

Dr inż. Piotr Andrzej Sawicki
Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 1
10-719 Olsztyn

AUTOREFERAT

dotyczący osiągnięć w pracy naukowo – badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej

Olsztyn 2014

Spis treści:

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazane osiągnięcia	3
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	3
4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	3
4.3. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	5
4.3.1. Wprowadzenie	5
4.3.2. Opis przeprowadzonych badań i główne osiągnięcia pracy	6
4.3.3. Podsumowanie i wnioski	15
4.3.4. Bibliografia	17
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych	19
5.1. Prace badawcze spoza tematyki dotyczącej monotematycznego cyklu publikacji	19
5.2. Udział w naukowych projektach badawczych	22
5.3. Wskaźniki dotyczące publikacji	23
5.4. Recenzje publikacji w czasopismach naukowych	23
5.5. Działalność dydaktyczna	24
5.6. Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	25
5.7. Działalność organizacyjna	25
5.8. Doświadczenia naukowe zdobyte za granicą	26
5.9. Nagrody i wyróżnienia za działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną	27

1. Imię i nazwisko: Piotr Andrzej Sawicki
ur. 17.05.1953 r. w Kaliszu

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe (nazwa, miejsce i rok uzyskania):

- 1977 Magister inżynier geodezji i urządzeń rolnych, Wydział Geodezji i Urządzeń Rolnych Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, tytuł pracy magisterskiej: *Badanie opracowań stereofotogrametrycznych na Technokarcie*
- 1985 Doktor nauk technicznych w zakresie Fotogrametrii, Rada Naukowa Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie, tytuł rozprawy doktorskiej: *Untersuchungen zur numerischen Punktbestimmung mit hoher Genauigkeit in der Nahbereichsphotogrammetrie (Badania numerycznego wyznaczania punktów z wysoką dokładnością w fotogrametrii bliskiego zasięgu)*
Promotor: Doc. Dr.-Ing. J. Pietschner
Recenzenci: Prof. Dr.-Ing. W. Rüger
 Prof. Dr.-Ing. habil. K. Szangolies
- 1990 Świadectwo nadania uprawnień zawodowych nr 9068 w dziedzinie Geodezji i Kartografii w zakresie: 1. Geodezyjne Pomiary Sytuacyjno-Wysokościowe, Realizacyjne i Inwentaryzacyjne, 2. Fotogrametria i Teledetekcja

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1977-1985 asystent – Instytut Geodezji i Fotogrametrii, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie
- 1986-1997 adiunkt – Instytut Geodezji i Fotogrametrii, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie
- 1997-2005 adiunkt – Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie (od 1999 r. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie)
- 2005-obecnie starszy wykładowca – Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

4. Wskazane osiągnięcia ¹

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Cykl publikacji powiązanych tematycznie nt.

**Dedykowane techniki opracowania obrazów cyfrowych
w fotogrametrii bliskiego zasięgu**

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego ²:

- Więcek B., **Sawicki P.**, Stein R., 1998. Directional Emissivity Correction in Thermal and Visual Systems. Topics in Nondestructive Evaluation Series, III International Workshop – Advances in Signal Processing for NDE of Materials. *The American Society for Nondestructive Testing, Inc., Columbus Ohio, Xavier P.V. Maldague (Ed.), Vol. 3, pp. 351-356.*

¹ wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm.).

² Prace posiadają numerację w układzie chronologicznym (wg daty publikacji) i alfabetycznym; odwołania w nawiasach kwadratowych mają numerację zgodną z wykazem prac zamieszczonych w Załączniku nr 3; odwołania w nawiasach okrągłych odnoszą się do prac w rozdziale Bibliografia.

2. **Sawicki P.**, 2000. Digital Multisensoral Video-Thermal System for Close Range Metrology Applications. *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII Part B5/2, pp. 691-698.
3. **Sawicki P.**, 2001. Rozwiązanie terratriangulacji łącznie z samokalibracją polową aparatu cyfrowego Kodak DC4800. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 11, s. 3/25-3/32.
4. **Sawicki P.**, 2003. Kalibracja równoczesna aparatu cyfrowego Kodak DC4800 w procesie fotogrametrycznego pomiaru punktów w bliskim zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13, s. 457-466.
5. Janowski A., **Sawicki P.**, Szulwic J., 2005. Advanced 3D Visualization of an Architectural Object in the OpenGL Standard. *The International Archives Of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI-5/W8/2005, http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-W8/Paper/PanoWS_Berlin2005_Janowski.pdf.
6. **Sawicki P.**, Ostrowski B., 2005. Badanie wybranych metod *matching'u* do pomiaru punktów na cyfrowych obrazach bliskiego zasięgu. *Roczniki Geomatyki PTIP*, Tom III, Zeszyt 2, s. 135-144.
7. Janowski A., **Sawicki P.**, Szulwic J., 2006. Internet Database for Photogrammetric Close Range Applications. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI, Part 5, pp. 131-135, http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part5/paper/JANO_638.pdf (paper was accepted on the basis of full paper double blind review).
8. **Sawicki P.**, Ostrowski B., 2007. Badanie potencjału pomiarowego aparatu cyfrowego typu SLR Kodak DCS Pro 14n (13.5 MP). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 729-738.
9. **Sawicki P.**, Zwolenik S., 2007. Przetwarzanie cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych w autorskim programie Vision Plus v. 2006. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 739-748.
10. **Sawicki P.**, 2008. Średnioformatowa lustrzanka cyfrowa Mamiya ZD (21.3 MP) – nowy sensor wizyjny do aplikacji bliskiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18b, s. 559-568.
11. **Sawicki P.**, Ostrowski B., 2012. Generowanie syntetycznych obrazów cyfrowych z punktami sygnalizowanymi. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 23, s. 377-386.
12. **Sawicki P.**, 2012. Badanie wpływu filtracji cyfrowej na dokładność rozwiązania metodą wiązek sieci zdjęć bliskiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 24, s. 333-343.

4.3. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1. Wprowadzenie

W ostatnich latach światowe badania w zakresie fotogrametrii bliskiego zasięgu były prowadzone przede wszystkim w następujących obszarach, zdefiniowanych przez Komisję Techniczną V *Close Range Photogrammetry and Sensing* Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) (ISPRS Archives, 2014):

- rozwój optycznych sensorów cyfrowych oraz techniki ich kalibracji,
- budowa wizyjnych systemów metrologicznych dla pomiarów w trybie *off-line* oraz *on-line* w czasie rzeczywistym lub *quasi* rzeczywistym,
- naziemny skaning laserowy TSL (*Terrestrial Laser Scanning*) i jego aplikacje,
- automatyzacja pomiaru i przetwarzania danych cyfrowych oraz ekstrakcja informacji o obiektach,
- integracja wielu sensorów w jeden hybrydowy system pomiarowy oraz łączenie danych (*data fusion*) z wielu sensorów,
- wspomaganie opracowań fotogrametrycznych systemami CAD/CAAD i systemami informacji przestrzennej,
- modelowanie i wizualizacja 3D w rzeczywistości wirtualnej (*Virtual Reality*),
- rozwój dedykowanych technik pomiarowych dla aplikacji w budownictwie, przemyśle, robotyce, mobilnej kartografii, w dokumentacji obiektów dziedzictwa kultury, medycynie, bioinżynierii oraz w innych obszarach zastosowań technicznych i specjalnych.

Celem prowadzonych przeze mnie badań naukowych oraz rozwojowych w latach 1998-2012, w których opublikowane zostały artykuły, tworzące przedstawiony do oceny cykl publikacji powiązanych tematycznie, były prace w głównej mierze zorientowane na zwiększenie zakresu i potencjału pomiarowego cyfrowych opracowań fotogrametrycznych bliskiego zasięgu. Badania te były przede wszystkim realizowane z wykorzystaniem opracowanych własnych, oryginalnych narzędzi informatycznych.

W zakresie mojej aktywności naukowej, który w znacznym stopniu zgodny jest tematyką badań prowadzonych na świecie, można sformułować następujące podstawowe cele:

1. Opracowanie fotogrametrycznego, wielosensorowego cyfrowego systemu wideo-termalnego.
2. Określenie optymalnego modelu funkcjonalnego kalibracji, potencjału pomiarowego i możliwości zastosowań niemetrycznych aparatów cyfrowych oraz dokładności analitycznego opracowania sieci cyfrowych zdjęć w bliskim zasięgu.
3. Zwiększenie dokładności i wiarygodności pomiarów fotogrametrycznych oraz termowizyjnych.
4. Określenie dokładności i warunków zastosowania metod dopasowania (*matching*), służących do pomiaru punktów strukturalnych na obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu.
5. Opracowanie techniki fotorealistycznego modelowania i wizualizacji 3D.
6. Opracowanie bazy danych fotogrametrycznych bliskiego zasięgu.

Tematyka wykonanych przeze mnie prac badawczych i rozwojowych ewaluowała zgodnie z rozwojem technologii budowy sensorów optyczno-elektronicznych, cyfrowych metod pomiaru i opracowania zdjęć bliskiego zasięgu, technik programowania oraz ogólnym postępowaniem wiedzy w zakresie Fotogrametrii.

4.3.2. Opis przeprowadzonych badań i główne osiągnięcia pracy

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat nastąpił dynamiczny rozwój technologii budowy sensorów optyczno-elektronicznych, metod fotogrametrii cyfrowej oraz wzrosło zapotrzebowanie w różnych dziedzinach gospodarki, techniki i nauki na nieinwazyjne, optyczne metody pomiaru. Opracowane w tym okresie, przede wszystkim komercyjne cyfrowe systemy pomiarowe różnią się architekturą, parametrami i osiągnięciami, które wynikają z różnych zadań i wymagań stawianych tym konstrukcjom (Atkinson, 1996; Grün, Kahmen, 1997; Luhmann, 2003; Luhmann *et al.*, 2006). Aktualny trend badawczo-rozwojowy, który jest inspirowany również działalnością Komisji Technicznej V *Close Range Photogrammetry and Sensing* Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS), skłonił mnie do prac nad stworzeniem własnego systemu, służącego do rejestracji i opracowania cyfrowych zdjęć bliskiego zasięgu.

Początkiem moich prac w zakresie opracowania optycznych, fotogrametrycznych rozwiązań służących do rejestracji, pomiaru, przetwarzania i opracowania cyfrowych zdjęć bliskiego zasięgu stała się publikacja [II B-5, II D-4] z 1989 r., w której sformułowałem sprzętowe i programistyczne zasady tworzenia interaktywnych systemów fotogrametrycznych. W kolejnych pracach i tematach badawczych konsekwentnie realizowałem przyjęty kierunek badawczo-rozwojowy. W pracy [II D-6] przedstawiłem możliwości zastosowania prostego 2. sensorowego systemu termowizyjnego w monitoringu środowiska przyrodniczego. W projekcie naukowym Ministerstwa Edukacji Narodowej Nr DNS-T/07/048/90-2 [II C-1] opracowałem metodykę pomiaru w czasie rzeczywistym w fotogrametrii bliskiego zasięgu, natomiast w ramach badań własnych [II C-5] wykonałem algorytmy i oprogramowanie wybranych segmentów 3D pozycjonowania punktów w fotogrametrii bliskiego zasięgu. W konsekwencji prowadzonych przeze mnie prac powstał pierwszy własny, interaktywny, fotogrametryczny system cyfrowy mikro bliskiego zasięgu, składający się z 4. kamer wideo CCD CCTV oraz karty *frame grabber* do digitalizacji sekwencji wideo obrazów [II B-8, II C-6, II D-7, II D-8].

W latach 1995-1998, w ramach kierowanego przeze mnie projektu naukowego, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych Nr 9T12E01808 nt. *Konstrukcja i testowanie cyfrowego systemu wideo-termalnego oraz badanie możliwości jego aplikacji w monitoringu środowiska techniczno-przyrodniczego*, został opracowany według mojej koncepcji i pod moim kierunkiem tani (*low cost*) hybrydowy, wielosensorowy, cyfrowy system wideo-termalny Vision Plus, wspomagany fotogrametrycznym programem PoPos (*Point's Positioning*) [I B-2, II B-11, II B-14, II B-15, II C-2, II D-11, II D-13, II D-16, II D-17].

Platformę systemu Vision Plus wraz z dodatkowym programem fotogrametrycznym PoPos (*Point's Positioning*), opis założeń konstrukcji, architekturę, oprogramowanie systemowe i aplikacyjne omówiłem w syntetyczny sposób w pracy [I B-2]. System Vision Plus integruje na jednej platformie sprzętowo-pomiarowej max. 4 kamery wideo CCD CCTV Panasonic WV-BP312/322 (rozdzielczość 753×582 piksele) oraz kamerę termalną AGEMA LWB 880 (175×280 pikseli), na bazie wspólnego interfejsu (karta *frame grabber*) typu PCI oraz modułarne, obiektowe oprogramowanie do akwizycji, przetwarzania oraz opracowania 2D/3D cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych bliskiego zasięgu. System został wykonany w 2. wersjach sprzętowych: stacjonarnej oraz przenośnej i jest przeznaczony przede wszystkim do rejestracji szybkozmiennych procesów w badaniach kinematycznych. Program PoPos umożliwia pomiar i opracowanie zdjęć cyfrowych metodą bezpośredniej transformacji liniowej (*Direct Linear Transformation*) oraz metodą wiązek.

System Vision Plus i program PoPos powstały na podstawie przeze mnie napisanych algorytmów oraz zaprojektowanej funkcjonalności i stały się w następnych latach jednym

z podstawowych narzędzi informatycznych, zastosowanych w wykonanych przeze mnie badaniach i opracowaniach.

W początkowym etapie testowania systemu i programów narzędziowych wykonałem dwa opracowania metrologiczne w mikro bliskim zasięgu [I B-2, II D-17]. W ich wyniku, dla obiektu 1 (odległość rejestracji $Y_F = 5$ m) oraz obiektu 2 ($Y_F = 2$ m) uzyskałem średnie odchylenia standardowe wyznaczenia współrzędnych przestrzennych, odpowiednio: $\sigma_x = \pm 1.55$ mm, $\sigma_y = \pm 1.95$ mm, $\sigma_z = \pm 1.75$ mm oraz $\sigma_x = \pm 0.35$ mm, $\sigma_y = \pm 0.50$ mm, $\sigma_z = \pm 0.40$ mm, co odpowiada względnej dokładności analitycznego opracowania rzędu 1:3000 oraz 1:5000.

W innych przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych oraz aplikacjach [II B-11, II B-14, II B-15, II D-11, II D-13, II D-16] wykazałem praktyczną przydatność nowatorskiego systemu Vision Plus w metrologicznych pomiarach (geometrycznych i fizycznych) w bliskim zasięgu, o wysokiej dokładności opracowania.

Nowe możliwości zaawansowanego przetwarzania, pomiaru i analizy cyfrowych obrazów wizyjnych oraz termalnych powstały w wyniku realizacji kierowanego przeze mnie grantu KBN Nr 4T12E00326 nt. *Opracowanie zaawansowanych technik przetwarzania multisensoralnych obrazów cyfrowych dla fotogrametrycznych aplikacji bliskiego zasięgu*, wykonanego w latach 2004-2006 [II C-3].

W ramach jednego z zadań badawczych powstała kolejna wersja systemu Vision Plus [I B-9, II D-35] oraz nowa aplikacja Vision Plus 3D do rekonstrukcji 3D scen termalnych [II B-28, II D-39]. Wszystkie programy zostały stworzone w oparciu o opracowane przeze mnie algorytmy oraz modele funkcjonalne i stochastyczne zastosowanych rozwiązań analitycznych.

W pracy [I B-9] przedstawiłem dodatkowy moduł Thermal Analyst oraz opracowaną zewnętrzną bibliotekę Vision. Biblioteka Vision umożliwia integrację obsługi, unifikację narzędzi do przetwarzania oraz łączenie różnych danych cyfrowych na platformie pakietu Vision Plus. Program Thermal Analyst, wykorzystujący podejście obiektowe, jest funkcjonalnie zintegrowany z biblioteką Vision i przeznaczony jest do zaawansowanych operacji oraz analiz na cyfrowych obrazach termalnych i wizyjnych oraz ekstrakcji informacji. Moduł Thermal Analyst obsługuje maski oraz specjalnie opracowane wtyczki (*plugins*): subtrakcję obrazów, korekcję NUC (*Non Uniformity Correction*) matryc detektorów termowizyjnych, transformację Fouriera, statystykę obrazów, tworzenie sekwencji video AVI, transformację rzutową 2D, działania arytmetyczne na obrazach.

Dodatkowe moduły Vision Plus Thermal Analyst i zewnętrzna biblioteka Vision [I B-9, II D-35] oraz program Vision Plus 3D [II B-28, II D-39], bazowego systemu Vision Plus, w znaczący sposób zwiększyły zakres zastosowań i możliwości opracowań zdjęć cyfrowych bliskiego zasięgu.

Nowy zakres opracowania w środowisku systemu Vision Plus obrazów cyfrowych, pozyskanych sensorami wizyjnym i termalnym, zaprezentowałem na przykładzie dwóch różnych tematycznie aplikacji pomiarowych z zakresu diagnostyki medycznej oraz badań wytrzymałościowych konstrukcji żelbetonowych [I B-9, II D-35]. Stosując specjalizowane procedury przetwarzania, pomiaru oraz łączenia cyfrowych danych wideo-termalnych (*data fusion*) wykazałem w opracowaniach metrologicznych przydatność operatorów przetwarzania zaimplementowanych w systemie Vision Plus.

Możliwość pozyskania informacji 2D i 3D przy użyciu systemu wideo-termalnego Vision Plus oraz programu fotogrametrycznego PoPos umożliwiło mi opracowanie metody fotogrametrycznej rekonstrukcji 3D sceny termalnej [I B-1, II D-10] w celu korekcji emisyjności kierunkowej (Lillesand *et al.*, 2008), definiowanej prawem Lamberta. Do wyznaczenia orientacji przestrzennej cyfrowych zdjęć wizyjnych i termalnych oraz estymacji współrzędnych 3D

punktów obiektu zastosowałem metodę bezpośredniej transformacji liniowej (*Direct Linear Transformation*) (Abdel-Aziz, Karara, 1971).

W proponowanym rozwiązaniu, na podstawie danych fotogrametrycznych wyznaczonych metodą DLT definiowane są równania płaszczyzny sensora termalnego i płaszczyzny obiektu, a następnie ich wektory normalne. Z iloczynu skalarnego wektorów (1):

$$\bar{N} \bullet \bar{C} = |\bar{N}| |\bar{C}| \cos(\varphi) \quad (1)$$

zostaje obliczony kąt φ między wektorem normalnym do płaszczyzny sensora termalnego (oś optyczna kamery termalnej) i wektorem normalnym do płaszczyzny obiektu. Znajomość kąta φ umożliwi kierunkową korekcję emisyjności (2):

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_\alpha}{\cos \varphi} \quad (2)$$

obliczenie średniej temperatury radiacyjnej oraz korekcję wartości temperatury (3) na cyfrowych termogramach, ze względu na nachylenie powierzchni obiektu w stosunku do płaszczyzny sensora termalnego:

$$T = \sqrt[4]{\frac{T_0^4 - T_a^4}{\cos \varphi} + T_a^4} \quad (3)$$

gdzie: T_0, T_a oznaczają odpowiednio temperaturę mierzoną przez kamerę termalną i temperaturę otoczenia. Należy przy tym dodatkowo uwzględnić zmianę powierzchni promieniowania, ponieważ następuje zmiana intensywności strumienia promieniowania z powierzchni dS_α nachylonej pod kątem α w stosunku do strumienia promieniowania z powierzchni prostopadłej dS_0 ($\alpha=0^\circ$) do płaszczyzny detektora termalnego.

W pierwszych eksperymentalnych termalnych pomiarach metrologicznych w mikro bliskim zasięgu, po skorygowaniu emisyjności kierunkowej, wartość wyznaczonej temperatury w miejscu największej emisji ciepła wzrosła o ok. $\Delta T = 3^\circ$ [I B-1] oraz ok. $\Delta T = 4^\circ$ [I B-2] i odpowiadała rzeczywistej wartości temperatury.

Zaproponowana przeze mnie metoda fotogrametrycznej rekonstrukcji 3D sceny termalnej w celu korekcji emisyjności kierunkowej, realizowana była początkowo w oparciu o autorski system wideo-termalny Vision Plus oraz program fotogrametryczny PoPos [I B-2, II C-2]. Weryfikację tej metody wykonałem w innych niezależnych badaniach eksperymentalnych, których efektem były publikacje [II B-10, II B-12, II B-13] i prezentacje [II D-10, II D-12, II D-14]. Zaawansowaną rekonstrukcję przestrzennej sceny termalnej oraz korekcję emisyjności kierunkowej, jak również skuteczność korekcji temperatury radiacyjnej dla płaszczyzn nachylonych lub zwróconych w stosunku do płaszczyzny sensora termalnego, wykazałem m.in. w pracach [II B-28, II D-39].

W fotogrametrii bliskiego zasięgu, ze względu na ciągły rozwój technologii budowy sensorów cyfrowych, zawsze aktualnym i ważnym zagadnieniem jest badanie praktycznych możliwości zastosowania różnych typów niemetrycznych fotograficznych aparatów cyfrowych do wyznaczania położenia, kształtu oraz deformacji obiektów 2D/3D, np. w pomiarach metrologicznych, w rekonstrukcji obiektów (*as-built*), inwentaryzacji inżynierskiej (*reverse engineering*) i architektonicznej.

W artykule [I B-3] i prezentacji [II D-19] przedstawiłem wyniki pierwszych badań dotyczących warunków i dokładności rozwiązania terratriangulacji, połączonej z kalibracją równoczesną *on-the-job* niemetrycznego aparatu cyfrowego typu *compact* Kodak DC4800, o niskiej rozdzielczości rzędu $2K \times 1.5K$ pikseli. W eksperymencie, zakres analitycznego opracowania odpowiadał praktycznym warunkom zagęszczenia osnowy fotogrametrycznej w celu opracowania stereoautogrametrycznego. Na podstawie analizy wielowariantowego

wyrównania metodą wiązek w programie Pictran B (technet GmbH, Niemcy) wykazałem, że w przypadku sieci naziemnych niemetrycznych zdjęć normalnych, nieznacznie nachylonych, o rozdzielczości 3.1 MP, możliwe jest wyznaczenie położenia punktów dużych obiektów przestrzennych z błędem $M_p < \pm 20$ mm przy użyciu min. 20 fotopunktów ($m_{xyz} = \pm 4.5$ mm).

Kontynuując badania nad praktycznymi możliwościami zastosowania niskorozdzielczych fotograficznych aparatów cyfrowych, wykonałem metrologiczny, wizyjno-termalny pomiar urządzenia i instalacji przemysłowej, w celu wykonania dokumentacji typu *as-built*, połączony z kalibracją aparatu cyfrowego Kodak DC4800 [I B-4, II D-22]. Rozwiązanie i wyrównanie sieci 16. naziemnych, niemetrycznych zdjęć cyfrowych z kalibracją równoczesną aparatu Kodak DC4800 wykonane zostało metodą wiązek za pomocą programu Pictran B (technet GmbH, Niemcy). Wyjściowy model kalibracji obejmował podstawowe elementy orientacji wewnętrznej c_k, x'_0, y'_0 oraz dodatkowe parametry, modelujące błędy systematyczne zobrazowania cyfrowego (Kraus, 1997; Luhmann, 2003): dystorsję symetryczną radialną $A_{1,2}$, dystorsję radialną asymetryczną (tangencjalną) $B_{1,2}$, afiniczność C_1 i nieortogonalność osi C_2 (shear) macierzy sensora cyfrowego. Do weryfikacji wyników kalibracji wykorzystałem 2 testy statystyczne: rozkład *t*-Studenta oraz rozkład *F*-Fishera-Snedecora. Analiza wyników badań kalibracji równoczesnej, którą przeprowadziłem w wielu wariantach obliczeń, pozwoliła mi na sformułowanie szczegółowych wniosków dotyczących dokładności określenia elementów orientacji wewnętrznej c_k, x'_0, y'_0 , optymalnego modelu korekcji błędów systematycznych oraz korelacji między parametrami kalibracji i orientacji przestrzennej zdjęć. Poza tym zdefiniowałem niezbędne, praktyczne warunki rejestracji zdjęć w celu wyznaczenia parametrów orientacji wewnętrznej cyfrowego aparatu metodą kalibracji równoczesnej *on-the-job*. Przy użyciu 24. fotopunktów ($m_{xyz} = \pm 0.2 \div 0.3$ mm) średnia dokładność wyznaczenia punktów metodą wiązek wyniosła $M_p < \pm 0.35$ mm, natomiast względna dokładność analitycznego opracowania ok. 1:15 000.

Możliwość praktycznego zastosowania niemetrycznych zdjęć cyfrowych, wykonanych niskorozdzielczym fotograficznym aparatem cyfrowym, potwierdziłem również w procesie fotogrametrycznej inwentaryzacji obiektu architektonicznego metodą stereodigitalizacji 3D, wykonanej według zaproponowanej przeze mnie metodyki [II B-17, II D-20].

W obszarze moich badań znalazły się również profesjonalne fotograficzne aparaty cyfrowe typu SLR (*Single Lens Reflex*), które w fotogrametrii bliskiego zasięgu traktowane są również jako niemetryczne kamery cyfrowe. Lustrzanki cyfrowe są od kilkunastu lat z powodzeniem stosowane jako sensory wizyjne w różnych systemach pomiarowych, działających przede wszystkim w konfiguracji *off-line*. Stały rozwój technologii konstrukcji wizyjnych sensorów cyfrowych, coraz większa rozdzielczość macryc oraz wzrastający stopień zaawansowania technicznego wymaga doskonalenia technik kalibracji oraz badania potencjału pomiarowego aparatów cyfrowych typu SLR w aplikacjach bliskiego zasięgu.

W pracach [I B-8, II D-33] przedstawiłem wyniki badań dystorsji radiometrycznej sygnału (Beyer, 1992), generowanego przez sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), profesjonalnego aparatu cyfrowego SLR Kodak DCS Pro 14n (format 36×24 mm, rozdzielczość 4500×3000 pikseli), stosując opracowany własny program Image Analysis oraz jego opcję Image Analysis SIS (obsługuje format Kodak DCR typu RAW). Na podstawie pomiaru sekwencji 30. obrazów cyfrowych oraz analizy wyznaczonych wariancji i odchyłeń standardowych stwierdziłem niski poziom szumów badanego sensora CMOS oraz wysoką jakość układu przetwarzającego dane. W kanale jasności I średnie odchylenie standardowe wyniosło $SdtDev = 1.5$ wartości jasności piksela.

Badanie warunków i dokładności wyznaczenia współrzędnych 3D punktów, łącznie z kalibracją równoczesną *on-the-job* lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n, przeprowadziłem w programie AICON 3D Studio (AICON 3D Systems GmbH, Niemcy), w procesie

fotogrametrycznego wyznaczenia deformacji elementu karoserii samochodowej [I B-8, II D-33]. Realizując kombinowane wyrównanie sieci 11. zdjęć zbieżnych metodą wiązek z dodatkowymi obserwacjami geodezyjnymi oraz 6. parametrami modelującymi błędy systematyczne: dystorsja radialna symetryczna $A_{1,2}$, dystorsja radialna asymetryczna (tangencjalna) $B_{1,2}$ oraz afinizm C_1 i nieortogonalność osi (*shear*) matrycy sensora C_2 , otrzymałem dla ok. 110. sygnalizowanych punktów (30 punktów kodowanych, kod 12 bit) średnią wartość σ_0 po wyrównaniu $\sigma_0 = \pm 0.055$ wymiaru piksela, natomiast podstawowe elementy orientacji wewnętrznej: c_K, x'_0, y'_0 wyznaczone zostały z dokładnością ± 0.2 piksela. Średnie odchylenia standardowe wyznaczonych współrzędnych wyniosły: $S_{XY} = \pm 0.03$ mm, $S_Z = \pm 0.04$ mm, co odpowiadało względnej dokładności analitycznego opracowania rzędu 1:150 000.

Kontynuując badania potencjału pomiarowego wysokorozdzielczych lustrzanek cyfrowych wykonałem badanie profesjonalnej, średnioformatowej lustrzanki cyfrowej Mamiya ZD (format 48×36 mm, rozdzielczość 5328×4000 pikseli), która wyposażona została w 2 wymienne obiektywy serii Mamiya 645AF [I B-10, II D-37]. Analiza wyznaczonych w autorskim programie Image Analysis wartości wariancji oraz odchyłeń standardowych potwierdziła niski poziom szumów sensora CCD (*Charge Coupled Device*). Średnie odchylenie standardowe wartości jasności I wyniosło $StdDev = 1.1$.

Na podstawie 36. wariantów wyrównania, przeprowadzonych w warunkach typowego fotogrametrycznego opracowania metrologicznego w bliskim zasięgu, zbadałem empirycznie wpływ liczby i rodzaju dodatkowych parametrów modelujących błędy systematyczne obrazu, wpływ konfiguracji zdjęć zbieżnych i ogniskowania obiektywu na dokładność kalibracji i estymacji współrzędnych 3D punktów. Rozwiązanie terratriangulacji metodą wiązek, łącznie z kalibracją równoczesną *on-the-job* wykonałem w programie AICON 3D Studio (AICON 3D Systems GmbH, Niemcy).

Najwyższą dokładność rozwiązania metodą wiązek uzyskałem dla konfiguracji 11. zdjęć zbieżnych, stosując 5. parametrowy model aproksymujący błędy systematyczne: dystorsja radialna symetryczna $A_{1,2}$, dystorsja radialna asymetryczna (tangencjalna) $B_{1,2}$ oraz afinizm C_1 . Wartość σ_0 po wyrównaniu metodą wiązek wyniosła $\sigma_0 = \pm 0.055$ piksela, podstawowe parametry orientacji wewnętrznej: c_K, x'_0, y'_0 określone zostały ze średnią dokładnością ± 0.15 wymiaru piksela (obiektyw szerokokątny 645AF 45 mm) oraz ± 0.35 piksela (obiektyw normalnokątny 645AF 80 mm). Średnie odchylenie standardowe wyznaczonych współrzędnych przestrzennych ok. 220. sygnalizowanych punktów (65 punktów kodowanych, kod 14 bit), dla zdjęć wykonanych obiektywem 645AF 45 mm oraz 645AF 80 mm, wyniosło odpowiednio: $S_X = \pm 0.03$ mm, $S_Y = \pm 0.07$ mm, $S_Z = \pm 0.02$ mm i $S_X = \pm 0.02$ mm, $S_Y = \pm 0.04$ mm, $S_Z = \pm 0.01$ mm. Względna dokładność opracowania punktowego była zatem możliwa z dokładnością rzędu 1:125 000 (obiektyw 645AF 45 mm) oraz 1:200 000 (obiektyw 645AF 80 mm).

Przeprowadzone przeze mnie badania potencjału pomiarowego różnego typu sensorów cyfrowych *solid state* pozwalają na sformułowanie kilku podstawowych warunków metodycznych opracowania w bliskim zasięgu. Metoda kalibracji równoczesnej *on-the-job* najdokładniej odpowiada rzeczywistym warunkom rejestracji zdjęć i zapewnia optymalny model funkcjonalny rozwiązania metodą wiązek. W procesie kalibracji, dla większości obiektywów aparatów cyfrowych, z wyjątkiem obiektywów super nadszerokokątnych typu *Fisheye*, można zrezygnować z wyznaczania parametrów dystorsji radialnej symetrycznej A_3 oraz warunkowo z nieortogonalności osi (*shear*) C_2 matrycy sensora, których wpływ jest statystycznie nieistotny. Wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy wyznaczonymi podczas kalibracji parametrami wskazują na liniowe zależności. Korelacje między parametrami kalibracji nie mają jednak istotnego wpływu na dokładność fotogrametrycznego wyznaczenia współrzędnych, gdy rozwiązanie następuje w tym samym systemie matematycznym, w jednoczesnym procesie wyrównania wszystkich obserwacji. Wzajemne korelacje między

parametrami orientacji wewnętrznej, jak również między parametrami orientacji wewnętrznej i zewnętrznej powinny być minimalizowane przez odpowiednią konfigurację geometryczną sieci zdjęć.

Stosując fotograficzne aparaty cyfrowe w pomiarach bliskiego zasięgu należy zbadać dystorsję radiometryczną sygnału sensora CCD/CMOS, ponieważ ewentualne szумы i brak stabilności jasności pikseli w odpowiedzi przetwornika cyfrowego mogą, w przypadku niektórych metod dopasowania obrazów (*matching*), mieć znaczący wpływ na wynik zautomatyzowanego pomiaru współrzędnych pikselowych.

Optymalną techniką estymacji współrzędnych 3D w bliskim zasięgu, nawet ze względną dokładnością opracowania punktowego rzędu 1:200 000, jest rozwiązanie metodą wiązek sieci terratriangulacji zdjęć cyfrowych z kalibracją równoczesną *on-the-job* fotograficznego niometrycznego aparatu cyfrowego. Homogeniczna oraz wysoka dokładność wyznaczenia współrzędnych 3D jest możliwa tylko przy zastosowaniu konfiguracji wielokrotnych, mocno zbieżnych zdjęć i dodatkowo obróconych wokół osi optycznej aparatu cyfrowego.

Współczesna fotogrametria bliskiego zasięgu powszechnie wykorzystuje do pomiaru i opracowania zdjęć cyfrowych zautomatyzowane procedury, które są oparte na metodach dopasowania (*matching*) (Luhmann, 1996; Luhmann, 2003; Mass, 1997; Schenk, 1999; Trinder *et al.* 1995). W aplikacjach bliskiego zasięgu występuje zmienność orientacji przestrzennej zdjęć, różne warunki oświetlenia obiektu i ekspozycji, co w konsekwencji powoduje niehomogeniczne właściwości geometryczne i radiometryczne punktów odwzorowanych na obrazach cyfrowych. Wybór właściwej i skutecznej metody dopasowania do pomiaru punktów musi uwzględnić rodzaj opracowania, rodzaj sygnalizacji punktów (wielkość, kształt, struktura, tekstura), sposób (manualny, półautomatyczny, automatyczny) i oczekiwaną dokładność pomiaru.

Uwzględniając warunki praktycznego opracowania fotogrametrycznego, badałem dokładność 4. metod dopasowania (*matching*), służących do pomiaru punktów strukturalnych na obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu, które pozwalają uzyskać podpikselową dokładność pomiaru współrzędnych (Luhmann, 1996; Luhmann, 2003). Badałem metodę środka ciężkości (*Center of Gravity*), ważonego środka ciężkości (*Weighted Center*), wzajemnej korelacji obrazów (*Cross Correlation*), dopasowania najmniejszych kwadratów (*Least Squares Matching*) (Grün, 1985), które zostały zaimplementowane w specjalnie do tego celu opracowanym autorskim programie Matching [I B-6, II D-28]. Aplikacja w sposób automatyczny mierzy współrzędne pikselowe punktów strukturalnych oraz umożliwia analizę wpływu poszczególnych składowych *R, G, B* na skuteczność i dokładność testowanych metod dopasowania obrazów.

Badanie dokładności oraz jakości metod dopasowania przeprowadziłem na syntetycznych i rzeczywistych obrazach cyfrowych pola testowego 2D. W badaniach wykazałem, że metoda środka ciężkości (CG) oparta jedynie na jasności pikseli jest najmniej dokładna. Metoda ta daje zadawalające wyniki, gdy poziom jasności punktu jest dużo większy od jasności tła. Metoda ważonego środka ciężkości (WC), oparta na gradientach jasności pikseli, eliminuje ten błąd. Na jej dokładność decydujący wpływ ma jakość zobrazowania punktów strukturalnych. W korzystnych warunkach, metoda ważonego środka ciężkości (WC) zapewnia porównywalną z metodą LSM dokładność pomiaru rzędu $m_{x,y} = \pm 0.01 \div 0.05$ piksela. Dokładność metody korelacji (CC) oraz dopasowania najmniejszych kwadratów (LSM) zależy od dokładności określenia środka wzorca (*template*). Mniejsze błędy automatycznego pomiaru wystąpią, gdy *matching* będzie wykonywany tylko w kanale zielonym *G*, zamiast w kanale jasności *I* (wypadkowa wartość jasności monochromatycznej). W badaniach stwierdziłem, że optymalna wielkość sygnalizowanych punktów (*target*) na obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu powinna

mieć średnicę 5÷15 pikseli. Znaki o średnicy powyżej 25 pikseli znacznie wydłużają czas dopasowania i powodują spadek dokładności pomiaru współrzędnych punktów.

Badanie dokładności i niezawodności zaawansowanych metod (operatorów) dopasowania (*matching*), stosowanych do pomiaru punktów (Chen *et al.*, 1992; Luhmann, 1996; Luhmann *et al.*, 2006; Schenk, 1999), wymaga obrazów cyfrowych o znanej rozdzielczości, jasności, charakterystyce zakłóceń radiometrycznych sygnału i wielkości dystorsji geometrycznej (Luhmann, 1996; Schenk, 1999). W celu generowania sztucznych obrazów cyfrowych ze strukturalnymi punktami, opracowany został specjalnie autorski program Image Generator [I B-11, II D-43]. Aplikacja Image Generator v. 2011 może generować sztuczne obrazy cyfrowe z okrągłymi punktami sygnalizowanymi (ciemne sygnały na jasnym tle lub jasne sygnały na ciemnym tle). W tym celu należy zdefiniować następujące parametry: rozdzielczość obrazu, wielkość piksela, promień znaku (*target*), odległość między znakami, jasność znaku i jego tła, szum tła, rozmycie krawędzi znaku, poziom ostrości, parametry kalibracji kamery cyfrowej oraz wielkość obszaru przeszukiwań (*interest area*). Parametry radiometryczne obrazu definiuje się za pomocą składowych *R, G, B*, i dodatkowo przez wprowadzenie szumu gaussowskiego, o dowolnej wielkości i sile zakłócenia, oraz dwóch rodzajów filtrów uśredniających (*box filter*). Zmianę jasności znaków otrzymuje się przez wprowadzenie gradientu. Błędy systematyczne obrazu modelowane są modelem Brown'a i El-Hakim'a oraz Beyer'a, które w różnej formie matematycznej opisują dystorsję radialną symetryczną, dystorsję radialną asymetryczną (tangencjalną i decentrację obiektywu), afinizm oraz nieortogonalność osi (*shear*) matrycy sensora. Zdjęcia dowolnie zorientowane tworzone są za pomocą transformacji rzutowej 2D. Aplikacja umożliwia dodatkowo przetwarzanie wsadowe, umożliwiające generowanie fragmentu obrazu z sygnałem oraz tworzenie protokołów zawierających współrzędne pikselowe z poziomami jasności.

Weryfikację jakości generowania w programie Image Generator bitmap obrazów cyfrowych, zniekształconych wpływem dystorsji radiometrycznej oraz geometrycznej, przeprowadziłem przez porównanie za pomocą obliczeń programem Matching oraz Pictran DE (technet GmbH, Niemcy) (metoda LSM) rzeczywistych współrzędnych środka znaków, pomierzonych metodami dopasowania: metodą ważonego środka ciężkości (*Weighted Center*) i metodą dopasowania najmniejszych kwadratów (*Least Squares Matching*), ze współrzędnymi teoretycznymi, które zostały wyznaczone numerycznie metodą Newtona. Średnia kwadratowa wartość różnic współrzędnych pikselowych dla obrazów cyfrowych zniekształconych dystorsjami wyniosła $0.1 \leq RMS\Delta x'y' \leq 0.3$ piksela.

Opracowana aplikacja Image Generator stanowi w obszarze fotogrametrii cyfrowej nowe informatyczne narzędzie badawcze i jest kompatybilna z funkcjonalnością programu Matching, który służy do automatycznego pomiaru punktów. Program Image Generator może być dodatkowo stosowany jako program dydaktyczny w nauczaniu przedmiotu Przetwarzanie Obrazów Cyfrowych, dla studentów kierunku Geodezja i Kartografia, Elektronika i Informatyka.

W fotogrametrii bliskiego zasięgu częstą przyczyną pogorszenia jakości obrazów są czynniki związane z procesem rejestracji fotograficznej lub spowodowane działaniem sensora cyfrowego, m.in.: nieprawidłowe ogniskowanie obiektywu, ruch sensora lub rejestrowanego obiektu, niewłaściwe oświetlenie sceny, nieprawidłowo określone parametry ekspozycji, ustawienie zbyt dużej czułości ISO sensora cyfrowego, błędne poziomy szarości pikseli sensora powstałe na etapie generowania obrazu, szumy własne sensora, zakłócenia w przewodowej transmisji sygnału w fotogrametrycznych cyfrowych systemach pomiarowych typu *on-line*. Przypadkowe lub systematyczne zniekształcenia radiometryczne i geometryczne występujące w zarejestrowanych sekwencjach obrazów cyfrowych mogą powodować obniżenie dokładności pomiaru punktów metodami dopasowania (*matching*). Korekcję *a posteriori* nieostrości (rozmycia) obrazów oraz wyeliminowanie szumów umożliwia filtracja cyfrowa (Malina, Smiatacz, 2008).

Badanie wpływu filtracji cyfrowej rozmytych i zaszumionych obrazów bliskiego zasięgu na dokładność pomiaru wybranymi metodami dopasowania, z zastosowaniem własnego programu Matching, przedstawiłem w pracy [II D-38]. W pracach [I B-12, II D-44] przedstawiłem wyniki badań dotyczące wpływu cyfrowej filtracji obrazów nieostrych i zaszumionych na podpixelową dokładność automatycznego pomiaru punktów sygnalizowanych centroidalną metodą ważonego środka ciężkości (*Weighted Center*) (Luhmann, 2003; Trinder, 1989; Trinder *et al.*, 1995) oraz dokładność wyznaczenia współrzędnych 3D metodą wiązek. Obrazy rozmyte zostały filtrowane za pomocą 6. liniowych filtrów górnoprzepustowych (*high-pass filters*), natomiast obrazy zaszumione filtrowane były z zastosowaniem 5. liniowych filtrów dolnoprzepustowych (*low-pass filters*) i medianowego. W pełni automatyczny pomiar punktów na obrazach cyfrowych metodą ważonego środka ciężkości oraz rozwiązanie metodą wiązek 22. wariantów terratriangulacji, z kalibracją równoczesną lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n wykonałem w systemie AICON 3D Studio (AICON 3D Systems GmbH, Niemcy).

Stwierdziłem, że filtracja górnoprzepustowa jest niezbędna przy pomiarze punktów strukturalnych na cyfrowych obrazach nieostrych (promień rozmycia $r = 2$ piksele) metodą ważonego środka ciężkości. W przypadku pomiaru obrazów silnie rozmytych (rozmycie $r = 3$ piksele), typowe filtry Laplace'a nie wyostrajają obrazów cyfrowych w stopniu umożliwiającym pomiar punktów. Jedynym skutecznym filtrem górnoprzepustowym, umożliwiającym pomiar punktów, jest laplasjan gaussowski (maska 5×5 pikseli). Filtracja dolnoprzepustowa i medianowa cyfrowych obrazów zaszumionych nie wpływa na dokładność pomiaru punktów metodą ważonego środka ciężkości oraz zmianę wartości wyznaczanych metodą wiązek współrzędnych 3D i parametrów kalibracji. Metoda ważonego środka ciężkości (*centroid operator*) działa skutecznie przy pomiarze sygnalizowanych punktów na nieznacznie rozmytych obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu oraz jest odporna na występowanie szumów losowych.

Wyniki wyrównania metodą wiązek sieci cyfrowych, filtrowanych zdjęć rozmytych lub zaszumionych wykazały względem siebie niewielkie, statystycznie nieistotne, różnice wartości wyznaczonych parametrów kalibracji oraz błędów wyznaczenia współrzędnych 3D. Wynikały one ze zmiennej liczby oraz rozmieszczenia sygnalizowanych punktów, rozpoznanych podczas automatycznego pomiaru w systemie (AICON 3D Systems GmbH, Niemcy), co w konsekwencji powodowało zmianę wartości korelacji liniowej między parametrami kalibracji a elementami orientacji zewnętrznej zdjęć. W analizowanych wariantach wyrównania metodą wiązek otrzymałem następujące dokładności: przeciętna wartość Sigma 0 wyniosła $\sigma_0 = 0.07$ piksela, średniokwadratowe wartości poprawek do współrzędnych tłowych $RMS V_x = 0.05$ piksela, $RMS V_y = 0.06$ piksela, oraz średniokwadratowe błędy wyznaczenia współrzędnych $RMS S_x = 0.05$ mm, $RMS S_y = 0.1$ mm, $RMS S_z = 0.04$ mm. Otrzymane wartości odchyłeń standardowych odpowiadały względnej dokładności opracowania rzędu 1:80 000

Integracja metod fotogrametrycznych, cyfrowego przetwarzania obrazów, technik grafiki komputerowej oraz Internetu tworzy we współczesnej fotogrametrii nową jakość modelowania, wizualizacji 3D oraz prezentacji wyników opracowania w rzeczywistości wirtualnej (*Virtual Reality*). W obszarze badań kierowanego przeze mnie projektu KBN Nr 4T12E00326 [II C-3] znalazło się m.in. zadanie opracowania dedykowanego narzędzia do modelowania, wizualizacji i prezentacji fotogrametrycznych opracowań cyfrowych. Uzyskanie wysokiej dokładności modelu 3D oraz dodatkowo, specjalnych efektów wizualizacji wymagało zastosowania specjalnej aplikacji, która mogłaby również uwzględnić dodatkowe obserwacje i parametry opracowania fotogrametrycznego. W projekcie wykorzystana została technologia API (*Application Programming Interface*) do tworzenia komputerowej grafiki 3D, która jest wspierana przez rozwiązania i standardy obsługujące grafikę przestrzenną w zakresie modelowania i wizualizacji VR oraz umożliwiającą budowanie dedykowanych aplikacji.

W publikacji [I B-5] zaprezentowałem autorską aplikację 3D Visualization do fotorealistycznej wizualizacji 3D obiektów bliskiego zasięgu, opartą na standardzie graficznym OpenGL (Fritsch *et al.*, 2004; Liang *et al.*, 2004; Woo *et al.*, 2004), wzbogaconego o komponenty GLScene (Sechidis *et al.*, 2004), który wspiera możliwości narzędzia programistycznego Delphi. W aplikacji został zaimplementowany opracowany przeze mnie algorytm dynamicznej wizualizacji trójwymiarowej z wykorzystaniem danych fotogrametrycznych [I B-5, II B-19, II D-23, II D-25]. Osnowę informacyjną do tworzenia wizualizacji scen 3D stanowiły dane wektorowo-rastrowe i ich wzajemne relacje, otrzymane w wyniku kompleksowego fotogrametrycznego opracowania obiektu bliskiego zasięgu. W programie możliwa jest interaktywna modyfikacja sceny 3D poprzez zmianę parametrów projekcji, rotacji, translacji, skali, stanowisk kamery fotogrametrycznej, itd. Weryfikację zaproponowanej metody i działania programu przeprowadziłem na podstawie wyników hybrydowego, analityczno-cyfrowego opracowania obiektu architektonicznego. W kolejnych pracach przedstawiłem modyfikację i funkcjonalną integrację aplikacji 3D Visualization, która jako aplikacja kliencka może komunikować się *on-line* z bazą danych fotogrametrycznych bliskiego zasięgu [II B-21, II D-26] i może być obsługiwana za pomocą interfejsu użytkownika Photogrammetric Database [II B-24, II D-32], umożliwiając konstruowanie dynamicznej wizualizacji przez Internet.

Duży zbiór danych fotogrametrycznych, pochodzący z wykonanych przeze mnie w latach 1995-2006 badań i opracowań, wymusił potrzebę opracowania systemu bazodanowego (Grussenmeyer *et al.*, 2002; Kadobayashi *et al.*, 2003). Opracowanie autorskiej bazy danych fotogrametrycznych bliskiego zasięgu udało się zrealizować w ramach kierowanego przeze mnie grantu KBN Nr 4T12E00326 [II C-3]. Koncepcja fotogrametrycznej bazy danych, działającej jako system informatyczny w środowisku Internetu, została zaprezentowana w pracach [II B-22, II D-27, II D-30]. Podstawowym źródłem informacji pomiarowych zasilających bazę danych jest system Vision Plus [I B-2] dedykowany do pozyskiwania oraz przetwarzania cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych.

W publikacji [I B-7] przedstawiłem operacyjną wersję opracowanej bazy danych, która jest dedykowana elektronicznej archiwizacji, prezentacji oraz udostępnianiu cyfrowych wyników pomiarów fotogrametrycznych i termowizyjnych z szerokiego spektrum aplikacji bliskiego zasięgu, w celu ich dalszej analizy, przetwarzania oraz ekstrakcji informacji. Opracowana baza danych przechowuje i udostępnia informacje o projektach oraz *n*-wymiarowe dane fotogrametryczne i termowizyjne pozyskane z opracowań w *i*-epokach. W systemie wykorzystany został *open source* serwer relacyjnej bazy danych Firebird®. W systemie modelowanie danych oparto na podejściu dwupoziomowym: logicznym CDM (*Conceptual Data Model*) i fizycznej niezależności danych PDM (*Physical Data Model*). Stworzony interfejs użytkownika, jako niezależny program Photogrammetric Database typu GUI (*Graphical User Interface*), oparty na zasadach MDI (*Multi Document Interface*), jest przeznaczony do obsługi bazy fotogrametrycznej w sieci internetowej. System charakteryzuje się niezależnością od natywnych narzędzi technologii Microsoft takich jak MS Access™ czy MS SQL™, oryginalnością i funkcjonalnością przyjętych rozwiązań, a także zmniejszeniem ograniczeń systemowych oraz wysokim poziomem bezpieczeństwa danych. W pracach [II B-23, II D-31] przedstawiona została kolejna modyfikacja systemu, ze szczególnym położeniem akcentu badawczego na badanie sprawności i bezpieczeństwa dostępu do internetowej bazy danych fotogrametrycznych bliskiego zasięgu.

Moim oryginalnym wkładem w budowę systemu bazodanowego był udział w opracowaniu struktury i logiki bazy, relacji między 31. tabelami (encjami), zdefiniowaniu kluczy głównych (*primary keys*) i atrybutów, współtworzenie funkcjonalności systemu, testowanie oraz optymalizacja na podstawie wykonanych przeze mnie aplikacji bliskiego zasięgu [I B-7].

4.3.3. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiony do oceny cykl publikacji powiązanych tematycznie dotyczył badania istniejących i stworzenia nowych, dedykowanych technik zaawansowanego opracowania cyfrowych obrazów bliskiego zasięgu.

Realizacja sformułowanych celów naukowych i badawczych była w znacznym zakresie prowadzona z wykorzystaniem autorskich, dedykowanych narzędzi informatycznych. Chciałbym przy tym podkreślić twórcze i naukowe aspekty opracowania własnych, oryginalnych programów informatycznych do cyfrowych opracowań fotogrametrycznych w bliskim zasięgu.

Wszystkie programy, które powstały w trakcie wykonanych przeze mnie prac badawczo-rozwojowych, działają w środowisku Windows, charakteryzując się obiektową i otwartą strukturą. Przy opracowaniu aplikacji i procedur wykorzystano języki programowania wysokiego poziomu oraz zaawansowane narzędzia obsługi. Menu interfejsu użytkownika wszystkich opracowanych programów własnych wykonano w języku angielskim ze względu na precyzję terminologii angielskojęzycznej, możliwość prezentacji programów za granicą oraz wdrożenie aplikacji w innych obszarach techniki i gospodarki, wykorzystujących cyfrowe metody fotogrametryczne.

W przedstawionym do oceny cyklu powiązanych tematycznie publikacji uzyskałem następujące, oryginalne, twórcze efekty naukowo-badawcze oraz rozwojowe:

- Konstrukcja cyfrowego wielosensorowego systemu wideo-termalnego Vision Plus oraz jego kolejnej wersji Vision Plus v. 2006, wspomaganego fotogrametrycznym programem PoPos (*Point's Positioning*), testowanie funkcjonalności i wykazanie jego przydatności w aplikacjach bliskiego zasięgu. System umożliwia analityczne opracowanie 3D ze względną dokładnością rzędu 1:5000.
- Stworzenie i zastosowanie w typowych aplikacjach bliskiego zasięgu funkcji łączenia danych cyfrowych (*data fusion*) z sensorów wizyjnych i termalnych w środowisku cyfrowego systemu wizyjno-termalnego Vision Plus.
- Opracowanie zewnętrznej biblioteki Vision w celu integracji obsługi, łączenia danych oraz wstępnego przetwarzania obrazów cyfrowych w różnych formatach, pochodzących z cyfrowych sensorów wizyjnych i termalnych.
- Wykonanie modułu Thermal Analyst bazowego programu Vision Plus, który służy do ekstrakcji informacji oraz zaawansowanego przetwarzania obrazów termalnych, w tym pomiarów i analizy ilościowo-jakościowej w obszarze zdefiniowanych na obrazach obiektów geometrycznych 2D.
- Opracowanie metody fotogrametrycznej rekonstrukcji 3D sceny termalnej w celu korekcji emisyjności kierunkowej oraz wykazanie skuteczności korekcji temperatury radiacyjnej dla płaszczyzn nachylonych lub zwróconych w stosunku do płaszczyzny sensora termalnego.
- Wykonanie i potwierdzenie w testach przydatności aplikacji Vision Plus 3D do analitycznej rekonstrukcji metodą bezpośredniej transformacji liniowej (DLT) wizyjnych i termalnych scen 3D.
- Opracowanie i weryfikacja metody badania dystorsji radiometrycznej sygnału sensorów CCD/CMOS fotograficznych aparatów cyfrowych za pomocą opracowanych programów Image Analysis i Image Analysis SIS, które na obrazach cyfrowych obliczają wartość średnią, wariancję i odchylenie standardowe jasności pikseli w zdefiniowanych obszarach zainteresowań (*interest area*).

- Weryfikacja skuteczności 6. parametrowego modelu korekcji błędów systematycznych (dystorsja radialna symetryczna $A_{1,2}$, dystorsja radialna asymetryczna i tangencjalna $B_{1,2}$ oraz afinizm C_1 i nieortogonalność osi (*shear*) matrycy sensora C_2), definiowanego dla fotograficznych aparatów cyfrowych, traktowanych jako kamery niemetryczne oraz określenie warunków rejestracji zdjęć w celu wykonania kalibracji równoczesnej *on-the-job*.
- Wykazanie przydatności testów statystycznych: rozkładu *t*-Studenta i rozkładu *F*-Fishera-Snoodcora do weryfikacji parametrów wyznaczonych podczas kalibracji równoczesnej *on-the-job* oraz wcześniej testu Cochrańa do badania istotności błędów wyznaczenia współrzędnych 3D (jednorodności wielu odchyleń standardowych z niezależnych prób).
- Określenie przydatności i praktycznych warunków zastosowania niemetrycznych fotograficznych aparatów cyfrowych w aplikacjach bliskiego zasięgu. W badaniach eksperymentalnych wykazałem, że najwyższą, homogeniczną dokładność wyznaczenia współrzędnych 3D w bliskim zasięgu daje rozwiązanie i wyrównanie metodą wiązek sieci wielokrotnych zdjęć silnie zbieżnych, wykonanych z niezależnych stanowisk i dodatkowo obróconych wokół osi optycznej, połączone z kalibracją równoczesną aparatu cyfrowego. Stwierdziłem, że przy zastosowaniu wyrównania metodą wiązek z kalibracją równoczesną *on-the-job*, systemy *on-line* wyposażone w niskorozdzielcze kamery cyfrowe wideo CCD CCTV zapewniają względną dokładność wyznaczenia współrzędnych 3D rzędu 1:5 000. W opracowaniach typu *off-line* niskorozdzielcze aparaty cyfrowe typu *compact* umożliwiają otrzymanie dokładności 1:15 000, natomiast wysokorozdzielcze lustrzanki cyfrowe pozwalają uzyskać względną dokładność analitycznego opracowanie nawet rzędu 1:200 000.
- Wyznaczenie na podstawie badań przeprowadzonych w opracowanym, autorskim programie *Matching* dokładności i określenie warunków zastosowania metod dopasowania (*matching*): środka ciężkości (*Center of Gravity*), ważonego środka ciężkości (*Weighted Center*), korelacji wzajemnej (*Cross Correlation*), dopasowania najmniejszych kwadratów (*Least Squares Matching*), stosowanych do automatycznego pomiaru punktów strukturalnych na obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu.
- Opracowanie techniki generowania sztucznych obrazów cyfrowych o znanej rozdzielczości, jasności, charakterystyce zakłóceń radiometrycznych sygnału i wielkości dystorsji geometrycznej, zaimplementowanej w autorskim programie *Image Generator*, w celu zaawansowanego badania dokładności i niezawodności metod dopasowania (*matching*).
- Wyznaczenie wpływu cyfrowej filtracji obrazów nieostrych i obrazów zaszumionych na podpixselową dokładność automatycznego pomiaru punktów sygnalizowanych metodą ważonego środka ciężkości (*Weighted Center*) oraz dokładność wyznaczenia współrzędnych 3D metodą wiązek. W badaniach wykazałem skuteczności centroidalnej metody ważonego środka ciężkości (*centroid operator*) do pomiaru punktów sygnalizowanych na nieznacznie rozmytych obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu oraz odporność na występowanie szumów losowych.
- Opracowanie metody dynamicznej, fotorealistycznej wizualizacji 3D obiektów bliskiego zasięgu na podstawie danych cyfrowych i analitycznych, pozyskanych z opracowania fotogrametrycznego i implementacja metody w autorskiej aplikacji *3D Visualization*, opartej na bibliotece graficznej OpenGL. Program *3D Visualization* jest zaawansowanym i praktycznie sprawdzonym produktem dedykowanym prezentacji w rzeczywistości wirtualnej (*Virtual Reality*).

- Wykonanie, testowanie i weryfikacja praktycznej przydatności interfejsu Photogrammetric Database oraz internetowej bazy danych fotogrametrycznych (zastosowano *open source* silnik bazodanowy Firebird®) dla aplikacji bliskiego zasięgu, która przechowuje i udostępnia w środowisku internetowym zasób cyfrowych oraz numerycznych *n*-wymiarowych danych, pozyskanych w opracowaniach bliskiego zasięgu w *i*-epokach. Opracowany system bazodanowy daje szansę zwiększenia potencjalnego zakresu użytkowników fotogrametrycznych opracowań cyfrowych, którzy nie posiadają specjalistycznego wykształcenia, sprzętu i oprogramowania.

Wyniki omówionych badań i rozwiązań naukowych pozwoliły mi na opracowanie metodyki zaawansowanych, hybrydowych, wieloczasowych cyfrowych opracowań wizyjno-termalnych 4D (X, Y, Z [m]; T [°C]) oraz 5D (X, Y, Z [m]; T [°C]; t [s]) w bliskim zasięgu [II C-3], które wykorzystują funkcje istniejących profesjonalnych fotogrametrycznych systemów pomiarowych, w tym również autorskiego cyfrowego systemu wideo-termalnego Vision Plus.

Zastosowanie proponowanych, dedykowanych technik pomiaru obrazów cyfrowych oraz stworzonych autorskich programów pozwala w praktyce na uzyskanie wyższej dokładności i pewności fotogrametrycznego opracowania oraz nowej jakości ekstrakcji informacji, prezentacji i udostępniania danych numerycznych oraz cyfrowych, w szerokim spektrum aplikacji fotogrametrii bliskiego zasięgu.

Opisane osiągnięcia wpisują się we współczesne trendy rozwoju metod zaawansowanego opracowania obrazów cyfrowych bliskiego zasięgu i są zgodne z realizowanym w ostatnich latach zakresem prac Komisji Technicznej V *Close Range Photogrammetry and Sensing* Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS).

Opracowane dedykowane techniki pomiaru, własne fotogrametryczne rozwiązania informatyczne oraz wyniki badań, zaprezentowane w przedstawionym do oceny cyklu publikacji, oraz mój cały dorobek naukowy, tworzą mój istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Geodezja i Kartografia, i stanowią moim zdaniem podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk Technicznych.

4.3.4. Bibliografia

Abdel-Aziz Y. I., Karara H. M., 1971. Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Objekt- Space Coordinates in Close Range Photogrammetry. *Proceedings of ASP Symposium on Close Range Photogrammetry, Urbana Illinois*.

Atkinson K.B., 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing.

Beyer, H. 1992. Geometric and Radiometric Analysis of a CCD-Camera Based Photogrammetric Close-Range System. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Mitteilungen Nr. 51*, ETH Zürich.

Chen J., Clarke T.A., 1992. The Automatic Recognition, Location and Labelling of Targets in Digital Photogrammetric Engineering Measurement. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXIX Part B5, pp. 688-693.

Fritsch D., Kada M., 2004. Visualisation Using Game Engines. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXV, B5, pp. 621-625.

Grussenmeyer P., Drap P., Gaillard G., 2002. ARPENTEUR 3.0: Current Developments in Web Based Photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV, Part 6, pp. 141-146.

- Grün A.W., 1985. Adaptive Least Squares Correlation a Powerful Image Matching Technique. *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, 14(3), pp. 175-187.
- Grün A., Kahmen H., 1997. *Optical 3-D Measurement Techniques IV*. Wichmann, Heidelberg.
- ISPRS Archives, 2014. <http://www.isprs.org>
- Kadobayashi R., Furukawa R., Kawai Y., Kanjo D., Yoshimoto J. N., 2003. Integrated Presentation System for 3D Models and Image Database for Byzantine Ruins. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV-5/W10, pp. 187-192.
- Kraus K. 1997. *Photogrammetry*. Dümmlers Verlag, Bonn
- Luliang T., Qingquan L., 2004. The Research of Transect-Based Three-Dimensional Road Model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, B5, pp. 174-177.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6th Edition. John Wiley & Sons, New York, pp. 354-363.
- Luhmann T., 1996. Results of the German Comparison Test for Digital Point Operators. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI Part B5/2, pp. 324-329.
- Luhmann T., 2003. *Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichman Verlag, Heidelberg.
- Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., 2006. *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Application*. Dunbeath: Whittles Publishing.
- Maas H.G., 1997. Mehrbildtechniken in der digitalen Photogrammetrie. *ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie*, Nr 62.
- Malina W., Smiatacz M., 2008. *Cyfrowe przetwarzanie obrazów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- Pietschner J., Schulz H.U., 1984. Das Programmsystem TBIT – Überblick und Grundkonzeption. *Vermessungstechnik*, Tom 32, Heft 5, S. 7-9.
- Schenk T., 1999. *Digital Photogrammetry*. TerraScience.
- Sechidis L.A., Gemenetzis D., Sylaiou S., Patias P., Tsioukas V., 2004. Openview a Free System for Stereoscopic Representation of 3D Models or Scene. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXV, B5, pp. 819-823.
- Trinder J.C., 1989. Precision of Digital Target Location. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, No. 6, pp. 883-886.
- Trinder J.C., Jansa J., Huang Y., 1995. An Assesment of the Precision and Accuracy of Methods of Digital Target Location. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(2), pp. 12-20.
- Woo M., Neider J., Davis T. Schreiner D., 2004. *OpenGL Programming Guide*. Addison Wesley.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych³

5.1. Prace badawcze spoza tematyki dotyczącej monotematycznego cyklu publikacji

Stopień doktora nauk technicznych w zakresie Fotogrametrii uzyskałem w 1985 r. na Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie na podstawie rozprawy doktorskiej nt. *Untersuchungen zur numerischen Punktbestimmung mit hoher Genauigkeit in der Nahbereichsphotogrammetrie (Badania numerycznego wyznaczania punktów z wysoką dokładnością w fotogrametrii bliskiego zasięgu)*.

Badania dotyczące geometrycznych i numerycznych warunków uzyskania wysokiej dokładności analitycznego wyznaczenia współrzędnych 3D obiektów w bliskim zasięgu metodą wiązek kontynuowałem w latach 1985-1987. W cyklu prac [II B-1, II B-2, II B-3, II D-1, II D-3] wykazałem, że w analitycznych opracowaniach punktowych metodą wiązek, wyznaczenie współrzędnych 3D z wysoką, homogeniczną dokładnością wymaga zastosowania konfiguracji wielokrotnych zdjęć silnie zbieżnych, wykonanych z niezależnych stanowisk. Poza tym określiłem optymalny model dodatkowych obserwacji fotogrametrycznych, geodezyjnych i fikcyjnych oraz potwierdziłem elastyczność modelu funkcjonalnego i stochastycznego metody wiązek.

W badaniach nad dokładnością analitycznego wyznaczenia współrzędnych punktów w bliskim zasięgu analizowałem również zastosowanie niekonwencjonalnej metody rozwiązania zlinearyzowanego układu równań metody wiązek, wykorzystując normę L1 (minimalizacja bezwzględnych wartości poprawek). W badaniach korzystałem z własnego autorskiego programu TPH 6 (*Terrestrische Photogrammetrie*) oraz programu TEBIT (*Terrestrische Bildtranguktion*), którego autorem jest dr inż. H.U. Schulz (Pietschner, Schulz, 1984). W pracach [II B-1, II D-2] wykazałem przydatność metody ortogonalizacji Grama-Schmidta (dekompozycji QR) i metody Householdera, efektywnych szczególnie w przypadku znacznej liczby obserwacji obciążonych błędami grubymi oraz w przypadku osobliwego lub słabo uwarunkowanego układu równań, spowodowanego niekorzystną konfiguracją sieci zdjęć naziemnych.

Tematyka badań własnych i statutowych, realizowanych przeze mnie od 1995 r., przede wszystkim dotyczyła zagadnień związanych z cyfrową fotogrametrią bliskiego zasięgu. W pierwszym etapie badań wykonałem rozbudowę własnego programu TPH 6 (*Terrestrische Photogrammetrie*) o moduł kalibracji i dołączenie dodatkowych obserwacji fikcyjnych do podstawowego modelu funkcjonalnego metody wiązek [II C-5]. Stworzenie podstaw rozwiązań sprzętowych i programistycznych pierwszego własnego, fotogrametrycznego interaktywnego systemu cyfrowego mikro bliskiego zasięgu oraz badanie wpływu rodzaju sygnalizacji punktów na dokładność pomiaru i wyznaczenia współrzędnych 3D w bliskim zasięgu wykonałem w kolejnych badaniach własnych [II C-6]. Równolegle badałem możliwości wykorzystania istniejących systemów GIS/CAD do interaktywnego pomiaru współrzędnych pikselowych na obrazach cyfrowych [II C-7]. W ich efekcie opracowałem sposób pomiaru współrzędnych pikselowych na fotogrametrycznych obrazach cyfrowych przy użyciu programu AutoCAD z nakładką rastrową CADRaster [II B-7, II D-5].

Optymalizacja procesu cyfrowego pozycjonowania 3D w nietopograficznych aplikacjach bliskiego zasięgu [II C-8] obejmowała rozbudowę oprogramowania systemowego i aplikacyjnego, które wspomagają działanie karty digitalizującej *frame grabber*, testowanie

³ Prace posiadają numerację w układzie chronologicznym (wg daty publikacji) i alfabetycznym; odwołania w nawiasach kwadratowych mają numerację zgodną z wykazem prac zamieszczonych w Załączniku nr 3; odwołania w nawiasach okrągłych odnoszą się do wykazu prac w rozdziale Bibliografia.

i kalibrację cyfrowego systemu fotogrametrycznego na przestrzennym polu testowym, optymalizację fotogrametrycznych warunków rejestracji kamerami wideo CCD CCTV oraz badanie dokładności wyznaczenia współrzędnych 3D w bliskim zasięgu.

W kolejnym temacie badań własnych [II C-9] analizowałem skuteczność metody samokalibracji i kalibracji równoczesnej *on-the-job* cyfrowych kamer wideo CCTV CCD oraz cyfrowego aparatu fotograficznego Polaroid PDC2000. Poza tym wykazałem przydatność niemetrycznego, niskorozdzielczego aparatu cyfrowego do inwentaryzacji obiektu architektonicznego z zastosowaniem systemu MicroStation oraz metrologicznego pomiaru urządzenia przemysłowego.

Zdefiniowanie optymalnego modelu dodatkowych parametrów orientacji wewnętrznej w procesie kalibracji równoczesnej *on-the-job* oraz badanie warunków wykorzystania niemetrycznych aparatów cyfrowych średniej rozdzielczości w aplikacjach bliskiego zasięgu określiłem w następnym etapie badań [II C-10]. Równolegle zbadałem praktyczne możliwości i warunki zastosowania skanera laserowego CALLIDUS do inwentaryzacji i opracowania dokumentacji typu *as-built* architektonicznych obiektów 3D. Ponadto analizowałem narzędzia i programy typu *Modelers* oraz określiłem warunki modelowania i wizualizacji scen 3D na podstawie obrazów rejestrowanych cyfrowymi aparatami fotograficznymi *still video* i danych pozyskanych z fotogrametrycznego opracowania bliskiego zasięgu.

W ramach zadania własnego, realizowanego w badaniach statutowych [II C-11], badałem potencjał pomiarowy oraz wykazałem przydatność wysokorozdzielczych lustrzanek cyfrowych w pomiarach fotogrametrycznych. Badanie możliwości zaawansowanego przetwarzania, pomiaru oraz analizy cyfrowych obrazów wizyjnych i termalnych testowałem w środowisku kolejnej wersji autorskiego cyfrowego, systemu wideo-termalnego Vision Plus i jego dodatkowych modułów. Poza tym wyznaczyłem wpływ filtracji obrazów cyfrowych bliskiego zasięgu na podpixelową dokładność pomiaru punktów wybranymi metodami dopasowania (*matching*) [II C-11].

W innym obszarze badań [II C-11] opracowałem strategię kalibracji cyfrowego systemu stereowizyjnego typu *Machine Vision* (grant KBN, realizowany w Instytucie Elektroniki Politechniki Łódzkiej), który stanowi podstawę urządzenia wspomagającego osobę niewidomą w dźwiękowej percepcji otoczenia. Moje osiągnięcia i doświadczenie w projektowaniu oraz konstrukcji cyfrowych fotogrametrycznych systemów pomiarowych zostały wykorzystane w testowaniu i badaniu dokładności tego prototypowego systemu stereowizyjnego [II B-26, II D-34]. W publikacji [II B-26] przedstawiłem architekturę, zasady działania oraz wyniki moich badań, dotyczące dokładności stereowizyjnego pozycjonowania obiektów rejestrowanej sceny 3D. W badaniach eksperymentalnych wykazałem, że prototypowy cyfrowy system stereowizyjny oparty na sensorach niskiej rozdzielczości (1K×0.8K pikseli) umożliwia automatyczne wyznaczenie punktów z odległości rejestracji kilku metrów ze średnią dokładnością rzędu ± 0.1 m.

Zagadnienie modelowania i wizualizacji było również przedmiotem moich badań w badaniach statutowych [II C-11]. Mój udział w tworzeniu własnych autorskich programów do fotorealistycznego modelowania i wizualizacji 3D w bliskim zasięgu został przeze mnie rozszerzony pracą o charakterze monograficznym. Na podstawie przeprowadzonych testów, analizy i oceny architektury, interfejsu użytkownika i funkcjonalności, przedstawiłem w artykule [II B-30] weryfikację przydatności oraz możliwości zastosowania 4. wybranych, bezpłatnych programów do modelowania 3D (*Freeware Modelers*).

Kontynuacją mojej aktywności naukowej w tworzeniu programów dedykowanych do prezentacji opracowań fotogrametrycznych była analiza i ocena praktycznej przydatności interfejsu programistycznego Google Maps do wizualizacji ortofotomap cyfrowych oraz wykonanie i testowanie aplikacji Ortofoto. Program ten przetwarza ortofotomapy cyfrowe

w postaci kafelków na tle podkładu i danych z serwisu Google Maps, w celu ich wizualizacji za pomocą opracowanej strony internetowej [II B-29].

Moje dotychczasowe zainteresowania naukowe związane z metodami fotogrametrii bliskiego zasięgu rozszerzyłem w ostatnich latach o zagadnienia dotyczące opracowań w fotogrametrii i teledetekcji niskiego pułapu, które bazują na rejestracji z platform bezzałogowych aparatów latających UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). W pracach [II B-32, II D-40, II D-42] sformułowałem aktualne problemy, kierunki badawcze i tendencje rozwoju systemów bezzałogowych UVS (*Unmanned Vehicle Systems*), służących do pozyskiwania geoinformacji obrazowej. W zadaniu badawczym, wykonanym w ramach badań statutowych [II C-12] określiłem warunki operacyjnego zastosowania quadrokoptera microdrone md4-1000 (microdrones GmbH, Niemcy) do wykonania zdjęć lotniczych z niskiego pułapu, m.in. rodzaje sztucznej sygnalizacji fotopunktów oraz procedury projektowania nalotów z wykorzystaniem programu Waypoint.

W moim dorobku naukowym znalazły się również artykuły stanowiące opracowania monograficzne, które tematycznie zgodne były z zakresem moich badań w obszarze fotogrametrii bliskiego zasięgu. W referacie [II D-15] dokonałem klasyfikacji sensorów cyfrowych ze względu na rozdzielczość oraz zdefiniowałem techniczne kryteria wyboru systemów optyczno-elektronicznych. W pracach [II B-18, II D-21] scharakteryzowałem fotogrametryczne optyczne systemy typu *off-line* oraz *on-line* do pomiaru punktów w metrologicznych, inżynierskich i specjalnych aplikacjach bliskiego zasięgu. W analizie szczególną uwagę zwróciłem na parametry sensorów, konfigurację sprzętową, tryb działania, etapy opracowania, metodę pomiaru i analitycznego rozwiązania, zastosowanie i dokładność systemów.

Następne opracowania [II B-25, II D-29] dotyczyły współczesnych cyfrowych sensorów wizyjnych stosowanych w fotogrametrii bliskiego zasięgu. W publikacji [II B-25] omówiłem stan aktualny technologii budowy sensorów CCD/CMOS oraz dokonałem klasyfikacji systemów optyczno-elektronicznej rejestracji, z uwzględnieniem parametrów reprezentatywnych fotogrametrycznych systemów pomiarowych typu *off-line* i *on-line* oraz dokładności ich użycia w aplikacjach bliskiego zasięgu. Poza tym zdefiniowałem tendencje rozwoju sensorów cyfrowych oraz fotogrametrycznych, wizyjnych systemów pomiarowych.

Jako korespondent Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w Technicznej Komisji V Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) opracowałem 4 prace o charakterze monograficznych [II B-9, II B-16, II B-20, II B-27], które poprzedzone zostały prezentacjami [II D-9, II D-18, II D-24, II D-36]. W artykułach [II B-9, II B-16, II B-20, II B-27] przedstawiłem tematykę badań oraz rozwiązań technicznych, które dotyczyły nowych sensorów, systemów, metod i technik pomiarowych oraz aplikacji bliskiego zasięgu, obejmujących zakres działalności Komisji Technicznej V w latach 1996-2008, łącznie z pracami zaprezentowanymi w trakcie 4. kongresów (XVIII÷XXI) ISPRS.

Mój dorobek naukowy obejmuje również udział w opracowaniu 2. kolejnych wydań [II B-4, II B-6] dwutomowego pięcioletniego, specjalistycznego słownika z zakresu Fotogrametrii i Teledetekcji. W pracy pod naukową redakcją Prof. Z. Sitka wykonałem weryfikację w języku polskim terminów i definicji z zakresu Fotogrametrii oraz tłumaczenie i weryfikację terminów w języku niemieckim.

Omówienie wszystkich recenzowanych publikacji, projektów badawczych oraz referatów zamieściłem w Załączniku nr 3 – *Wykaz opublikowanych recenzowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych, wkład merytoryczny oraz procentowy udział w ich powstaniu.*

5.2. Udział w naukowych projektach badawczych

W latach 1991, 1995-1998 oraz 2004-2006 kierowałem 3. grantami naukowymi, które były finansowane przez Ministerstwo Edukacji Narodowej lub Komitet Badań Naukowych. Ponadto w latach 1988-2006 kierowałem w Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie/Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie 8. tematami badań własnych oraz uczestniczyłem w latach 2007-2013 w 3. tematach badań statutowych jako główny wykonawca.

Granty naukowe – Ministerstwo Edukacji Narodowej/Komitet Badań Naukowych

1. Kierownik i główny wykonawca – Opracowanie metodyki pomiaru w czasie rzeczywistym w fotogrametrii bliskiego zasięgu. Grant MEN DNS-T/07/048/90-2, 1991.
2. Kierownik i główny wykonawca – Konstrukcja i testowanie cyfrowego systemu video-termalnego oraz badanie możliwości jego aplikacji w monitoringu środowiska techniczno-przyrodniczego. Grant KBN Nr 9T12E 018 08, 1995-1998.
3. Kierownik i główny wykonawca – Opracowanie zaawansowanych technik przetwarzania multisensoralnych obrazów cyfrowych dla fotogrametrycznych aplikacji bliskiego zasięgu. Grant KBN Nr 4 T12E 003 26, 2004-2006.

Badania własne i statutowe – Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie/Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

4. Główny wykonawca – Opracowanie optymalnej technologii wykonania mapy zasadniczej w skali 1:2000 dla obszaru gm. Czernice Borowe z założeniem maksymalnego wykorzystania dotychczas przeprowadzonych prac technicznych dla wykonania mapy zasadniczej w skali 1:5000. ART w Olsztynie, 1988.
5. Kierownik i główny wykonawca – Oprogramowanie wybranych segmentów 3D pozycjonowania w fotogrametrii bliskiego zasięgu. Temat badań własnych ART w Olsztynie nr 6010.812/6010.204, 1992.
6. Kierownik i główny wykonawca – Fotogrametryczne 3D pozycjonowanie w bliskim zasięgu na podstawie strukturalnych obrazów cyfrowych. Temat badań własnych ART w Olsztynie nr 6010.204, 1993-1995.
7. Kierownik i główny wykonawca – Akwizycja obrazów cyfrowych kamerami CCD i ich implementacja w systemach GIS/CAD. Temat badań własnych ART w Olsztynie nr 6010.826, 1994-1995.
8. Kierownik i główny wykonawca – Optymalizacja procesu cyfrowego 3D pozycjonowania w nietopograficznych aplikacjach bliskiego zasięgu. Temat badań własnych ART w Olsztynie nr 06040.204, 1996-1998.
9. Kierownik i główny wykonawca – Badanie możliwości zastosowania cyfrowych kamer niemetrycznych w fotogrametrycznych opracowaniach wspomaganych systemami GIS/CAD. Temat badań własnych UWM w Olsztynie nr 030500.206, 1999-2001.
10. Kierownik i główny wykonawca – Badanie parametrów fotogrametrycznych opracowań metrologicznych w bliskim zasięgu wykonywanych na podstawie multisensoralnych danych cyfrowych. Temat badań własnych UWM w Olsztynie nr 522-0304-0208, 2002-2006.
11. Główny wykonawca – Metody i algorytmy fotogrametrii cyfrowej. Temat badań statutowych UWM w Olsztynie nr 528-0304-0805, 2007-2010.

12. Główny wykonawca – Nowe technologie pozyskiwania i przetwarzania danych teledetekcyjnych w zastosowaniach kartograficznych, środowiskowych i rolniczych. Temat badań statutowych UWM w Olsztynie nr 528-0304-0803, 2011-2013.

5.3. Wskaźniki dotyczące publikacji

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych jestem autorem 18. oraz współautorem 26., łącznie 44. recenzowanych publikacji, w tym 10. prac w zagranicznych wydawnictwach oraz 30. artykułów w czasopismach naukowych znajdujących się w wykazie czasopism punktowanych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W znaczącym dla naukowego środowiska fotogrametrycznego Archiwum Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS Archives) opublikowałem 4 prace. Na konferencjach i sympozjach tematycznych zostały przeze mnie zaprezentowane łącznie 44 prace, w tym 11 na konferencjach międzynarodowych.

Brak w moim dorobku naukowym publikacji w czasopismach, znajdujących się w bazie *Web of Science Core Collection* wynika z niewielkiej liczby czasopism z zakresu Fotogrametrii, umieszczonych w tej bazie i w związku z tym bardzo ograniczonej możliwości publikowania. Problem ten dotyczy zresztą nie tylko mnie, ale całego środowiska polskich fotogrametrów, którzy incydentalnie publikują w światowych czasopismach naukowych z zakresu Fotogrametrii ze wskaźnikiem Impact Factor (IF).

Według *quasi* internetowej bazy Google Scholar amerykańskiej firmy Google Inc. mój dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych, analizowany pod względem bibliometrycznym w październiku 2014 r., posiadał następujące parametry:

Google Scholar

Liczba publikacji: 33

Liczba cytowań (bez autocytowań): 34

h-indeks (indeks Hirscha): 5

Według analizy programu Harzing's Publish or Perish moje opublikowane prace otrzymały następujące parametry bibliometryczne:

Harzing's Publish or Perish

Liczba publikacji: 38

Liczba cytowań (bez autocytowań): 38

h-indeks (indeks Hirscha): 5

5.4. Recenzje publikacji w czasopismach naukowych

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora recenzowałem ogółem 45 prac, w tym 4 prace zgłoszone do publikacji w wydawnictwie o charakterze międzynarodowym oraz 41 artykułów w wydawnictwach krajowych, znajdujących się na liście czasopism punktowanych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Recenzje prac naukowych zgłoszonych do publikacji w wydawnictwie *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*:
 - Vol. 9, 1999 r. – 4 artykuły w j. polskim
 - Vol. 14, 2004 r. – 4 artykuły w j. polskim
 - Vol. 16, 2006 r. – 5 artykułów w j. polskim
 - Vol. 17, 2007 r. – 5 artykułów w j. polskim
 - Vol. 18, 2008 r. – 9 artykułów w j. polskim
 - Vol. 21, 2010 r. – 5 artykułów w j. polskim

- Vol. 22, 2011 r. – 2 artykuły w j. angielskim
 - Vol. 23, 2011 r. – 1 artykuł w j. polskim
 - Vol. 24, 2012 r. – 3 artykuły w j. polskim
 - Vol. 25, 2013 r. – 4 artykuły w j. polskim
2. Recenzje prac naukowych zgłoszonych do publikacji w wydawnictwie *Roczniki Geomatyki PTIP*:
 - 2007 r.1 – artykuł w j. polskim
 3. Recenzje prac naukowych zgłoszonych do publikacji w wydawnictwie *Quarterly Journal Geomatics and Environmental Engineering*:
 - 2012 r.– 1 artykuł w j. angielskim
 4. Recenzje prac naukowych zgłoszonych do publikacji w wydawnictwie *Geodesy and Cartography*:
 - 2013 r. – 1 artykuł w j. angielskim

5.5. Działalność dydaktyczna

Od początku mojej pracy, jako nauczyciel akademicki, prowadzę zajęcia dydaktyczne w formie wykładów, ćwiczeń, seminariów i ćwiczeń terenowych oraz jestem opiekunem prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich w ramach przedmiotów wchodzących w zakres Fotogrametrii i Teledetekcji. Szczegółowy wykaz prowadzonych przeze mnie przedmiotów oraz uczestnictwo w różnego rodzaju gremiach dydaktycznych zamieszczam poniżej.

1. Kierowanie i prowadzenie przedmiotów (wykłady i ćwiczenia) na kierunku Geodezja i Kartografia Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie:
 - Studia stacjonarne pierwszego stopnia:
 - Fotogrametria i Teledetekcja
 - Ćwiczenia terenowe z Fotogrametrii i Teledetekcji
 - Studia stacjonarne drugiego stopnia:
 - Fotogrametria i Teledetekcja – do 2012 r.
 - Fotogrametryczne Pozyskiwanie Geoinformacji – od 2012 r.
 - Fotogrametria Inżynierska – do 2012 r.
 - Fotogrametria i Detekcja Bliskiego Zasięgu – od 2012 r.
 - Zastosowanie Fotogrametrii i GPS w Katastrze – do 2012 r.
 - Studia niestacjonarne pierwszego stopnia:
 - Fotogrametria i Teledetekcja
 - Ćwiczenia terenowe z Fotogrametrii i Teledetekcji
 - Studia niestacjonarne drugiego stopnia:
 - Fotogrametria i Teledetekcja – do 2012 r.
 - Fotogrametryczne Pozyskiwanie Geoinformacji – od 2012 r.
 - Fotogrametria Inżynierska
 - Zastosowanie Fotogrametrii i GPS w Katastrze – do 2012 r.
2. Promotorstwo prac dyplomowych:
 - Prace magisterskie – 17
 - Prace inżynierskie – 10
3. Członek Senackiej Komisji Dyscyplinarnej ds. Studentów UWM w Olsztynie w kadencjach: 1999-2002, 2002-2005, 2005-2008, 2008-2012, 2012-2016.

4. Członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej, 2002.
5. Opiekun roku na specjalności Geodezja i Szacowanie Nieruchomości studia stacjonarne w latach 2002-2006.
6. Członek Rady Dydaktycznej/Komisji ds. Kształcenia na Wydziale Geodezji i Gospodarki Przestrzennej UWM w Olsztynie w kadencjach: 2002-2005, 2005-2008, 2008-2012.
7. Organizacja i uczestnictwo w wymianie *Teaching Staff Mobility* (8/5 godz. zajęć dydaktycznych) w programie UE ERASMUS/ERASMUS LLP/ERASMUS PLUS w latach 2001-2006, 2006-2007, 2007-2010, 2010-2013, 2014-2021 – umowa pomiędzy Zakładem/Katedrą Fotogrametrii i Teledetekcji, UWM w Olsztynie a Instytutem Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie.

5.6. Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

1. Członek Zespołu ds. Polskiej Normy z zakresu Fotogrametrii i Teledetekcji w latach 1989-1991.
2. Członek Zespołu Konsultacyjnego przy Głównym Urzędzie Geodezji i Kartografii ds. Określenie programu kształcenia studiów wyższych na kierunku Geodezja i Kartografia do uzyskania uprawnień zawodowych – 2013 r.
3. Członek Komisji Kwalifikacyjnej przy Głównym Urzędzie Geodezji i Kartografii do spraw uprawnień zawodowych w dziedzinie Geodezji i Kartografii – od 20.02.2014 r.

5.7. Działalność organizacyjna

1. Przewodniczący koła Nr 7 Stowarzyszenia Geodetów Polskich przy ART w Olsztynie w latach 1988-1997.
2. Członek Zarządu Wojewódzkiego Stowarzyszenia Geodetów Polskich w Olsztynie w kadencji 1992-1995.
3. Członek Zarządu Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w latach: 1989-2013, 2013-2016.
4. Sekretarz Naukowy Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w kadencjach: 1990-1992, 2004-2007, 2007-2010, 2010-2013, 2013-2016.
5. Korespondent Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji do Komisji Technicznej V Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w kadencjach: 1998-2001, 2001-2004, 2004-2007, 2007-2010.
6. Członek Sekcji Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN w kadencjach: 2001-2004, 2004-2007, 2007-2010.
7. Członek Komitetu Naukowego i przewodniczący Komitetu Organizacyjnego XI. Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji nt. *Opracowania cyfrowe w Fotogrametrii, Teledetekcji i GIS*, Mierki k/Olsztyna, 16-17.09.1999 r.
8. Redaktor/wydawca Vol. 9, 1999 r. (ISBN 83-88039-51-2) wydawnictwa *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* (Vol. 9 zawiera 29 artykułów naukowych, 274 strony).

9. Członek Komitetu Organizacyjnego III. Międzynarodowej Konferencji nt. *Kataster, Fotogrametria, Geoinformatyka – Nowoczesne technologie i perspektywy rozwoju*, Kraków, 26-28.09.2001 r.
10. Członek Komitetu Naukowego XIII. Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji nt. *Fotogrametria i Teledetekcja w społeczeństwie informacyjnym*, Białobrzegi k/Warszawy, 24-26.10.2002 r.
11. Członek Komitetu Naukowego i Organizacyjnego, sekretarz naukowy XV. Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji nt. *Opracowania cyfrowe w Fotogrametrii, Teledetekcji i GIS*, Stare Jabłonki k/Ostródy, 12-14.10.2006 r.
12. Sekretarz naukowy i redaktor/wydawca Vol. 16, 2006 r. (ISBN 978-83-920594-5-X) wydawnictwa Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji (Vol. 16 zawiera 57 artykułów naukowych, 626 stron).
13. Członek Komitetu Naukowego XVII. Sympozjum Naukowego Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji nt. *Nowoczesne metody pozyskiwania i modelowania w fotogrametrii i teledetekcji*, Wrocław, 23-35.09.2010 r.
14. Członek Komitetu Naukowego Międzynarodowego Sympozjum – 7th International Symposium on Mobile Mapping Technology nt. *State of the Art and Trends in Airborne and Land Mobile Mapping Technology*, Kraków, 13-16.06.2011 r.
15. Członek Komitetu Naukowego XVIII. Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji nt. *Nowe wyzwania dla fotogrametrii, teledetekcji i kartografii w obliczu współczesnych systemów geoinformacji*, Kazimierz Dolny, 19-21.09.2012 r.
16. Współredaktor szablonu edytorskiego wydawnictwa Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji.
17. Członek Komisji Konkursowej na Wydziale Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, UWM w Olsztynie w kadencjach: 2008-2012, 2012-2016.
18. Członek Rady Zakładu/Katedry Fotogrametrii i Teledetekcji, UWM w Olsztynie w kadencjach: 2005-2009, 2010-2014.
19. Członek Rady Programowej i udział w Olsztyńskich Dniach Nauki i Sztuki – 2012 r.
20. Członek Zespołu ds. opracowania Strategii Rozwoju Wydziału Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, UWM w Olsztynie na lata 2012-2020.
21. Członek Zespołu ds. opracowania Strategii Rozwoju Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, UWM w Olsztynie na lata 2015-2020.

5.8. Doświadczenia naukowe zdobyte za granicą

1. Uniwersytet Techniczny w Dreźnie, Instytut Fotogrametrii i Teledetekcji – studia doktoranckie, 1981-1985.
2. Uniwersytet Techniczny w Dreźnie, Instytut Fotogrametrii i Teledetekcji – staż naukowy Niemieckiej Centrali Wymiany Akademickiej DAAD (*Deutscher Akademischer Austauschdienst*), 1990-1995 (2 m-ce /rok).
3. Uniwersytet Techniczny w Dreźnie, Instytut Fotogrametrii i Teledetekcji - współpraca z prof. Elmar Csaplovics w przygotowaniu projektu złożonego do fundacji *Deutsche Bundesstiftung Umwelt* nt. *Dokumentation und Modellierung der Umweltqualität von*

Binnengewässern der Masurischen Seen (Polen) – Aufbau eines regionalen Umweltinformationssystems, 1996-1997.

5.9. Nagrody i wyróżnienia za działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną

1. Nagroda indywidualna III stopnia JM Rektora Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie za osiągnięcia w dziedzinie dydaktyczno-wychowawczej – 1989 r.
2. Srebrna Odznaka Stowarzyszenia Geodetów Polskich – 1992 r.
3. Honorowa Odznaka Szkoły – 1993 r.
4. Medal honorowy Zasłużony dla Uczelni – 1999 r.
5. Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie za osiągnięcia dydaktyczne (dot. wdrożenia metod fotogrametrii numerycznej i cyfrowej) – 1999 r.
6. Nagroda zespołowa II-go stopnia JM Rektora Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie za osiągnięcia w dziedzinie organizacyjnej – 2007 r.

Piotr Sawicki