2010]

Rys. 2. Wrażliwości mikrofal na biomasę mierzoną za pomocą wskaźnika "Impenetrability". Diagram po lewej stronie dotyczy TerraSAR-X (brak wrażliwości). Diagram po prawej stronie dotyczy ALOS PALSAR (wyraźna wrażliwość). Wyniki dotyczą tego samego typu lasu tropikalnego

Fig. 2. Sensitivity of microwaves on biomass measured by "Impenetrability". The TerraSAR-X data do not exhibit any sensitivity to biomass (left pane). A clear sensitivity is present in the ALOS PALSAR data (right pane)

Tabela 2. Gęstość biomasy wysycająca sygnał radarowy

Table 2. The biomass density levels saturating the radar signal

Pasmo częstotliwości Band density	Gęstość biomasy wysycająca sygnał The biomass density levels saturating signal [tha ⁻¹]
P (0.44 GHz)	100
L (1.25 GHz)	40
C (5.3 GHz)	20

Źródło – Source: [Imhoff 1995]

Tabela 3. Kluczowe cechy biofizyczne i geofizyczne podlegające obserwacji przy użyciu RWR
 Table 3. Biophysical and geophysical products for SAR

Cecha obserwowana – Observed feature	Jednostka miary – Unit
Typ roślinności – Vegetation type	Klasa – Class
Powierzchnia zajmowana przez roślinność i jej zmiany Vegetation extent – deforestation	Pokrycie [m ²]; zmiana [%] Extent [m ²], % change
Biomasa roślinności – Vegetation biomass	[kgm ⁻²] – Mass/Area [kg/m ²]
Geometria korony drzew – Canopy geometry	[deg] i [m] – Angular and linear [deg. m]
Zawartość wody w roślinności – Vegetation water content	[%] (objętościowo) – % by volume
Punkt nasycenia roślinności wodą Vegetation water potential	[bar] – Bars
Wilgotność gleby pod pokrywą roślinną Soil moisture – vegetated	[%] (objętościowo) – % by volume
Wilgotność gleby pozbawionej roślinności Soil moisture – bare soil	[%] (objętościowo) – % by volume
Obszar powodzi – Land-water boundaries/floods	[m ²] – Area [m ²]
Rozmieszczenie sieci drenów – Drainage patterns	Rozmieszczenie przestrzenne – liniowe [m] Linear extent [m]
Równoważnik wody dla śniegu – Snow water equivalent	[mm] – Height [mm]
Obszar pokrywy śniegowej – Snow extent	[m ²] – Areal extent [m ²]
Położenie pokrywy lodowej na powierzchni oceanu Sea ice extent	Współrzędne geograficzne – Lat/Long
Koncentracja pokrywy lodowej (Sea ice concentration)	[%] – Fraction
Typ pokrywy lodowej na powierzchni oceanu Sea ice type	Klasa – Class
Ruchu pokrywy lodowej – Sea ice motion	[km/dzień] – Velocity [km/day]
Pokrywa lodowa jezior i rzek Ice sheet, lake and river ice extent	Współrzędne geograficzne – Lat/Long
Pola lodowe i dynamika szelfu Ice sheets and shelf dynamics	[m/rok] – Velocity [m/year]
Prądy, fronty i zawirowania – Current, fronts, eddies	Współrzędne geograficzne – Lat/Long
Fale wewnętrzne – Internal waves	Współrzędne geograficzne – Lat/Long
Pole wiatru przy powierzchni terenu – Surface wind field	[ms ⁻¹] – Velocity [m/s]
Falowanie powierzchniowe – Surface waves	[deg] i [m] – Length [m], direction [deg]
Wysokość fal powierzchniowych (Surface wave height)	[m] – Height [m]
Szorstkość powierzchni terenu (wolny od pokrywy roślinnej) Surface roughness nonvegetated	Odchylenie standardowe rzędnych przekroju poprzecznego terenu [m] – RMS height [m]
Granice występowania materiałów na powierzchni Surficial material boundaries	[m] – Extent [m]
Topografia – Topography	[m] – Height [m]
Erozja – Erosion	[m ²] – Area [m ²]
Formacje geomorfologiczne – Landform patterns	[m ²] – Area [m ²]
Mięgżość warstwy piasku – Sand depth	[m] – Depth [m]

Źródło – Source: [Way i Smith 1991]

Trwają prace nad wykorzystaniem RWR do oceny ilości biomasy i innych parametrów roślinności, np. próby wykorzystania synergii oczekiwanej w wyniku równoczesnego opracowania danych RWR z obrazami multispektralnymi [Amini i Sumantyo 2009].

Dane z różnych systemów RWR wykorzystywano także do oceny stopnia zniszczenia lasów w wyniku pożaru. Okazało się, że ocena jest bardziej precyzyjna, jeśli kąt padania mikrofal na obiekt jest także uwzględniony [Tanase i in. 2010].

Przechodząc do zastosowań RWR w badaniach atmosfery, warto wspomnieć o próbach oceny intensywności cyklonów [Reppucci i in. 2010] czy ocenie intensywności pola opadów nad lądami [Marzano i Weinman 2008].

Niezwykle przydatne są próby wykorzystania naziemnego RWR do ustalania stopnia zagrożenia lawinowego [Martinez-Vazquez i Fortuny-Guasch 2008].

Dane z RWR (pasmo X) były wykorzystane do określenia zasięgu powodzi na terenach zurbanizowanych. Uznano, że mimo niekorzystnych zjawisk, jak cienie i gęsta roślinność, dokładność wyników jest wystarczająca do celów modelowania i oceny zjawiska powodzi. W eksperymencie wykorzystano dane z TerraSAR-X [Mason i in. 2010].

Na koniec krótkiego przeglądu zastosowań RWR do monitorowania zjawisk przyrodniczych warto wspomnieć, że co trzy lata odbywa się międzynarodowa konferencja pod nazwą BioGeoSAR. Poświęcona jest ona zastosowaniom RWR w monitorowaniu zjawisk przyrodniczych [Mattia i in. 2009].

Zestawienie kluczowych cech biofizycznych i geofizycznych powierzchni lądów i oceanów naszej planety, które mogą być monitorowane za pomocą RWR, zawiera tabela 3 [Way i Smith 1991].

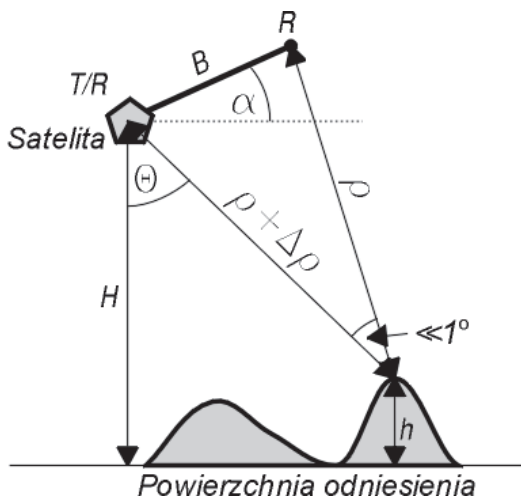
METODA INTERFEROMETRII RWR (INRWR)

Radaru wysokiej rozdzielczości można użyć w konfiguracji pozwalającej wykorzystanie zjawiska interferometrii. Sposób ten nosi miano interferometrii radaru wysokiej rozdzielczości (InRWR) (ang. *InSAR*). Zjawisko interferencji światła znane jest w optyce. Interferometria szczególnie intensywnie badana i rozwijana w radioastronomii [Rosen i in. 2000].

Metoda InRWR wymaga dwóch obrazów radarowych pozyskanych z dwóch różnych punktów w przestrzeni. Rysunek 3 przedstawia podstawowy schemat InRWR. Na rysunku „T/R” oznacza antenę nadawczo-odbiorczą umieszczoną np. na satelicie, a „R” oznacza antenę tylko odbierającą. Z uwagi na odległość „B” – tzw. bazę pomiędzy antenami sygnał odbity od powierzchni Ziemi dotrze do obu anten po upływie innego czasu ρ i $\rho + \Delta\rho$. Różnicę czasu $\Delta\rho$ można zmierzyć bardzo precyzyjnie przez pomiar różnicy faz, która pojawia się w sygnale odebrany przez różne anteny. Znając $\Delta\rho$, można wyliczyć wysokość h obiektu ponad przyjętą powierzchnię odniesienia. Oznacza to, że InRWR może być wykorzystywany do opracowania numerycznych modeli terenu.

Jednym z warunków wykonania poprawnego pomiaru jest pozyskanie koherentnej pary obrazów. Najkorzystniejsze jest pozyskanie obu obrazów równocześnie. Odbywa się to jednak kosztem technicznie skomplikowanej operacji umieszczenia jednej z anten w znacznej odległości od satelity na specjalnym ramieniu o długości np. 60 m. Innym rozwiązaniem jest umieszczenie na podobnych orbitach dwóch satelitów, które pracują w tandemie (jeden z nich wyposażony jest w antenę nadawczą i odbiorczą, drugi – tylko

w antenę odbiorczą). Takie rozwiązanie zostało zastosowane w niemieckim projekcie o nazwie TanDEM-X zbudowanym dzięki satelicie TerraSAR-X, który znajduje się na orbicie od połowy 2007 r., oraz bliźniaczemu systemowi, który został umieszczony na orbicie w połowie 2010 roku.



Źródło – Source: [Bęcek 2010]

Rys. 3. Geometria pomiaru metodą interferometrii RWR (InRWR)

Fig. 3. Geometry of the synthetic aperture radar interferometry

Kolejnym rozwiązaniem jest pozyskanie obrazów przez jednego satelitę, który powraca nad wyznaczony obszar na nieco innej orbicie (z uwagi na zachowanie bazy – B), i w jakimś czasie po pierwszej akwizycji. Jednak w wyniku czynników środowiskowych, szczególnie zmian pokrywy roślinnej, niemożliwe jest uzyskanie tzw. koherentnej pary obrazów niezbędnych do opracowania interferometrycznego. Okazuje się, że InRWR bazujące na paśmie L są mniej podatne na utratę koherencji w wyniku wpływów środowiskowych.

Rozwiązanie InRWR, w którym obrazy nie są pozyskiwane równocześnie, określane jest mianem dwuprzebiegowego (ang. *repeat-pass*), w odróżnieniu od poprzednio omówionego rozwiązania zwanego jednoprzebiegowym (ang. *single pass*).

Eksperymenty z RWR doprowadziły do wniosku, że głębokość penetracji lasów przez mikrofałę zależy od długości mikrofały. Im dłuższe fale, tym penetracja roślinności jest lepsza. I tak np. powszechnie przyjmuje się, że pasmo X ($\lambda \sim 3$ cm) właściwie nie penetruje roślinności; pasmo C ($\lambda \sim 5$ cm) penetruje „trochę” roślinność, podczas gdy pasmo P ($\lambda \sim 80$ cm) dociera do powierzchni gleby. Stąd wynika, że numeryczny model terenu uzyskany InSAR, pracujący w paśmie X, obarczony jest błędem systematycznym równym wysokości lasu. Oznacza to, że wynik InRWR z pasma P powinien być pozbawiony błędów systematycznych. Istnieją przesłanki, że o głębokości penetracji roślinności przez radar nie decyduje tylko pasmo, ale również gęstość pokrywy roślinnej. Zagadnienie doprecyzowania mechanizmów interakcji radaru z roślinnością jest obecnie jednym z klu-

czowych zagadnień badawczych w zakresie InRWR [Bęcek 2010]. Wynika to z potrzeby eliminowania wspomnianego błędu systematycznego z numerycznych modeli terenu. Z drugiej zaś strony, błąd ten może zawierać informacje dla specjalistów zainteresowanych charakterystyką (gęstością) pokrywy roślinnej [Tebaldini 2010, Brown i in. 2010].

Za jedno z największych i najważniejszych przedsięwzięć w dotychczasowej historii monitorowania zjawisk przyrodniczych należy uznać stworzenie za pomocą metody jedno-przebiegowej InRWR globalnego numerycznego modelu terenu [Bęcek 2006]. Model ten znany pod skrótem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) powstał w roku 2000 w rezultacie jedenastodniowej wyprawy amerykańskiego wahadłowca Endeavour [Farr i in. 2007]. SRTM znajduje zastosowanie w szeregu dyscyplin naukowych takich jak archeologia, ekologia, geofizyka, geodezja, geologia i wielu innych. Z ważnych zalet tego unikalnego zbioru danych o naszej planecie można wymienić: jednorodność danych pod względem metody ich pozyskania, mały piksel 1'' terytorium USA) lub 3'' (prawie cały świat), mały błąd rzędnej (instrumentalna składowa błędu) wynoszący około ± 1.55 m [Bęcek 2008], rzędne zawierają błąd systematyczny zależny od gęstości roślinności, co pozwala na globalną ocenę zasobów leśnych [Bęcek 2010], a także fakt, że zbiór ten jest dostępny bezpłatnie.

Sukces misji SRTM stał się niewątpliwie ważnym argumentem, który zadecydował o uruchomieniu znacznie bardziej zaawansowanego programu InRWR zwanego TanDEM-X (pasma X). Program TanDEM-X realizowany jest na bazie dwóch satelitów (TerraSAR-X i TanDEM-X) poruszających się po bardzo podobnych orbitach. Ich ruch względem siebie jest tak kontrolowany, by uzyskiwać optymalną bazę dla danych InRWR. TanDEM-X zalicza się do jednoprzebiegowej InRWR. Oczekuje się, że TanDEM-X zacznie dostarczać numeryczne modele powierzchni terenu o wysokiej rozdzielczości przestrzennej ($< 1''$), przy jednocześnie wysokiej dokładności rzędnych o błędzie średnim poniżej ± 1.0 m (instrumentalny składnik błędu). Wysoka rozdzielczość przestrzenna, wysoka dokładność rzędnych, oraz fakt, że pomiar będzie mógł być dokonany nad tym samym obszarem nawet wielokrotnie w okresie trwania tej kilkuletniej misji, dostarczą bardzo dużo materiału do badań środowiskowych.

Na bazie interferometrii RWR powstała metoda różnicowej interferometrii radaru o wysokiej rozdzielczości (RInRWR) (ang. *Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry – DInSAR*) [Zebker i in. 1994]. Metoda RInRWR nadaje się do pomiaru przemieszczeń rzędu pół długości mikrofal (i większych) – 1.6 cm w przypadku pasma X. Wyznaczone przemieszczenia są składowymi wektora przemieszczeń w kierunku wiązki radaru. Pomiaru dokonuje się przy użyciu obrazów radarowych pozyskanych przed i po zdarzeniu, które mogło spowodować przemieszczenie. W obliczeniach przemieszczeń pomocny jest numeryczny model terenu badanego obszaru. Chodzi o eliminację wpływu topografii z wyników przemieszczeń. Odsyłając Czytelnika do literatury odnośnie szczegółów RInRWR, w znacznym skrócie omówię przykłady monitorowania zjawisk przyrodniczych przy zastosowaniu RInRWR.

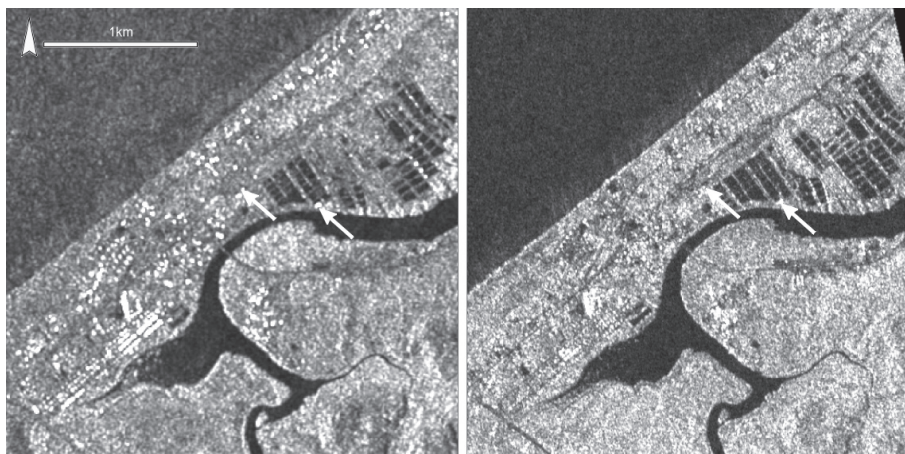
Osiadanie górotworu wywołane pracami górniczymi wymaga ustalenia dynamiki oraz obszaru dotkniętego tym zjawiskiem. Szereg prac demonstruje przykłady zastosowań dwuprzebiegowej RInRWR na bazie obrazów satelitarnych. Zalety wykorzystania do celów monitorowania osiadania górotworu obrazów dostarczanych przez japońskiego satelitę ALOS PALSAR (pasma L) [Wang i in. 2010] wynikają z faktu, że obrazy te są mało wrażliwe na dekorelację wywołaną warunkami meteorologicznymi (ruch roślinności) oraz

niskiej ceny (około 200 euro/obraz). Dane z tego samego źródła wykorzystywano także do oceny przemieszczeń wywołanych silnym trzęsieniem ziemi, które miało miejsce w prowincji Sichuan (Chiny), w maju 2008 [Chini i in. 2010].

Metodę RInRWR zastosowano do pomiaru deformacji terenu wywołanych aktywnością wulkanu [Kim i in. 2001] oraz do pomiaru prędkości i kierunku przesuwania się jeziora lodowca na Spitsbergenie [Wangensteen i in. 1999].

Wspomniane zjawisko dekorelacji, które pojawia się w trakcie przetwarzania pary obrazów radarowych, uniemożliwia uzyskanie rzędnych za pomocą InRWR, a także pomiaru zmian rzędnych terenu za pomocą RInRWR. Okazuje się, że te niedogodności można częściowo złagodzić dzięki technice „naturalnych zwierciadeł” (ang. *permanent scatterers – PS*) [Ferretti i in. 2001]. W literaturze angielskojęzycznej używa się również określenia *persistent scatterers*. W polskim piśmiennictwie używane jest określenie „rozpraszacze stabilne”. Wydaje się jednak, że tłumaczenie to jest niewłaściwe, bowiem nie oddaje ono w pełni sensu zjawiska, które ma opisywać. Istotą radaru jest pomiar czasu, który upływa pomiędzy wysłaniem wiązki energii a odebraniem jej echa odbitego od obiektów. Stąd polskie tłumaczenie terminów *scatter* oraz *backscatterer* w ich czasownikowym znaczeniu powinno nawiązywać do odbijania (w znaczeniu np. światła od zwierciadła – ang. *to reflect*), a nie do „rozpraszania”, co proponuje powyższe tłumaczenie – „rozpraszacze”. Również termin „stabilne” nie wydaje się być trafny, ponieważ w omawianym kontekście przymiotniki *permanent* i *persistent* lepiej jest tłumaczyć jako *trwały* lub nawet *naturalny*. Niniejsza propozycja tłumaczenia wyraźnie informuje o naturalnym pochodzeniu własności odbijających zwierciadeł.

Mianem naturalnych zwierciadeł (NZ) określa się obiekty, które odbijają sygnał radaru, stąd są one widoczne na obrazie radarowym jako jasne piksele. Ten sam punkt NZ powinien być dostrzegalny na każdym obrazie radarowym danego obszaru przez długi czas (lata). Na terenach zurbanizowanych punktami NZ są najczęściej budynki. Na innych obszarach mogą to być np. odkryte skały.



Rys. 4. Przykłady naturalnych zwierciadeł wskazują strzałki. Na lewo obraz TerraSAR-X. Na prawo obraz ALOS PALSAR (pasma L) tego samego obszaru

Fig. 4. Examples of permanent scatterers are indicated by pointers. Left pane shows a TerraSAR-X image, while right pane shows an ALOS PALSAR image of the same area

Na rysunku 4 przedstawiono dwa przykłady NZ na obrazach wykonanych w paśmie X i L prawie w tym samym czasie. Punkty NZ można przyrównać do „naturalnej” sieci punktów geodezyjnych. Jak wspomniano, stwarzają one możliwość uzyskania wektorów przemieszczeń w określonej liczbie punktów, co jest szczególnie cenne w sytuacji, gdy dla dużej części pary obrazów radarowych nie można uzyskać odpowiedniego poziomu skorelowania. Okazuje się, że dokładność przemieszczeń wyznaczanych w punktach NZ osiąga poziom jednego milimetra.

Literatura zawiera szereg przykładów zastosowań NZ. Metodę RInRWR z punktami NZ wykorzystano do pomiaru przemieszczeń i deformacji termicznych budynków [Ferretti i in. 2000]. Metodę tę wykorzystano również w pomiarach deformacji wywołanych aktywnością sejsmiczną i polodowcową [Dehls i in. 2002]. Metoda RInRWR z punktami NZ znajdzie w przyszłości niewątpliwie jeszcze wiele zastosowań, np. do monitorowania osuwisk gruntów i erozji.

PODSUMOWANIE

W pracy dokonano przeglądu najważniejszych metod teledetekcji aktywnej, która polega na wykorzystaniu radaru jako źródła iluminacji powierzchni Ziemi. Jedną z głównych zalet radaru z punktu widzenia teledetekcji jest to, że może on pozyskać dane w każdych warunkach oświetleniowych i pogodowych.

W ciągu trzech dekad, które upłynęły od momentu umieszczenia na orbicie okołoziemskiej pierwszego satelity wyposażonego w system RWR, powstało kilka jakościowo nowatorskich metod monitorowania zjawisk przyrodniczych. Jest wiele powodów, by sądzić, że okres ten jest dopiero początkiem otwierającym dalsze poszukiwania zmierzające do usprawniania istniejących metod i poszukiwania nowych rozwiązań. Postęp jest w dużym stopniu uzależniony od rozwoju systemów do szybkiej transmisji, zapisu i przetwarzania ogromnych zbiorów danych pozyskiwanych w trakcie pomiarów RWR czy InRWR. Niewątpliwie zagadnienia takie jak konstrukcja wielopasmowych, w pełni spolaryzowanych systemów RWR i InRWR będą jednym z kierunków rozwojowych teledetekcji aktywnej. Równocześnie badania mechanizmów interakcji pomiędzy mikrofalami i roślinnością będą kontynuowane. Należy również oczekiwać rozwoju sposobów wykorzystania RWR i InRWR do przewidywania plonów rolnych. Ocena taka będzie się stawała coraz bardziej istotna z uwagi na przyrost ludności z jednej strony a coraz bardziej niestabilne warunki klimatyczne w wielu rejonach świata.

Warto zwrócić uwagę, że technologia RWR w obecnej formie ma więcej wspólnego z fotointerpretacją niż z teledetekcją. Podobnie technika InRWR służy w zasadzie do wyznaczenia wysokości. Stąd InRWR jest bliższy metodzie LiDAR niż teledetekcji. Zważywszy na fakt, że wartość rzędnej pozyskanej metodą InRWR zależy od własności biofizycznych identyfikowanego obiektu (roślinność), InRWR powinna być rozważana na gruncie teledetekcji. Również metoda RWR może być dyskutowana w ramach teledetekcji, ponieważ RWR posiada znaczny potencjał rozwojowy. Dlatego też nie można wykluczyć, że w przyszłości rozwój RWR nie doprowadzi do stworzenia wielopasmowej metody RWR, która będzie polegała na analizie informacji dostarczanych przez kilka kanałów spektralnych, co jest właśnie paradygmatem teledetekcji.

PIŚMIENNICTWO

- Amini J., Sumantyo J.T.S., 2009. Employing a Method on SAR and Optical Images for Forest Biomass Estimation. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 47, 4020–4026.
- Bęcek K., 2006. W 10 dni Dookoła Świata, *Geodeta*, Vol. 132, Nr 5.
- Bęcek K., 2008. Investigating error structure of shuttle radar topography mission elevation data product. *Geophys. Res. Lett.* 35, L15403.
- Bęcek, K., 2010. Biomass Representation in Synthetic Aperture Radar Interferometry Data Sets. *Rozprawa habilitacyjna, Uniwersytet Techniczny w Dreźnie, październik (w druku)*.
- Brown C.G., Sarabandi K., Pierce L.E., 2010. Model-Based Estimation of Forest Canopy Height in Red and Austrian Pine Stands Using Shuttle Radar Topography Mission and Ancillary Data: A Proof-of-Concept Study. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 48, 1105–1118.
- Chang A.T.C., Atwater S.G., Salomonson V.V., Estes J.E., Simonett D.S., Bryan M.L., 1980. L-Band Radar Sensing of Soil Moisture. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* GE-18, 303–310.
- Chini M., Atzori S., Trasatti E., Bignami C., Kyriakopoulos C., Tolomei C., Stramondo S., 2010. The May 12, 2008, (Mw 7.9) Sichuan Earthquake (China): Multiframe ALOS-PALSAR DInSAR Analysis of Coseismic Deformation. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* 7, 266–270.
- Curlander J.C., McDonough R.N., 1991. *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. John Wiley, Sons, Inc. New York, Chinchester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Curlander J.C., Holt B., Hussey K., 1985. Determination of sea ice motion using digital SAR imagery. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of* 10, 358–367.
- Cutrona L.J., Leith E.N., Palermo C., Porcello L.J., 1960. Optical data processing and filtering systems. *Information Theory, IRE Transactions on*, 6(3), 386–400.
- Cutrona L.J., Leith E.N., Porcello L.J., Vivian W.E., 1966. On the Application of Coherent Optical Processing Techniques to Synthetic-Aperture Radar. *Proceedings of the IEEE*, 54(8), 1026–1032.
- Dehls J. F., Basilio M., Colesanti C., 2002. Ground deformation monitoring in the Ranafjord area of Norway by means of the permanent scatterers technique. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '02*, 203–207.
- Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*, Vol. 45, RG2004.
- Ferretti A., Ferrucci F., Prati C., Rocca F., 2000. SAR analysis of building collapse by means of the permanent scatterers technique. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2000. IEEE 2000 International*, 3219–3221.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F., 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 39, 8–20.
- Imhoff M.L., Story M., Vermillion C., Khan F., Polcyn F., 1986. Forest Canopy Characterization and Vegetation Penetration Assessment with Space-Borne Radar. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* GE-24, 535–542.
- Imhoff M.L., 1995. Radar backscatter and biomass saturation: ramifications for global biomass inventory. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 33, 511–518.
- Kim S., Joong-Sun W., Jeong W.K. Moon W.M., 2001. Application of differential SAR interferometry over the Baegdu stratovolcanic mountain. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2001. IEEE 2001 International*, 2424–2426.
- Kingsley S., Quegan S., 1993. *Understanding Radar System*. McGraw-Hill Book Company, Singapore.

- Le Toan T., Beaudoin A., Riom J., Guyon D., 1992. Relating forest biomass to SAR data. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 30, 403–411.
- Lipa B., Crissman R., Barrick D., 1986. HF radar observations of Arctic pack-ice breakup. *Oceanic Engineering*, IEEE Journal of 11, 270–275.
- Martinez-Vazquez A., Fortuny-Guasch J., 2008. A GB-SAR Processor for Snow Avalanche Identification. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 46, 3948–3956.
- Marzano F.S., Weinman J.A., 2008. Inversion of Spaceborne X-Band Synthetic Aperture Radar Measurements for Precipitation Remote Sensing Over Land. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 46, 3472–3487.
- Mason D.C., Speck R., Devereux B., Schumann G.J.P., Neal J.C., Bates, P.D., 2010. Flood Detection in Urban Areas Using TerraSAR-X. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 48, 882–894.
- Mattia F., Floury N., Moreira A., 2009. Foreword to the Special Issue on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters From SAR Data for Land Applications. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 47, 379–380.
- McCandles S.W. Jr., 2003. The origin, evolution and legacy of SEASAT, 32–34.
- Müllenhoff O., 2003. Evaluation of Multi-Frequency and Multi-Polarization Airborne SAR data for Marsh Land and River Dyke Analysis. In Fritsch, D. (Ed.). *Photogrammetric Week'03*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Nichols A.D., Wilhelm J.W., Gaffield T.W., Inkster D.R., Leung S.K., 1986. A SAR for Real-Time Ice Reconnaissance. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on GE-24, 383–389.
- Reppucci A., Lehner S., Schulz-Stellenfleth J., Brusch S., 2010. Tropical Cyclone Intensity Estimated From Wide-Swath SAR Images. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 48, 1639–1649.
- Rosen P.A., Hensley S., Joughin I.R., Li F.K., Madsen S.N., Rodriguez E., Goldstein R.M., 2000. Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE* 88, 333–382.
- Short N.M.Sr., 2010. Remote Sensing Tutorial. Źródło internetowe: <http://rst.gsfc.nasa.gov/Front/tofc.html>.
- Sieber A.J., Trevett J.W., 1983. Comparison of Multifrequency Band Radars for Crop Classification. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on GE-21, 285–294.
- Skolnik M.I., 1988. *Introduction to Radar Systems*, 2nd ed. McGraw-Hill Company, Singapore.
- Smit M.K., 1979. Preliminary Results of an Investigation into the Potential Application of X-Band SLR Images for Crop-Type Inventory Purposes. *Geoscience Electronics*, IEEE Transactions on 17, 303–308.
- Tanase M.A., Perez-Cabello F., de la Riva J., Santoro M., 2010. TerraSAR-X Data for Burn Severity Evaluation in Mediterranean Forests on Sloped Terrain. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 48, 917–929.
- Tebaldini S., 2010. Single and Multipolarimetric SAR Tomography of Forested Areas: A Parametric Approach. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 48, 2375–2387.
- Ulaby F.T., Brisco B., Dobson C., 1983. Improved Spatial Mapping of Rainfall Events with Spaceborne SAR Imagery. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on GE-21, 118–121.
- Wang Z., Liu G., Chen T., Zhang J., Huang G., 2010. Detecting and assessing the land subsidence in coal mining area using PALSAR data based on D-InSAR technique, V3–222.
- Wangensteen B., Weydahl D. J., Hagen J.O., 1999. Mapping glacier velocities at Spitsbergen using ERS tandem SAR data, 1954–1956.
- Way J., Smith E.A., 1991. The evolution of synthetic aperture radar systems and their progression to the EOS SAR. *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 29, 962–985.
- Zebker H.A., Rosen P.A., Goldstein R.M., Gabriel A. & Werner C.L., 1994. On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake. *J. Geophys. Res.* 99, 19617–19634.

THE ADVENT OF THE ACTIVE REMOTE SENSING FOR MONITORING OF NATURAL ENVIRONMENT

Abstract. The last thirty years of environment monitoring witnessed a rapid development of the active remote sensing technology. Therefore, it is appropriate to consider this period as an advent of the active remote sensing. This paper offers a quick outline of the basics terms, approaches and typical applications of the technology which includes radar, synthetic aperture radar, synthetic aperture radar interferometry and methods which are derived from the synthetic aperture radar interferometry including the differential synthetic aperture radar interferometry and permanent scatterers. The polarimetric synthetic aperture radar interferometry and LiDAR were omitted from this review.

Key words: active remote sensing, radar, SAR, InSAR, DInSAR, PSInSAR

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2010

Do cytowania – For citation: Bęcek K., 2010. Adwent metod teledetekcji aktywnej do monitorowania zjawisk przyrodniczych. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 9(2), 3–20.

WYCENA NIERUCHOMOŚCI ROLNYCH PODSTAWĄ PRAC URZĄDZENIOWO-ROLNYCH

Edward Sawiłow

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Scalenie gruntów jest jednym z podstawowych zabiegów urzędniowo-rolnych, kształtujących optymalną strukturę przestrzeni rolniczej. Głównym celem zabiegów urzędniowo-rolnych jest poprawa warunków gospodarowania na wsi. Prawidłowe wykonanie prac scaleniovych wymaga przeprowadzenia wiarygodnego i obiektywnego szacunku porównawczego gruntów. W pracy zaproponowano wykorzystanie do określenia szacunku porównawczego gruntów podejście porównawcze, z wykorzystaniem cen rynkowych nieruchomości rolnych, na obszarze objętym postępowaniem scaleniovym. Zastosowano dla realizacji postawionego celu jedną z metod analizy statystycznej rynku. W proponowanym modelu wielowymiarowej analizy porównawczej uwzględnione zostały cechy rynkowe różnicujące ceny transakcyjne nieruchomości rolnych.

Słowa kluczowe: nieruchomość rolna, szacunek porównawczy gruntów, model, cechy rynkowe

WSTĘP

Wycena wartości nieruchomości rolnych jest jednym z istotnych tematów w pracach urzędniowo-rolnych. Jest to problem wielowymiarowy zawierający w sobie elementy ekonomiczne, społeczne, organizacyjne i polityczne. W pracach scaleniovych podstawowym problemem jest przyjęcie wiarygodnych i uznanych metod przeprowadzenia szacunku porównawczego gruntów jako podstawy ekwiwalentności gruntów poddanych scaleniu. W Polsce podstawy prawne przeprowadzenia szacunku porównawczego zapisano w ustawie z dnia 26 marca 1982 r. o scalaniu i wymianie gruntów (tekst jednolity Dz. U. z 2003 r. Nr 178, poz. 1749).

Z przepisów ustawy wynika, że ustawodawca pozostawił pełną swobodę przy ustalaniu zasad określania wartości scalanych gruntów. Oprócz ustawy – zasady przeprowadzania szacunku porównawczego określone zostały w Instrukcji nr 1 Ministerstwa Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej o scalaniu gruntów z dnia 24 marca 1983 r. Z zapisów instrukcji wynika, że podczas przeprowadzania szacunku porównawczego

Adres do korespondencji – Corresponding author: Edward Sawiłow, Katedra Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: e.sawilow@up.wroc.pl

gruntów objętych scaleniem należy uwzględnić bonitację gruntów, rolniczą przydatność gleb lub zasady określone przez uczestników scalenia. Uczestnicy scalenia ustalają w drodze uchwały zasady określania wartości oraz ewentualnych dopłat i sposobów rozliczenia. W większości postępowań scaleniowych szacunek porównawczy ma charakter względny i wyrażany jest w skali punktowej według wzoru:

$$W = \alpha \cdot \beta \cdot \sum_{i=1}^s p_i \cdot \omega_i \quad (1)$$

gdzie:

W – wartość szacunkowa dowolnego elementu powierzchniowego,

α – zmienny współczynnik ekonomiczny,

β – zmienny współczynnik uwzględniający atrakcyjność gruntu,

p – powierzchnia elementu szacunkowego,

ω – współczynnik glebowo-przyrodniczy.

Zasady i tabele punktacji podane zostały w pracy [Hopfer, Urban 1977]. W przypadku kiedy w postępowaniu scaleniowym zachodzi konieczność określania przez rzeczoznawcę wartości nieruchomości, musi to zostać dokonane w jednostkach pieniężnych. Przyjmowanie wartości nieruchomości w umownych punktach szacunkowych jest największą wadą funkcjonującego modelu szacunku porównawczego gruntów objętych postępowaniem scaleniowym.

Wartość gruntów rolnych powinna odzwierciedlać dotychczasowe trendy zmian ceny rynkowej oraz przewidywane dochody z gruntów. Wartość ta zależy od wielu czynników. Stosowane w Polsce podejścia, metody i techniki wyceny zapisane są w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 21 września 2004 r. w sprawie wyceny nieruchomości i sporządzania operatu szacunkowego (Dz. U. Nr 2007, poz. 2109 ze zm.). Na terenach wiejskich, wykorzystuje się do wyceny gruntów rolnych głównie dwa podejścia rynkowe, a mianowicie:

- dochodowe, na podstawie osiąganego z nich dochodu w postaci czynszu dzierżawnego,
- porównawcze, opierając się na ich cenach transakcyjnych.

Podejście dochodowe polega na kapitalizowaniu oczekiwanych dochodów czynszowych z dzierżawy gruntów rolnych. Słabą stroną tego podejścia jest to, że w ocenie spodziewanych dochodów istnieje duża dowolność, dodatkowo błąd oszacowania potęguje się poprzez procedurę kapitalizacji. W warunkach gospodarki rynkowej wartość gruntów rolnych zależy od rocznego dochodu z gruntów i stopy procentowej.

W niniejszym opracowaniu autor proponuje uzupełnienie zbioru dotychczasowych metod szacunku porównawczego gruntów o podejście porównawcze, metodę analizy statystycznej rynku. Bardzo dobrym narzędziem do realizacji postawionego celu jest metoda wielowymiarowej analizy porównawczej, z uwzględnieniem wszystkich istotnych czynników mających wpływ na wartość nieruchomości rolnych.

Obecnie główne znaczenie przypisuje się wartości gruntów rolnych według cen rynkowych. Problem wartości gruntów na terenach rolnych nie został dotychczas jednoznacznie rozstrzygnięty w pracach urzędniowo-rolnych. Wartość stanowi ekonomiczną stronę wyceny nieruchomości. Uzewnętrznia się ona w procesie wymiany rynkowej i określona jest przez cenę. Zagadnieniem szacowania wartości nieruchomości rolnych

zajmowało się wielu autorów [Chołaj 1966, Hopfer, Urban 1977, Urban 1975, Hopfer 1991].

Na wartość gruntów na terenach rolnych wywiera wpływ wiele czynników, których kwantyfikowanie stanowić może podstawę opracowania modeli wycen. Określenie wartości rynkowej wszystkich nieruchomości objętych postępowaniem scaleniowym, jako podstawy ekwiwalentów zamiennych, jest najwłaściwszą metodą w dobie gospodarki rynkowej.

PODSTAWY TEORETYCZNE

W celu określenia szacunku porównawczego gruntów w procesie scalania zaproponowano zastosowanie podejścia porównawczego, metody analizy statystycznej rynku. Przy metodzie analizy statystycznej rynku do porównań przyjmuje się grupę nieruchomości reprezentatywnych dla rynku właściwego miejscowo ze względu na położenie wycenianej nieruchomości, jeżeli były one przedmiotem obrotu rynkowego i dla których znane są ceny transakcyjne, warunki zawarcia transakcji, a także cechy tych nieruchomości. Dokonując próby klasyfikacji metod stosowanych w praktyce lub poddawanych badaniom o charakterze naukowym jako możliwego sposobu realizacji metody analizy statystycznej rynku, należałoby wyróżnić:

- 1) metody oparte na ekonometrycznych modelach regresji wielorakiej i pochodnych,
- 2) metody oparte na sieciach neuronowych,
- 3) metody introspektywne.

Metody oparte na ekonometrycznych modelach regresji należą do najczęściej podejmowanych prób realizacji metody analizy statystycznej rynku, zwłaszcza w ujęciu liniowym. Zwykle dają one jednak mało zadowalające wyniki. Przyczyną tego są trudności ze spełnieniem szeregu warunków formalnych, jakie są stawiane już na etapie budowy modelu. Należą do nich:

- a) istnienie dobrej teorii pozwalającej na wyspecyfikowanie zbioru istotnych zmiennych objaśniających,
- b) istotne zmienne powinny być mierzalne,
- c) istnienie i dostępność danych statystycznych o wszystkich zmiennych,
- d) zmienne objaśniające powinny być silnie skorelowane ze zmienną objaśnianą i nieskorelowane pomiędzy sobą,
- e) zmienne objaśniające powinny cechować się wystarczająco dużą zmiennością,
- f) uwzględnienie bezpośrednio w modelu wszystkich najważniejszych zmiennych objaśniających,
- g) trafne dobranie postaci analitycznej modelu,
- h) stabilność oszacowanych relacji,
- i) nielosowość zmiennych objaśniających.

Do metody analizy statystycznej rynku zaliczyć można również metodę wielowymiarowej analizy porównawczej. Metoda ta pozwala na otrzymanie obiektywnej wartości rynkowej różnego rodzaju nieruchomości, w szczególności gruntów rolnych. Wielowymiarowa analiza porównawcza jest dyscypliną naukową pozwalającą na analizę obiektów i zjawisk złożonych, tj. takich, na których stan wpływa jednocześnie wiele cech. W pracach scaleniowych mamy do czynienia z tego rodzaju problematyką. Każda

nieruchomość rolna może być bowiem opisana zbiorem cech diagnostycznych. Do podstawowych pojęć w wielowymiarowej analizie zalicza się obiekty i cechy. W dalszej części pracy przez obiekty będziemy rozumieć nieruchomości rolne położone na obszarze objętym postępowaniem scaleniowym, natomiast przez cechy – ich charakterystyki, którymi te nieruchomości się odznaczają. Zarówno nieruchomości rolne, jak i cechy mają liczbowe charakterystyki, co umożliwi ich wszechstronne analizowanie oraz przetwarzanie za pomocą wielowymiarowej analizy porównawczej.

Przedmiotem wielowymiarowej analizy porównawczej są nieruchomości, których podobieństwo wyznaczają wartości pewnej zmiennej syntetycznej. Wyższe wartości zmiennej syntetycznej powinny świadczyć o wyższej wartości szacunkowej nieruchomości. W celu identyfikacji cech stosuje się metody analizy i oceny merytorycznej oraz metody statystyczne bazujące na macierzy korelacji pomiędzy cechami.

W proponowanym podejściu jedną z pierwszych czynności jest opis i charakterystyka nieruchomości objętych postępowaniem scaleniowym, które w ostatnim czasie były przedmiotem obrotu rynkowego na tym obszarze.

Kolejną czynnością jest ustalenie rodzaju oraz liczby cech rynkowych wpływających na poziom cen na obszarze objętym postępowaniem scaleniowym. Cechy nieruchomości mają właściwości jakościowe lub ilościowe. Zgodnie z obowiązującymi standardami wyceny nieruchomości – wartości tych cech muszą być podane w przyjętych skalach pomiarowych. Zakres skali ocen cech może być zróżnicowany. Obszar objęty pracami urzędniowo-rolnymi scharakteryzować można za pomocą macierzy \mathbf{X} i wektora \mathbf{C} . W macierzy \mathbf{X} wiersze oznaczają poszczególne nieruchomości, kolumny oznaczają wartości poszczególnych cech nieruchomości. Cechy jakościowe muszą być zapisane w przyjętej skali liniowej lub nieliniowej. Najczęściej stosowana jest skala liniowa. Wektor \mathbf{C} oznacza zaktualizowane, na datę przeprowadzenia szacunku porównawczego, jednostkowe ceny nieruchomości rolnych, które były przedmiotem obrotu rynkowego. Mamy:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Powyższe dane charakteryzujące nieruchomości rolne, które były przedmiotem obrotu rynkowego na obszarze objętym postępowaniem scaleniowym, stanowią podstawę do określenia wartości wszystkich nieruchomości objętych tym postępowaniem.

Przy określaniu wartości szacunkowych nieruchomości wartość merytoryczna poszczególnych cech odgrywa rolę podstawową, niemniej jednak wpływ poszczególnych cech opisujących nieruchomości nie jest jednakowy. W celu ustalenia wpływu cech na wartość szacunkową nieruchomości wprowadza się współczynniki wagowe (oznaczone dalej jako s_j). Analizę metod ustalania współczynników wagowych, według formuł statystycznych, przedstawiono w pracy Sawilowa [2004a].

Cechy nieruchomości rolnych mają zazwyczaj różne miana i różne zakresy zmienności. Nie można wykonywać na tych wartościach operacji arytmetycznych ani ich porównywać. Aby możliwe było ich porównywanie, należy wykonać elementarne przekształcenia na pierwotnych wartościach cech, nazywane normalizacją statystyczną cech.

Operacja normalizacji cech polega na takiej transformacji pierwotnych wartości cech, aby nowe realizacje cech charakteryzowały się pożądanymi właściwościami. W wyniku normalizacji wszystkie cechy są liczbami nieujemnymi i mieszczą się w określonym i znanym przedziale wartości. Do najważniejszych metod normalizacji cech zalicza się przekształcenia ilorazowe, standaryzację i unitaryzację. W pracy zastosowano przekształcenie ilorazowe w postaci:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bar{x}_j} \quad (3)$$

gdzie:

x_{ij} – cechy nieruchomości,
 \bar{x}_j – średnia arytmetyczna j -tej cechy.

Głównym celem normalizacji jest uzyskanie formalnych podstaw do wykonywania działań arytmetycznych na zbiorach cech nieruchomości o różnych mianach. Ważnym czynnikiem jest również to, że w wyniku normalizacji wszystkie wartości cech znajdują się w określonym i znanym przedziale zmienności.

W wielowymiarowej analizie porównawczej do porównywania nieruchomości wykorzystuje się zmienne syntetyczne, umożliwiające porównywanie nieruchomości za pomocą jednej syntetycznej wielkości. Idea zmiennej syntetycznej polega na zastąpieniu wektora cech, opisującego daną nieruchomość, skalarną wielkością zagregowaną. Umożliwia to porównywanie i porządkowanie nieruchomości względem siebie, co jest jednym z podstawowych warunków przy szacunku porównawczym gruntów, w celu zapewnienia ekwiwalentności gruntów zamiennych w procesie scaleniomym.

Analityczne formuły wyznaczania jednej wielkości syntetycznej opisującej nieruchomości można podzielić na dwie grupy: bezwzorcowe i wzorcowe. W pracy zastosowano bezwzorcowe zmienne syntetyczne, obliczane jako wartości średnie ważone zbioru cech opisujących poszczególne nieruchomości. Wykorzystano w tym celu formułę w postaci:

$$q_i = \sum_{j=1}^m s_j \cdot z_{ij} \quad (4)$$

Otrzymane w powyższy sposób mierniki syntetyczne dla poszczególnych nieruchomości pozwalają na prowadzenie analiz porównawczych nieruchomości.

W rezultacie zastosowania procedury wielowymiarowej analizy porównawczej otrzymuje się wektor, którego elementami są realizacje cechy syntetycznej, a więc cechy abstrakcyjnej niewystępującej w zbiorze nieruchomości rolnych objętych postępowaniem scaleniomym. Elementy tego wektora pozwalają na ustalenie podobieństwa w zbiorze nieruchomości w obszarze objętym postępowaniem scaleniomym. W pracy wykorzystano je do ustalenia wartości szacunkowych gruntów. Wartości szacunkowe nieruchomości rolnych określono według formuły:

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \cdot q_i \quad (5)$$

Powyższy wzór określenia wartości nieruchomości podobny jest do formuły ustalania wartości katastralnych, w ramach powszechnej taksacji nieruchomości, podanej w pracy Sawilowa [2004b]. Podsumowując, powyższą procedurę określania wartości nieruchomości rolnych, na potrzeby prac scaleniowych, można ująć w następujących punktach:

- 1) wybór cech mających istotny wpływ na wartość gruntów rolnych,
- 2) określenie jednolitego kierunku preferencji cech,
- 3) ustalenie współczynników wagowych cech,
- 4) ustalenie metody normalizacji cech,
- 5) określenie analitycznej postaci funkcji syntezującej,
- 6) ustalenie wartości szacunkowych gruntów.

Określone według wzoru (5) wartości szacunkowe gruntów rolnych, w obszarze objętym postępowaniem scaleniowym, są wartościami rynkowymi i spełniają wymogi stawiane pracom scaleniowym.

PRZYKŁAD PRAKTYCZNY

Weryfikacje proponowanej metody określenia wartości nieruchomości na potrzeby szacunku porównawczego gruntów w pracach scaleniowych przeprowadzono na obiekcie testowym dzięki informacjom zawartym w rejestrze cen i wartości nieruchomości. Informacje te uzupełnione zostały wynikami lustracji nieruchomości i uzupełnione miarami uzyskanymi z mapy ewidencyjnej. Przyjęto do badań i analizy 18 nieruchomości rolnych (działek gruntu). W wyniku analizy lokalnego rynku nieruchomości rolnych, uwzględniając również wymogi przepisów prawa w zakresie scalania gruntów, ustalono zbiór cech opisujących lokalny rynek nieruchomości rolnych. Zbiór ten obejmował następujące cechy:

- 1) front działki w metrach (x_1),
- 2) kształt działki (x_2),
- 3) odległość od gospodarstwa w hektometrach (x_3),
- 4) kultura rolna (x_4),
- 5) jakość gruntów (x_5),
- 6) powierzchnia nieruchomości w hektarach (x_6).

Z powyższego zestawienia widzimy, że zbiór ten obejmuje zarówno cechy jakościowe, jak i cechy ilościowe. W proponowanej metodyce wszystkie cechy muszą mieć przypisane wartości liczbowe. Mając to na uwadze, cechom jakościowym nadano wartości liczbowe, w przyjętej skali liniowej. Wartości te powinny być uzgodnione z uczestnikami postępowania scaleniowego. Wartość cechy „jakość gruntów” określono jako średnią ważoną wskaźników przeliczeniowych klas bonitacyjnych podanych w pracy [Hopfer, Urban 1977].

Jako zmienną zależną przyjęto zaktualizowaną cenę jednostkową nieruchomości (c). W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę przyjętego do określenia wartości nieruchomości rolnych zbioru reprezentatywnych nieruchomości.

Na podstawie cech charakteryzujących nieruchomości i ich cen transakcyjnych ustalono współczynniki wagowe.

Tabela 1. Charakterystyka zbioru nieruchomości rolnych
Table 1. The characterization of agricultural real property

Numer Number	Front działki Front of the plot	Kształt działki Shape of the plot	Odległość od gospodar- stwa Distance from the farm	Kultura rolna Land culture	Jakość gruntów Quality of gro- unds	Powierzchnia Area	Cena zaktualizo- wana [zł/ha] Price up to date
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	C
1	195	0,91	35	2	80	3,4550	19 850
2	168	0,87	34	1	76	2,4550	18 250
3	175	1,02	18,5	2	82	3,1250	19 150
4	220	0,94	20,7	3	91	4,5650	21 055
5	195	0,72	5,5	1	82	2,7556	16 750
6	105	1,12	17	1	79	1,2352	17 650
7	242	0,44	25	1	83	2,5678	15 587
8	175	1,45	34,5	3	96	4,4500	24 500
9	220	1,06	23,4	3	92	5,1200	22 900
10	170	1,19	12,5	3	93	3,4500	23 150
11	200	0,91	5	1	71	3,6500	16 250
12	155	0,56	35,5	1	78	1,3540	18 550
13	275	0,61	8	2	84	4,6500	19 650
14	190	1,20	7,5	2	86	4,3440	19 545
15	215	1,06	16,5	3	78	4,9000	20 450
16	180	0,93	5	1	82	3,0250	18 345
17	135	0,92	18	2	84	1,6750	19 750
18	115	1,77	24,2	2	90	2,3452	20 120

Unormowane do jedności współczynniki wagowe cech, obliczono według formuły podanej w pracy Sawiłow [2004b]. Mamy:

$$s_j = p_j \cdot \left(\sum_{j=1}^m p_j \right)^{-1} \quad (6)$$

gdzie:

$$p_j = \left(\sum_{i=1}^n c_i \cdot x_{ij} \right)^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^n c_i \cdot x_{ij} \right)^2 \right)^{-1}$$

Współczynniki wagowe obliczone według wzoru (6) zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki wagowe cech
Table 2. Coefficients of the weighting coefficients

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
0,2360	0,3608	0,0657	0,1144	0,0583	0,1647

Normalizację cech nieruchomości zamieszczonych w tabeli 1 przeprowadzono według wzoru (3). Znormalizowane wartości cech nieruchomości pomnożono odpowiednio przez współczynniki wagowe poszczególnych cech nieruchomości, otrzymując znormalizowane ważone wartości cech. Wyniki obliczeń wartości nieruchomości rolnych, w odniesieniu do przyjętego zbioru wraz z obliczoną miarą syntetyczną zawiera tabela 3.

Tabela 3. Wartości nieruchomości rolnych
Table 3. Values of agricultural real property

Numer Number	Zmienna syntetyczna Synthetic variable	Wartość nieruchomości [zł/ha] Value of real property
1	1,052922	20561,36
2	0,886852	17318,38
3	0,996221	19454,11
4	1,170820	22863,66
5	0,787946	15386,93
6	0,781101	15253,26
7	0,803021	15681,33
8	1,345702	26278,74
9	1,252668	24461,99
10	1,116312	21799,25
11	0,899598	17567,26
12	0,707702	13819,94
13	1,015102	19822,82
14	1,107765	21632,33
15	1,201898	23470,56
16	0,857758	16750,22
17	0,835434	16314,28
18	1,181180	23065,98

Z powyższych wyników widać, że ustalone wartości szacunkowe, na podstawie proponowanego modelu szacunku porównawczego gruntów, są bardzo zbliżone do cen transakcyjnych nieruchomości zawartych w tabeli 1, co świadczy o poprawności modelu i przydatności metod wielowymiarowej analizy porównawczej na potrzeby prac urządzeniowo-rolnych.

PODSUMOWANIE

Kluczowym zagadnieniem w pracach urzędniowo-rolnych, w szczególności w pracach scaleniowych i wymiennych, jest opracowanie obiektywnych zasad przeprowadzania szacunku porównawczego gruntów.

Z przeprowadzonych badań wynika, że metody wielowymiarowej analizy porównawczej mogą znaleźć szerokie zastosowanie przy ustalaniu wartości nieruchomości rolnych jako podstawy szacunku porównawczego gruntów.

Metody te pozwalają na ustalenie podobieństwa nieruchomości dzięki jednej zmiennej syntetycznej opisującej nieruchomości jako obiekty w przestrzeni wielowymiarowej. Wartość szacunkową nieruchomości rolnej można wyznaczyć jako iloczyn zmiennej syntetycznej i średniej ceny nieruchomości w danym obszarze.

Postać analityczna przedstawionego w artykule modelu określenia wartości rynkowej nieruchomości rolnej, przy zastosowaniu metod analizy wielowymiarowej, jest liniową funkcją tylko jednej zmiennej syntetycznej opisującej cechy nieruchomości.

Model ten jest podobny do zmodyfikowanego modelu powszechnej taksacji opracowanego w celu ustalania wartości katastralnych w Polsce.

Przeprowadzone badania potwierdzają przydatność metod wielowymiarowej analizy porównawczej na potrzeby prac urzędniowo-rolnych, w szczególności – scalenia i wymiany gruntów.

PIŚMIENNICTWO

- Chołaj H., 1966. Cena ziemi w rachunku ekonomicznym, PWE, Warszawa.
- Hopfer A., Urban M., 1977. Geodezyjne urządzenia terenów rolnych, PWN, Warszawa.
- Hopfer A. i in., 1991. Wycena nieruchomości. ART, Olsztyn.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 21 września 2004 r. w sprawie wyceny nieruchomości i sporządzania operatu szacunkowego (Dz. U. Nr 2007, poz. 2109 ze zm.).
- Sawiłow E., 2004. Analiza metod ustalania wpływu atrybutów na wartość nieruchomości. Studia i Materiały Towarzystwa Naukowego Nieruchomości, vol. 12, nr 1.
- Sawiłow E., 2004. Zmodyfikowana metoda powszechnej taksacji nieruchomości, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Procedury prawne, organizacyjne i technologiczne powszechnej taksacji nieruchomości”, Olsztyn.
- Urban M., 1975. Ekonomia rolnictwa. PWN, Warszawa.
- Ustawa z dnia 26 marca 1982 r. o scalaniu i wymianie gruntów (Dz. U. z 2003 r. Nr 178, poz. 1749 ze zm.).

THE PRICING OF AGRICULTURAL REAL PROPERTY AS BASIS FOR WORKS AGRICULTURAL ENGINEERING

Abstract. The integration of grounds is one of basic concepts of farming devices, formative the optimum-structure of the agricultural space. A main objective of farming devices is the improvement of conditions of the farming in the country. The correct execution of integration works demands reliable and objective execution of the grounds assessment. On the job one proposed the utilization to qualifying of the value of the respect of the comparative ground the comparative approach, with the utilization of marketable prices of agricultural real property in the area of embraced integration conduct. One applied for the realization of put aim one of methods of the statistical analysis of the market. In proposed model of the multidimensional comparative analysis were taken into account guilds market differentiating prices transactional agricultural real property.

Key words: agricultural real property, grounds assessment, the model, market guilds

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2010

Do cytowania – For citation: Sawilow E., 2010. Wycena nieruchomości rolnych podstawą prac urządzeniowo-rolnych. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 9(2), 21–30.

OCENA SKUTECZNOŚCI EWIDENCJI GRUNTÓW I BUDYNKÓW

Kazimierz Zwirowicz

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Ewidencja gruntów i budynków powinna funkcjonować w zgodności z ustaleniami zawartymi w przepisach prawnych i technicznych, a jednocześnie spełniać oczekiwania otoczenia systemowego w zakresie realizacji zadań związanych z zaspokajaniem zapotrzebowania odbiorców indywidualnych i zbiorowych na dane ewidencyjne.

Wyniki analizy zasad, uwarunkowań oraz okoliczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków przeprowadzonej na tle teorii efektywności systemów działania i zasady racjonalnego gospodarowania dowodzą, że do opisu tego systemu można wykorzystać sprawność, jedną z cech systemowych. Ogólnie sprawność systemu powinna wyrażać jego skuteczność oraz ekonomiczność.

Z uwagi na stan badań nad sprawnością funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w ogóle istnieje potrzeba opracowania metody oceny skuteczności tego systemu w danym miejscu i w danej chwili. Sytuacja ta wymaga zatem rozwiązania szeregu zadań badawczych, przede wszystkim sformułowania zestawu cech diagnostycznych, których stan decyduje o sposobie gromadzenia, udostępniania i doskonalenia danych ewidencyjnych oraz opisyje ich jakość i możliwości praktycznego wykorzystywania.

Słowa kluczowe: ewidencja gruntów i budynków, skuteczność systemu, cechy diagnostyczne, model skuteczności, ocena skuteczności

WSTĘP

Funkcjonowanie ewidencji gruntów i budynków w warunkach gospodarki rynkowej musi być postrzegane w kontekście permanentnego dążenia do osiągnięcia optimum w realizacji określonych ustawowo funkcji i zadań, a także konieczności uwzględniania całokształtu możliwości niezawodnego działania na rzecz otoczenia systemowego. Można więc zauważyć, że celem działania tego systemu jest praktyczne wykorzystywanie zgromadzonego w nim potencjału wartości użytkowej albo doprowadzenie w zamierzonym czasie do wyróżnionego (docelowego) stanu, lub też zapobieganie temu, by system znalazł się w stanie niepożądanym.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Kazimierz Zwirowicz, Katedra Katastru i Zarządzania Przestrzenią, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Prawocheńskiego 15, 10-724 Olsztyn, e-mail: kazimierz.zwirowicz@uwm.edu.pl

W tym stanie rzeczy dążenie starosty powiatowego do zapewnienia optymalnych warunków funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków powinno być poparte możliwością stosowania powszechnie uznanych metod monitorowania potencjału jej wartości użytkowej, aby w ten sposób powstały warunki nie tylko do poznania zdolności tego systemu do efektywnego działania, ale i do wskazania zakresu prac doskonalących to funkcjonowanie.

Efektywność (efektywność organizacyjna) funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków na terenie powiatu *to rezultat działalności prowadzonej przez konkretną komórkę organizacyjną (wydział) starostwa powiatowego (lub innego urzędu administracji publicznej, względnie zakład budżetowy) z udziałem tego systemu, w przyjętym czasie systemowym (okresie rozliczeniowym)* [Zwirowicz 2008]. Jest cechą systemową, która wyraża zdolność ewidencji gruntów i budynków do właściwego i racjonalnego wykonywania ustawowo określonych funkcji i zadań na rzecz beneficjentów w sposób długotrwały, a także otwartość na innowacje techniczno-technologiczne i ulepszenia otoczenia systemowego.

W ujęciu ogólnym efektywność ewidencji gruntów i budynków jest funkcją skuteczności (efektywności operacyjnej systemu) i ekonomiczności (korzyści).

Zagadnienie efektywności ewidencji gruntów i budynków jest mało poznane i dlatego celem niniejszego opracowania będzie przedstawienie propozycji metody oceny skuteczności funkcjonowania tego systemu, przy przyjęciu za jednostkę analizy obszar obrębu ewidencyjnego. Nadanie tej cesze systemowej priorytetu stanowi nawiązanie do ustalenia wskazującego, że wpływ poziomu skuteczności systemu na poziom jego sprawności jest znacznie większy od wpływu poziomu ekonomiczności [Zwirowicz 2008].

Wstępnym wynikiem prac mających na celu rozwiązanie przedstawionego problemu badawczego poświęcone jest to opracowanie.

PRZEDMIOT I ZAKRES BADAŃ

Ogólnie rzecz ujmując, można przyjąć, że skuteczność ewidencji gruntów i budynków stanowi odzwierciedlenie właściwości tego systemu informacyjnego funkcjonującego w konkretnym miejscu i w interesującym obserwatora czasie, z punktu widzenia poziomu oraz sposobu ukształtowania i utrzymywania całokształtu możliwości do działania zgodnie z oczekiwaniami otoczenia systemowego, ustalonym przeznaczeniem w różnych dziedzinach życia społeczno-gospodarczego kraju oraz obowiązującymi standardami prawnymi i technicznymi.

Skuteczność funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków to nie tylko podstawowy wymóg i walor wszelkiego działania świadomego, ale przede wszystkim pozytywnie oceniana zgodność wyniku działania związanego z gromadzeniem, przechowywaniem, przetwarzaniem, aktualizacją, weryfikacją, modernizacją i udostępnianiem danych ewidencyjnych, z przyjętym (zamierzonym) celem i w odniesieniu do parametrów określonego rozwiązania modelowego traktowanego jako względny stan optymalny. Ta cecha systemowa oznacza zatem *stopień bieżącego (zapobieganie entropii) i strategicznego przystosowywania się (dążenie do negentropii) do zmian w otoczeniu systemowym w związku z koniecznością osiągnięcia przyjętej struktury celów działania* [Zwirowicz 2008].

Uzyskanie informacji o jakości ewidencji gruntów i budynków oraz o jej przydatności do wypełniania określonych funkcji i zadań na rzecz użytkowników jest możliwe w następstwie procesu oceny warunków funkcjonowania na badanym obszarze.

Uwzględniając okoliczności związane z prowadzeniem procesów oceniania systemów działania i posiłkując się definicją pojęcia oceny systemu [Sienkiewicz 1987], a także biorąc pod uwagę definicję skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków, jej cele i zadania w gospodarce narodowej oraz zasady prowadzenia i modernizacji, można przyjąć, że *ocena skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków to wypowiedź podmiotu oceniającego, wyrażająca aprobatę lub dezaprobatę dla istniejącej sytuacji ewidencyjnej na danym obszarze, sformułowana z uwagi na potrzebę dysponowania niezawodnym źródłem informacji o racjonalnej wartości użytkowej, która jest niezbędna do zaspokajania popytu beneficjentów na dane ewidencyjne w warunkach gospodarki rynkowej, wywołanego przede wszystkim potrzebą zabezpieczenia praw własności do gruntu i do nieruchomości.*

Aktualny stan wiedzy w zakresie skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków powoduje, że zakres podejmowanych badań obejmuje:

- 1) sformułowanie modelu porównawczego skuteczności tego systemu,
- 2) przedstawienie propozycji sposobu formułowania oceny skuteczności tego systemu.

Sprawdzenie możliwości wykorzystania opracowanej metody polega na przeprowadzeniu oceny skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w odniesieniu do losowo wybranych obrębów ewidencyjnych położonych w powiecie ełckim.

Model porównawczy skuteczności ewidencji gruntów i budynków

Przyjmuje się, że podstawę do ustalenia poziomu skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w danym obrębie ewidencyjnym stanowi stan cech diagnostycznych, które odnoszą się do walorów użytkowych tego systemu.

Walory te mogą być ujęte w dwóch obszarach badawczych odnoszących się do:

- 1) sposobu założenia ewidencji gruntów na podstawie dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków,
- 2) techniki i organizacji prowadzenia tego systemu informacyjnego.

Sformułowany dzięki literaturze przedmiotu, z założenia adekwatny do warunków założenia i prowadzenia ewidencji gruntów i budynków na terenie powiatu ełckiego, zestaw cech diagnostycznych przedstawia się następująco:

- 1) materiał źródłowy wykorzystany do założenia ewidencji gruntów na podstawie dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków,
- 2) wpływ czasu od ostatniego pomiaru uzupełniającego,
- 3) źródło danych o położeniu obiektu (atrybut ZRD),
- 4) sposób ustalenia granic działek ewidencyjnych,
- 5) sposób stabilizacji punktów granicznych działek ewidencyjnych,
- 6) sposób tworzenia mapy cyfrowej,
- 7) metoda pomiaru granic działek ewidencyjnych,
- 8) sposób realizacji prac związanych z modernizacją kompleksową tego systemu.
- 9) zgodność treści operatu ewidencyjnego z księgami wieczystymi,
- 10) metoda obliczenia pól powierzchni działek ewidencyjnych,
- 11) terminowość wprowadzania zmian do operatu ewidencyjnego,
- 12) terminowość udostępniania danych ewidencyjnych.

Rozwiązanie modelowe będące wielkością wzorcową do przeprowadzenia pomiaru poziomu skuteczności ewidencji gruntów i budynków powinno się odnosić do zestawu cech diagnostycznych opisujących warunki funkcjonowania tego systemu. O poziomie jego skuteczności decyduje stan tych cech, a ocena wskaźnika oceny tej cechy systemowej jest agregacją ocen stanów elementów składowych, określonych w odniesieniu do ustalonych pożądanych ich stanów optymalnych, z uwzględnieniem stanów niepożądanych i wielkości pośrednich między tymi wyodrębnionymi stanami.

Jednym ze sposobów ustalenia przedziałów klasyfikacyjnych oraz wskazania ich charakterystyk brzegowych, utożsamianych z wyróżnionymi stanami poszczególnych cech diagnostycznych, jest sposób polegający na określeniu *a priori* pożądanych wielkości i podstaw opisu sytuacji dotyczącej warunków funkcjonowania tego systemu informacyjnego.

Cechy diagnostyczne stanowiące podstawę badania stanu rzeczywistości ewidencyjnej występującej w konkretnym miejscu i w danym momencie czasu systemowego mogą mieć dla podmiotu oceniającego jednakową lub też zróżnicowaną wagę (rangę). W niniejszym opracowaniu przyjęto, że wybrane cechy diagnostyczne mają jednakowy wpływ na dany stan rzeczy.

Uznanie metody punktowej za najwłaściwszą do oceny skuteczności funkcjonowania tego systemu powoduje potrzebę ustalenia maksymalnej wielkości wskaźnika W_{EO} , który wyraża łącznie optymalny stan cech diagnostycznych decydujących o poziomie badanej cechy systemowej. W tej sytuacji, wobec przyjęcia do analizy 12 cech diagnostycznych i wyrażenia *a priori* względnego stanu optymalnego każdej z tych cech 10 punktami, maksymalna wielkość wskaźnika W_{EO} ustalona na potrzeby tego opracowania może wynieść 120 punktów.

Skonstruowany model porównawczy umożliwiający pomiar skuteczności ewidencji gruntów i budynków w odniesieniu do konkretnego obszaru ewidencyjnego i wyrażenie stopnia doskonałości tego systemu przedstawiono w tabeli 1.

Formułowanie oceny skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków

Na podstawie obliczonej wartości wskaźnika oceny podmiot oceniający może, zwłaszcza gdy opiera swój sąd na znormalizowanej wartości wskaźnika oceny, wyrażać aprobatę lub dezaprobatę dla danego stanu rzeczy. Obliczonym wartościom wskaźnika oceny można przyporządkować pewne oceny, stosując przyjętą skalę ocen [Hopfer i in. 1982, Sienkiewicz 1987].

W celu przypisania ocen wartościom wskaźnika W_{EO} dokonano podziału zmienności wartości tego wskaźnika na tyle przedziałów klasyfikacyjnych, że każdemu z nich została przyporządkowana jedna z ocen ze skali. W tym stanie rzeczy przedział wielkości wskaźnika $0 \leq W_{EO} \leq 120$ podzielono na 6 przedziałów klasyfikacyjnych.

Ustalenia w tym zakresie przedstawiono w tabeli 2.

W celu przypisania oceny obliczonej wielkości wskaźnika W_{EO} przyjęto, że aprobatą funkcjonowania tego systemu może mieć miejsce wówczas, jeżeli $W_{EO} \geq 0,5 W_{EO \max}$, zaś dezaprobatą, gdy $W_{EO} < 0,5 W_{EO \max}$.

Przyjęte zasady określania stopnia skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Parametry modelu porównawczego skuteczności funkcjonowania katastru nieruchomości
Table 1. Parameters of comparison model of effectiveness of cadastre function

Oznaczenie cechy diagnostycznej Label of diagnostic feature	Nazwa cechy diagnostycznej Name of diagnostic feature	Względny stan optymalny danej cechy diagnostycznej i jej wyróżnione stany Relative optimum state of the diagnostic feature and its determined states	Liczba punktów No. of points
1	2	3	4
X ₁	Materiał źródłowy do założenia ewidencji gruntów na podstawie dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków Source of establishment of cadastre based on the decree of 2 nd February 1955 about cadastre	1) wyniki bezpośredniego nowego pomiaru results of the new direct measurements	10
		2) wyniki pomiaru fotogrametrycznego results of the photogrammetric surveys	7
		3) opracowania poscaleniowe po roku 1946 postconsolidation works after 1946	6
		4) opracowania z istniejących katastrów (pruskiego i austriackiego) cadastral documentations (Prussian and Austrian)	5
		5) opracowania poscaleniowe sprzed 1946 r. postconsolidation documentations before 1946	4
		6) opracowania poregulacyjne postdivision documentations	2
		7) inne opracowania other documentations.	0
X ₂	Upływ czasu od ostatniego pomiaru uzupełniającego Time flow since last supplementary measurements	1) pomiar uzupełniający wykonany w roku oceny supplementary measurement made in a year of evaluation	10
		2) 1–5 lat (years)	8
		3) 6–10 lat	6
		4) 11–15 lat	4
		5) 16–20 lat	2
		6) 21 lat i więcej (21 years and more)	0
X ₃	Źródło danych o położeniu obiektu (Atrybut techniczny ZRD) Other source of data about feature location (ZRD attribute)	1) geodezyjne pomiary poprzedzone ustaleniem przebiegu granic (a także projekty podziałów nieruchomości, projekty scalenia i podziałów nieruchomości oraz scalenia i wymiany gruntów) surveys preceded with delimitation (and also projects of the division of a real estate, consolidations and division of a real estate, consolidations and exchange of agricultural plots);	10
		2) pomiary fotogrametryczne poprzedzone ustaleniem przebiegu granic photogrammetric surveys preceded with delimitation	8
		3) geodezyjne pomiary terenowe niepoprzedzone ustaleniem przebiegu granic surveys not preceded with delimitation	7
		4) pomiary fotogrametryczne niepoprzedzone ustaleniem przebiegu granic photogrammetric surveys not preceded with delimitation	5
		5) digitalizacja mapy lub wektoryzacja automatyczna rastra mapy z jednoczesnym wykorzystaniem wyników geodezyjnych pomiarów terenowych digitization and use of the results of the surveys;	3
		6) inne źródło other sources	0

Tabela 1 cd.
Table 1 cont.

1	2	3	4
X ₄	Sposób ustalenia granic działek ewidencyjnych (§ 36 rozporządzenia) Way of establishing the cadastral parcels lines (§ 36 of order)	1) <i>wszystkie granice działek ewidencyjnych zostały ustalone w postępowaniach przedstawionych w rozporządzeniu Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków – obszar powiatu</i> <i>borders of the cadastral parcels established in orde from 29th March 2001 which concerns cadastre – the area of all district</i>	10
		2) za każdy 1% braku takich granic – mniej for each 1% control points – less	0,1
X ₅	Sposób stabilizacji punktów granicznych działek ewidencyjnych Way of marking of the cadastral parcels	1) <i>stabilizacja znakiem naziemnym i podziemnym</i> <i>marking of ground buried points</i>	10
		2) stabilizacja znakiem naziemnym marking of overground points	7
		3) brak stabilizacji no marking	1
		4) brak informacji no information	0
X ₆	Sposób tworzenia mapy cyfrowej Way of creating digital maps	1) <i>cała powierzchnia obrębu ewidencyjnego pokryta jest wektorową mapą ewidencyjną o pełnej treści</i> <i>whole district is covered with numerical cadastre map of full content</i>	10
		2) cała powierzchnia obrębu ewidencyjnego pokryta jest wektorową mapą ewidencyjną o niepełnej treści (brak budynków) <i>whole district is covered with numerical cadastre map of partially content</i>	7
		3) cała powierzchnia obrębu ewidencyjnego pokryta jest wektorową mapą ewidencyjną tylko z granicami działek ewidencyjnych <i>whole district is covered with numerical cadastre map with only borders of cadastral</i>	5
		4) cała powierzchnia obrębu ewidencyjnego pokryta jest mapą ewidencyjną w postaci rastrowej <i>whole district coverde with raster</i>	3
		5) cała powierzchnia obrębu ewidencyjnego pokryta jest analogową mapą ewidencyjną <i>whole district covered with analoguee cadastral map.</i>	0
X ₇	Metoda pomiaru granic działek ewidencyjnych Method of measurement of cadastral parcels boundaries	1) <i>metoda biegunowa</i> <i>metod of polar coordinates</i>	10
		2) metoda domiarów prostokątnych offset method	7
		3) metoda fotogrametryczna photogrammetric method	4
		4) metoda GPS GPS method	2
		5) inna metoda others method.	0

Tabela 1 cd.
Table 1 cont.

1	2	3	4
X ₈	Sposób realizacji prac związanych z modernizacją kompleksową ewidencji gruntów i budynków Way of realization of the complex cadastre modernization	1) <i>modernizacja kompleksowa (łącznie z założeniem ewidencji budynków) została wykonana na powierzchni całego obszaru ewidencyjnego</i> <i>complex modernization (including setup of cadastre) made in all district</i> 2) modernizacja została wykonana w niepełnym zakresie modernization made in not full range 3) nie podjęto tych prac work not undertaken.	10 5 0
X ₉	Zgodność treści operatu ewidencyjnego z księgami wieczystymi Conformity of the text of the cadastral documentation with the land registers	1) <i>pełna zgodność</i> <i>full conformity</i> 2) za każdy 1% rozbieżności w treści – mniej for each 1% of non – conformity – less	10 0,1
X ₁₀	Obliczenie powierzchni działek ewidencyjnych ze współrzędnych Calculating area of cadastral parcels using coordinates	1) <i>powierzchnie wszystkich działek ewidencyjnych obliczone ze współrzędnych</i> <i>areas of all cadastral parcels calculated using coordinates</i> 2) za każdy 1% działek ewidencyjnych – mniej for each 1% of cadastral parcels – less.	10 0,1
X ₁₁	Terminowość wprowadzania zmian do operatu ewidencyjnego Promptness of the inserting changes into cadastral documentation	1) <i>wszystkie zgłoszone zmiany są wprowadzone w ciągu 3 dni roboczych od dnia zgłoszenia (średnio w skali roku)</i> <i>all declared changes are insert into during 3 working days from the day of declaration (average in scale of a year)</i> 2) za każdy 1% wprowadzonych po tym terminie zmian – mniej for each 1% of inserted data after that period – less	10 0,1
X ₁₂	Terminowość udostępniania danych ewidencyjnych Promptness of the cadastral data availability	1) <i>wszystkie zamawiane wypisy z rejestru gruntów i wyrysy z mapy ewidencyjnej (opis i mapa) są wykonywane w ciągu 1 dnia roboczego (średnio w skali roku)</i> <i>all booked extract of land registry and cadastral map extract all made in one working day (average in scale of a year)</i> 2) za każdy 1 % dokumentów wykonanych później – mniej for each 1% of extracts made later – less	10 0,1

Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Tabela 2. Zasady ustalania stopnia skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków
 Table 2. Rules of determining the degree of effectiveness of cadastre function

Wartość liczbową współczynnika skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków – W_{EO} The numerical value of the efficiency factor of the cadastre function W_{EO}	Stosunek podmiotu oceniającego do wartości wskaźnika skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków The ratio of the estimating subject to the value of the efficiency factor of the cadastre function	Stopień skuteczności funkcjonowania katastru nieruchomości The degree of efficiency of the cadastre function
$\leq 20,0$		bardzo niski (BN) very low
20,1–40,0	dezaprobata disapproval	niski (N) low
40,1–59,9		mierny (M) mean
60,0–80,0		średni (S) average
80,1–100,0	aprobata approval	wysoki (W) high
$\geq 100,1$		bardzo wysoki (BW) very high

Źródło: opracowanie własne
 Source: own study

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Ustalenia zaprezentowane w tabeli 2 posłużyły do przeprowadzenia oceny skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w odniesieniu do wybranych losowo 10 obrębów ewidencyjnych położonych w powiecie ełckim. Wyniki tej oceny zawiera tabela 3.

Z ustaleń tych wynika, że poziom skuteczności ewidencji gruntów i budynków określony w odniesieniu do badanych obrębów ewidencyjnych jest aprobowany, przy czym 4 obręby ewidencyjne charakteryzują się średnim stopniem skuteczności tego systemu, a 6 – stopniem wysokim. Spośród obrębów ewidencyjnych będących przedmiotem badań najskuteczniej ewidencja gruntów i budynków funkcjonuje w obrębie Lepaki, natomiast najmniej skuteczna jest w obrębie Grabnik.

Wielkości wskaźników skuteczności ewidencji gruntów i budynków obliczone do badanych obrębów ewidencyjnych wykazują stosunkowo niewielką rozpiętość (69,1–88,3).

Z analizy wyników badań można wywnioskować, że rezultaty przeprowadzonej oceny stanowią przede wszystkim nawiązanie do:

- sposobu realizacji prac związanych z modernizacją kompleksową ewidencji gruntów i budynków (X_8),
- terminowości udostępniania danych ewidencyjnych (X_{12}),
- sposobu tworzenia mapy cyfrowej (X_6),
- upływu czasu od ostatniego pomiaru uzupełniającego (X_2),
- źródła danych o położeniu obiektu (X_3),
- sposobu ustalenia granic działek ewidencyjnych (X_4),
- metody pomiaru granic działek ewidencyjnych (X_7).

Tabela 3. Obliczenie wielkości wskaźników skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków
 Table 3. Calculation of value of discriminants of effectiveness of cadastre function

Nazwa obrębu ewidencyjnego Name of cadastral zoning	Liczba punktów przypisana do danego obrębu ewidencyjnego z punktu widzenia stanu danej cechy No. of points assigned to each cadastral zoning considering the state of each feature												Wielkość wskaźnika Quantity of discriminant	Poziom skuteczności Level of effectiveness
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂		
Balamutowo	2,0	6,0	8,5	9,1	8,8	7,3	7,8	5,0	9,5	7,5	0,9	10,0	82,4	W
Chelchy	10,0	0,0	5,5	9,1	6,3	7,3	6,7	0,0	8,0	8,0	1,0	9,9	71,8	S
Czyńcze	2,0	8,0	8,0	9,0	8,2	8,0	3,7	5,0	9,0	3,0	0,8	10,0	74,7	S
Czypyki	2,0	6,0	7,5	8,9	8,2	9,5	7,5	5,0	8,5	9,5	1,0	10,0	83,6	W
Długie	10,0	0,0	7,5	8,7	6,1	8,0	6,8	0,0	8,5	6,7	0,5	10,0	72,8	S
Dorsze	10,0	2,0	7,0	8,8	9,4	7,3	7,6	5,0	7,5	4,6	1,4	10,0	80,6	W
Grabnik	10,0	0,0	7,3	9,0	5,8	8,0	6,4	0,0	6,5	5,2	1,0	9,9	69,1	S
Lepaki	2,0	8,0	8,3	9,3	6,1	10,0	7,9	10,0	9,0	7,1	0,6	10,0	88,3	W
Nowa Wieś Etcka	10,0	2,0	7,0	8,8	8,1	8,5	7,3	5,0	7,5	6,8	0,7	10,0	81,7	W
Prostki	10,0	8,0	7,8	9,5	7,5	8,8	6,3	5,0	6,5	6,7	0,9	10,0	87,0	W

Źródło: ustalenia własne
 Source: own study

Biorąc pod uwagę wpływ stanu danej cechy na ustaloną wielkość wskaźnika skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w badanym obrębie ewidencyjnym można zauważyć, że:

- poziom skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w obrębie ewidencyjnym Lepaki uzależniony jest przede wszystkim od:
 - sposobu tworzenia mapy cyfrowej (X_6),
 - sposobu realizacji prac związanych z modernizacją kompleksową ewidencji gruntów i budynków (X_8),
 - terminowości udostępniania danych ewidencyjnych (X_{12}),
 - sposobu ustalenia granic działek ewidencyjnych (X_4),
 - stopnia zgodności treści operatu ewidencyjnego z księgami wieczystymi (X_9);
- poziom skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w obrębie ewidencyjnym Garbnik zależy przede wszystkim od:
 - materiału źródłowego wykorzystanego do założenia operatu ewidencyjnego na podstawie dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków (X_1),
 - terminowości udostępniania danych ewidencyjnych (X_{12}),
 - sposobu ustalenia granic działek ewidencyjnych (X_4),
 - sposobu tworzenia mapy cyfrowej (X_6),
 - źródła danych o położeniu obiektu (X_3);
- poziom skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków w badanych obrębach ewidencyjnych w ujęciu ogólnym zależy przede wszystkim od:
 - terminowości udostępniania danych ewidencyjnych (X_{12}),
 - sposobu ustalenia granic działek ewidencyjnych (X_4),
 - sposobu tworzenia mapy cyfrowej (X_6),
 - stopnia zgodności treści operatu ewidencyjnego z księgami wieczystymi (X_9),
 - źródła danych o położeniu obiektu (X_3),
 - sposobu stabilizacji punktów granicznych działek ewidencyjnych (X_5).

PODSUMOWANIE

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań, można przedstawić następujące wnioski:

1. Cechy diagnostyczne przyjęte do badań charakteryzują się dość znacznie zróżnicowanym wpływem na poziom skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków na obszarze danego obrębu ewidencyjnego i dlatego za uzasadnioną należy przyjąć potrzebę podziału sformułowanego zestawu elementów oceny na grupy, w zależności od istoty wpływu na końcowy wynik taksacji stanu badanej cechy systemowej:

- cechy o charakterze podstawowym:
 - sposób realizacji prac związanych z modernizacją kompleksową ewidencji gruntów i budynków (X_8),
 - terminowość udostępniania danych ewidencyjnych (X_{12}),
 - sposób tworzenia mapy cyfrowej (X_6),
 - wpływ czasu od ostatniego pomiaru uzupełniającego (X_2),
 - źródło danych o położeniu obiektu (X_3),
 - metoda pomiaru granic działek ewidencyjnych (X_7),

- ▶ sposób ustalenia granic działek ewidencyjnych (X_4);
 - cechy o charakterze pomocniczym:
 - ▶ sposób stabilizacji punktów granicznych działek ewidencyjnych (X_5),
 - ▶ materiał źródłowy do założenia ewidencji gruntów (X_1),
 - ▶ obliczenie powierzchni działek ewidencyjnych ze współrzędnych (X_{10}),
 - ▶ zgodność treści operatu ewidencyjnego z księgami wieczystymi (X_9),
 - ▶ terminowość wprowadzania zmian do operatu ewidencyjnego (X_{11}).
2. Wartości liczbowe niektórych przyjętych do analizy cech diagnostycznych w warunkach badanych obrębów ewidencyjnych znacznie odbiegają od wartości parametrów modelu porównawczego.
3. Funkcjonująca w powiecie elckim ewidencja gruntów i budynków charakteryzuje się dość dobrą skutecznością, co pozwala sądzić, że system ten jest tutaj dobrze przygotowany do realizacji procesów informacyjnych na rzecz beneficjentów i do spełniania ich oczekiwań w zakresie możliwości pozyskiwania danych ewidencyjnych o pożądanej jakości wraz z uwzględnieniem procesów postępu techniczno-organizacyjnego.
4. Metoda punktowa redukcji przestrzeni wielocechowej może być wykorzystywana do oceny skuteczności ewidencji gruntów i budynków w danym miejscu, jednak wprowadzenie tej metody do praktyki musi być poprzedzone sprawdzeniem jej i przetestowaniem na większym obszarze badawczym, skupiającym jednostki analityczne różniące się między sobą ze względu na sposób i metody założenia ewidencji gruntów oraz prowadzenia tego systemu.
5. Dalsze badania zmierzające do wypracowania powszechnie uznanej metody oceny skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków powinny doprowadzić nie tylko do ustalenia optymalnego zestawu cech diagnostycznych pod względem merytorycznym i ilościowym, ale także do określenia ich gradacji.
6. Określenie poziomu skuteczności funkcjonowania ewidencji gruntów i budynków może stanowić przyczynek do wskazania kolejności, w jakiej obręby ewidencyjne położone na danym obszarze (jednostki ewidencyjnej, powiatu) powinny być poddawane pracom związanym z kompleksową modernizacją tego systemu, aby prace te mogły być realizowane w sposób uporządkowany, z uwzględnieniem faktycznych potrzeb w zakresie zwiększenia jego potencjału (czyli tam, gdzie ich efekty będą największe).

PIŚMIENNICTWO

- Hopfer A., Cymerman R., Nowak A., 1982. Ocena i waloryzacja gruntów wiejskich. PWRiL, Warszawa.
- Sienkiewicz P., 1987. Teoria efektywności systemów. Ossolineum, PAN, Wrocław.
- Zwirowicz K., 2006. Ustalenie stopnia istotności wyróżników kryterialnych efektywności systemu z punktu widzenia ewidencji gruntów i budynków. Przegląd Geodezyjny Nr 6, 3–9.
- Zwirowicz K., 2008. Metoda oceny sprawności funkcjonowania katastru nieruchomości. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Seria „Rozprawy i monografie”.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF CADASTRE FUNCTION

Abstract. Cadastre should function in accordance with the law and should also meet the requirements of the system environment in area of the realization of tasks connected with the demand for cadastral data of their both individual users and business.

The results of the carried out analysis of the rules, backgrounds and the reasons for the cadastre's function, in comparison with the theory of the system's work effectiveness and the rules of the rational management show, that in the description of cadastral system the efficiency, as the one of the system's descriptors, could be considered. In general, the system's efficiency should describe its effectiveness and cost-effectiveness.

Taking the state of the research on the effectiveness of the cadastre function into consideration, there is need to work out the method of the evaluation of the system's efficiency in defined time and place. That situation requires undertaking sequence of research tasks, above all defining the set the diagnostic features, which state decide on the way of collecting, accessing, improving and describe the quality of the potential of the functional value gathered in the system.

Key words: cadastre, system's effectiveness, diagnostics features, model of effectiveness, assessment of effectiveness

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2010

Do cytowania – For citation: Kazimierz Zwirowicz, 2010. Ocena skuteczności ewidencji gruntów i budynków. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 9(2), 31–42.

SPIS TREŚCI CONTENTS

Kazimierz Bęcek

Adwent metod teledetekcji aktywnej do monitorowania zjawisk przyrodniczych.....	3
The advent of the active remote sensing for monitoring of natural environment	

Edward Sawiłow

Wycena nieruchomości rolnych podstawą prac urządzeniowo-rolnych.....	21
The pricing of agricultural real property as basis for works agricultural engineering	

Kazimierz Zwirowicz

Ocena skuteczności ewidencji gruntów i budynków.....	31
Evaluation of the effectiveness of cadastre function	