

## AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

### 1. Imię i nazwisko

Przemysław Kupidura

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2002 - Magister inżynier, Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii, specjalność Fotogrametria i Teledetekcja.

2004 - DESS (Diplôme d'études supérieures spécialisées), Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

2007- Doktor nauk technicznych w zakresie geodezji i kartografii, Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii. Tytuł pracy: *Zastosowanie wybranych operacji morfologii matematycznej do wydzielenia klas pokrycia terenu na zdjęciach satelitarnych*. Praca otrzymała wyróżnienie Rady Wydziału Geodezji i Kartografii PW.

2009 - Podyplomowe Studium Planowania Przestrzennego, Wydział Architektury PW.

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

#### Miejsce zatrudnienia

Politechnika Warszawska

Wydział Geodezji i Kartografii

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej

Plac Politechniki 1

00-661 Warszawa

#### Historia zatrudnienia

2002-2007 doktorant na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, w Instytucie Fotogrametrii i Kartografii.

2006-2007 samodzielny technolog w Instytucie Fotogrametrii i Kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

2007-2008 adiunkt w Instytucie Fotogrametrii i Kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

od 2009 adiunkt w Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

#### 4. Wskazane osiągnięcia

##### 4.1 Podanie tytułu osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie określone w art. 16 ust. 2 pkt. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki przedkładam monografię, wydaną w 2015 roku:

Przemysław Kupidura, *Wykorzystanie granulometrii obrazowej w klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych*, **Prace naukowe, Geodezja, z. 55, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015**, ISSN 0137-2327, ISBN 978-83-7814-371-0, język polski ze streszczeniem w języku angielskim, 271 s.

##### 4.2 Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Słowa kluczowe: *teledetekcja, klasyfikacja treści zdjęć satelitarnych, analiza teksturowa, morfologia matematyczna*

Monografia pt. **Wykorzystanie granulometrii obrazowej w klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych** jest wynikiem moich badań nad możliwością wykorzystania operacji granulometrii obrazowej w celu zwiększenia efektywności klasyfikacji pokrycia lub użytkowania terenu na podstawie obrazów satelitarnych. W pracy zaproponowałem nową metodę klasyfikacji, opartą na wykorzystaniu danych spektralnych oraz danych teksturowych, uzyskanych na podstawie tzw. map granulometrycznych. Zbadałem skuteczność zaproponowanej metody, zależnie od rozdzielczości przestrzennej obrazów satelitarnych oraz parametrów samych przetworzeń granulometrycznych.

Automatyczna klasyfikacja treści obrazów satelitarnych jest przedmiotem zainteresowania naukowców od czasu pojawienia się pierwszych teledetekcyjnych obrazów w postaci cyfrowej. Początkowo była to głównie tzw. klasyfikacja spektralna, opierająca się wyłącznie na wartościach radiometrycznych pikseli. Dokładność takiego podejścia jest stosunkowo nieduża, ponieważ ograniczenie się do jednej cechy interpretacyjnej - barwy (wyrażanej wartościami radiometrycznymi pikseli), utrudnia wyodrębnienie tych klas terenu, dla wyróżnienia których decydujące mogą być inne cechy interpretacyjne, jak rozmiar, kształt, czy tekstura.

Stosunkowo wcześniej, bo już w latach 70. ubiegłego wieku, pojawiły się próby uwzględniania tekstury w procesie klasyfikacji. Wymagało to odpowiednich przetworzeń, pozwalających obliczać wartości charakteryzujące teksturę w wybranych fragmentach obrazu. Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat powstało wiele metod poświęconych temu celowi, cechujących się różną efektywnością, z punktu widzenia klasyfikacji obrazów lotniczych i satelitarnych.

Względnie niedawno, na początku tego wieku, nastąpił znaczący rozwój klasyfikacji obiektowej, tj. podejścia opartego na klasyfikacji obiektów, wcześniej wyodrębnionych w procesie segmentacji obrazu. To podejście cechuje się dużym potencjałem, pozwala bowiem uwzględniać dużą liczbę cech interpretacyjnych. Potwierdzają to wyniki badań przeprowadzanych przez naukowców z różnych ośrodków badawczych na całym świecie. Klasyfikacja obiektowa ma jednak pewne wady, które utrudniają jej wykorzystanie. Są to, m.in., duży stopień komplikacji procesu, wymagającego uwzględnienia wielu cech obrazu, a także występujące okazjonalnie trudności związane z segmentacją obrazu, od wyników której zależy powodzenie całej klasyfikacji.

Jednocześnie wciąż prowadzone są badania nad metodami oznaczania tekstury obrazu, pozwalającymi wykorzystywać tę cechę obrazu w procesie klasyfikacji, najlepiej w połączeniu z danymi spektralnymi. Teksturę można zdefiniować za słownikiem języka angielskiego (dictionary.com) jako „charakterystyczną strukturę nadaną całości przez rozmiar, kształt i wzajemne ułożenie części składowych” (tłum. własne). Jest ona jedną z najważniejszych cech interpretacyjnych wykorzystywanych w procesie fotointerpretacji. Ze względu na jej znaczenie w postrzeganiu obrazu, metody wykorzystujące teksturę obliczoną dla poszczególnych pikseli powinny, przynajmniej w założeniu, pozwalać uzyskiwać względnie dużą dokładność klasyfikacji, nie zwiększając jednocześnie znacząco stopnia skomplikowania procesu.

Przedstawione w monografii badania wpisują się właśnie w ten nurt badawczy. Proponowana metoda klasyfikacji opiera się na wykorzystaniu map granulometrycznych. Mapy granulometryczne są to obrazy zawierające informację dotyczącą tekstury w otoczeniu poszczególnych pikseli. Wartości pikseli na mapach granulometrycznych wynikają z obliczanej lokalnie granulometrii obrazowej. Sama granulometria obrazowa polega na przetworzeniu obrazu z użyciem operacji otwarcia lub domknięcia wykorzystujących sekwencję elementów strukturujących o coraz większych rozmiarach, a następnie obliczeniu różnic pomiędzy kolejnymi obrazami wynikowymi.

W monografii zaprezentowałem podstawy teoretyczne samej granulometrii obrazowej oraz tworzenia map granulometrycznych. Następnie, opisaną metodę oznaczania tekstury na obrazie, zestawilem z innymi stosowanymi metodami o tym samym przeznaczeniu. W rezultacie wykazałem istotne zalety granulometrii obrazowej oraz samych map granulometrycznych dla klasyfikacji treści obrazów teledetekcyjnych. Są to, m.in., wieloskalowość, czyli możliwość oznaczania tekstury o różnym rozmiarze ziarna oraz odporność na tzw. błąd krawędzi.

Zaprezentowałem podstawy teoretyczne nowej metody klasyfikacji, polegającej na wykorzystaniu danych złożonych z obrazów wielospektralnych oraz map granulometrycznych pozwalających, zgodnie z założeniem, uwzględniać, obok cech spektralnych, również dane dotyczące tekstury poszczególnych fragmentów obrazu.

Skuteczność zaproponowanej metody została udowodniona w wyniku przeprowadzonych badań. W pierwszej kolejności, poddałem analizie separatywność wybranych klas pokrycia lub użytkowania terenu, uzyskiwaną na podstawie danych spektralnych oraz na podstawie map granulometrycznych. Zaobserwowałem znaczący wzrost separatywności klas, charakteryzujących się wzajemnie podobnymi cechami spektralnymi, jednak inną teksturą. Zauważyłem przy tym istotny wpływ rozdzielczości przestrzennej obrazu na efektywność analizy granulometrycznej.

W dalszej kolejności zbadałem skuteczność zaproponowanej metody klasyfikacji, co było głównym celem naukowym przeprowadzonych badań. W tym celu poddałem klasyfikacji obrazy testowe o różnej rozdzielczości przestrzennej, wykorzystując dodatkowo utworzone na

ich podstawie mapy granulometryczne (o różnych parametrach) i porównując wyniki z dokładnością klasyfikacji spektralnej. Uzyskane rezultaty pokazały znaczące zwiększenie dokładności klasyfikacji. Potwierdziły przy tym zaobserwowaną wcześniej silną zależność efektywności analizy teksturowej uzyskanej na podstawie przetworzeń granulometrycznych od rozdzielczości przestrzennej klasyfikowanego obrazu. Uzyskane rezultaty pozwoliły również określić wpływ poszczególnych parametrów przetworzeń granulometrycznych na skuteczność analizy granulometrycznej i w efekcie – klasyfikacji.

Na podstawie wyników badań, zaproponowałem dwuetapowy model klasyfikacji, wykorzystujący częściowo rezultaty klasyfikacji spektralno-teksturowej, częściowo – klasyfikacji spektralnej. Przeprowadzone badania pokazały dodatkowe zwiększenie dokładności wynikające z zastosowania takiego modelu.

Uzyskane wyniki pokazały, że zaproponowana metoda klasyfikacji, oparta na granulometrii obrazowej, pozwala uzyskiwać znacznie większą dokładność (nawet o kilkanaście procent), niż tradycyjna pikselowa klasyfikacja spektralna, przy jednocześnie nieznacznym zwiększeniu stopnia komplikacji całego procesu. Dla przykładu, w przypadku klasyfikacji zdjęć o bardzo dużej rozdzielczości, zastosowanie metody klasyfikacji z wykorzystaniem map granulometrycznych pozwoliło zwiększyć dokładność klasyfikacji w stosunku do podejścia spektralnego z ok. 80% do ponad 95%. Zaproponowany model może być wykorzystywany do automatycznego lub pół-automatycznego tworzenia map pokrycia lub użytkowania terenu. Wyrazem potencjału jest umowa zawarta z firmą Geosystems Polska, przedstawicielem jednej z czołowych światowych firm produkujących oprogramowanie do przetwarzania obrazów w teledetekcji, zainteresowaną wykorzystaniem przedstawionej w pracy metody klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych, w rozwinięciu produkowanego oprogramowania.

### **4.3 Główne osiągnięcia pracy**

W pracy przedstawiłem nową metodę klasyfikacji zdjęć satelitarnych, polegającą na wykorzystaniu, oprócz danych spektralnych, również danych dotyczących tekstury, uzyskanych poprzez przetworzenia granulometryczne obrazów źródłowych. Przedstawiłem podstawy teoretyczne granulometrii obrazowej, w tym tworzenia map granulometrycznych - obrazów, zawierających informację na temat lokalnej tekstury, obliczanej w zdefiniowanym otoczeniu poszczególnych pikseli, zwanym oknem granulometrii. Porównałem zasady działania tych przetworzeń z zasadami działania innych metod oznaczania tekstury na obrazie. Zaprezentowałem również podstawy teoretyczne samej metody klasyfikacji.

Zbadałem skuteczność przedstawionej metody, w zależności od rozdzielczości przestrzennej obrazu źródłowego, jego rodzaju, a także podstawowych cech i parametrów samych map granulometrycznych. Badania przebiegały dwuetapowo. W pierwszej kolejności przeprowadziłem analizę separatywności wybranych klas, uzyskiwanej na podstawie danych spektralnych, danych teksturowych zawartych w mapach granulometrycznych oraz połączonych – spektralnych i teksturowych. Przeprowadzone badania pozwoliły, m.in., określić znaczenie poszczególnych map granulometrycznych dla analizy teksturowej obrazu, w kontekście klasyfikacji pokrycia lub użytkowania terenu, w zależności od rozdzielczości obrazu źródłowego. Druga, główna część pracy, polegała na analizie dokładności klasyfikacji wykonywanej z użyciem zaproponowanej w pracy metody spektralno-teksturowej, w porównaniu z dokładnością klasyfikacji spektralnej. Wyniki obydwu części badań pozwoliły określić efektywność zaproponowanej metody klasyfikacji terenu na podstawie zdjęć satelitarnych, a także wpływ poszczególnych cech i parametrów map granulometrycznych i obrazów źródłowych na jej skuteczność.

Przeprowadzone badania pokazały znaczący wpływ rozdzielczości przestrzennej obrazu na efektywność analizy granulometrycznej. W przypadku obrazów testowych o dużej rozdzielczości przestrzennej (QuickBird - rozmiar piksela: 2,44 m \* 2,44 m oraz SPOT5 - rozmiar piksela: 10 m \* 10 m), efektywność analizy teksturowej z użyciem map granulometrycznych, określana zarówno uzyskaną separatywnością wybranych klas, jak i wzrostem dokładności klasyfikacji, była znacząca. Wynika to z wyraźnej tekstury poszczególnych klas pokrycia lub użytkowania terenu, obserwowanej na obrazach o dużej rozdzielczości przestrzennej. W przypadku obrazów o mniejszej rozdzielczości (Landsat ETM+ - rozmiar piksela: 30 m \* 30 m oraz Landsat MSS - rozmiar piksela 57 m \* 57 m – po przepróbkowaniu), efektywność analizy granulometrycznej w badanym kontekście okazała się na tyle mała, że prowadzi do wniosku o nieskuteczności, a nawet przeciwności zaproponowanej metody na zdjęciach o średniej i małej rozdzielczości, przynajmniej w kontekście klasyfikacji podstawowych klas pokrycia lub użytkowania terenu.

Kolejnym czynnikiem, którego wpływ na efektywność przedstawionej metody został poddany analizie, była użyteczność poszczególnych map granulometrycznych w procesie klasyfikacji. Uzyskane wyniki pokazują, że jest to cecha w dużym stopniu uzależniona od rozdzielczości obrazu źródłowego. W przypadku obrazów o największej rozdzielczości (rozmiar piksela 2,44 m \* 2,44 m lub 10 m \* 10 m), użyteczną informację na temat tekstury obrazu zawiera kilka pierwszych map granulometrycznych, jednak liczba map przydatnych do analizy tekstury, zmniejsza się wraz ze spadkiem rozdzielczości klasyfikowanego obrazu. Wiąże się to z wieloskalowością analizy granulometrycznej, najbardziej efektywną na zdjęciach o dużej rozdzielczości, ze względu na występowanie różnego rodzaju tekstury ujawniającej się w postaci ziaren o różnych rozmiarach. W przypadku tych zdjęć, najlepsze rezultaty klasyfikacji daje wykorzystanie kilku map granulometrycznych o najniższych indeksach. Na zdjęciach o mniejszej rozdzielczości tekstura użyteczna w procesie klasyfikacji zauważalna jest tylko w największej rozdzielczości obrazu. W związku z tym, przydatne okazują się tylko mapy granulometryczne dotyczące tekstury o najmniejszym rozmiarze ziarna. W takich przypadkach, większą efektywnością cechują się warianty klasyfikacji wykorzystujące pojedyncze mapy granulometryczne, natomiast wykorzystanie dodatkowych map granulometrycznych, o wyższych indeksach, może prowadzić do pogorszenia wyników klasyfikacji.

Przeanalizowałem również efektywność przedstawionej metody pod kątem rodzaju obrazu źródłowego. Ponieważ przedstawiona metoda zakłada wykorzystanie tylko jednego obrazu w skali szarości, a nie obrazów wielospektralnych, zbadane zostały dwa rodzaje obrazów, wybrane na podstawie wstępnej analizy przydatności: obraz pierwszej składowej głównej (ang. *principal component*) oraz obraz z zakresu bliskiej podczerwieni. Wyniki wskazują, że wpływ typu obrazu źródłowego na efektywność klasyfikacji zależy przede wszystkim od rodzaju elementów tekstury obrazu źródłowego, a pośrednio – od jego rozdzielczości oraz rodzaju wyodrębnianych klas pokrycia lub użytkowania terenu. I tak, w przypadkach, w których istotne znaczenie dla obrazu tekstury mają piksele reprezentujące powierzchnie zacienione oraz roślinność, lepsze w tym względzie okazują się obrazy z zakresu bliskiej podczerwieni, na których kontrast pomiędzy tego typu powierzchniami jest bardzo duży. To zjawisko zaobserwowano na zdjęciach o największej rozdzielczości, ale także np. w przypadku wyodrębniania klasy zabudowy blokowej na zdjęciach o mniejszej rozdzielczości. Stosunkowo długie cienie wysokich budynków oraz duży udział powierzchni roślinnych sprawiły, że lepsze wyniki uzyskano dzięki wykorzystaniu map granulometrycznych opartych właśnie na obrazach z zakresu bliskiej podczerwieni. W innych przypadkach większą efektywność pokazują mapy granulometryczne utworzone na podstawie obrazu pierwszej

składowej głównej, które to obrazy, zgodnie z definicją, cechują się największym ogólnym kontrastem różnych obszarów.

Kolejnym aspektem proponowanej metody poddanym analizie był typ operacji otwarcia i domknięcia, wykorzystanych do utworzenia map granulometrycznych. W klasycznej postaci przetworzeń granulometrycznych, wykorzystywane są podstawowe wersje tych operacji (w pracy zwane „prostymi”, dla odróżnienia od innych typów operacji), jednak wstępnie przeprowadzone badania pokazały potencjalnie dużą skuteczność również innych typów otwarcia i domknięcia: z wielokrotnym elementem strukturującym oraz przez rekonstrukcję. Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że proste operacje otwarcia i domknięcia cechują się największą stabilnością w tym aspekcie i najczęściej pozwalają uzyskać najlepsze rezultaty klasyfikacji, zwłaszcza w przypadku zdjęć o dużej rozdzielczości przestrzennej. W wybranych przypadkach, względnie dużą efektywność wykazują operacje z wielokrotnym elementem strukturującym, ponieważ pozwalają lepiej niż innego typu operacje różnicować teksturę obrazu w zależności od pewnych aspektów kształtu ziarna analizowanej tekstury. Przykładem może być lepsze rozróżnienie terenów zabudowanych i długich, wąskich działek, na zdjęciach o mniejszej rozdzielczości przestrzennej.

Mniejszą skutecznością wykazują się natomiast operacje przez rekonstrukcję. Teoretycznie, są one udoskonaleniem prostych operacji, ponieważ pozwalają w lepszy sposób oznaczać teksturę złożoną z elementów o bardziej skomplikowanych kształtach. Jednak w przypadku większości badanych zdjęć satelitarnych, klasyfikacja oparta na mapach granulometrycznych utworzonych na operacjach przez rekonstrukcję cechowała się najmniejszą dokładnością. To zjawisko ma swoje źródło w dużej nieregularności tekstury większości analizowanych klas pokrycia lub użytkowania terenu.

Ostatnim zbadanym parametrem map granulometrycznych był rozmiar okna granulometrii, określającego sąsiedztwo poszczególnych pikseli, dla którego obliczana jest wartość lokalnej granulometrii. Uzyskane wyniki pokazują, że jest to cecha o istotnym znaczeniu, a większą efektywność klasyfikacji umożliwia zastosowanie odpowiednio dużego okna granulometrii, pozwalającego na uwzględnienie większego obszaru przy obliczaniu lokalnej granulometrii, zapewniającego lepsze „uśrednienie” uzyskiwanych rezultatów i uniknięcie błędów klasyfikacji wynikających z miejscowych różnic granulometrii wewnątrz pojedynczych klas terenu, u źródeł których to błędów leży nieregularność tekstury obrazu.

Ponadto, przeprowadzone badania pozwoliły na kilka innych ważnych obserwacji dotyczących metodyki stosowania zaproponowanej w pracy metody klasyfikacji. Przede wszystkim, nawet w przypadku uzyskiwania znacząco lepszych ogólnych rezultatów klasyfikacji dzięki zastosowaniu podejścia spektralno-teksturewego, można było zauważyć pojedyncze klasy, czy też pary klas, których dokładność wzajemnego rozróżnienia spadała w porównaniu z klasyfikacją spektralną. Dotyczy to klas wyraźnie, choć nieznacznie różniących się między sobą wartościami spektralnymi. W tego typu sytuacjach, klasyfikacja spektralna daje poprawne rezultaty, natomiast dołączenie do zestawu danych klasyfikacyjnych map granulometrycznych, może doprowadzić do spadku dokładności ich rozróżnienia. Ograniczenie tego typu błędów wymaga istotnego zwiększenia liczby pól treningowych. Dlatego, po analizie uzyskiwanych wyników klasyfikacji, tak spektralnej, jak spektralno-teksturewej, zaproponowałem modyfikację przedstawionej pierwotnie metody klasyfikacji, polegającą na zastosowaniu dwuetapowego modelu klasyfikacji. Wykorzystuje ona głównie wyniki klasyfikacji spektralno-teksturewej. Jednakże, w wybranych przypadkach, zastępuje je wynikami klasyfikacji spektralnej. Zastosowanie tego modelu pozwoliło dodatkowo podnieść dokładność klasyfikacji, bez zwiększenia liczby pól treningowych.

#### 4.4 Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

W 2002 roku, po ukończeniu studiów dziennych na kierunku „Geodezja i Kartografia” ze specjalizacją „Fotogrametria i Teledetekcja”, prowadzonych na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, rozpocząłem studia doktoranckie na tym Wydziale. Od początku mojej kariery naukowo-badawczej interesowałem się przede wszystkim badaniem możliwości pozyskiwania różnego rodzaju informacji przestrzennej, dotyczącej stanu środowiska lub pokrycia i użytkowania terenu, na podstawie zdjęć lotniczych i satelitarnych, m.in. z wykorzystaniem metod cyfrowego przetwarzania obrazów. Wyrazem tych zainteresowań była już praca magisterska, poświęcona porównaniu wybranych wskaźników roślinności. Badania poświęcone wskaźnikom roślinności kontynuowałem już na studiach doktoranckich w ramach projektu badawczego pt. „Badanie zmienności wybranych wskaźników roślinności na podstawie zdjęć satelitarnych”. Równocześnie, brałem udział w projekcie zamawianym KBN pt. „Koncepcja systemu informacji przestrzennej województwa mazowieckiego” (realizacja 2000-2003), w którym pracowałem m.in. nad koncepcją i realizacją bazy danych dotyczących pokrycia i użytkowania terenu na podstawie zdjęć satelitarnych, w ramach projektu pilotowego „Pokrycie terenu”. Wyniki prowadzonych badań zostały uwzględnione przy tworzeniu wojewódzkiego systemu informacji przestrzennej „SIP Mazowsze”, a także zostały przedstawione m.in. w monografii pt. „System Baz Danych Przestrzennych dla Województwa Mazowieckiego”.

W latach 2003-2004 odbyłem studia o specjalności teledetekcja w GDTA (fr. *Groupement Pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale*) w Tuluzie. Studia były prowadzone we współpracy z dwoma francuskimi uniwersytetami: Université Pierre et Marie Curie Sorbonne - Paris VI oraz Université Paul Sabatier Toulouse III. Studia ukończyłem z najlepszym wynikiem na roku, uzyskując stopień DESS (fr. *diplôme d'études supérieures spécialisées*). W trakcie tych studiów, zainspirowany wykładami prof. G. Flouzat, rozpocząłem badania nad morfologią matematyczną i możliwościami jej wykorzystania w teledetekcji, co stało się potem tematem prac badawczych związanych z pracą doktorską. W trakcie pobytu we Francji, odbyłem również staż naukowy w SPOT Image, czołowej europejskiej firmie, zajmującej się produkcją i wykorzystaniem zdjęć satelitarnych. W ramach stażu zajmowałem się badaniem bazy Reference 3D, stworzonej na podstawie zobrażeń satelitarnych, przeznaczonej do automatycznej ortorektyfikacji zdjęć satelitarnych. Badania przedstawiłem m.in. w pracy dyplomowej pt. „Evaluation de la base de données Reference 3D pour l'orthorectification des images SPOT”, obronionej przed komisją dyplomową Uniwersytetu Pierre et Marie Curie Paris VI.

Po powrocie do Polski, skupiłem się m.in. na badaniach możliwości wykorzystania cyfrowych metod przetwarzania obrazów, w tym morfologicznych, w klasyfikacji treści zdjęć lotniczych i satelitarnych. Badania w tym zakresie prowadziłem m.in. w ramach dwóch projektów naukowych:

- projektu badawczego KBN pt. „Obiektowe podejście do klasyfikacji zdjęć satelitarnych VHR, rozwinięcie o elementy wiedzy dodanej i wiedzy eksperckiej”;
- projektu badawczego Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, pt. „Badanie skuteczności przekształceń morfologicznych zdjęć satelitarnych w celu klasyfikacji obiektów heterogenicznych”.

Badania przeprowadzone głównie w ramach drugiego z wymienionych projektów, wykorzystałem w rozprawie doktorskiej pt. „Zastosowanie wybranych operacji morfologii matematycznej do wydzielenia klas pokrycia terenu na zdjęciach satelitarnych”, opracowanej pod opieką prof. dr. hab. inż. Stanisława Białousza, obronionej na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej w 2007 roku. Praca otrzymała wyróżnienie Rady

Wydziału Geodezji i Kartografii. Przedstawiłem w niej podstawy teoretyczne oraz metodyczne szeregu rozwiązań opartych na morfologicznych przetworzeniach obrazów, poświęconych wyodrębnianiu wybranych klas pokrycia terenu na obrazach satelitarnych oraz ich filtracji.

Równolegle zajmowałem się innymi aspektami wykorzystania zdjęć lotniczych i satelitarnych jako źródeł informacji przestrzennej, również w procesie interpretacji wizualnej, co znalazło swój wyraz m.in. rozdziale rozprawy doktorskiej, poświęconym psychologii postrzegania obrazu, ale także w kilku innych opracowaniach. Wykaz wszystkich publikacji naukowych mojego autorstwa, powstałych w okresie przed powstaniem pracy doktorskiej przedstawiam w Załączniku 3.

### **Okres po doktoracie:**

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych kontynuowałem prace badawcze związane z problematyką morfologicznych przekształceń obrazów cyfrowych, m.in. w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego własnego MNiSzW pt. „Rozszerzenie metod cyfrowego przetwarzania danych teledetekcyjnych o funkcje morfologii matematycznej”. Przy okazji realizacji projektu (2007-2009) miałem okazję kierować sześciuosobowym zespołem badawczym. Efektem pracy mojej i zespołu były propozycje wykorzystania operacji morfologicznych do klasyfikacji oraz filtracji obrazów lotniczych i satelitarnych, ale również fotogrametrycznych bliskiego zasięgu i medycznych. I tak, opracowałem filtr CMAF (ang. *CHRIS Morphological Adaptive Filter*) przeznaczony do filtracji obrazów CHRIS/PROBA pozwalające eliminować lub znacząco ograniczać często występujące na tych obrazach szumy. Opracowana metoda jest przedmiotem zgłoszenia patentowego. Porównałem wyniki uzyskiwane na podstawie tego filtru z metodą Settle'a, opracowaną dla tych obrazów, i wykazałem na jej tle zalety mojej propozycji. Ponadto, zaproponowałem wykorzystanie morfologicznych filtrów naprzemiennych do usuwania szumu cętkowego z obrazów radarowych, wykazując ich przewagę nad innymi, popularnymi filtrami przeznaczonymi do tego celu. Ponadto, przedstawiłem opracowane metody wyodrębniania wybranych typów obiektów na podstawie wybranych cech kontekstualnych. Były to m.in. wyodrębnienie pojedynczych budynków na obrazach o bardzo dużej rozdzielczości przestrzennej, oparte na metodzie wykorzystującej, obok cech spektralnych, cechy sąsiedztwa oraz rozmiaru klasyfikowanych obiektów, metoda *high-low*, polegająca na złożeniu wyników morfologicznych operacji domknięcia i otwarcia, pozwalająca ze stosunkowo dużą dokładnością wyodrębniać klasy użytkowania terenu cechujące się rozdrobnioną teksturą, co zbadano na przykładzie sadów. Zbadano również możliwość wykorzystania usuniętego w drodze filtracji szumu cętkowego, przetworzonego przy użyciu operacji granulometrycznych, jako dodatkowej informacji dotyczącej pokrycia terenu w klasyfikacji treści obrazów radarowych. Uzyskane wyniki pokazują nawet kilkunastoprocentowy wzrost dokładności klasyfikacji. Istotnym wątkiem badawczym była analiza możliwości wykorzystania map granulometrycznych do wyodrębniania terenów zabudowanych na zdjęciach o dużej rozdzielczości przestrzennej. Przeprowadzone badania pokazały dużą skuteczność tej metody i zaowocowały dalszymi pracami nad możliwościami wykorzystania przetworzeń granulometrycznych w klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych, zwieńczonymi w monografii przedstawionej we wcześniejszych rozdziałach.

Oprócz tego przedstawiłem autorskie propozycje metod przeznaczonych do przetwarzania danych ze skaningu laserowego (zaproponowano metodę konwersji numerycznego modelu pokrycia terenu do numerycznego modelu terenu), zdjęć fotogrametrycznych bliskiego zasięgu (analizie poddano możliwość wykorzystania morfologicznych filtrów górnoprzepustowych do wykrywania cech obrazów), a także zdjęć medycznych (analizowano



możliwości wykorzystania operacji morfologicznych do automatycznego wykrywania mikrozwapnień oraz guzów na zdjęciach wykonanych mammografem).

Wyniki badań prowadzonych indywidualnie przeze mnie lub we współpracy z członkami zespołu badawczego zaprezentowałem podczas kilku wystąpień konferencyjnych oraz w kilkunastu publikacjach w czasopiśmie krajowych i międzynarodowych (w tym - z listy Web of Science) a także w monografii pt. „Morfologia matematyczna w teledetekcji”, wydanej nakładem Wydawnictwa Naukowego PWN. W ramach projektu, na podstawie prowadzonych w nim badań, stworzony został również program komputerowy BlueNote, przeznaczony do morfologicznych przekształceń obrazów cyfrowych, będący jednym z najbardziej rozwiniętych programów tego typu na świecie, pod względem funkcjonalności. BlueNote jest wykorzystywany do badań naukowych oraz w procesie dydaktycznym przez naukowców w różnych ośrodkach w Polsce i poza jej granicami.

Doświadczenia uzyskane w trakcie powyższych badań, wykorzystałem również w kierowanym przeze mnie projekcie finansowanym przez Dziekana Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej pt. „Projekt i realizacja internetowego portalu naukowego poświęconego morfologii matematycznej i jej zastosowaniom w teledetekcji”, realizowanym w 2008 roku.

Opracowane metody przetwarzania obrazów miałem również okazję rozwinąć i wykorzystać w ramach innego projektu badawczego MNiSzW pt. „Rozwinięcie metod integracji danych z lotniczego skaningu laserowego i z cyfrowych zdjęć lotniczych”, realizowanego w latach 2008-2011.

Inne moje zainteresowania naukowe również dotyczyły możliwości wykorzystania danych obrazowych w pozyskiwaniu różnego rodzaju informacji przestrzennej. Należy tu wyróżnić dwa wątki badawcze, realizowane w dwóch dużych projektach naukowych, w których brałem udział w charakterze wykonawcy. Były to:

- projekt pt. „The ENVironmental ASsessment of Soil for mOnitoring (ENVASSO)” realizowany w latach 2006-2008 w ramach 6. Programu Ramowego Komisji Europejskiej;
- projekt badawczy MNiSzW pt. „Opracowanie metody określania wartości elementów krajobrazu dla celów scalania gruntów”, realizowany w latach 2007-2010.

W ramach pierwszego z wymienionych projektów, realizowanego przez konsorcjum kilkudziesięciu instytucji badawczych z całej Europy, byłem współautorem metodyki określania udziału powierzchni nieprzepuszczalnych (wzrost powierzchni tego typu obszarów, ang. *soil sealing*, jest jednym z kilku zagrożeń gleby zdefiniowanych w Europejskiej Strategii Ochrony Gleb, opracowanej przez Komisję Europejską) na podstawie danych teledetekcyjnych, kartograficznych i statystycznych, z wykorzystaniem technologii systemów informacji przestrzennej. Przeprowadzone badania zaowocowały kilkoma artykułami opublikowanymi w czasopiśmie polskich i międzynarodowych oraz rozdziałami monografii poświęconych wynikom całego projektu. Wykazano dużą użyteczność zdjęć satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości do wyznaczania obrazów testowych (próbek) i do obliczania wskaźników dla większych obszarów. Tą metodą obliczono m.in. wskaźniki dla miasta Warszawy.

W drugim z wymienionych wyżej projektów, byłem odpowiedzialny za opracowanie metodyki wykorzystania danych przestrzennych, głównie zdjęć lotniczych i satelitarnych, z użyciem technologii SIP, do identyfikacji i określania położenia istotnych elementów krajobrazu. W wyniku przeprowadzonych badań, opublikowałem, we współpracy z innymi

członkami zespołu, m.in. monografię pt. „Wartość krajobrazu. Rozwój przestrzeni obszarów wiejskich”, wydaną nakładem Wydawnictwa Naukowego PWN oraz artykuł pt. „Public perceptions of rural landscapes in land consolidation procedures in Poland” opublikowany w prestiżowym czasopiśmie naukowym *Land Use Policy* (lista A wykazu czasopism naukowych MNiSzW: 40 punktów; *impact factor*: 2,346). Jednym z głównych osiągnięć tego projektu było przedstawienie wartości krajobrazu jako wartości ekonomicznej i prezentacja możliwości wykorzystania danych obrazowych oraz zastosowania technologii systemów informacji przestrzennej do kształtowania i wyceny krajobrazu.

Zagadnienia z tego zakresu, badałem m.in. podczas wizyt w zagranicznych ośrodkach naukowych:

- Oxford Brookes University, School of the Built Environment,
- Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Surveying and Land Consolidation.

Ogólnie, efektem prowadzonych przeze mnie badań były monografie książkowe oraz artykuły publikowane w czasopismach naukowych, a także referaty na konferencjach i sympozjach naukowych w kraju i zagranicą. W latach 2007-2015, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, byłem autorem lub współautorem 25 publikacji, w tym 3 monografii i 2 artykułów znajdujących się w bazie Journal Citation Report (ich sumaryczny *impact factor*: 3,309; suma punktów według wykazu czasopism naukowych MNiSzW, lista A: 55). Szczegółowy wykaz publikacji oraz wykaz referatów na konferencjach i sympozjach naukowych zawiera Załącznik 3

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe w poszczególnych, przedstawionych powyżej, grupach problemowych, związanych z pozyskiwaniem informacji przestrzennej na podstawie danych teledetekcyjnych, z wykorzystaniem metod cyfrowego przetwarzania obrazów i interpretacji wizualnej, uważam poniższe recenzowane publikacje (artykuły recenzowane, recenzowane monografie, recenzowane rozdziały monografii; w porządku chronologicznym):

- **Kupidura P.**, Koza P. (2008). *Radar Imagery Filtering with Use of the Mathematical Morphology Operations*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 17, No 1C, ISSN 1230-1485, *impact factor*: 0,963, ss. 31-35.
- Białousz S., **Kupidura P.** (2008). "Soil sealing" - zagrożenie gleb wymienione w europejskiej strategii ochrony gleb. *Propozycja metodyki jego określania*. Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce, Harasim A. (red.), ISBN 978-89-7562-006-1, ss. 45.54.
- Kowalczyk M., Koza P., **Kupidura P.**, Marciniak J. (2008). *Application of Mathematical Morphology Operations For Simplification and Improvement of Correlation of Images in Close-Range Photogrammetry*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B5, Beijing, ss. 153-157.
- **Kupidura P.**, Jakubiak M. (2009). *The morphological filtering of the remote sensing image for the noise reduction comparing to traditional filters*. Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], vol. 7 nr 2, ISSN 1731-5522, ss. 63-68.
- **Kupidura P.**, Gwadera Ł. (2010). *Comparison of different approaches to extract heterogeneous objects from an image using an orchards example*. International Archives of the Photogrammetry, vol. 38, nr 3B, Elsevier, ISSN 1682-1777, ss. 13-18.

- **Kupidura P.**, Koza P., Marciniak J. (2010). *Morfologia matematyczna w teledetekcji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, ISBN 978-83-01-16287-0, 163 s.
- **Kupidura P.** (2010). *Semi-automatic method for a built-up area intensity survey using morphological granulometry*. Problemy Ekologii Krajobrazu [The Problems of Landscape Ecology], Vol. 28, ISSN 1899-3850, ss. 271-277.
- Kupidura A., Łuczewski M., **Kupidura P.** (2011). *Wartość krajobrazu. Rozwój przestrzeni obszarów wiejskich*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 170 s.
- **Kupidura P.** (2013). *CMAF - CHRIS Morphological Adaptive Filter*. Ecological Questions, vol. 17, ISSN 1644-7298, ss. 43-55.
- Kupidura A., Łuczewski M., Home R., **Kupidura P.** (2014). *Public perceptions of rural landscapes in land consolidation procedures in Poland*. Land Use Policy, vol. 39, ISSN 0264-8377, impact factor: 2,346, ss. 313-319.

Za osiągnięcia naukowe, zostałem dwukrotnie (w latach 2008 i 2011) laureatem nagrody Rektora Politechniki Warszawskiej.

#### 4.5 Omówienie pozostałych osiągnięć

##### Dydaktyka

Przedstawione badania naukowe oraz doświadczenia zebrane podczas tych badań wykorzystuję w mojej działalności dydaktycznej. Od początku moich studiów doktoranckich na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, a więc od roku 2002, prowadzę zajęcia dydaktyczne ze studentami kierunku „Geodezja i Kartografia”. Są to wykłady i ćwiczenia, prowadzone m.in. z następujących przedmiotów: *Teledetekcja* (na pierwszym stopniu studiów) oraz *Cyfrowe przetwarzanie obrazów*, a także *Zastosowania teledetekcji* i *Technologie systemów informacji przestrzennej* (na drugim stopniu studiów). Jestem kierownikiem wymienionych wyżej przedmiotów oraz autorem treści programowych, zgodnie z którymi prowadzone są one przeze mnie, ale również przez innych nauczycieli akademickich pracujących na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

Ponadto, od roku 2008 prowadzę zajęcia dydaktyczne również na kierunku „Gospodarka Przestrzenna”. Jestem kierownikiem i autorem treści programowych następujących przedmiotów: *Technologie systemów informacji przestrzennej* oraz *Modelowanie w gospodarce przestrzennej* (obydwa przedmioty znajdują się w programie drugiego stopnia studiów). Oprócz tego, prowadzę lub prowadziłem zajęcia z przedmiotów: *Teledetekcja*, jak i *Systemy informacji przestrzennej* oraz *Analiza i modelowanie przestrzenne* (te przedmioty znajdują się w programie pierwszego stopnia studiów). W prowadzeniu zajęć dla studentów tego kierunku pomaga mi ukończony w 2009 roku Podyplomowe Studium Planowania Przestrzennego, prowadzone na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej.

Od 2013 roku prowadzę wykłady pt. *Cyfrowe przetwarzanie obrazów lotniczych i satelitarnych*, dla uczestników studiów doktoranckich na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

W latach 2011-2013 prowadziłem również wykłady pt. *Systemy informacji przestrzennej*, dla słuchaczy Podyplomowego Studium Planowania Przestrzennego, prowadzonego na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej.

Po uzyskaniu stopnia doktora, byłem opiekunem kilkudziesięciu pracy dyplomowych na obydwu kierunkach studiów prowadzonych na Wydziale Geodezji i Kartografii (Geodezja i kartografia oraz Gospodarka przestrzenna). W latach 2007-2015, było to 21 prac

magisterskich oraz 33 prace inżynierskie. Oprócz tego, byłem opiekunem dwóch pracy dyplomowych, w ramach Studiów Podyplomowych „Systemy Informacji Przestrzennej”, prowadzonych na Wydziale Geodezji i Kartografii PW.

W latach 2009-2011, prowadziłem wykłady dla studentów na uczelniach zagranicznych:

- w Oxford Brookes University, School of the Built Environment,
- na Uniwersytecie Technicznym w Pradze (Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Surveying and Land Consolidation),
- na Uniwersytecie w Salzburgu w ramach szkoły letniej „Z\_GIS Summer School” (dwukrotnie, w latach 2010 i 2011).

Moja działalność dydaktyczna przejawia się również w prowadzeniu zajęć i wykładów w ramach różnych akcji popularyzujących naukę. W latach 2003-2015 były to m.in. wykłady w ramach cyklu pt. „Tematyczne panoramy Warszawy”, przeznaczone dla dzieci i młodzieży gimnazjalnej wykłady i ćwiczenia w ramach akcji PW Junior, a także przeznaczone dla słuchaczy w różnym wieku wykłady i ćwiczenia w ramach współorganizowanego przez Politechnikę Warszawską Festiwalu Nauki.

### **Współpraca międzynarodowa i działalność organizacyjna**

Jestem aktywnie zaangażowany w międzynarodową działalność dydaktyczno-organizacyjną. Jej wyrazem są m.in. prowadzone w latach 2009-2011 zajęcia dydaktyczne w zagranicznych ośrodkach naukowych:

- w Oxford Brookes University, School of the Built Environment,
- na Uniwersytecie Technicznym w Pradze (Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Surveying and Land Consolidation),
- na Uniwersytecie w Salzburgu w ramach szkoły letniej „Z\_GIS Summer School”.

W ramach 6. Programu Ramowego Komisji Europejskiej miałem okazję współpracować z naukowcami z czterdziestu uczelni i instytutów naukowo-badawczych z niemal trzydziestu krajów europejskich, w tym ściśle, w ramach jednej grupy problemowej (Soil Sealing) z naukowcami z następujących instytutów:

- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (Krajowy Urząd ds. Środowiska, Ochrony Przyrody, Rolnictwa i Ochrony Konsumentów Północnej Nadrenii Westfalii),
- LfUG Landesamt für Umwelt und Geologie (Krajowy Urząd ds. Środowiska Naturalnego, Rolnictwa i Geologii Saksonii) w Dreźnie,
- Česká Zemědělská Univerzita (Czeski Uniwersytet Rolniczy) w Pradze,
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Federalny Instytut Nauk o Ziemi i Zasobach Naturalnych) w Hanowerze,
- Miskolci Egyetem (Uniwersytet Miskolci).

Ze względu na to, że Politechnika Warszawska była partnerem wiodącym tej grupy problemowej, brałem udział w organizacji seminariów w ramach Spotkań Konsorcjum ENVASSO, na których prezentowane były wyniki badań nad możliwościami monitorowania zjawiska „soil sealing” w Sofii (Bułgaria) i Bordeaux (Francja).

Jestem zaangażowany w działalność organizacyjną Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. W latach 2008-2012 byłem członkiem Rady Bibliotecznej Politechniki Warszawskiej. W latach 2005-2007 byłem członkiem Wydziałowej Komisji

Rekrutacyjnej. Jestem członkiem dyplomowych komisji egzaminacyjnych na kierunkach „Geodezja i Kartografia” oraz „Gospodarka Przestrzenna”.

Wielokrotnie w okresie zarówno przed, jak i po uzyskaniu stopnia doktora, brałem udział w organizacji lub prowadzeniu akcji promocyjnych Wydziału GiK:

- Dni Otwarte Politechniki Warszawskiej, skierowanej do potencjalnych kandydatów na studia na Wydziale Geodezji i Kartografii PW;
- PW Junior, skierowanej do młodzieży szkolnej;
- Festiwal Nauki, skierowanej do słuchaczy w różnym wieku.

W roku 2005 byłem członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji pt. „European Conference for ESRI Education Users”, organizowanej we współpracy z firmą ESRI.

Jestem również odpowiedzialny, z ramienia Zakładu Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej, za blok programowy pt. „Wprowadzenie do fotogrametrii i teledetekcji. Interpretacja zdjęć”, w ramach objęcia przez Wydział Geodezji i Kartografii PW opieką patronacką wybranych warszawskich liceów.

Jestem aktywny na forach międzynarodowych i krajowych organizacji naukowych i zawodowych. Aktywnie uczestniczę w konferencjach i sympozjach naukowych ISPRS (ang. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) oraz EARSeL (ang. *European Association of Remote Sensing Laboratories*), a także Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji oraz Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej. Jestem również członkiem Stowarzyszenia Geodetów Polskich oraz Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji, a także, jako członek Zespołu Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej w ramach Zakładu Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej - członkiem EARSeL.

Szczegółowe informacje o moich osiągnięciach naukowo-badawczych, dydaktycznych, organizacyjnych oraz działalności popularyzującej naukę przedstawiłem w Załączniku 4.

P. Kupiszewski

Dr inż. Przemysław Kupidura  
Faculty of Geodesy and Cartography  
Warsaw University of Technology

## SUMMARY OF PROFESSIONAL ACCOMPLISHMENTS

presenting a description of accomplishments and scientific achievements

### 1. Name and surname

Przemysław Kupidura

### 2. Diplomas and academic degrees – stating the name, location and year obtained and the title of doctoral dissertation

2002 - Magister inżynier (MSc), Warsaw University of Technology, Faculty of Geodesy and Cartography, major: Photogrammetry and Remote Sensing.

2004 - DESS (Diplôme d'études supérieures spécialisées), Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

2007- PhD in geodesy and cartography, Warsaw University of Technology, Faculty of Geodesy and Cartography, dissertation title: *Zastosowanie wybranych operacji morfologii matematycznej do wydzielenia klas pokrycia terenu na zdjęciach satelitarnych* [Application of selected mathematical morphology operations to land cover classification in satellite images]. This dissertation received a commendation from the Geodesy and Cartography Faculty Board of Warsaw University of Technology.

2009 - Postgraduate Urban Planning Studies, Faculty of Architecture of Warsaw University of Technology.

### 3. Information on employment in academic institutions to date

#### Place of employment

Warsaw University of Technology  
Faculty of Geodesy and Cartography  
Department of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems  
Plac Politechniki 1  
00-661 Warsaw

## **Employment history**

2002-2007	PhD student in the Department of Photogrammetry and Cartography at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology
2006-2007	independent engineering technician in the Department of Photogrammetry and Cartography at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology
2007-2008	assistant professor in the Department of Photogrammetry and Cartography at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology
since 2009	assistant professor in the Department of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology

## **4. Achievements**

### **4.1 Stating the title of scientific achievement**

As the achievement stipulated in Article 16(2)(1) of the Act of 14 March 2003 on Academic Degrees and Titles and on Arts Degrees and Titles I submit the monograph published in 2015:

Przemysław Kupidura, *Wykorzystanie granulometrii obrazowej w klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych* [Application of image granulometry to classification of satellite images], **Prace naukowe, Geodezja, issue 55, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej [Warsaw University of Technology Publishing House], Warsaw, 2015, ISSN 0137-2327, ISBN 978-83-7814-371-0, in Polish with a summary in English, 271 p.**

### **4.2 A discussion of the research purpose of the dissertation and the results achieved along with a description of their potential application**

Keywords: *remote sensing, classification of satellite images, textural analysis, mathematical morphology*

The monograph entitled “**Wykorzystanie granulometrii obrazowej w klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych**” [Application of image granulometry to classification of satellite images] is a result of my research on the possibility to use image granulometry operations in order to make the classification of land cover or land use more effective on the basis of satellite images. In my dissertation I put forward a new classification method, based on using spectral and textural data from the so-called granulometric maps. I examined the effectiveness of the suggested method depending on spatial resolution of satellite images and on the parameters of granulometric processing alone.

Automatic classification of satellite images has been the subject of interest for the scientists since the appearance of the first remote sensing images in digital form. At first this was mainly the so-called spectral classification, based solely on radiometric values of pixels. This

approach is of a relatively low accuracy because limiting oneself to one interpretative feature i.e. the colour (expressed by radiometric values of pixels) makes it difficult to identify the land classes for which other interpretative features, such as size, shape or texture, can be decisive.

Relatively early, in the 1970s, there were attempts to include texture in the classification process. This required appropriate processing which allowed for calculating the values characteristic for texture in selected parts of images. Over the last several decades a few methods devoted to this aim have been developed. The effectiveness of such methods varied from the point of view of aerial or satellite images.

Quite recently, at the beginning of the current century, object-oriented classification, i.e. the approach based on the classification of objects which was previously identified in the process of image segmentation, has developed significantly. This approach has a great potential since it allows for inclusion of a large number of interpretative features, which is confirmed by the results of research carried out by scientists from various research centres around the world. Object classification, however, has certain disadvantages which hinder its use, such as a high degree of process complexity, which requires taking into account many features of an image, and occasional difficulties related to image segmentation, where the results of segmentation are decisive for the success of the entire classification.

At the same time research on the methods of determination of image texture are being carried out. Such methods would allow for using this image feature in the classification process, preferably in combination with spectral data. Texture (according to dictionary.com) may be defined as “the characteristic physical structure given to a material, an object, etc., by the size, shape, arrangement, and proportions of its parts”. It is one of the most important interpretative features used in the photointerpretation process. Due to its significance for image perception, the methods which use texture calculated for individual pixels should, at least in principle, allow for achieving a relatively high accuracy of classification without significantly increasing the degree of process complexity.

The research presented in the monograph follows this research trend. The classification method put forward is based on using granulometric maps. Granulometric maps are images which contain information on texture in the neighbourhood of individual pixels. Pixel values on granulometric maps result from locally calculated image granulometry. Image granulometry itself consists in image processing through opening or closing operations which use a sequence of structuring elements of increasing size and then calculating the differences between successive resulting images.

In the monograph I presented theoretical bases of image granulometry alone and of creating granulometric maps. Then I compared the described method of texture identification on an image to other methods applied for the same purpose. In effect, I demonstrated major advantages of image granulometry and of granulometric maps for classification of remote sensing images, such as multi-scaling i.e. the possibility to identify texture with varied grain sizes or resistance to the so-called “edge error”.



I have presented theoretical bases of the new classification method which consists in using the data composed of multispectral images and of granulometric maps which, as it was assumed, allow for including not only spectral features but also data regarding texture of individual image sections.

The research result has proven the effectiveness of the method put forward. In the first place I analysed separateness of selected classes of land cover or land use obtained on the basis of spectral data and granulometric maps. I have observed a considerable increase in separateness of classes which are characterized by similar spectral features but different texture. I have also noticed a considerable impact of image spatial resolution on the effectiveness of granulometric analysis.

Then I studied the effectiveness of the proposed classification method, which was the primary research objective. To this end, I have classified test images of various spatial resolutions, using also granulometric maps (with various parameters) created on the basis of such images and comparing the results to the spectral classification accuracy. The results have demonstrated a significant increase in classification accuracy. They have also confirmed that the effectiveness of texture analysis achieved on the basis of granulometric processing heavily depends on spatial resolution of the image being classified, which was observed earlier. The results have also allowed for defining the impact of individual parameters of granulometric processing on the effectiveness of granulometric analysis and, as a result, of classification.

On the basis of research results I proposed a two-stage classification model which utilizes partly the results of spectro-textural classification and partly the results of spectral classification. The research carried out has demonstrated that applying this model led to an additional increase in accuracy.

The achieved results have demonstrated that the suggested classification method, based on image granulometry, enables to obtain accuracy which is much higher (even between ten and twenty per cent) than the traditional pixel spectral classification while only slightly increasing the complexity of the entire process. For example, classification of very high resolution images with the method that uses granulometric maps helped to increase classification accuracy compared to spectral approach from 80% to over 95%. The model put forward may be used for automatic or semi-automatic creation of maps of land cover or land use. The potential is reflected in the contract concluded with Geosystems Polska, a representative of one of the leading international companies which develop software for image processing in remote sensing. This company is interested in using the method of classifying satellite images presented in the dissertation to develop their software.

### **4.3 Main achievements of dissertation**

In my dissertation I presented a new method of classifying satellite images which consists in using not only spectral data but also data regarding texture obtained through granulometric processing of source images. I presented theoretical bases of image granulometry including the bases of creating granulometric maps, that is images which contain information on the local texture, calculated in the determined neighbourhood of each of the pixels, called

“granulometry window”. I compared the rules governing operation of such processing to the rules governing the operation of other methods of identifying texture on an image. I also presented theoretical bases of the classification method itself.

I have examined the effectiveness of the presented method, depending on the spatial resolution of the source image, its type and basic features and parameters of granulometric maps. The research was conducted in two stages. I started by analysing separateness of selected classes, obtained from spectral data, textural data contained in granulometric maps, and combined data, both spectral and textural ones. The research carried out made it possible to define the significance of individual granulometric maps for textural analysis of an image in relation to classification of land cover or land use and depending on source image resolution. The second (main) part of dissertation consisted in an analysis of classification accuracy carried out using the spectro-textural method put forward in the dissertation in comparison to spectral classification accuracy. The results of both parts of research enabled to define the efficiency of the proposed method of land classification based on satellite images, as well as the impact of individual features and parameters of granulometric maps and source images on effectiveness of this method.

The research carried out has demonstrated a considerable impact of image spatial resolution on the efficiency of granulometric analysis. For test images that have high spatial resolution (QuickBird with pixel size 2.44 m x 2.44 m and SPOT5 with pixel size 10 m x 10 m), the efficiency of texture analysis carried out using granulometric maps, determined both by achieved separateness of selected classes and by an increase in the classification accuracy, was considerable. This is a consequence of clear texture of individual classes of land cover or land use, observed on high spatial resolution images. In the case of lower resolution images (Landsat ETM+ with pixel size 30 m x 30 m and Landsat MSS with pixel size 57 m x 57 m – after resampling) the efficiency of granulometric analysis in the examined context was so small that it leads to the conclusion that the suggested method is ineffective, or even counter effective, on medium and low resolution images, at least in relation to classification of basic classes of land cover or land use.

Another factor, whose impact on the efficiency of the presented method was analysed, was the usefulness of individual granulometric maps in the classification process. The results obtained show that this feature highly depends on the source image resolution. In the case of highest resolution images (pixel size 2.44 m x 2.44 m or 10 m x 10 m), the first several granulometric maps contain useful information on image texture. However, the number of maps useful for texture analysis decreases in line with the decrease in resolution of the image being classified. This is related to multi-scaling of granulometric analysis, which is most efficient on high resolution images due to the occurrence of various types of texture manifested in the form of grains of various sizes. For such images the best results of classification are achieved by using several granulometric maps with the lowest indices. On lower resolution images the texture which is useful in the classification process is noticeable only at the highest resolution of an image. Therefore, only the granulometric maps related to texture with the lowest grain size prove to be useful. In such cases the classification options

which use single granulometric maps are more efficient while using additional granulometric maps with higher indices may lead to deterioration of classification results.

I also analysed the efficiency of the presented method in terms of the source image type. Since the presented method provides for using only one greyscale image and not multispectral images, two types of images, selected on the basis of a preliminary analysis of their usefulness, have been examined: image of the principal component and image within the near infrared wavelength range. The results show that the impact of the source image type on the classification efficiency depends primarily on the types of the source image texture elements and indirectly on its resolution and the types of identified classes of land cover or land use. Therefore, in situations where the pixels representing shadowed areas and vegetation are of crucial importance to the image texture, the images within the near infrared wavelength range, where the contrast between such surfaces is very large, prove to be better. This phenomenon has been observed not only on highest resolution images but also e.g. when identifying the class of block buildings on lower resolution images. Relatively long shadows of high buildings and large areas of vegetation led to achieving better results because of using granulometric maps based on images within the near infrared wavelength range. In other cases granulometric maps, created on the basis of the principal component image, prove more efficient. Such images are, by definition, characterized by the largest general contrast between various areas.

Another analysed aspect of the proposed method was the type of opening and closing operations used to create granulometric maps. In the classical form of granulometric processing the basic versions of these operations (called “simple” in the dissertation to distinguish them from other types of operations) are used. However, preliminary research has demonstrated a potentially high effectiveness also of other opening and closing types: with a multiple structuring element and by reconstruction. The research results show that simple opening and closing operations are characterized by the highest stability in this aspect and most often help to obtain the best classification results, in particular in the case of high spatial resolution images. In selected cases a relatively high efficiency is visible in the operations with a multiple structuring element because, compared to other types of operations, they enable better differentiation of image texture depending on certain aspects of the grain shape of the texture being analysed. An example may be better identification of developed areas and long, narrow plots of land on lower spatial resolution images.

Operations by reconstruction are less effective. In theory they constitute an improvement of simple operations because they enable better designation of texture consisting of elements with more complex shapes. However, in the case of most satellite images which were analysed classification based on granulometric maps created on the operations by reconstruction was least accurate. This phenomenon stems from high irregularity of texture in the majority of analysed classes of land cover or land use.

The last analysed parameter of granulometric maps was the size of granulometry window, which defines the neighbourhood of individual pixels, for which the local granulometry value is calculated. The results show that this feature is significant and that classification is more effective when a suitably large granulometry window is used. Such a window enables to

consider a larger area when calculating local granulometry, ensures better “averaging” of the results obtained and protects against classification errors which result from local differences in granulometry within individual land classes and which stem from irregular image texture.

Moreover, the research carried out resulted in some other important observations related to the methodology of applying the classification method put forward in the dissertation. First of all, even if application of the spectro-textural approach led to achieving significantly better general classification results, it might have been observed that for individual classes or pairs of classes the accuracy of distinguishing one another was lower compared to spectral classification. This concerns the classes which clearly, though slightly, differ among themselves in terms of spectral values. In such situations spectral classification brings about correct results and adding granulometric maps to the set of classification data may lead to lower accuracy of their distinction. Limiting such errors requires a considerable increase in the number of training fields. For this reason, after an analysis of achieved spectral and spectro-textural classification results, I suggested a modification of the classification method presented initially, which consists in applying the two-stage classification model. This method uses mainly the results of spectro-textural classification. However, in selected cases, these are replaced by spectral classification results. Application of this model also made it possible to increase the classification accuracy without increasing the number of training fields.

#### **4.4 Other research and scientific achievements**

In 2002, after graduating from full-time studies in Geodesy and Cartography majoring in Photogrammetry and Remote Sensing at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology I started PhD studies at the same faculty. From the beginning of my research career I was mainly interested in exploring the possibility to obtain various types of spatial information regarding the condition of the environment or of land cover and land use on the basis of aerial and satellite images with the use of such methods as the method of digital image processing. My interests were reflected in my MSc thesis devoted to a comparison of selected vegetation indices. I continued the research on vegetation indices during my PhD studies as part of the research project entitled “Badanie zmienności wybranych wskaźników roślinności na podstawie zdjęć satelitarnych” [A study on the changeability of selected vegetation indices based on satellite images]. At the same time I participated in the project commissioned by KBN [State Committee for Scientific Research] entitled “Koncepcja systemu informacji przestrzennej województwa mazowieckiego” [The concept of spatial information system of the Mazovian voivodeship] (implemented in 2000-2003) in which I worked, inter alia, on the design and implementation of the database related to land cover and land use on the basis of satellite images. This was part of the pilot project “Pokrycie terenu” [Land cover]. The research results have been included in the voivodeship spatial information system “SIP Mazowsze” and they were presented in the monograph entitled “System Baz Danych Przestrzennych dla Województwa Mazowieckiego” [Spatial Databases Dystem for Mazovian Voivodeship].

In 2003-2004 I studied remote sensing in GDTA (Groupement Pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale) in Toulouse. The course was coordinated by two French

universities: Université Pierre et Marie Curie Sorbonne - Paris VI and Université Paul Sabatier Toulouse III. I completed this course with top marks and was awarded the DESS (Diplôme d'études supérieures spécialisées) degree. During these studies, inspired by the lectures of prof. G. Flozaut, I started research on mathematical morphology and the possibilities to apply it to remote sensing, which subsequently became the subject of the research work related to my doctoral dissertation. During my stay in France I also completed a scientific internship in SPOT Image, a leading European company which deals with production and application of satellite images. As part of my internship I also studied the Reference 3D base, created on the basis of satellite imaging and intended for automatic orthorectification of satellite images. My research was presented, inter alia, in my diploma thesis entitled "Evaluation de la base de données Reference 3D pour l'orthorectification des images SPOT" defended before the examination board of Pierre and Marie Curie University (Paris VI).

After my return to Poland I focused on studying the possibility of using digital methods of image processing, including morphological method, in classification of aerial and satellite images. I carried out research related to this topic as part of two research projects:

- research project of KBN [State Committee for Scientific Research] entitled "Obiektowe podejście do klasyfikacji zdjęć satelitarnych VHR, rozwinięcie o elementy wiedzy dodanej i wiedzy eksperckiej" [Object approach to the classification of VHR satellite images, with elements of added knowledge and expert knowledge];
- research project of the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology entitled "Badanie skuteczności przekształceń morfologicznych zdjęć satelitarnych w celu klasyfikacji obiektów heterogenicznych" [Study on the effectiveness of morphological transformations of satellite images aimed at classification of heterogeneous objects].

In my doctoral dissertation entitled "Zastosowanie wybranych operacji morfologii matematycznej do wydzielenia klas pokrycia terenu na zdjęciach satelitarnych" [Application of particular mathematical morphology operations for land cover classification of satellite images] prepared under the supervision of prof. dr. hab. inż. Stanisław Białousz and defended at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology in 2007 I used research carried out mainly as part of the latter of the aforementioned projects. The dissertation received a commendation from Geodesy and Cartography Faculty Board. In the dissertation I presented theoretical and methodical bases of a number of solutions based on morphological image processing focused on identification and filtration of selected land cover classes on satellite images.

At the same time I was also working on other aspects of using aerial and satellite images as the sources of spatial information, also in the process of visual interpretation, which was reflected in one chapter of my doctoral dissertation, devoted to image perception psychology, and in some other studies. A list of all my publications before the doctoral dissertation is presented in Annex 3.

### **The period following PhD studies:**

Having obtained the academic degree of doctor of technical sciences I continued my research related to the problem of morphological processing of digital images as part of the research project of the Ministry of Science and Higher Education entitled “Rozszerzenie metod cyfrowego przetwarzania danych teledetekcyjnych o funkcje morfologii matematycznej” [Expanding the methods of digital processing of remote sensing data by including mathematical morphology functions] which I coordinated. When implementing the project (2007-2009) I had the opportunity to manage a research team of 6 people. My work and the work of my team resulted in offers to use morphological operations in classification and filtration of not only aerial and satellite images but also photogrammetric short-range images and medical images. In this way I developed CMAF (*CHRIS Morphological Adaptive Filter*) intended for CHRIS/PROBA images filtration which enable elimination or significant restriction of noise which often occurs on such images. The developed method is the subject of patent application. I compared the results achieved on the basis of this filter with Settle method developed for such images and I demonstrated the advantages of my option. Moreover, I also suggested using morphological alternating filters to remove speckle noise from radar images and demonstrated their advantage over other, popular filters intended for this purpose. Additionally, I presented developed methods of identifying selected types of objects on the basis of selected contextual features. These were, among other things: identifying single buildings on very high spatial resolution images based on the method which uses, apart from spectral features, the features of neighbourhood and the size of the objects being classified; high-low method, which consists in combining morphological results of opening and closing operations and which enables to define, with a relatively high accuracy, classes of land use characterized by high texture, which was examined using fruit orchards as an example. The possibility to use the speckle noise, removed by filtration and processed with the use of granulometric operations, as additional information related to land cover in the classification of radar images was also examined. The achieved results show that the accuracy of classification increased by between 10 and 20 per cent. An important research topic was an analysis of the possibility to use granulometric maps to identify developed areas on high spatial resolution images. The research carried out demonstrated that this method is highly effective and led to further work on the possibilities to make use of granulometric processing in classification of satellite images, culminating in the monograph presented in previous chapters.

Apart from this research, I proposed my own methods for processing laser scanning data (the method of converting the land cover digital model to the digital land model was suggested), photogrammetric short-range images (the possibility to use morphological high-pass filters in detecting image features was analysed), as well as medical images (the possibility to use morphological operations in automatic detection of micro-calcifications and tumours on images from mammograph was analysed).

I presented the results of research which I carried out alone or in cooperation with research team members at several conferences and in a dozen or so publications in Poland and abroad (including publications from Web of Science list), as well as in the monograph entitled

“Morfologia matematyczna w teledetekcji” [Mathematical morphology in remote sensing] published by Wydawnictwo Naukowe PWN. As part of the project and on the basis of research conducted in the project, a computer program BlueNote was also developed. This program is intended for morphological processing of digital images and is one of the most advanced programs of this kind in the world in terms of its functionality. BlueNote is used for scientific research and in teaching by scientists in various centres in Poland and abroad.

I used the experience acquired in the course of the aforementioned research also in the project managed by me and financed by the Dean of the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology entitled “Projekt i realizacja internetowego portalu naukowego poświęconego morfologii matematycznej i jej zastosowaniom w teledetekcji” [Design and implementation of the Internet scientific portal devoted to mathematical morphology and its applications in remote sensing] run in 2008.

I also had the opportunity to develop and use the devised method of image processing in another research project of the Ministry of Science and Higher Education entitled “Rozwinięcie metod integracji danych z lotniczego skaningu laserowego i z cyfrowych zdjęć lotniczych” [Development of integration methods for data from aerial laser scanning and digital aerial images] implemented in 2008-2011.

Other areas of my scientific interest also concerned the possibility of using image data in obtaining various types of spatial information. I should emphasize here two scientific topics addressed in two large scientific projects in which I participated as a contractor. These were:

- the project entitled “The ENVironmental ASsessment of Soil for mOnitoring (ENVIASSO)” implemented in 2006-2008 as part of the 6th Framework Programme of the European Commission;
- research project of the Ministry of Science and Higher Education entitled “Opracowanie metody określania wartości elementów krajobrazu dla celów scalania gruntów” [Development of a method for determination of landscape elements value for the purpose of land consolidation] implemented in 2007-2010.

As part of the first of these projects, implemented by a consortium of several dozens of research institutions from all over Europe, I was a co-author of the methodology of defining the percentage of impermeable surfaces (enlargement of such areas, “soil sealing”, is one of several hazards to soil defined in the European Strategy for Soil Protection developed by the European Commission) based on remote sensing, cartographic and statistical data, with the use of spatial information systems technology. The research carried out led to several articles published in Polish and foreign magazines and to chapters in monographs devoted to the outcomes of the entire project. It has been demonstrated that very high resolution satellite images are highly useful in identifying test images (samples) and in calculating indices for larger areas. This method was applied when calculating e.g. the indices for Warsaw.

In the second of the aforementioned projects I was responsible for developing the methodology of using spatial data, mainly aerial and satellite images, with the use of GIS technology for identifying and defining the location of crucial landscape elements. As a result of research carried out I published, in cooperation with other team members, the monograph

entitled “Wartość krajobrazu. Rozwój przestrzeni obszarów wiejskich” [Landscape value. Development of rural areas] published by Wydawnictwo Naukowe PWN and the article entitled “Public perceptions of rural landscapes in land consolidation procedures in Poland” published in a prestigious scientific magazine *Land Use Policy* (list A of the repository of scientific journals of the Ministry of Science and Higher Education: 40 points; impact factor: 2.346). One of the main achievements of this project was presenting the landscape value as the economic value and presenting the possibility to use imaging data and to apply spatial information technology systems to landscape shaping and valuation.

I examined this area during my visits to scientific centres abroad:

- Oxford Brookes University, School of the Built Environment,
- Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Surveying and Land Consolidation.

In general my research led to monographs published as books and articles published in scientific journals, as well as papers read at conferences and scientific symposia in Poland and abroad. In 2007-2015, after I was conferred the title of doctor of technical sciences I was the author or co-author of 25 publications, out of which 3 monographs and 2 articles are included in the Journal Citation Report database (total impact factor: 3.309; total number of points according to list A of the repository of scientific journals of the Ministry of Science and Higher Education: 55). A detailed list of publications and of papers presented at conferences and scientific symposia is included in Annex 3.

In my opinion the most significant scientific achievements in the thematic groups related to obtaining spatial information on the basis of remote sensing data by using the methods of digital image processing and visual interpretation, presented above, are the following peer-reviewed publications (peer-reviewed articles, peer-reviewed monographs, peer-reviewed chapters in monographs, in chronological order):

- **Kupidura P.**, Koza P. (2008). *Radar Imagery Filtering with Use of the Mathematical Morphology Operations*. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 17, No 1C, ISSN 1230-1485, impact factor: 0.963, pp. 31-35.
- Białousz S., **Kupidura P.** (2008). “Soil sealing” – zagrożenia gleb wymienione w europejskiej strategii ochrony gleb. *Propozycja metodyki jego określania. Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce* [“Soil sealing” - hazards to soils listed in the European strategy for soil protection. Suggested methodology of its determination. Selected issues of spatial information systems and problematic areas for agriculture in Poland], Harasim A. (ed.), ISBN 978-89-7562-006-1, pp. 45-54.
- Kowalczyk M., Koza P., **Kupidura P.**, Marciniak J. (2008). *Application of Mathematical Morphology Operations For Simplification and Improvement of Correlation of Images in Close-Range Photogrammetry*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B5, Beijing, pp. 153-157.



- **Kupidura P.**, Jakubiak M. (2009). *The morphological filtering of the remote sensing image for the noise reduction comparing to traditional filters*. Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], vol. 7, No 2, ISSN 1731-5522, pp. 63-68.
- **Kupidura P.**, Gwadera Ł. (2010). *Comparison of different approaches to extract heterogeneous objects from an image using an orchards example*. International Archives of the Photogrammetry, vol. 38, No 3B, Elsevier, ISSN 1682-1777, pp. 13-18.
- **Kupidura P.**, Koza P., Marciniak J. (2010). *Morfologia matematyczna w teledetekcji* [Mathematical morphology in remote sensing]. Wydawnictwo Naukowe PWN, ISBN 978-83-01-16287-0, 163 p.
- **Kupidura P.** (2010). *Semi-automatic method for a built-up area intensity survey using morphological granulometry*. Problemy Ekologii Krajobrazu [The Problems of Landscape Ecology], Vol. 28, ISSN 1899-3850, pp. 271-277.
- Kupidura A., Łuczewski M., **Kupidura P.** (2011). *Wartość krajobrazu. Rozwój Przestrzeni Obszarów Wiejskich*. [Landscape value. Development of rural areas]. Wydawnictwo Naukowe PWN, 170 p.
- **Kupidura P.** (2013). *CMAF - CHRIS Morphological Adaptive Filter*. Ecological Questions, vol. 17, ISSN 1644-7298, pp. 43-55.
- Kupidura A., Łuczewski M., **Kupidura P.** (2014). *Public perceptions of rural landscapes in land consolidation procedures in Poland*. Land Use Policy, vol. 39, ISSN 0264-8377, impact factor: 3.134, pp. 313-319.

I received awards of the Head of Warsaw University of Technology for my scientific achievements on two occasions (in 2008 and in 2011).

#### 4.5 A description of other achievements

##### Education

I use the presented scientific research and the experience gathered during such research in teaching. From the beginning of my doctoral studies at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology, i.e. since 2002, I have been teaching students of Geodesy and Cartography. I teach the following modules (both lectures and classes): Remote Sensing (undergraduate studies); Digital Image Processing, Applications of Remote Sensing and Spatial Information Systems Technologies (postgraduate studies). I am the supervisor of the aforementioned modules and the author of the programme content which constitutes the basis for classes and lectures given both by me and by other lecturers who work at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology.

Moreover, since 2008 I have also been teaching students of Spatial Management. I am the supervisor and the author of the programme content of the following modules: Geographic Information Systems Technologies and Modelling in Spatial Management (both modules are included in the curriculum of postgraduate studies). Apart from that I teach or used to teach: Remote Sensing, Geographic Information Systems and Spatial Analysis and Modelling (these modules are included in the curriculum of undergraduate studies). In 2009 I graduated from

Postgraduate Studies in Urban Planning at the Faculty of Architecture of Warsaw University of Technology, which helps me teach classes to students of Spatial Management.

Since 2013 I have been giving lectures entitled “Digital Processing of Aerial and Satellite Images” to PhD students at the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology.

In 2011-2013 I also gave lectures entitled “Spatial Information Systems” to the students of Postgraduate Studies in Urban Planning at the Faculty of Architecture of Warsaw University of Technology.

After I was conferred the degree of doctor (PhD) I was the supervisor of several dozens of diploma theses in both programmes (Geodesy and Cartography and Spatial Management) offered at the Faculty of Geodesy and Cartography. Between 2007 and 2015 I supervised 21 master's theses and 33 engineer's theses. Apart from that I was also the supervisor of two diploma theses at Postgraduate Studies in Spatial Information Systems run by the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology.

In 2009-2011 I gave lectures to students at foreign universities:

- Oxford Brookes University, School of the Built Environment,
- Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Surveying and Land Consolidation.
- Salzburg University, as part of summer school “Z\_GIS Summer School” (twice, in 2010 and 2011).

My teaching activity is also manifested in giving classes and lectures as part of various initiatives promoting science. Between 2003 and 2015 I delivered lectures as part of the cycle entitled “Thematic Panoramas of Warsaw”, lectures and classes as part of Junior initiative of Warsaw University of Technology intended for children and teenagers from middle secondary school, as well as lectures and classes designed for participants of all ages as part of Science Festival co-organized by Warsaw University of Technology.

### **International cooperation and organizational activities**

I am actively involved in international educational and organizational activity. This can be seen, for example, in classes I taught at foreign scientific centres between 2009 and 2011:

- Oxford Brookes University, School of the Built Environment,
- Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Surveying and Land Consolidation.
- Salzburg University, as part of summer school “Z\_GIS Summer School”

Under the 6th Framework Programme of the European Commission I had the opportunity to cooperate with scientists from forty universities and scientific and research institutes from nearly thirty European countries, which included close cooperation in one thematic group (Soil Sealing) with the scientists from the following institutes:

- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW [North Rhine-Westphalia State Agency for Nature, Environment and Consumer Protection],

- LfUG Landesamt für Umwelt und Geologie [Saxony State Office for the Environment and Geology] in Dresden,
- Česká Zemědělská Univerzita [Czech Agricultural University] in Prague,
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Federal Institute of Geosciences and Natural Resources] in Hannover,
- Miskolci Egyetem [Miskolci University].

Since Warsaw University of Technology was the leading partner in this group I took part in organization of seminars for ENVASSO Consortium Meetings during which the results of research on the possibilities to monitor soil sealing in Sophia (Bulgaria) and Bordeaux (France) were presented.

I am involved in the organizational activity of the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology. Between 2008 and 2012 I was a member of the Library Council of Warsaw University of Technology. Between 2005 and 2007 I was a member of the Faculty Admission Committee. I am a member of the diploma examination boards for such programmes as Geodesy and Cartography and Spatial Management.

Both before and after I was conferred the degree of doctor (PhD) I participated on numerous occasions in organization or management of promotional initiatives of the Faculty of Geodesy and Cartography:

- Open Days of Warsaw University of Technology, addressed to prospective students of programmes offered by the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology.
- “Junior” initiative organized by Warsaw University of Technology, addressed to pupils,
- Science Festival, addressed to participants of all ages.

In 2005 I was a member of an organization committee of international conference “European Conference for ESRI Education Users” organized in cooperation with ESRI company.

I am also responsible, on behalf of the Department of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems, for programme block entitled “Introduction to Photogrammetry and Remote Sensing. Image Interpretation” since the Faculty of Geodesy and Cartography of Warsaw University of Technology became the supervisory institution of selected secondary schools in Warsaw.

I am an active member of national and international scientific and professional organizations. I participate in scientific conferences and symposia of ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) and EARSeL (European Association of Remote Sensing Laboratories), as well as events of the Polish Society for Photogrammetry and Remote Sensing and the Polish Association for Spatial Information. I am also a member of the Association of Polish Surveyors and the Polish Society of Photogrammetry and Remote Sensing. As the member of the Team of Remote Sensing and Spatial Information Systems within the Department of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems I am also a member of EARSeL.

Annex 4 presents detailed information on my scientific, research, educational and organizational achievements as well as the activity aimed at promoting science.

*P. Kupidura*