

**DOKUMENTACJA**  
**DO PRZEPROWADZENIA POSTĘPOWANIA**  
**HABILITACYJNEGO**

**DR INŻ. SŁAWOMIR MIKRUT**

AKADEMIA GÓRNICZO–HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ GEODEZJI GÓRNICZEJ I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

KATEDRA GEOINFORMACJI, FOTOGRAMETRII I TELEDETEKCJI ŚRODOWISKA

AL. MICKIEWICZA 30, 30–059 KRAKÓW

tel. +48 (12) 617 39 93

kom. 0 606 68 665

e–mail: [smikrut@agh.edu.pl](mailto:smikrut@agh.edu.pl)

[www.smikrut.prv.pl](http://www.smikrut.prv.pl)

## Spis treści

<b>1. ODPIS DYPLOMU UZYSKANIA STOPNIA NAUKOWEGO DOKTORA</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>2. AUTOREFERAT PRZEDSTAWIAJĄCY ŻYCIORYS, OPIS OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO ORAZ DOROBKU NAUKOWEGO</b> . . . . .	<b>7</b>
1. Życiorys .....	8
2. Cykl publikacji powiązanych tematycznie pod tytułem: „Automatyzacja wykrywania cech w oparciu o metody sztucznej inteligencji dla potrzeb budowy fotogrametrycznych systemów pomiarowych”, stanowiących osiągnięcie naukowe.....	11
3. Opis osiągnięcia naukowego .....	15
4. Wykaz pozostałych, opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych .....	34
a) Monografie (współautorstwo).....	34
b) Publikacje .....	35
c) Referaty na konferencjach krajowych i zagranicznych.....	42
d) Twórcze prace zawodowe.....	44
5. Wskaźniki bibliometryczne.....	45
6. Uczestnictwo w zagranicznych i krajowych konferencjach naukowych.....	50
7. Recenzje publikacji lub innych opracowań.....	52
8. Udział w naukowych projektach badawczych .....	53
9. Syntetyczny opis całego dorobku naukowego .....	54
<b>3. INFORMACJA O POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘCIACH</b> . . . . .	<b>56</b>
1. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych.....	57
2. Informacja o sprawowanej opiece naukowej nad studentami lub doktorantami .....	58
a) Informacja o opiece nad studentami.....	58
b) Informacja o opiece nad doktorantami.....	58
3. Informacja o współpracy z instytucjami, organizacjami lub stowarzyszeniami.....	59
4. Informacja o odbytych stażach w krajowych lub zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich .....	60
5. Informacja o działalności popularyzującej naukę .....	60
6. Informacja o działalności w komitetach redakcyjnych czasopism naukowych.....	61
7. Informacja uzupełniająca dotycząca innych osiągnięć.....	61
a) Informacja o wykonanych ekspertyzach technicznych .....	61
b) Informacja o wnioskach patentowych.....	62
c) Informacja o osiągnięciach organizacyjnych .....	62
d) Informacja o osiągnięciach zawodowych .....	62
e) Informacja o otrzymanych nagrodach.....	63
8. Syntetyczny opis pozostałych osiągnięć .....	63
<b>4. OŚWIADCZENIA WSPÓLAUTORÓW OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO</b> . . . . .	<b>65</b>
<b>5. CYKL 10 PUBLIKACJI POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE STANOWIĄCYCH OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE</b> . . . . .	<b>66</b>
<b>6. UDZIAŁ PROCENTOWY I MERYTORYCZNY W PUBLIKACJACH STANOWIĄCYCH OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE ORAZ POZOSTAŁYCH</b> . . . . .	<b>67</b>

**2. AUTOREFERAT PRZEDSTAWIAJĄCY ŻYCIORYS, OPIS OSIĄGNIĘCIA  
NAUKOWEGO ORAZ DOROBKU NAUKOWEGO**

# 1. Życiorys

## DANE PERSONALNE:

Imię i nazwisko: **SŁAWOMIR MIKRUT**

Data i miejsce urodzenia:

Adres zamieszkania:

Telefon: +4812 6173993, +48606 668 665

Obywatelstwo: polskie

## WYKSZTAŁCENIE:

X.1992 – VI.1997      Studia dzienne na kierunku Geodezja i Kartografia na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie. Indywidualny tok studiów i uzyskany tytuł magistra inżyniera w dyscyplinie geodezja i kartografia w zakresie dwóch specjalności:

– Geoinformatyka i Teledetekcja,

– Geodezja Inżynierska – Przemysłowa.

X.1997 – IX.2002      Studia doktoranckie na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie. 24 marca 2003 uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia. Praca doktorska pod tytułem: „Wpływ skanowania i kompresji według standardu JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych” pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Józefa Jachimskiego, recenzenci: prof. dr. hab. inż. Jerzy Bernasik (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie), prof. dr. hab. inż. Aleksander Dorożyński (Akademia Rolnicza w Krakowie)

1997 – 1998      Studia Podyplomowe Informatyki na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie

## INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH DYDAKTYCZNO-NAUKOWYCH

- XI.2003 – obecnie Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, stanowisko: adiunkt.
- II.2008 – obecnie Wyższa Szkoła Biznesu i Przedsiębiorczości w Ostrowcu Świętokrzyskim, Wydział Nauk Społecznych i Technicznych, Katedra Geodezji i Kartografii, stanowisko docenta w latach 2010–2014.

## DOŚWIADCZENIE ZAWODOWE

- 2001 – 2003 Organizacja oraz kierowanie Przedsiębiorstwem Fotolotniczym GEOKART-MGGP Sp. z o.o., w tym projektami związanymi z wykonywaniem nalotów fotogrametrycznych oraz opracowań z zakresu fotogrametrii (projekty realizowane głównie na terenie Polski dla Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, jednostek publicznych oraz firm prywatnych).
- 2005 – 2006 Kierowanie międzynarodowym zespołem i pełnienie funkcji „Project Manager” w projekcie pokrycia około 40 000 km<sup>2</sup> ortofotomapy na terenie Rumunii – projekt obejmował wykonanie nalotu fotogrametrycznego oraz ortofotomapy przez konsorcjum trzech firm MGGP S.A (Polska), KML AEROCARTO (Holandia), TheoTop (Rumunia).
- 2006 – 2011 Zarządzanie Spółką INVESTGIS Sp. z o.o. oraz kierowanie projektami z zakresu geodezji i kartografii (fotogrametria, kontrola RFV, ewidencja gruntów i budynków, mapa zasadnicza, współpraca m.in. z australijską firmą AEROMETREX celem wykonania numerycznego modelu terenu i ortofotomapy dla rejonów Afryki i Australii).
- 2012 Pełnienie funkcji Dyrektora Działu Badawczego – Rozwojowego (R&D) w przedsiębiorstwie KPG S.A.
- 2013 – obecnie Pełnienie funkcji Prezesa Zarządu EUROMETREX Sp. z o.o. oraz sprawowanie nadzoru nad projektami z zakresu geodezji i kartografii.

## INFORMACJA O DODATKOWYM WYKSZTAŁCENIU

- VII. 2000                      Udział w kursie języka niemieckiego dla obcokrajowców na poziomie średnio-zaawansowanym w Brunzwicku (Niemcy), zakończony egzaminem Mittelstufe Ib.
- 2000 – 2001                 Nauka języka angielskiego w prywatnej Szkole Języka Angielskiego CALLAN w Krakowie.
- 2012 – 2013                 Kurs dydaktyczny w Studium Doskonalenia Dydaktycznego dla Pracowników i Doktorantów AGH.

## ZNAJOMOŚĆ JEZYKÓW OBCYCH

- Język angielski – poziom zaawansowany
- Język niemiecki – poziom średnio-zaawansowany
- Język rosyjski – poziom średnio-zaawansowany

## **2. Cykl publikacji powiązanych tematycznie pod tytułem: „Automatyzacja wykrywania cech w oparciu o metody sztucznej inteligencji dla potrzeb budowy fotogrametrycznych systemów pomiarowych” , stanowiących osiągnięcie naukowe**

Moim osiągnięciem naukowym jest opracowanie zasad i podstaw automatyzacji wykrywania cech w oparciu o metody sztucznej inteligencji dla potrzeb budowy systemów pomiarowych. Zasady i podstawy automatyzacji, wyrażone poprzez algorytmy i procedury postępowania, są przedstawione w cyklu 10 publikacji powiązanych tematycznie zatytułowanym jak powyżej.

Pod pojęciem sztucznej inteligencji rozumie się w niniejszym problemie wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych oraz innych metod umożliwiających przeprowadzenie automatycznej analizy obrazu oraz wydobyć z niego wybranych cech przy zastosowaniu metod i środków informatyki. Należy dodać, że pod pojęciem obrazu mamy tu na uwadze głównie zbiór danych o różnorodnych obiektach, pozyskanych metodami fotogrametrycznymi, w postaci analogowej lub cyfrowej, przy czym ten ostatni rodzaj jest dzisiaj wyraźnie dominujący. Choć idea sztucznych sieci neuronowych do rozwiązywania różnorodnych problemów fotogrametrycznych jest generalnie znana i została podana w monografii [4], to jednak brakowało w niej szczegółowych rozwiązań umożliwiających automatyzację tych procesów, w których istotną rolę odgrywa rozpoznanie i klasyfikacja obrazu, prowadzące z kolei do zdefiniowania występowania określonego zjawiska bądź też postawienia właściwej diagnozy na podstawie bardzo precyzyjnego wydobywania cech (np. z podpikselową dokładnością).

Wspomnianą ideę zastosowania sztucznych sieci neuronowych do problemów fotogrametrycznych, prowadzącą do opracowania wspomnianych wyżej algorytmów, rozwinąłem wraz z zespołem w ramach projektu KBN (nr 1634/T12/2004/27 pt. „Ocena efektywności wykorzystania sieci neuronowych w procesach automatycznej korelacji obrazów zdjęć lotniczych”), którego byłem kierownikiem. W tym projekcie po raz pierwszy sformułowano i opisano problem rozszerzenia zakresu działania sztucznych sieci neuronowych w oparciu o analizę obrazu polegającą na wykorzystaniu wspomnianej już wcześniej drugiej pochodnej obrazu cyfrowego.

W prezentowanym cyklu 10 publikacji przedstawiam i opisuję różnorodne możliwości dotyczące polepszenia jakości obrazów fotogrametrycznych oraz automatyczną ich analizę w

oparciu o opracowane przez mnie algorytmy bazujące na wspomnianej przez mnie sztucznej inteligencji, prowadzące do opracowania koncepcji i budowy systemów pomiarowych wykorzystywanych dla pozyskiwania i przetwarzania danych obrazowych o obiekcie, wydobywania cech z obrazu oraz zmierzających do otrzymania wyników w założonym przez mnie i użytkownika, żądanym zakresie.

Moim osiągnięciem naukowym - obok stosowania sztucznych sieci neuronowych - jest rozwinięcie algorytmów do wykrywania cech (ang. *feature*) na obrazie cyfrowym wykorzystujących tę właściwość, że druga pochodna obrazu cyfrowego zeruje się w miejscach, gdzie występuje krawędź rozpoznawanego obiektu. Moim znaczącym wkładem naukowym jest także zastosowanie i weryfikacja tych algorytmów nie tylko w geodezji i kartografii ale także w innych dyscyplinach naukowych takich jak na przykład medycyna czy lotnictwo.

Nadmieniam, że proponowane przeze mnie rozwiązanie ma charakter oryginalny. Nie napotkałem w literaturze światowej i krajowej na podobne rozwiązania. Będę je prezentował i opisywał sukcesywnie przy omawianiu poszczególnych publikacji z cyklu. W tym miejscu dodam, że wspomniane algorytmy zostały zweryfikowane w praktyce poprzez ich zastosowanie dla określonych prac pomiarowych o charakterze rozpoznawczym i diagnostycznym.

Wydaje mi się, na podstawie zarówno studiów literatury (obszerna analiza literaturowa podana jest w monografii [4], która znajduje w prezentowanym cyklu 10 publikacji) jak też opinii użytkowników tych rozwiązań, że wnoszą one znaczący wkład w rozwój problematyki przetwarzania obrazów w zakresie związanym z zagadnieniami fotogrametrii, w szczególności fotogrametrii cyfrowej, a także choć w mniejszym stopniu w zakresie automatyzacji pomiarów na obrazach cyfrowych.



**Wykaz publikacji powiązanych tematycznie pod tytułem: „Automatyzacja wykrywania cech w oparciu o metody sztucznej inteligencji dla potrzeb budowy fotogrametrycznych systemów pomiarowych” stanowiących moje osiągnięcie naukowe.**

1. **Mikrut S.**, 2006, *The Influence of JPEG Compression on the Automatic Extraction of Cropland Boundaries with Subpixel Accuracy Using Multispectral Images*. Polish Academy of Science – Cracow Branch. Proceedings of the Geodesy and Environmental Engineering Commission, Geodesy 42, ISSN 0079–3299, p. 97–111.

punktacja MNiSW<sup>1</sup>

2. Bernasik J., **Mikrut S.**, 2007, *Zautomatyzowana korekcja błędów kątowej orientacji niometrycznej kamery cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Kraków, Vol. 17a, s. 33–42, ISBN 978-83-920594-9-2.

punktacja MNiSW (przyjęto wg wykazu z 2008): 4.000 pkt.

3. **Mikrut S.**, 2009, *Przydatność algorytmów podpikselowej detekcji cech w wybranych zagadnieniach fotogrametrycznych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing ; ISSN 2083–2214, vol. 19, s. 299–308.

punktacja MNiSW (wg wykazu z 2009): 4.000 pkt.

4. Czechowicz A., Gryboś P., Jachimski J., **Mikrut S.**, Mikrut Z., Pawlik P., Tadeusiewicz R., 2010, pod redakcją naukową S.Mikruta. **Monografia:** *Sieci neuronowe w procesach dopasowania zdjęć lotniczych*, 2010, Wydawnictwa AGH, Kraków, ISBN: 978–83–7464–150–0.

punktacja MNiSW (wg wykazu z 2010): 12.000 pkt.

5. **Mikrut S.**, Mikrut Z., Moskal A., Pastucha E., 2014, *Detection and Recognition of Selected Class Railway Signs*. Image Processing & Communications: an International Journal; ISSN 1425–140X, vol. 19 no. 2–3, s. 83–96.

punktacja (lista B czasopism MNiSW, 2014): 8.000 pkt.

---

<sup>1</sup> w roku ukazania się publikacji nie obowiązywała jeszcze punktacja MNiSW

6. **Mikrut S.**, 2012, *Integration of Digital Images and Laser Scanning Data for the Survey of Architectural Objects*. Image Processing & Communications: an International Journal; ISSN 1425–140X, vol. 17 no. 4, s. 161–166.

punktacja (lista B czasopism MNiSW, 2012): 7.000 pkt.

7. **Mikrut S.**, Kohut P., Pyka K., Tokarczyk R., Barszcz T., Uhl T., 2016, *Mobile Systems for Measuring the Clearance Gauge – State of Play, Testing And Outlook*. Sensors 2016, 16, 683; doi:10.3390/s16050683.

punktacja MNiSW (wg wykazu z 2015): 30.000 pkt.

**Impact Factor: 2,245**

8. Głowienka E., Jankowicz B., Kwoczyńska B., Kuras P., Michałowska K., **Mikrut S.**, Moskal A., Piech I., Strach M., Sroka J., 2015, pod redakcją naukową S. Mikruta i Głowienki E. **Monografia: Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D**. Wydawnictwo: Wyższa Szkoła Inżynierijno–Ekonomiczna, Rzeszów. ISBN: 978–83–60507–26–1, 148 stron.

punktacja MNiSW (wg wykazu z 2015): 24.000 pkt.

9. Soja J., Grzanka P., Śladek K., Okoń K., Ćmiel A., Mikoś M., **Mikrut S.**, G. Pulka, Gross-Sondej I., Niżankowska-Mogilnicka E., Szczeklik A., 2009, *The Use of Endobronchial Ultrasonography in Assessment of Bronchial Wall Remodeling in Patientswith*. CHEST; ISSN 0012–3692, vol. 136 no. 3, s. 797–804.

punktacja MNiSW (wg wykazu z 2009): 24.000 pkt.

**Impact Factor: 6.360**

10. Soja J., Łoboda P., **Mikrut S.**, Ćmiel A., Gross-Sondej I., Górka K., Kasper Ł., Andrychiewicz A., Pulka G., Reid M., Śladek K., 2015, *Assessment of remodeling in chronic obstructive pulmonary disease using imaging methods*. Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej ; ISSN 0032–3772, vol. 125 no. 9, s. 659–664.

punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 18.750 pkt.

**Impact Factor: 2.120**

**Razem 131,75 pkt.**

**Sumaryczny Impact factor: 10,725**

### 3. Opis osiągnięcia naukowego

W znaczących europejskich i światowych ośrodkach naukowych prowadzi się intensywne badania nad automatyzacją procesów fotogrametrycznych. Choć wyniki tych badań są dość szeroko publikowane, to jednak nie ma w nich podanych wyraźnie określonych rozwiązań opisujących i rozstrzygających w pełni proces automatyzacji. Dostrzegając zatem tę ułomność wspomnianych powyżej badań, mając przy tym niezbędne doświadczenie w tym kierunku uzyskane wcześniej w kilku pracach naukowych i projektach badawczych rozpocząłem ponad 10 lat temu badania i rozważania połączone z ich praktyczną weryfikacją, zmierzające do opracowania takiego modelu usprawniania prac fotogrametrycznych, który prowadziłby w przyszłości do pełnej ich automatyzacji. Wytyczając więc taki cel zajmowałem się zatem na przestrzeni ostatnich lat takimi zagadnieniami jak:

- automatyzacja pomiarów na fotogrametrycznych obrazach cyfrowych przy zastosowaniu autorskich algorytmów umożliwiających pomiar z podpikselową dokładnością,
- wykorzystanie sieci neuronowych w zagadnieniach fotogrametrycznych,
- integracja danych pochodzących ze skaningu laserowego i danych fotogrametrycznych.

Prowadzę aktualnie intensywne badania w kierunku rozwijania wspomnianych powyżej zagadnień – zarówno w aspekcie teorii jak też ich zastosowań praktycznych.

Początek badań to zagadnienia związane z automatyzacją pomiarów na obrazach cyfrowych, głównie fotogrametrycznych. Pierwsze eksperymenty prowadziłem dla potrzeb rozwiązania różnych problemów, gdzie zastosowałem analizy podpikselowe do oceny straty jakości obrazów kompresowanych algorytmem JPEG. Późniejsza praca naukowa to kontynuacja tej tematyki, opracowanie nowych algorytmów i wdrożenie ich do rozwiązywania wielu różnorodnych zagadnień z dyscypliny geodezji i kartografii, a także innych dyscyplin (np. medycyny, lotnictwa).

Algorytmy te wykorzystałem w wielu pracach naukowych (m.in. w 4 projektach badawczych KBN oraz w kilku projektach stosowanych). Wymieniam tu między innymi takie projekty jak:

- „Wpływ kompresji na dokładność określania użytków na podstawie obrazów wielospektralnych” (Nr proj. 4 T12E 026 26, Kierownik J. Jachimski, wykonawca – S.Mikrut), realizowany w latach 2004–2005,

- „Ocena efektywności wykorzystania sieci neuronowych w procesach automatycznej korelacji obrazów zdjęć lotniczych” (Nr 1634/T12/2004/27, kierownik projektu: S. Mikrut), realizowany w latach 2004–2007,
- „Automatyzacja wyznaczania imperfekcji kształtu wysmukłych budowli oparta o komputerową analizę zdjęć cyfrowych o znanej orientacji przestrzennej” (Nr N526 032 32/3385, Kierownik – prof. J. Bernasik, główny wykonawca – S. Mikrut), realizowany w latach 2009–2011,
- „Nowe możliwości badania remodelingu w astmie oskrzelowej” (Uniwersytet Jagielloński, Kierownik – prof. K. Śladek, wykonawca S. Mikrut), realizowany w latach 2007–2009.

Wszystkie te projekty zakończone były publikacjami ze wspomnianej tematyki badawczej. **Problematyka naukowa, którą zajmuję się obecnie skupia się wokół zastosowania sztucznych sieci neuronowych i wykorzystania ich w pierwszym kroku do inteligentnej analizy obrazu (tu wykorzystuję doświadczenia związane z korelacją obrazów przy pomocy sieci), natomiast sprawdzone algorytmy podpikselowej lokalizacji mają zasadniczo podnieść dokładność ekstrahowanych obiektów zarówno z obrazów cyfrowych jak i z chmury punktów (skaniny laserowe).** Szczególnie to ostatnie zagadnienie związane z integracją danych ze skaningu i pomiarów fotogrametrycznych jest – moim zdaniem – godne najwyższej uwagi, stanowiąc przedmiot intensywnych badań w wielu znaczących ośrodkach naukowych.

Wyniki tych badań, w tym również i moich własnych, obejmujące integrację danych laserowych i fotogrametrycznych oraz zastosowanie do analiz sztucznych sieci neuronowych są środkiem, który z całą pewnością umożliwi rozwiązanie wielu problemów w sposób automatyczny. Dotychczasowe próby potwierdzają przyjęte założenia i dają dobre rezultaty. Sieci neuronowe wręcz idealnie nadają się do korelacji obrazów, a podniesienie dokładności poprzez metody podpikselowe, oprócz automatycznego działania, daje również wysoką dokładność wyników.

Moje badania nad tym problemem, szczególnie w ostatnich kilku latach w trakcie ich przeprowadzania rozszerzyłem o fragment związany z integracją danych fotogrametrycznych i danych pozyskanych ze skaningu laserowego. Przyczyną takiego podejścia była okoliczność pozyskania dla AGH projektu związanego z tymi zagadnieniami pt. „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej – Etap I oraz Etap II” realizowanego na zlecenie Polskich Linii Kolejowych. W tym projekcie byłem koordynatorem ze strony AGH i jego głównym wykonawcą.

Projekt ten w swojej części naukowej wykorzystuje badania prowadzone już wcześniej, a dotyczące wspomnianej integracji danych pomiarowych i metod sztucznej inteligencji.

Moje dotychczasowe wyniki badań dobitnie pokazują, że równoczesne wykorzystanie sztucznej inteligencji na danych fotogrametrycznych i danych skaningowych znacząco podnosi jakość geometryczną tych danych. Analiza obrazu oparta jest w przeważającej części na wypracowanych przeze mnie algorytmach, do których włącza się sieci neuronowe, wspierając tym samym mniej rozwinięte metody przetwarzania chmury punktów.

Wykorzystanie przeze mnie sztucznych sieci neuronowych oraz metody podpikselowej analizy obrazu miało także swój finał w projekcie dla Polskich Linii Kolejowych pt. „Badanie wpływu kształtu, rozmiarów i właściwości odbiciowych elementów infrastruktury kolejowej w powiązaniu z gęstością i kierunkiem mobilnego skanowania laserowego na zdolność automatycznej identyfikacji obiektów infrastruktury” realizowanego w latach 2012–2013 r., pod moim kierunkiem. Szczegółowe wyniki można znaleźć w raporcie oraz publikacji [7].

Podnoszenie dokładności na obrazach cyfrowych znalazło również swoje zastosowanie w innych projektach naukowo–badawczych realizowanych pod moim kierunkiem takich jak: „Analiza zdjęć samolotu M28 z punktu widzenia określenia powierzchni formacji lodowych” – projekt badawczy realizowany na zlecenie PZL Mielec w roku 2013 oraz „Wykonanie testów i analiz w zakresie określania geometrii zewnętrznej płatowca metodami fotogrametrii i skaningu” realizowanego w latach 2014 – 2015 również na zlecenie PZL Mielec (publikacje z tych projektów wraz z monografią są w przygotowaniu).

Tak w skrócie przedstawia się ogólny opis mojego osiągnięcia naukowego, którego istota polega głównie na wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji, bazujących z kolei na idei sieci neuronowych do automatyzacji pomiarów fotogrametrycznych (wykrywania cech) prowadzących także do integracji źródeł danych fotogrametrycznych i w konsekwencji do wyraźnej poprawy ich jakości. Ten ostatni czynnik, będący pochodną procesu automatyzacji będzie odgrywał coraz istotniejszą rolę w funkcjonowaniu różnych procedur geodezyjnych na przykład pozyskiwania danych terenowych dla potrzeb GIS, a także systemów pomiarowych dla potrzeb medycznych związanych na przykład z ustaleniami cech przydatnych dla określenia stanu zdrowia pacjenta lub specjalistycznych potrzeb lotnictwa, związanego z określeniem cech geometrycznych samolotów bądź innych statków powietrznych. Poniżej zostaną rozwinięte i opisane cząstkowe osiągnięcia naukowe związane z poszczególnymi

publikacjami powiązаныmi tematycznie, stanowiącymi wspomniane już wcześniej osiągnięcia naukowe.

## **Podstawy matematyczne osiągnięcia naukowego - istota podnoszenia dokładności na obrazach cyfrowych i chmurze punktów**

Ponieważ zarówno przegląd literaturowy jak i matematyczny opis działania sieci neuronowych został dobrze opisany we wspomnianej, a załączonej monografii [4], nie widzę potrzeby powtarzania tego w autoreferacie. Brak jednak matematycznego opisu podnoszenia dokładności przy wydobywaniu cech z obrazu.

Zanim zatem zostanie dokonane podsumowanie mojego osiągnięcia naukowego, należy zaznaczyć, że cechą wspólną wszystkich omówionych powyżej publikacji powiązanych tematycznie, a dotyczących zagadnienia tworzenia algorytmów służących do automatyzacji procesów fotogrametrycznych (wykrywania cech) w oparciu o metody sztucznej inteligencji jest problem wpasowania prostej do zbioru punktów – z dokładnością podpikselową. Istotę tego problemu wraz z jego matematycznymi podstawami opracowanymi przez mnie przedstawiam poniżej.

Nadmieniam, że prezentowane podstawy matematyczne dotyczą problemu tworzenia algorytmów automatyzacji detekcji cech (głównie krawędzi) na obrazach cyfrowych oraz na chmurze punktów. Są one znacząco bardziej zaawansowane w odniesieniu do dotychczasowych, prostych algorytmów opartych o wykorzystanie drugiej pochodnej do badania obniżenia jakości obrazów kompresowanych stratnie prezentowanych, a opisywanych w moim doktoracie. Niniejsze rozważania są niejako kontynuacją i rozszerzeniem tego zagadnienia.

Poniższy materiał nie został jeszcze opublikowany (jest częścią przygotowywanej monografii z zakresu integracji danych fotogrametrycznych i laserowych), ale ma na celu przedstawienie istoty zagadnienia od strony teoretycznej a związanej ze zwiększaniem dokładności automatycznego pomiaru na obrazach cyfrowych i chmurze punktów.

Większość moich algorytmów zakłada aproksymację krawędzi poprzez wpasowanie prostej (lub bardziej skomplikowanej krzywej) w punkty pozyskane automatycznie na obrazie cyfrowym lub z tzw. chmury punktów, a więc danych będących wynikiem stosowania metod skaningu laserowego.

Ponieważ przy wpasowywaniu prostej w punkty (piksele obrazu) rozważamy zbiór  $n$

punktów  $Q_i$ ,  $i=1, \dots, n$  w  $k$  – wymiarowej przestrzeni  $R^k$ , zakładamy, że punkty  $Q_i$  są opisane przez swoje współrzędne  $(x_{i1}, \dots, x_{ik})$  i wartości pewnej nieujemnej funkcji „wagowej”

$$p_i, \text{ przy czym } \sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (1)$$

Jeśli nie jest zadana funkcja wagowa, należy przyjąć  $p_i = \frac{1}{n}, i=1, \dots, n, p_i \geq 0$

Mamy więc  $(x_{i1}, \dots, x_{ik}, p_i) i=1, \dots, n$ .

Potraktujmy punkty  $Q(x_{i1}, \dots, x_{ik})$  jako nośnik dyskretnego rozkładu prawdopodobieństwa

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \delta_{Q_i} \quad (2)$$

gdzie:  $\delta_{Q_i}$  oznacza miarę Diraca skupioną w punkcie  $Q_i$ .

Środek masy tego rozkładu:

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \delta_{Q_i} \quad (3)$$

jest w punkcie  $\bar{Q}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_k)$

gdzie:

$$\bar{x}_j = \sum_{i=1}^n p_i x_{ij} \quad j=1, \dots, k.$$

Konfigurację przestrzenną rozkładu opisuje macierz kowariancyjna:

$$\mathbf{V} = [v_{rs}]_{(k,k)} \quad (4)$$

gdzie:

$$v_{rs} = \sum_{i=1}^n (x_{ir} - \bar{x}_r)(x_{is} - \bar{x}_s) p_i \quad (5)$$

Jeśli nośnik rozkładu jest zawarty w pewnej jednowymiarowej rozmaitości afinicznej, to rząd macierzy kowariancyjnej  $\mathbf{V}$  jest równy 1. Gdy rozkład jest skoncentrowany wokół tej rozmaitości, to macierz kowariancyjna ma jedną dominującą wartość własną a pozostałe są bliskie 0.

Jak wiadomo z algebry, nieujemnie określona macierz ma nieujemne rzeczywiste wartości własne, a wektory własne odpowiadające różnym wartościom własnym są ortogonalne. Jeśli wartość własna tej macierz jest wielokrotna, to odpowiada jej przestrzeń

własna o wymiarze równym krotności tej wartości własnej. Stosując ewentualnie ortogonalizację Grama–Schmidta można wybrać w tej przestrzeni własnej bazę ortonormalną. Reasumując macierz kowariancyjną  $\mathbf{V}$  można sprowadzić przez przekształcenie ortogonalne  $\mathbf{S}$  ( $\mathbf{S}^T \mathbf{S} = \mathbf{I}_k$ ) do postaci diagonalnej:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \lambda_k \end{bmatrix} = \mathbf{S}^T \mathbf{V} \mathbf{S} \quad (6)$$

gdzie: kolejne kolumny macierzy ortogonalnej  $\mathbf{S}$  są unormowanymi wektorami własnymi odpowiadającymi kolejnym wartościom własnym macierzy  $\mathbf{V}$ , przy czym zakładamy, że wartości własne zostały uporządkowane nierosnąco tzn.  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_k \geq 0$ . Równanie parametryczne prostej najlepiej dopasowanych do danych jest postaci

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \vdots \\ \bar{x}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_k \end{bmatrix} t \quad (7)$$

gdzie: wektor  $\begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_k \end{bmatrix}$  jest unormowanym wektorem własnym odpowiadającym maksymalnej wartości własnej  $\lambda_1$ .

Uzasadnienie. Niech  $\mathbf{X}$  będzie wektorem losowym o macierzy kowariancji  $\mathbf{V}$ .

Szukamy kierunku (wektora)  $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_k \end{bmatrix}$  ( $\|\mathbf{s}\| = 1$ ) takiego, aby losowa forma liniowa  $\langle \mathbf{s}, \mathbf{X} \rangle$  miała maksymalną wariancję  $\varphi(\mathbf{s}) = \langle \mathbf{s}, \mathbf{V} \mathbf{s} \rangle \mapsto \max$ , przy czym  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  oznacza klasyczny iloczyn skalarny).

Należy rozwiązać problem wyznaczenia maksimum globalnego formy kwadratowej  $\varphi(\mathbf{s}) = \langle \mathbf{s}, \mathbf{V} \mathbf{s} \rangle$  na sferze jednostkowej  $\|\mathbf{s}\| = 1$ . Problem ten ma oczywiście rozwiązanie, bo forma kwadratowa jest funkcją ciągłą a sfera jednostkowa jest zbiorem zwartym.

Tworzymy funkcję Lagrange’a



$$L(\mathbf{s}, \lambda) = \langle \mathbf{s}, \mathbf{V}\mathbf{s} \rangle + \lambda(1 - \langle \mathbf{s}, \mathbf{s} \rangle) \quad (8)$$

Szukając punktów stacjonarnych funkcji Lagrange'a otrzymujemy układ równań

$$\begin{cases} (\mathbf{V} - \lambda\mathbf{I})\mathbf{s} = \mathbf{0} \\ \|\mathbf{s}\| = 1 \end{cases} \quad (9)$$

Rozwiązaniem tego układu są jednostkowe wektory własne macierzy  $\mathbf{V}$ . Każdemu jednostkowemu wektorowi własnemu odpowiada para antypodycznych punktów na sferze jednostkowej. Z uwagi na fakt, że wartość formy kwadratowej  $\varphi(\mathbf{s}) = \langle \mathbf{s}, \mathbf{V}\mathbf{s} \rangle$  na wektorze własnym  $\mathbf{s}_1$  odpowiadającym maksymalnej wartości własnej  $\lambda_1$  jest równa  $\varphi(\mathbf{s}_1) = \langle \mathbf{s}_1, \mathbf{V}\mathbf{s}_1 \rangle = \langle \mathbf{s}_1, \lambda_1\mathbf{s}_1 \rangle = \lambda_1 \langle \mathbf{s}_1, \mathbf{s}_1 \rangle = \lambda_1$ , kierunek  $\mathbf{s}_1$  jest poszukiwanym rozwiązaniem problemu.

Problem wpasowania prostej do danych w przypadku 2-wymiarowym rozwiązuje się zwykle metodą regresji. Jednak w tej metodzie trzeba arbitralnie wskazać zmienną zależną i niezależną. W problemie tzw. "fitowania" można to zrobić na 2 sposoby i uzyskać 2 istotnie różne rozwiązania. Wydaje się jednak, że geometryczne wpasowanie prostej powinno być oparte na minimalizacji odległości (lub kwadratów odległości punktów od prostej, to zapewnia symetrię w traktowaniu współrzędnych  $x$  i  $y$ ). W przypadku wyższych wymiarów podejście regresyjne jest nienaturalne, natomiast zaprezentowane tu podejście blisko związane z metodą PCA (z ang. *Principal Component Analysis* – analiza głównych składowych) czy wyznaczaniem głównych osi bezwładności w mechanice bez problemów przenosi się na wyższe wymiary.

Aby lepiej przedstawić istotę problemu, poniżej został zaprezentowany eksperyment numeryczny:

Przyjmijmy, że do punktów leżących na prostej o równaniu:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} t \quad (10)$$

gdzie:  $t = 1, 2, \dots, 20$ ,

dolosowywano zaburzenia z rozkładu  $N(0, 1/2)$ , uzyskując przestrzenną chmurę punktów.

Opisaną powyżej metodą dopasowano prostą do tych danych, uzyskując wyniki przedstawione poniżej:

- średnie aproksymacyjne wynoszą odpowiednio:

31,4592223	42,9010169	54,6080822
------------	------------	------------

- z kolei nieobciążone estymatory kowariancji uzyskały następujące rezultaty przybliżone :

Zmienna	Kowariancje		
	X	Y	Z
X	309,7908	415,5952	518,9475
Y	415,5952	558,1483	696,7084
Z	518,9475	696,7084	870,3292

- przy czym otrzymano je z macierzy:

$$\begin{bmatrix} 309,790784297021 & 415,595166162845 & 518,9474758435 \\ 415,595166162845 & 558,14829833229 & 696,708444453096 \\ 518,9474758435 & 696,708444453096 & 870,329200052419 \end{bmatrix}$$

- której wartości własne wynoszą:

Nr wartości	Wartości własne (kowariancje), pokrewne statystyki Tylko zmienne aktywne			
	Wartość wł	% ogółu wariacji	Skumul. wartość wł	Skumul.%
1	1737,766	99,97109	1737,766	99,971
2	0,286	0,01646	1738,052	99,988
3	0,216	0,01245	1738,268	100,000

- zaś współrzędne czynnikowe zmiennych mają następujące wartości:

Zmienna	Współrzędne czynnikowe zmiennych, na podstawie korelacji			
	Czynn. 1	Czynn. 2	Czynn. 3	Czynn. 4
Xc	17,59519	-0,301966	0,329994	0,42208347
Yc	23,62176	-0,238896	-0,322113	0,56665225
Zc	29,49894	0,371414	0,061106	0,70763746

Tak więc równanie parametryczne poszukiwanej prostej ma postać:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 31,4592223 \\ 42,9010169 \\ 54,6080822 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,42208347 \\ 0,56665225 \\ 0,70763746 \end{bmatrix} t$$

Prosta wyjaśnia położenie eksperymentalnych punktów w 99,971%.

Należy nadmienić, że rozważany jest tutaj tzw. problem źle uwarunkowany z uwagi na prawie osobliwą macierz kowariancji. Potrzebna jest zatem bardzo dokładna procedura wyznaczania wektora własnego odpowiadającego maksymalnej wartości własnej. Program *Mathematica* rozwiązuje przypadki 2 – wymiarowe natomiast ma problemy w przypadku 3 –

wymiarowym. Polega to na tym, że poprawnie obliczane są wartości własne, natomiast wektory własne są wyznaczane nieprawidłowo. Aby wyeliminować te wątpliwości opracowane zostało autorskie rozwiązanie. Algorytmy tego rozwiązania zostały sprawdzone w programie *Statistica*. Eksperymenty numeryczne potwierdziły dobrą jakość uzyskanego rozwiązania.

Eksperymenty praktyczne zostały wykonane w oprogramowaniu autorskim "*Feature Extraction Software*", na którym opierało się wykonanie większości eksperymentów badawczych i publikacji [1], [2], [3], [6], [7].

### **Omówienie cząstkowych osiągnięć naukowych i wyników badań własnych w odniesieniu do cyklu 10 publikacji powiązanych tematycznie**

Wspomniane publikacje przedstawiłem chronologicznie wraz z określonym podziałem na obszary badawcze. Jak nadmieniałem wcześniej prezentowane publikacje są głównie wynikiem realizacji projektów badawczych, w których byłem kierownikiem bądź też głównym wykonawcą.

Pierwsza publikacja [1] jest wynikiem realizacji projektu badawczego pt. „Wpływ kompresji na dokładność określania użytków na podstawie obrazów wielospektralnych”, którego byłem głównym wykonawcą. Projekt ten był znaczącym rozszerzeniem badań, jakie prowadziłem w ramach rozprawy doktorskiej, gdzie badałem wpływ kompresji JPEG na dokładność wykrywania krawędzi. W tym projekcie pozyskanym wkrótce po uzyskaniu stopnia doktora, badania poszerzyłem o analizę składowych R, G, B, IR sceny satelitarnej. Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystałem opracowany przez mnie autorski algorytm lokalizacji krawędzi z podpikselową dokładnością, co pozwoliło rozszerzyć jego działanie. Moim osiągnięciem naukowym w tym projekcie i publikacji jest :

- przeprowadzenie eksperymentu badawczego o istotnym znaczeniu,
- stworzenie autorskiego algorytmu do analizy obrazu zarejestrowanego w kilku kanałach spektralnych (do tej pory algorytm działał tylko na jednym obrazie monochromatycznym),
- stworzenie algorytmu do automatycznej wektoryzacji granic działek ewidencyjnych na obrazie.

Działanie algorytmu polegało na tym, że program w pierwszej kolejności wyszukiwał narożniki działki, a następnie korzystał z przetestowanego już algorytmu lokalizowania granic

działek.

Nadmieniam, że tak skonstruowanego algorytmu, nie spotkałem do tej pory w literaturze. W wyniku analizy otrzymałem bardzo interesujące wyniki, mówiące o tym, że najlepsze dokładności daje lokalizowanie granic działek w kanałach: czerwonym (R) i podczerwonym (IR).

Następne dwie publikacje [2], [3] były wynikiem realizacji kolejnego projektu badawczego pt. "Automatyzacja wyznaczania imperfekcji kształtu wysmukłych budowli oparta o komputerową analizę zdjęć cyfrowych o znanej orientacji przestrzennej", którego kierownikiem był prof. J. Bernasik, a ja zaś byłem głównym wykonawcą. Istotą tego projektu było zautomatyzowanie procesu pomiaru wychylenia wysmukłych budowli. Dotychczasowe prace wykonywane były bowiem przy wykorzystaniu technologii tradycyjnego pomiaru geodezyjnego, który ponadto był wyraźnie czasochłonny. W ramach projektu opracowano nowe technologie pomiaru metodą fotogrametryczną oraz wykorzystano algorytmy podpikselowej analizy obrazu celem automatyzacji pomiaru na obrazie. Osiągnięciem naukowym tego projektu było stworzenie i skonstruowanie wspólnie z prof. Bernasikiem autorskiego systemu pomiarowego składającego się z teodolitu oraz zintegrowanej i skalibrowanej kamery cyfrowej. Moim własnym osiągnięciem naukowym natomiast było opracowanie oprogramowania do automatycznej analizy obiektów wysmukłych. System został przetestowany i wdrożony do działania komercyjnego. Istotę osiągnięcia oraz wyniki przedstawiono w publikacjach [2], [3].

Pozycja [4] – monografia – stanowi według mnie moje największe osiągnięcie naukowe. Wykorzystanie tzw. sztucznej inteligencji (w tym wypadku sztucznych sieci neuronowych) do korelacji zdjęć lotniczych zwłaszcza w dużej skali, było dużym wyzwaniem naukowym. Prace badawcze były prowadzone przez dwie Katedry AGH (Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska oraz Automatyki) w ramach kolejnego projektu KBN pt. „Ocena efektywności wykorzystania sieci neuronowych w procesach automatycznej korelacji obrazów zdjęć lotniczych”, który był moim pierwszym, dużym projektem badawczym jakim kierowałem. Przeprowadzone eksperymenty stanowią w mojej opinii duży wkład w obszar badań będących na styku dwóch dziedzin tj. fotogrametrii i przetwarzania obrazów.

We wspomnianej monografii [4] w sposób kompleksowy omówiono obecnie stosowane metody dopasowywania fragmentów zdjęć lotniczych. Oprócz prezentacji i testowania metod klasycznych dokonano prób automatyzacji pierwszego etapu dopasowywania, jakim jest wybór informatywnych fragmentów zdjęć. Zaproponowano dwie

nietypowe metody tworzenia reprezentacji fragmentów obrazów, które następnie podlegały klasyfikacji – na obszary ‘korzystne’ i ‘niekorzystne’ z punktu widzenia późniejszej analizy – przez sieci neuronowe.

Pierwsza metoda wykorzystywała model pól receptorowych systemu wzrokowego ssaków. W rejonie centralnym obrazu pola te są niewielkie i gęsto upakowane. W miarę oddalania się od centrum obserwuje się wzrost rozmiarów pól, przy czym zmiany te mają charakter wykładniczy względem odległości od punktu centralnego. Taki model nosi nazwę transformaty log–polar. Z punktu widzenia informatywności danego fragmentu i możliwości późniejszego dopasowywania należy zdefiniować miarę opartą na występowaniu krawędzi. Dlatego następnym krokiem jest detekcja krawędzi w przestrzeni log–polar i wygenerowanie statystycznej miary liczby i kierunków krawędzi. W tym celu zastosowano transformatę log–Hougha, będącą odpowiednikiem transformaty Hougha w przestrzeni kartezyjskiej. Ostateczną reprezentację stanowią rzuty przestrzeni log–Hougha na osie układu współrzędnych. Schematycznie cały ten proces pokazano na rysunku 1.

Druga metoda tworzenia reprezentacji fragmentu obrazu wykorzystywała impulsującą sieć neuronową (PCNN – Pulse Coupled Neural Network). Sieć PCNN ma także swój wzorzec biologiczny, jakim jest dynamiczny model neuronu. Każdy piksel obrazu jest połączony z pojedynczym neuronem, który generuje impulsy po przekroczeniu zmiennego progu pobudzenia. W modelu występują sprzężenia zwrotne, zarówno od aktualnego wyjścia jak i od stanu aktywności sąsiednich neuronów. Sieci tego typu są stosowane do przetwarzania cyfrowych obrazów. Przy ich pomocy można realizować takie operacje jak segmentacja obrazu czy detekcja konturów. W omawianej monografii [4] zastosowano ją do generowania reprezentacji obrazu w postaci sygnatury.

Podstawą obliczania sygnatur jest funkcja czasowa  $G[n]$ , otrzymywana w wyniku sumowania wyjść  $Y$  neuronów („białych pikseli” czyli wartości impulsów wyliczanych zgodnie z wzorem (11) w każdym kroku obliczeniowym:

$$G[n] = \sum_{i,j} Y_{ij}[n] \quad (11)$$

przy czym sygnaturą jest wartość funkcji  $G$  w pierwszych kilkudziesięciu krokach symulacji (przeważnie uwzględnia się 25 lub 50 kroków). Przykład generowania sygnatury pokazano na rysunku 2. Binarne obrazy przedstawione na rysunku 2 wybrano tak, aby odpowiadały one kilku maksimum lokalnym funkcji sygnatury.

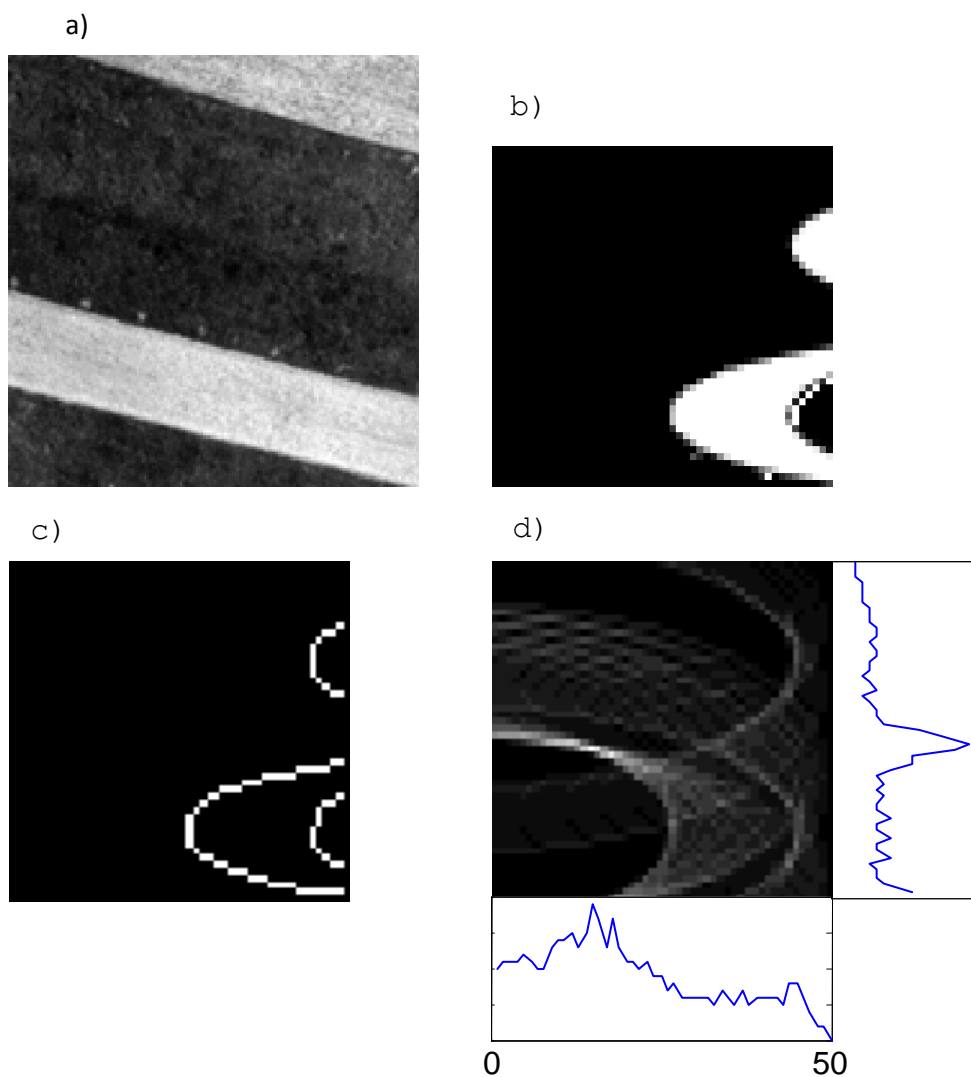
Tak przygotowane reprezentacje były podawane na wejście sieci neuronowej typu

*backpropagation*. Osiągnięte rozpoznania zbioru testowego przekraczały 70%. Dla reprezentacji log–Hougha było to 72%, a dla 50. elementowych sygnatur – prawie 80%. Wynik ten został osiągnięty kosztem około 20% poziomu odrzuceń. Wyniki te nie są w pełni zadowalające. Należy jednak przy tym wziąć pod uwagę wyniki uzyskane przez wykwalifikowanych fotogrametrów (także zestawione w monografii [4]), którzy uzyskali zgodność swoich decyzji na poziomie 60% (przy wskazywaniu trzech klas) i 87% przy podziale obrazów na dwie klasy, czyli wyniki porównywalne z metodą automatyczną, która jednak wymagała znacznie mniejszego nakładu czasu.

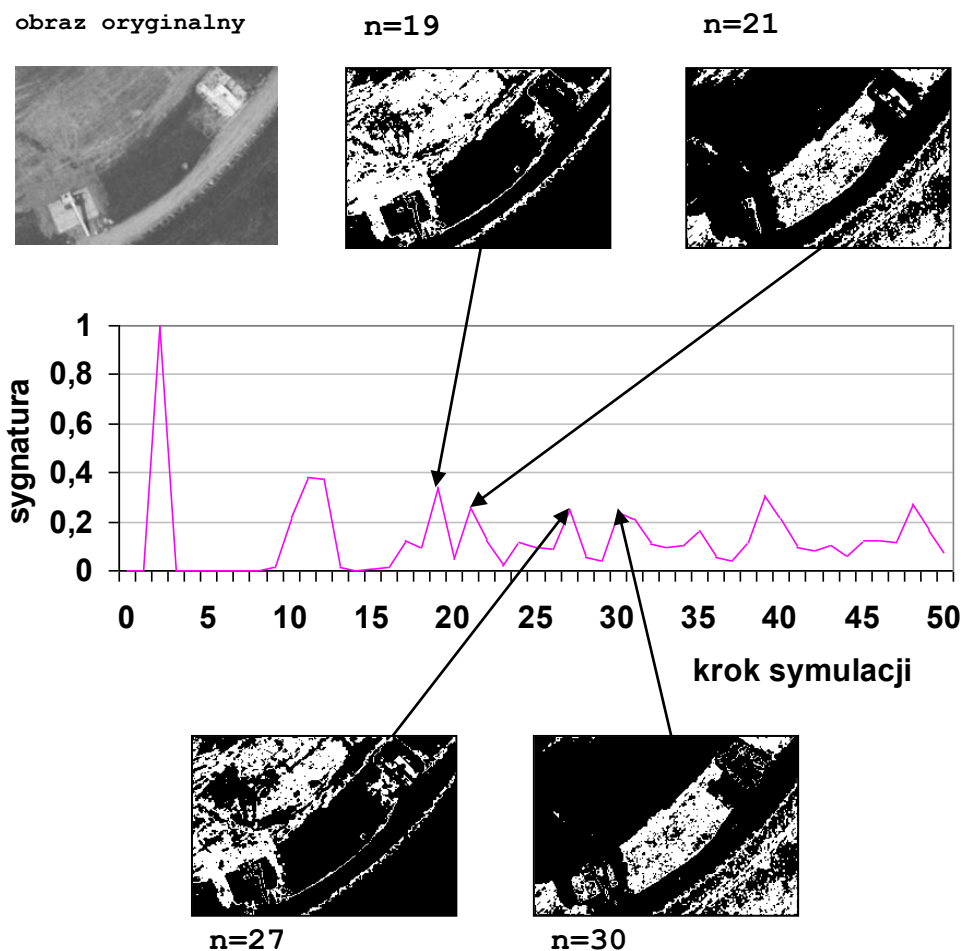
Wyniki badań były prezentowane przeze mnie w 2008 roku w Pekinie na największym wydarzeniu fotogrametrycznym na świecie jakim jest Kongres ISPRS odbywający się cyklicznie co cztery lata.

Wynikami badań zainteresowały się również polskie ośrodki przemysłowe. W roku 2012 Polskie Linie Kolejowe ogłosiły przetarg na wykonanie badań z zakresu wykorzystania m.in. sztucznej inteligencji do określenia wpływu kształtu, rozmiarów i właściwości odbiciowych elementów infrastruktury kolejowej w powiązaniu z gęstością i kierunkiem mobilnego skanowania laserowego na zdolność automatycznej identyfikacji obiektów infrastruktury. AGH złożyło najkorzystniejszą ofertę i obok raportu z badań powstały również ważne publikacje naukowe. Wyniki tych badań prezentowane były także na konferencjach naukowych.

Osiągnięciem naukowym publikacji [5], będącej wynikiem części owych badań jest z kolei praktyczne wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji do wykrywania znaków kolejowych. Ten projekt badawczy był również prowadzony pod moim kierunkiem.



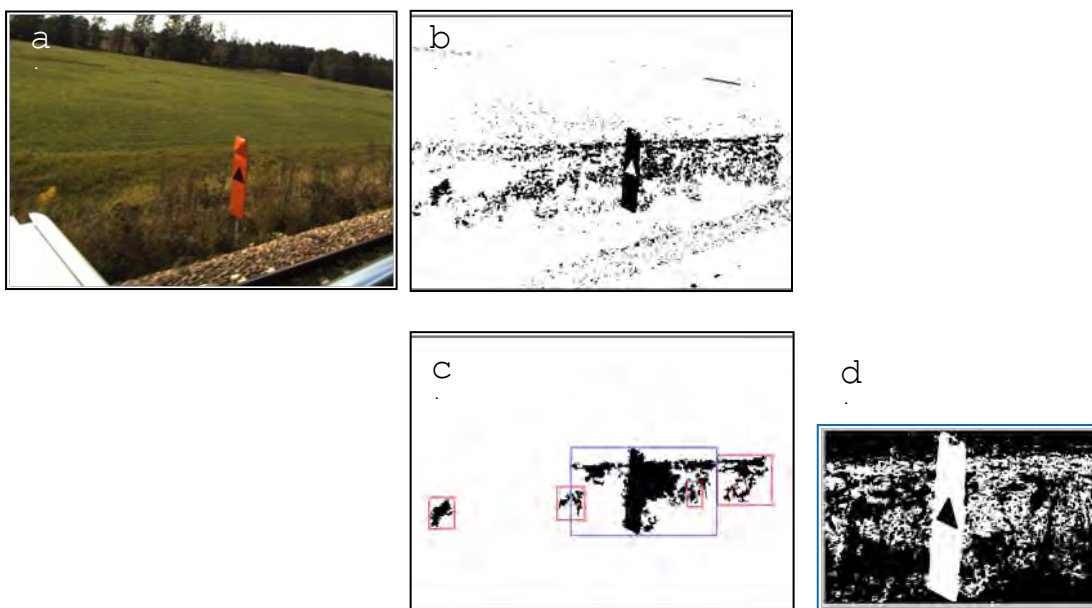
**Rys.1.** Kolejne kroki generowania reprezentacji w przestrzeni log-Hough'a: a) rzeczywisty obraz 160x160 pikseli, b) obraz po transformacji log-polar i przetwarzaniu (50x50 pikseli), c) po detekcji krawędzi w przestrzeni log-polar, d) po transformacji log-Hough'a – u dołu i z prawej strony pokazano rzuty wartości maksymalnych na odpowiednie osie [4]



Rys. 2. Rozkłady impulsacji  $Y$  dla kilku kroków symulacji sieci ICM i odpowiadająca tej symulacji sygnatura

W projekcie tym, wykorzystano algorytm wykrywania znaków kolejowych klasy W11p. Algorytm działa automatycznie dzięki nietypowemu zastosowaniu sieci neuronowej i wprowadzeniu – poprzez sprzężenie zwrotne – iteracyjnej analizy obrazu. Sieć typu backpropagation została nauczona rozpoznawania charakterystycznego koloru pikseli, odpowiadających znakom W11p. Neuron odpowiedzialny za to rozpoznanie generuje na wyjściu wartości zawierające się w przedziale  $[0, 1]$ . Poprzez zmianę progu dla tego wyjścia wykrywane są na obrazie obiekty o różnej wielkości i różnych kształtach (por. rys. 3 b). Jeśli ich wielkość i kształt mieści się w zadanych granicach to są one oznaczane (por. rys. 3 c) i dokonywana jest próba rozpoznania (metodą porównywania z wzorcem). Pozytywny wynik rozpoznania kończy analizę, zaś negatywny skutkuje zmianą progu (por. rys. 3 d) i powtórzeniem próby rozpoznania. Dla 71 znaków ze zbioru testowego osiągnięto efektywność detekcji i rozpoznawania odpowiednio na poziomie 90% i 97%.





Rys. 2. Przykład detekcji znaku W11p-1: a) obraz oryginalny, b) po binaryzacji odpowiedzi sieci neuronowej, c) po analizie obrazu – wskazanie obszaru o dopuszczalnych parametrach (niebieska ramka), d) wskazany obszar po iteracyjnej zmianie progu (obraz zanegowany)

Publikacje [6] i [7] dotyczą kolejnego problemu automatyzacji procesów fotogrametrycznych. O ile bowiem algorytmy do podpixelowej lokalizacji krawędzi na obrazie cyfrowym – działające w oparciu o drugą pochodną obrazu cyfrowego – zostały już znacznie rozwinięte i sprawdzone w kilku projektach badawczych, to kolejnym wyzwaniem naukowym, stało się krawędziowanie na danych w postaci chmury punktów. Wyniki badań w wielu ośrodkach naukowo-badawczych pokazały, że chmura punktów pozyskana ze skaningu laserowego może być również wartościowym produktem. Z tego powodu moje zainteresowania naukowe rozszerzyłem o możliwość integracji obu typów danych tj. obrazu i chmury punktów. Istotą problemu naukowego jest zatem pytanie o to, jak wydobyć informację o odpowiedniej jakości z obrazu i chmury, a następnie dokonać integracji lub selekcji danych bardziej przydatnych. Pierwsze eksperymenty z pozyskania automatycznego krawędzi z chmury zostały zaprezentowane w publikacji [6]. Natomiast kolejna publikacja [7] to efekt rozwiązania problemu badawczego, którego istotą była właśnie integracja tych danych do konkretnego celu: pomiaru skrajni linii kolejowych.

Akademia Górniczo-Hutnicza w latach 2011 – 2013 realizowała projekt badawczy pt. „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej – Etap I”, którego byłem koordynatorem i jednym z głównych wykonawców.

Osiągnięciem naukowym projektu było opracowanie koncepcji systemu do pomiaru skrajni oraz systemu informatycznego do zarządzania tego typu danymi. Wyniki badań były prezentowane i publikowane w kilku czasopismach. Wyniki badań zaprezentowano m.in. na międzynarodowym kongresie ISPRS w Melbourne w 2012 roku. Przedstawiona publikacja [7] jest największym osiągnięciem naukowym obok wspomnianej monografii z racji faktu, że została przyjęta do druku w czasopiśmie z listy filadelfijskiej (baza Journal Citation Report). Moim osiągnięciem naukowym w projekcie i tej publikacji jest współautorstwo koncepcji i częściowego wykonania systemu pomiarowego i informatycznego. Doświadczenie zdobyte w poprzednich projektach badawczych pozwoliło na opracowanie prawidłowej koncepcji.

Efektom tego było wykonanie wdrożenia działającego systemu do pracy w PLK. Było to przedmiotem kolejnego projektu o takim samym tytule, ale w etapie nr II. Akademia Górniczo-Hutnicza ponownie przedstawiła najkorzystniejszą ofertę i w konsorcjum z firmą EC System i Geotronics zrealizowała wdrożenie. Wyniki tego projektu są bardzo ważnymi w moich ponad 10-letnich badaniach nad budową i automatyzacją fotogrametrycznych systemów pomiarowych obejmujących takie zagadnienia naukowe jak:

- projektowanie i budowa systemów pomiarowych,
- kalibracja systemu,
- integracja danych laserowych i obrazowych,
- automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych, a także na chmurze punktów.

Kolejna publikacja [8] miała na celu wypełnić lukę jaką przyniósł ze sobą szybki rozwój nowoczesnych technologii. Klasyczna fotogrametria powoli wypierana jest – przynajmniej w niektórych przypadkach – przez technologię skaningu laserowego. Pomysł na monografię, która zapełni tę lukę związaną z brakiem literatury z zakresu wykorzystania i fotogrametrii i skaningu laserowego w modelowaniu 3D, był łatwy do zrealizowania w momencie kiedy wspólne siły kilku ośrodków naukowo-badawczych w kraju udało się połączyć. Moim osiągnięciem w tej monografii – poza współredakcją – jest przede wszystkim rozdział pierwszy obejmujący opis doświadczeń powstałych w trakcie wspomnianych prac wdrożeniowych w projekcie PLK. Opis istoty systemu oraz problemów mobilnego skaningu laserowego dla projektów kolejowych jest pierwszym tego typu w kraju.

W trakcie badań prowadzonych w głównym obszarze badawczym jakim jest fotogrametria, starałem się również szukać rozwiązań w innych dziedzinach. Praktycznie od początku moich zainteresowań starałem się wykorzystywać fotogrametrię w różnych badaniach interdyscyplinarnych. Jeszcze na studiach doktoranckich byłem współtwórcą

systemu pomiarowego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej. System pomiarowy opracowany wspólnie z prof. R. Tokarczyk, został zbudowany i wdrożony w jednym z ośrodków w Krakowie. Moim zadaniem było oprogramowanie algorytmów do orientacji zdjęć oraz poszukiwanie najlepszych rozwiązań z punktu widzenia analizy obrazu związanej z wykrywaniem obiektów punktowych. Wyniki tych badań prezentowałem jeszcze jako doktorant na kongresie ISPRS w roku 2000 w Amsterdamie. Doświadczenia nabyte przy wykorzystaniu fotogrametrii w medycynie skutkowały zaproszeniem do projektu realizowanego przez prof. K. Sładka oraz kolejnego projektu dr J. Soji z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Projekt wymagał przeprowadzenia badań z zakresu analizy stanu zdrowia osób chorych na astmę metodami nieinwazyjnymi. Zaproponowana przez mnie metoda analizy obrazu znalazła tutaj swoje uzasadnienie. Minikamery pozyskujące dane dostarczały do systemu obraz, który następnie poddawany analizie podpikselowej pozwalał na obliczanie grubości ścian płucnych. Moim osiągnięciem naukowym jest opracowanie algorytmu, stworzenie dedykowanego oprogramowania, które w pierwszej kolejności geometryzuje obraz (nadaje metryczność obrazowi z minikamery), następnie określa grubość poszczególnych ścian. Metoda ta została bardzo wysoko oceniona i opisana w dwóch publikacjach (impact factor 6,36). Publikacja [9] cieszy się bardzo dużym zainteresowaniem, ma ponad 40 cytowań, co świadczy o tym, że zaproponowana metodyka jest bardzo nowoczesna. Najnowsze wyniki badań w tym kierunku zostały przedstawione w publikacji [10].

Tutaj należy nadmienić, że kolejnym krokiem badań w tym zakresie będzie wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do oddzielania poszczególnych warstw, a także określania i wyboru odpowiednich klatek filmu.

## **Podsumowanie**

Podsumowując opis mojego osiągnięcia naukowego pragnę zaznaczyć, że przedstawiony cykl publikacji powiązanych tematycznie stanowi podsumowanie mojego 12 letniego dorobku naukowego zrealizowanego po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

**Wspólnym tematem wiążącym publikacje jest automatyzacja wykrywania cech w oparciu o metody sztucznej inteligencji dla potrzeb budowy fotogrametrycznych systemów pomiarowych.**

Podkreślam raz jeszcze, że moim osiągnięciem naukowym jest opracowanie procedur i algorytmów do automatyzacji procesów fotogrametrycznych, bazujących na metodach sztucznej inteligencji.

Opracowany przez mnie algorytm do lokalizacji krawędzi na obrazie cyfrowym cechuje się nie tylko szerokim spektrum działań i wartościami naukowymi, ale ma także zastosowania praktyczne. Zrealizowane projekty badawcze potwierdziły jego aplikacyjność oraz szerokie możliwości. Krawędziowanie z podpikselową dokładnością – według opracowanego algorytmu zostało bowiem wykorzystane do takich procesów jak:

- identyfikacja granic działek ewidencyjnych,
- badanie wpływu składowej obrazu na dokładność pozycjonowania granic,
- lokalizacja krawędzi obiektów wysmukłych w fotogrametrii inżynierskiej,
- definiowanie ścian kanalików płucnych,
- automatyczna wektoryzacja,
- integracja z chmurą punktów.

Tych zastosowań może być znacznie więcej. Kieruję obecnie również projektem nad badaniem geometrii płatowców, gdzie lokalizacja podpikselowa ma podnieść dokładność opracowania.

Aby jednak te algorytmy działały w pełni automatycznie, konieczne jest "sterowanie" nimi przez jednostkę rozpoznającą obiekty. Stąd wynika konieczność wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do modelowania odpowiednich zjawisk.

Moim docelowym zamierzeniem jest rozwiązanie problemu naukowego polegającego na rozpoznaniu obiektów czy ich *matching* przy pomocy sztucznych sieci neuronowych – a więc doprowadzenie do identyfikacji obiektu (np. stwierdzenie, że występuje krawędź), a następnie zlokalizowanie jej już z podpikselową dokładnością, jaką dają opracowane przeze mnie algorytmy.

## **Bibliografia**

1. **Mikrut S.**, 2006, *The Influence of JPEG Compression on the Automatic Extraction of Cropland Boundaries with Subpixel Accuracy Using Multispectral Images*. Polish Academy of Science – Cracow Branch. Proceedings of the Geodesy and Environmental Engineering Commission, Geodesy 42, ISSN 0079–3299, p. 97–111.
2. Bernasik J., **Mikrut S.**, 2007, *Zautomatyzowana korekcja błędów kątowej orientacji niemetrycznej kamery cyfrowej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Kraków, Vol. 17a, s. 33–42.
3. **Mikrut S.**, 2009, *Przydatność algorytmów podpikselowej detekcji cech w wybranych zagadnieniach fotogrametrycznych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing ; ISSN 2083–2214, vol. 19, s. 299–308.
4. Czechowicz A., Gryboś P., Jachimski J., **Mikrut S.**, Mikrut Z, Pawlik P., Tadeusiewicz R., 2010,

pod redakcją naukową S.Mikruta. **Monografia:** *Sieci neuronowe w procesach dopasowania zdjęć lotniczych*, 2010, Wydawnictwa AGH, Kraków, ISBN: 978-83-7464-150-0.

5. **Mikrut S.**, Mikrut Z., Moskal A., Pastucha E., 2014, *Detection and Recognition of Selected Class Railway Signs*. Image Processing & Communications: an International Journal; ISSN 1425-140X, vol. 19 no. 2-3, s. 83-96.
6. **Mikrut S.**, 2012, *Integration of Digital Images and Laser Scanning Data for the Survey of Architectural Objects*. Image Processing & Communications: an International Journal; ISSN 1425-140X, vol. 17 no. 4, s. 161-166.
7. **Mikrut S.**, Kohut P., Pyka K., Tokarczyk R., Barszcz T., Uhl T., 2016, *Mobile Systems for Measuring the Clearance Gauge – State of Play, Testing And Outlook*. Sensors 2016, 16, 683; doi:10.3390/s16050683.
8. Głowienka E., Jankowicz B., Kwoczyńska B., Kuras P., Michałowska K., **Mikrut S.**, Moskal A., Piech I., Strach M., Sroka J., 2015, pod redakcją naukową S. Mikruta i Głowienki E. **Monografia:** *Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D*. Wydawnictwo: Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna, Rzeszów. ISBN: 978-83-60507-26-1, 148 stron.
9. Soja J., Grzanka P., Sładek K., Okoń K., Ćmiel A., Mikoś M., **Mikrut S.**, G. Pulka, Gross-Sondej I., Niżankowska-Mogilnicka E., Szczeklik A., 2009, *The Use of Endobronchial Ultrasonography in Assessment of Bronchial Wall Remodeling in Patientswith*. CHEST; ISSN 0012-3692, vol. 136 no. 3, s. 797-804.
10. Soja J., Łoboda P., **Mikrut S.**, Ćmiel A., Gross-Sondej I., Górka K., Kasper Ł., Andrychiewicz A., Pulka G., Reid M., Sładek K., 2015, *Assessment of remodeling in chronic obstructive pulmonary disease using imaging methods*. Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej ; ISSN 0032-3772, vol. 125 no. 9, s. 659-664.

*Szymon Mikrut*

#### 4. Wykaz pozostałych, opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych

Poniżej przedstawiam (tab.1) wykaz pozostałych opublikowanych prac naukowych prac zawodowych stanowiących osiągnięcia naukowe inne niż wykazałem w załączniku 2. Wykaz opracowań został podzielony na grupy. Są nimi opracowania o charakterze monografii, książek, publikacji zamieszczonych w czasopismach naukowych bądź naukowo–technicznych oraz referatów oraz twórczych prac zawodowych. Opracowania są zestawione w grupach chronologicznie. Przy każdym opracowaniu została podana liczba punktów przyznanych opracowaniu według klasyfikacji podanej przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z roku 2015. Dodatkowo został także podany mój udział procentowy w opracowaniach w przypadku, gdy miały one charakter zbiorowy.

Tabela 1. Wykaz pozostałych opublikowanych lub twórczych prac zawodowych stanowiących osiągnięcia naukowe **inne** niż wykazano w punkcie 2.

##### a) Monografie (współautorstwo)

Lp	Tytuł opracowania	Udział kandydata w opracowaniu [%]	Liczba punktów przypisana opracowaniu (wg listy z 2015 r.)
1	<i>Modelowanie i wizualizacja danych 3D na podstawie pomiarów fotogrametrycznych i skaningu laserowego</i> (praca zbiorowa pod redakcją dr inż. K. Michałowskiej). Wydawnictwa WSIE, Rzeszów 2015. ISBN 978-83-60507-29-2.	10	<b>20</b>
2	<i>GIS i teledetekcja w monitoringu środowiska.</i> (praca zbiorowa pod redakcją dr inż. E. Głowienki). Wydawnictwa WSIE, Rzeszów 2015. ISBN 978-83-60507-27-8.	10	<b>20</b>
3	<i>Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w systemie fotogrametrycznym do badania wad postawy.</i> (praca pod redakcją dr inż. R. Tokarczyk). Uczelniane Wydawnictwa Naukowo–Dydaktyczne AGH, Kraków 2007. ISBN 978-83-7464-095-4.	5	–
4	<i>Wykorzystanie wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych w systemie informacji przestrzennej.</i> (praca pod redakcją dr inż. I. Wyczałka). Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007. ISBN 978-83-7143-311-5.	30	–

5	Bernasik J., Mikrut S., <i>Fotogrametria inżynierska</i> , 2003, str. 1–95, skrypt akademicki w wersji elektronicznej, recenzowany, udostępniony na stronach internetowych Ośrodka Edukacji Niestacjonarnej AGH, Kraków 2003 (wersja internetowa).	50	–
Suma			<b>40</b>

## b) Publikacje

### • Po doktoracie

Lp	Tytuł opracowania	Udział kandydata w opracowaniu [%]	Liczba punktów przypisana opracowaniu
<b>2003</b>			
1	Selby R., Mikrut S., <i>Najnowsze narzędzia w „PCI Geomatica” do ortorektifikacji i fuzji (wyostrzania) wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 13A, Wrocław – Polanica Zdrój 2003; s. 199–208.	50	–
<b>2004</b>			
2	Mikrut S., Głowienka E., <i>Przegląd prac Komisji VII na XX Kongresie ISPRS w Istambule</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 14, Białobrzegi – Warszawa 2004; s. 69–76, ISBN 83-917952-2-5.	50	–
3	Mikrut S., Pyka K., Jachimski J., <i>Współczesne tendencje w zakresie kompresji zdjęć lotniczych i obrazów teledetekcyjnych</i> , Geoinformatica Polonica, nr 6, Kraków 2004; s. 81–89. ISSN–1642–2511.	50	–
4	Będkowski K., Mikrut S., <i>Wstępna analiza przydatności wielospektralnych zdjęć lotniczych do fotogrametrycznej inwentaryzacji struktur przestrzennych w drzewostanach</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 14, Białobrzegi – Warszawa 2004; s. 77–82, ISBN 83-917952-2-5.	50	–
<b>2005</b>			
5	Mikrut S., <i>Wpływ skanowania i kompresji metodą JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych</i> . Geoinformatica Polonica, T.7, Kraków, s. 101–109. ISSN: 1642–2511.	100	–
6	Jachimski J., Mikrut S., Twardowski M., <i>Metodyka korzystania z baz danych Wielojęzycznego Interdyscyplinarnego Terminologicznego Słownika i Leksykonu Geoinformatycznego Komisji</i>	33	–

	<i>Geoinformatyki PAU za pośrednictwem Internetu, Zeszyty naukowe AGH, półrocznik „Geodezja”, T.11, Kraków, s.251-257, ISSN 1234-6608.</i>		
7	Jachimski J., Mikrut S., Majewski M.: <i>Struktura Bazy Danych Wielojęzycznego, Interdyscyplinarnego Terminologicznego Słownika i Leksykonu Geoinformatycznego Komisji Geoinformatyki PAU, Zeszyty naukowe AGH, półrocznik „Geodezja”, T.11, z.1/1 Kraków, s. 131–136, 1234-6608.</i>	33	–
<b>2006</b>			
8	Czechowicz A., Mikrut S., <i>Analiza przydatności algorytmów detekcji krawędzi w zastosowaniach fotogrametrii bliskiego zasięgu. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 16, s. 135–146, ISSN 2083-2214.</i>	50	-
9	Jachimski J., Mikrut S., Majewski M., <i>Rozwój Geoinformatycznego Słownika PAU, Zeszyty naukowe AGH, półrocznik Geodezja, Tom 12, Zeszyt 1. Kraków, s. 65–75, ISSN 1234-6608.</i>	33	–
10	Jachimski J., Mikrut S., <i>Propozycja działań środowisk geoinformatyki obrazowej związanych z opracowaniem geoinformatycznego leksykonu i słownika terminologicznego PAU, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 16, s. 217–226, ISSN 2083-2214.</i>	50	–
11	Dobrowolski J., Jachimski J., Hejmanowska B., Wagner A., Boroń A., Drzewiecki W., Mikrut S., Śliwka M., Mazur R., Jakubiak M., Patuła B., <i>Interdyscyplinarna współpraca w zakresie edukacji na rzecz ochrony krajobrazu kulturowego na przykładzie Parku Narodowego Cinque Terre (Włochy), Zeszyty naukowe AGH, półrocznik „Geodezja”, T.12, z.2, cz.1, Kraków, s. 167 – 182. ISSN 1234-6608.</i>	9	–
12	Chwastek T., Mikrut S., <i>Prezentacja autorskiego programu automatycznego pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 16, 2006; s. 125–133. ISSN 2083-2214.</i>	50	–
13	Jachimski J., Mikrut S., <i>Wpływ kompresji JPEG na wykrywanie cech na obrazach cyfrowych. Automatyka: półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Tom 10, Zeszyt 3. Kraków, s. 365–371. ISSN 1429-3447.</i>	50	–
14	Pawlik P., Mikrut S., <i>Wyszukiwanie punktów charakterystycznych na potrzeby łączenia zdjęć lotniczych. Automatyka, Półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Tom 10, Zeszyt 3. Kraków. s. 407–411. ISSN 1429-3447.</i>	50	–
15	Bernasik J., Mikrut S., <i>Automatyzacja</i>	50	–



	<i>fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych. Geodezja: półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Tom 12, Zeszyt 2, s. 141–149. ISSN 1234-6608.</i>		
16	Bernasik J., Mikrut S., <i>Wykonywanie naziemnych zdjęć cyfrowych o ściśle określonej orientacji, Geodezja: półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, T.12 z.2/1, s. 87–93. ISSN 1234-6608.</i>	50	–
<b>2007</b>			
17	Pawlik P., Mikrut S., <i>Porównanie dokładności metod wyznaczania punktów charakterystycznych na parach zdjęć lotniczych. Automatyka, : półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Tom 11 z.3, Zeszyt 3. Kraków. s. 141–147. ISSN 1429-3447.</i>	50	–
18	Pawlik P., Mikrut S., <i>Porównanie dokładności wybranych metod dopasowania obrazów zdjęć lotniczych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17b, Kraków, s. 603–612. ISSN 2083-2214.</i>	50	–
19	Mikrut S., Tokarczyk R., Huppert M., <i>Koncepcja systemu VSD–WIN. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17b, Kraków, s. 517–524. ISSN 2083-2214.</i>	33	–
20	Mikrut S., Mikrut Z., <i>Sieci neuronowe w procesach automatycznej korelacji zdjęć lotniczych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17b, Kraków, s. 505–515, ISSN 2083-2214.</i>	50	–
21	Michałowska K., Głowienka E. Mikrut S., <i>Opracowanie technologii przetwarzania archiwalnych materiałów fotogrametrycznych do badań zmienności krajobrazu na przykładzie Słowińskiego Parku Narodowego. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17b, Kraków, s. 495–504, ISSN 2083-2214.</i>	33	–
22	Lis N., Mikrut S., Guzik M., <i>Możliwości wykorzystania darmowego oprogramowania w budowie bazy danych GIS dla Tatrzańskiego Parku Narodowego. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17b, Kraków, s. 463–471, ISSN 2083-2214.</i>	33	–
23	Gryboś P., Mikrut S., <i>Analiza doboru parametrów algorytmów dopasowania obrazów zdjęć lotniczych, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 17a, Kraków, s. 271–279, ISSN 2083-2214.</i>	50	–
24	Gryboś P. Mikrut S., <i>Analiza możliwości wykorzystania funkcji biblioteki „OpenCV 1.0” do</i>	50	–

	<i>automatycznego dopasowania zdjęć lotniczych</i> , Automatyka: Półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Tom 11, Zeszyt 3. Kraków. s. 89–101, 1429-3447.		
<b>2008</b>			
25	Mikrut S., <i>Experience from the Utilisation of Archival Aerial Image for the Needs of Databases Feeding</i> . Wydawnictwa AGH. Geomatics and Environmental Engineering, Vol. 2, No. 2, s. 69–80, ISSN 1898-1135.	100	<b>2</b>
26	Mikrut S., Mikrut Z., <i>Neural networks in the automation of photogrammetric processes</i> . The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing, s. 331–336. ISSN 1682-1750.	50	–
27	Mikrut S., Mikrut Z., <i>Wykorzystanie sieci neuronowych w procesach fotogrametrycznych</i> . Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 18b, Międzyzdroje, s. 409–421, ISSN 2083-2214.	50	<b>4</b>
28	Bernasik J., Mikrut S., <i>Wyznaczanie imperfekcji kształtu wysmukłych budowli w oparciu o znane elementy orientacji kątowej</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 18a, Międzyzdroje, s. 11–20, ISSN 2083-2214.	50	<b>4</b>
<b>2009</b>			
29	Mikrut S., Guzik M., Dąbrowska A., <i>Zdjęcia lotnicze i ortofotomapy Tatrzańskiego Parku Narodowego</i> . Długookresowe zmiany w przyrodzie i użytkowaniu obszaru TPN. Wydawnictwo TPN., s. 47-58, ISBN 978–83–61788–08–9	33	–
30	Mikrut S., Dużyńska U. <i>Próba rekonstrukcji nieistniejących obiektów architektonicznych na wybranym przykładzie</i> . Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 20, s. 285–294, ISSN 2083-2214.	50	<b>4</b>
31	Mikrut S., <i>Photogrammetric and laser scanning data integration</i> , Geomatics and Environmental Engineering, vol.3, no. 4, s.53-63, ISSN 1898-1135.	100	<b>4</b>
<b>2010</b>			
32	Bernasik J, Mikrut S., <i>Zautomatyzowane wyznaczenie deformacji budowli na podstawie zdjęć cyfrowych. Bezprzewodowy monitoring obiektów budowlanych [Dokument elektroniczny]: system kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie : materiały z IX sympozjum: Warszawa ITB (TQM w Budownictwie). — ISBN 978–83–249–2944–3.</i>	50	<b>0</b>
<b>2012</b>			

33	Mikrut S., Pyka K., Tokarczyk R., <i>Systemy do pomiaru skrajni kolejowej – przegląd i tendencje rozwojowe</i> . Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 23, s. 291–301, ISSN 2083–2214.	33	<b>4</b>
34	Tokarczyk R., Mikrut S., Kohut P., Kolecki J., <i>Przegląd metod teksturowania modeli 3D obiektów uzyskanych na drodze laserowego skanowania naziemnego i technik fotogrametrycznych</i> . Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 24, s. 367–381, ISSN 2083–2214.	25	<b>4</b>
35	Kohut P., Mikrut S., Pyka K., Tokarczyk R., Uhl T., <i>Research on the Prototype of Rail Clearance Measurement System</i> , . International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVIII. Melbourne.	20	<b>0</b>
36	Marmol U., Mikrut S., <i>Attempts at Automatic Detection of Railway Head Edges</i> . Image Processing & Communications : an International Journal, vol. 17 no. 4, s. 151–160, ISSN 1425–140X.	50	<b>7</b>
<b>2013</b>			
37	Mikrut S., Głowienka–Mikrut E., Michałowska K., <i>The UAV technology as a future-oriented direction in the development of low-ceiling aerial photogrammetry</i> . Geomatics and Environmental Engineering, vol.7 no 4, s.69-77, ISSN 1898-1135.	50	<b>5</b>
38	Głowienka–Mikrut E., Michałowska K., Mikrut S., Nałęcz T., Mroczka T., <i>Modelling of flood hazard zone for the Łęg River</i> . Geomatics and Environmental Engineering, vol.7 no 4, s.31-41, ISSN 1898-1135.	20	<b>5</b>
39	Michałowska K., Głowienka–Mikrut E., Mikrut S., Nałęcz T., Garczarek J. <i>The use of land surveying in the process of managing mineral deposits</i> . Geomatics and Environmental Engineering, vol.7 no 3, s. 69-77, ISSN 1898-1135.	20	<b>5</b>
40	Michałowska K., Głowienka–Mikrut E., Mikrut S., Bochenek M. <i>Updating, integration and making available spatial data with the use of the state-of-the-art technologies</i> . Geomatics and Environmental Engineering, vol.7 no 3, s.57-67, ISSN 1898-1135.	25	<b>5</b>
41	Pyka K., Mikrut S., Moskal A., Pastucha E., Tokarczyk R. <i>Problemy automatycznego modelowania i teksturowania obiektów opisujących skrajnię linii kolejowych</i> . Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji vol. 25, s. 177–188, ISSN 2083–2214	20	<b>0</b>
42	Leszczewicz Z., Warda A., Barszcz T., Mikrut S., Przywieczerski J., Pyka K., Sitkowski T., Tokarczyk R., Uhl T. <i>Wykorzystanie mobilnego skaningu laserowego do pomiarów skrajni linii kolejowej i kodyfikacji linii kolejowych</i> . Zeszyty Naukowo–	10	<b>0</b>

	Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, ISSN 1231–9155. Seria: Materiały Konferencyjne ; ISSN 1231–9171 ; nr 3), s. 211–241.		
<b>2014</b>			
43	Mikrut S., Moskal A., Marmol U., <i>Integration of image and laser scanning data based on selected example</i> . Image Processing & Communications : an International Journal, ISSN 1425–140X. — vol. 19 no. 2–3, s. 37–44.	33	<b>8</b>
Suma			<b>61</b>

• **Prace opublikowane przed doktoratem**

Lp	Tytuł opracowania	Udział kandydata w opracowaniu [%]	Liczba punktów przypisana opracowaniu
<b>1998</b>			
1	Jachimski J., Mikrut S. <i>Próba subpikselowej lokalizacji linii konturowych z wykorzystaniem drugiej pochodnej obrazu cyfrowego</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.8 s. 25-1 - 25-8, ISBN 83-906804-4-0	50	–
<b>1999</b>			
2	Tokarczyk R., Mikrut S., <i>Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.9 s.147-154, , ISSN 2083-2214.	50	–
<b>2000</b>			
3	Tokarczyk R., Mikrut S., <i>Close Range Photogrammetry System for medicine and Railways</i> , International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33 Pt. B5/2 s.519-524, Amsterdam, ISSN 0256-1840	50	–
4	Mierzwa W., Mikrut S., <i>Automatyczna identyfikacja elementów liniowych na obrazach cyfrowych</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.10, s.52-1 - 52-8, ISSN 2083-2214.	50	–
5	Mikrut S., Pyka K., <i>Poszukiwanie miar oceny straty jakości obrazów po kompresji JPEG</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.10 s.53-1 - 53-9, , ISSN 2083-2214.	50	–
6	Tokarczyk R., Mikrut S., Huppert M., <i>Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiaru skrajni kolejowej</i> , Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.10, s. 64-1 - 64-6, ISSN 2083-2214.	33	–

- **Publikacje w przygotowaniu**

Lp	Tytuł opracowania	Udział kandydata w opracowaniu [%]	Liczba punktów przypisana opracowaniu
<b>2016</b>			
1	Mikrut S., <i>Classical Photogrammetry and UAV – Selected Aspects</i> . International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - Praga, (przyjęte do druku)	100	–
2	Mikrut S., Brzęczek J, <i>The use of photogrammetry for special flight tests</i> , Wydawnictwo: Maintenance and Reliability, Lublin (Impact Factor 0,983)	50	–
3	Brzęczek J. Mikrut S., Moskal A., Pastucha E., Tokarczyk R., Wróbel A., <i>Subpixel methods in the study of aircraft geometry</i> . Wydawnictwo: Maintenance and Reliability, Lublin (Impact Factor 0,983)	15	–

- **Monografie w przygotowaniu**

Lp	Tytuł opracowania	Udział kandydata w opracowaniu [%]	Liczba punktów przypisana opracowaniu
<b>2016/2017</b>			
1	Mikrut S., <i>Podwyższenie jakości geometrycznej chmury punktów metodami podpixelowej analizy obrazu</i> . Wydawnictwa AGH. Monografia w końcowym opracowaniu.	100	–
2	Mikrut S., <i>Przetwarzanie obrazów cyfrowych w geodezji i kartografii</i> . Wydawnictwa AGH. Skrypt dla studentów IV roku z przedmiotu "Cyfrowe przetwarzanie obrazu". Monografia w przygotowaniu głównie w oparciu o materiały autorskie z wykładów.	100	–

c) Referaty na konferencjach krajowych i zagranicznych

Lp	Tytuł opracowania	Udział kandydata w przygotowaniu referatu [%]	Liczba punktów przypisana opracowaniu (wg listy z 2012 r.)
<b>Konferencje międzynarodowe</b>			
<i>Kongresy ISPRS</i>			
1	ISPRS 2000 Amsterdam (Holandia), lipiec 2000., Tokarczyk R., Mikrut S., <i>Close Range Photogrammetry System for Medicine and Railways</i> . Udział w przygotowaniu i referowanie.	50	–
2	ISPRS Istambul (Turcja), lipiec 2004. Jachimski J., Mikrut S., Pyka K., <i>The Influence of Multispectral Image Compression on Linear and Point Feature Extraction</i> . Udział w przygotowaniu i referowanie.	50	–
3	ISPRS Pekin (Chiny), 3–11 lipca 2008. Mikrut S., Mikrut Z., <i>Neural Networks in the Automation of Photogrammetric Processes</i> . Udział w przygotowaniu i referowanie.	50	–
4	ISPRS Melbourne (Australia), 25 sierpnia – 1 września, 2012, Kohut P., Mikrut S., Pyka K., Tokarczyk R., Uhl T., <i>Research on the Prototype of Rail Clearance Measurement System</i> . Technical Commission IV (Volume XXXIX–B4). Udział w przygotowaniu i referowanie.	50	–
<i>Inne</i>			
5	Mikrut S., Głowienka–Mikrut E., Michałowska K., <i>The UAV technology as a future-oriented direction in the development of low-ceiling aerial photogrammetry</i> , wygłoszony na IV Międzynarodowej konferencji naukowej z cyklu „Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki”, Polańczyk 22–24 maja 2013. Udział w przygotowaniu i referowanie.	50	–
6	Michałowska K., Głowienka–Mikrut E., Mikrut S., Bochenek M. <i>Updating, integration and making available spatial data with the use of the state-of-the-art technologies</i> . wygłoszony na IV Międzynarodowej konferencji naukowej z cyklu „Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki”, Polańczyk 22–24 maja 2013. Udział w przygotowaniu i referowanie.	50	–
7	Mikrut S., Moskal A., Pastucha E., <i>Detecting elements of railway infrastructure obtained by means of laser scanning and photogrammetry methods</i> , wygłoszony na	50	–

	V Międzynarodowej konferencji naukowej z cyklu „Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki” Kamionka, 28–30 maja <b>2014</b> r., Udział w przygotowaniu i część (dotycząca projektu) w referowaniu.		
8	Mikrut S. Moskał A., <i>Wybrane aspekty mobilnego skanowania — Selected problems of mobile scanning</i> , wygłoszony na VI Międzynarodowej konferencji naukowej z cyklu „Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki”, Kamionka, 10–12 czerwca <b>2015</b> r. Udział w przygotowaniu referatu.	25	–
<b>Konferencje/Seminaria krajowe</b>			
1	Mikrut S., Pyka K, Jachimski J., <i>Współczesne tendencje w zakresie kompresji zdjęć lotniczych i obrazów teledetekcyjnych</i> , wygłoszony 15-17 września <b>2003</b> na Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacji nt. Geoinformacja Zintegrowanym Narzędziem Badań Przestrzennych. Udział w przygotowaniu i wygłoszenie.	50	–
2	Mikrut S., Głowienka E., <i>Przegląd prac Komisji VII na XX Kongresie ISPRS w Istambule</i> , Białobrzegi k. Warszawy, <b>2004</b> ; wygłoszony 21-23 października 2004 na Ogólnopolskim Sympozjum Naukowym pn. Fotogrametria, Teledetekcja i GIS w Świetle XX Kongresu ISPRS. Udział w przygotowaniu i wygłoszenie referatu.	50	–
3	Chwastek T., Mikrut S., <i>Prezentacja autorskiego programu automatycznego pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych</i> , wygłoszony 12-14 października 2006 na Ogólnopolskim Sympozjum Naukowym nt. "Opracowania cyfrowe w Fotogrametrii, Teledetekcji i GIS". Udział w przygotowaniu i wygłoszenie.	50	–
4	Pawlik P., Mikrut S., <i>Porównanie dokładności wybranych metod dopasowania obrazów zdjęć lotniczych</i> , wygłoszony na IV Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”, Dobczyce 11-17.X. <b>2007</b> . Udział w przygotowaniu i wygłoszenie referatu.	50	–
5	Mikrut S., Tokarczyk R., Huppert M., <i>Koncepcja systemu VSD–WIN</i> , wygłoszony na IV Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”, Dobczyce 11-17.X. <b>2007</b> . Udział w przygotowaniu i wygłoszenie referatu.	50	–
6	Jachimski J., Gawin A., Mikrut S., <i>Drogi automatyzacji pomiaru skarp roboczych wyrobiska górniczego odkrywki Belchatów.</i> , wygłoszony na IV Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym	50	–

	„Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”, Dobczyce 11-17.X.2007. Udział w przygotowaniu i wygłoszenie referatu.		
7	Bernasik J., Mikrut S., <i>Zautomatyzowana korekcja błędów kątowej orientacji niometrycznej kamery cyfrowej</i> , wygłoszony na IV Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”, Dobczyce 11-17.X.2007. Przygotowanie i wygłoszenie referatu.	50	–
8	Gryboś P., Mikrut S., <i>Analiza doboru parametrów algorytmów spasowania obrazów zdjęć lotniczych</i> , wygłoszony na IV Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym „Geoinformatyka – badania, zastosowania i kształcenie”, Dobczyce 11-17.X.2007. Udział w przygotowaniu i wygłoszenie referatu.	50	–
9	Mikrut S., <i>Integracja danych fotogrametrycznych i ze skaningu laserowego na wybranych przykładach</i> , wygłoszony na V Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym nt. "Geoinformatyka dla środowiska i społeczeństwa – badania i zastosowania", Kraków, 17 – 19.IX. 2009 roku. Przygotowanie i wygłoszenie referatu.	100	–
10	Mikrut S., <i>Integracja danych fotogrametrycznych i ze skaningu laserowego na wybranych przykładach</i> , wygłoszony na VI Ogólnopolskim Sympozjum Geoinformacyjnym, 21-24 września 2011, Polanica-Zdrój. Udział w przygotowaniu i wygłoszenie referatu.	100	–
11	Jachimski J., Mikrut S., <i>Wpływ kompresji JPEG na wykrywanie cech na obrazach cyfrowych.</i> , prezentowany na seminarium "Przetwarzanie i analiza sygnałów w systemach wizji i sterowania", czerwiec 2006, Słok k/Belchatowa.	50	–
12	Marmol U., Mikrut S., <i>Attempts at Automatic Detection of Railway Head Edges</i> , prezentowany na seminarium "Przetwarzanie i analiza sygnałów w systemach wizji i sterowania", 13-14 czerwca 2012, Słok k/Belchatowa.	50	–
13	Mikrut S., Moskal A., Marmol U., <i>Integration of image and laser scanning data based on selected example.</i> prezentowany na seminarium "Przetwarzanie i analiza sygnałów w systemach wizji i sterowania", 25-26 czerwca 2014, Słok k/Belchatowa.	50	–

#### d) Twórcze prace zawodowe

Lp	Tytuł opracowania
1.	Opracowanie technologii skanowania materiałów do Ośrodka Dokumentacji Geodezyjno-Kartograficznej w Białej Podlaskiej, 2008, dla firmy InvestGIS Sp. z o.o.
2.	Opracowanie technologii pozyskiwania danych 3D dla obiektów liniowych – współpraca z firmą AEROMETREX z Australii, 2008, dla firmy EUROMETREX